

ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗ ΣΕ ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΚΙΝΗΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΞΥΠΗΡΕΤΗΣΗ ΕΡΩΤΗΣΕΩΝ ΣΕ
ΒΑΣΕΙΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Η
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΕΞΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ

Υποβάλλεται στην

ορισθείσα από την Γενική Συνέλευση Ειδικής Σύνθεσης
του Τμήματος Πληροφορικής
Εξεταστική Επιτροπή

από την

Ρόβα Ευθυμία

ως μέρος των Υποχρεώσεων

για τη λήψη

του

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟΥ ΔΙΠΛΩΜΑΤΟΣ ΣΤΗΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ
ΜΕ ΕΞΕΙΔΙΚΕΥΣΗ ΣΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ

Απρίλιος 2007

ΑΦΙΕΡΩΣΗ

Αφιερώνω την εργασία αυτή στους γονείς μου που χωρίς τη βοήθειά τους δε θα ήταν δυνατόν να ολοκληρώσω τις σπουδές μου.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ευχαριστώ θερμά τους καθηγητές μου Παναγιώτη Βασιλειάδη και Ευάγγελο Παπαπέτρου για την άριστη συνεργασία που είχαμε από την αρχή μέχρι την ολοκλήρωση αυτής της εργασίας. Οι συμβουλές τους υπήρξαν πάντα πολύτιμες. Ευχαριστώ τους γονείς μου και τους φίλους μου για τη συμπαράστασή τους.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΑΦΙΕΡΩΣΗ	iii
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	v
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	vii
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ	ix
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	x
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	xvii
EXTENDED ABSTRACT IN ENGLISH	xviii
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1. Εισαγωγή	1
1.2. Δομή της Διατριβής	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΣΧΕΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ	9
2.1. Επεξεργασία Ερωτήσεων	12
2.1.1. Κεντρικοποιημένες Βάσεις Δεδομένων	12
2.1.2. Κατανεμημένες Βάσεις Δεδομένων	16
2.1.3. Επεξεργασία Ερωτήσεων σε P2P Συστήματα	21
2.2. Δρομολόγηση	24
2.2.1. MANET	24
2.2.2. Παραδοσιακοί Αλγόριθμοι Δρομολόγησης	26
2.2.3. Data-centric Δρομολόγηση	32
2.3. Κινητοί Υπολογιστές και Βάσεις Δεδομένων	33
2.4. Υπηρεσίες Διαδικτύου	36
2.5. Επεξεργασία Ερωτήσεων πάνω σε MANETs	39
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΤΥΠΙΚΟΣ ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΙΔΕΑ	43
3.1. Μοντελοποίηση του Προβλήματος	43
3.1.1. Περιγραφή του Μοντέλου	43
3.1.2. Χαρακτηριστικά του Μοντέλου	47
3.1.3. Παράδειγμα Δικτύου και Προώθησης Ερώτησης	56
3.1.4. Τυπικός Ορισμός του Προβλήματος	59
3.2. Προτεινόμενη Λύση	60
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ	67
4.1. Πρωτόκολλο Δρομολόγησης	67
4.2. Μεθοδολογία Προσομοίωσης	70
4.2.1. Παράμετροι του Συστήματος	70
4.2.2. Αξιολόγηση Απόδοσης – Μετρικές	74
4.3. Μοντέλο Προσομοίωσης	77
4.4. Είδη Πειραμάτων - Αξιολόγηση	80
4.5. Ανάλυση Αποτελεσμάτων για Ad hoc Δίκτυα	82
4.6. Ανάλυση Αποτελεσμάτων για mesh Δίκτυα	107

4.7. Ανακεφαλαίωση	122
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΕΠΙΛΟΓΟΣ	125
5.1. Συμπεράσματα – Ανακεφαλαίωση	125
5.2. Μελλοντικές Επεκτάσεις	127
ΑΝΑΦΟΡΕΣ	128
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	130
ΣΥΝΤΟΜΟ ΒΙΟΓΡΑΦΙΚΟ	191

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας	Σελ
ΠΙΝΑΚΑΣ 2.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΜΕΤΑΞΥ PROACTIVE ΚΑΙ REACTIVE ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΩΝ	31
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.1 ΠΙΝΑΚΑΣ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΚΟΜΒΟΥ 1 ΣΧΗΜΑΤΟΣ 3.1	54
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.2 ΠΙΝΑΚΑΣ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΚΟΜΒΟΥ 1 ΣΧΗΜΑΤΟΣ 3.5	62
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.1 ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΙ ΣΤΟΥΣ ΤΥΠΟΥΣ ΤΩΝ ΜΕΤΡΙΚΩΝ	76
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ	79
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.3 ΟΙ ΔΥΝΑΤΕΣ ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΤΩΝ ΤΙΜΩΝ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΠΟΥ ΘΑ ΕΚΤΕΛΕΣΤΟΥΝ	82

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα	Σελ
ΣΧΗΜΑ 1.1 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΕΝΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ MANET	2
ΣΧΗΜΑ 2.1 ΣΧΕΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΥΠΟΣΤΗΡΙΚΤΙΚΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΣΤΟ ΘΕΜΑ ΤΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΕΡΩΤΗΣΕΩΝ ΣΕ MANETS	9
ΣΧΗΜΑ 2.2 ΦΑΣΕΙΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΕΡΩΤΗΣΕΩΝ [KOSS00]	12
ΣΧΗΜΑ 2.3 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΠΛΑΝΟΥ ΕΡΩΤΗΣΗΣ [KOSS00]	15
ΣΧΗΜΑ 2.4 QUERY SHIPPING [KOSS00]	17
ΣΧΗΜΑ 2.5 DATA SHIPPING [KOSS00]	18
ΣΧΗΜΑ 2.6 HYBRID SHIPPING [KOSS00]	18
ΣΧΗΜΑ 2.7 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΠΛΑΝΟΥ ΕΚΤΕΛΕΣΗΣ [KOSS00]	20
ΣΧΗΜΑ 2.8 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΕΝΟΣ WMN [AKWW05]	26
ΣΧΗΜΑ 2.9 ΜΟΝΤΕΛΟ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΕ ΚΙΝΗΤΟΥΣ ΚΟΜΒΟΥΣ [BARB99]	34
ΣΧΗΜΑ 2.10 ΣΤΟΙΒΑ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟΥ [KREG01]	37
ΣΧΗΜΑ 3.1 ΈΝΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΔΙΚΤΥΟΥ ΜΕ ΤΡΕΙΣ ΚΛΑΣΕΙΣ ΚΟΜΒΩΝ	44
ΣΧΗΜΑ 3.2 ΓΕΝΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΡΩΤΗΣΗΣ ΣΤΗΝ ΕΚΤΕΤΑΜΕΝΗ SQL [FOLI06]	51
ΣΧΗΜΑ 3.3 SYSTEM CATALOG	53
ΣΧΗΜΑ 3.4 ΠΕΔΙΑ ΕΓΓΡΑΦΗΣ ΠΙΝΑΚΑ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ	54
ΣΧΗΜΑ 3.5 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΕΡΩΤΗΣΗΣ ΣΕ ΔΙΚΤΥΟ MANET	57
ΣΧΗΜΑ 3.6 ΤΟ ΣΧΗΜΑ ΤΗΣ ΒΑΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΤΟΥ ΚΑΘΕ ΚΟΜΒΟΥ	57
ΣΧΗΜΑ 3.7 ΔΟΜΗ ΚΕΦΑΛΙΔΑΣ ΠΑΚΕΤΟΥ ΕΡΩΤΗΣΗΣ	64
ΣΧΗΜΑ 3.8 ΚΕΦΑΛΙΔΑ ΠΑΚΕΤΟΥ ΕΡΩΤΗΣΗΣ ΚΟΜΒΟΥ 1	65
ΣΧΗΜΑ 4.1 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΚΙΝΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΚΟΜΒΩΝ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΤΟΝ RANDOM WAYPOINT ALGORITHM ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΙΝΗΣΗΣ 1500X300 M ² (AD HOC)	83
ΣΧΗΜΑ 4.2 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΑΡΙΘΜΟΥ ΤΩΝ ΚΛΑΣΕΩΝ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΤΟΝ RANDOM WAYPOINT ALGORITHM ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΙΝΗΣΗΣ 1500X300 M ² (AD HOC)	91
ΣΧΗΜΑ 4.3 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΑΡΙΘΜΟΥ ΤΩΝ ΚΟΜΒΩΝ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΤΟΝ RANDOM WAYPOINT ALGORITHM ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΙΝΗΣΗΣ 1500X300 M ² (AD HOC)	94
ΣΧΗΜΑ 4.4 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΑΡΙΘΜΟΥ ΤΩΝ ΕΡΩΤΩΝΤΩΝ ΚΟΜΒΩΝ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΤΟΝ RANDOM WAYPOINT ALGORITHM ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΙΝΗΣΗΣ 1500X300 M ² (AD HOC)	100
ΣΧΗΜΑ 4.5 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΡΥΘΜΟΥ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΕΡΩΤΗΣΕΩΝ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΤΟΝ RANDOM WAYPOINT ALGORITHM ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΙΝΗΣΗΣ 1500X300 M ² (AD HOC)	102

ΣΧΗΜΑ 4.6 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΜΕΓΙΣΤΟΥ ΑΡΙΘΜΟΥ ΑΛΜΑΤΩΝ ΠΡΟΩΘΗΣΗΣ ΜΙΑΣ ΕΡΩΤΗΣΗΣ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΤΟΝ RANDOM WAYPOINT ALGORITHM ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΙΝΗΣΗΣ 1500X300M ² (AD HOC)	105
ΣΧΗΜΑ 4.7 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΚΙΝΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΚΟΜΒΩΝ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΤΟ RANDOM WAYPOINT MOBILITY MODEL ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΙΝΗΣΗΣ 1500X300 M ² (MESH)	108
ΣΧΗΜΑ 4.8 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΑΡΙΘΜΟΥ ΤΩΝ ΚΛΑΣΕΩΝ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΤΟ RANDOM WAYPOINT MOBILITY MODEL ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΙΝΗΣΗΣ 1500X300 M ² (MESH)	112
ΣΧΗΜΑ 4.9 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΑΡΙΘΜΟΥ ΤΩΝ ΚΟΜΒΩΝ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΤΟ RANDOM WAYPOINT MOBILITY MODEL ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΙΝΗΣΗΣ 1500X300 M ² (MESH)	116
ΣΧΗΜΑ 4.10 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΑΡΙΘΜΟΥ ΤΩΝ ΕΡΩΤΩΝΤΩΝ ΚΟΜΒΩΝ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΤΟ RANDOM WAYPOINT MOBILITY MODEL ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΙΝΗΣΗΣ 1500X300 M ² (MESH)	118
ΣΧΗΜΑ 4.11 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΡΥΘΜΟΥ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΕΡΩΤΗΣΕΩΝ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΤΟ RANDOM WAYPOINT MOBILITY MODEL ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΙΝΗΣΗΣ 1500X300 M ² (MESH)	119
ΣΧΗΜΑ 4.12 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΜΕΓΙΣΤΟΥ ΑΡΙΘΜΟΥ ΑΛΜΑΤΩΝ ΠΡΟΩΘΗΣΗΣ ΜΙΑΣ ΕΡΩΤΗΣΗΣ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΤΟ RANDOM WAYPOINT MOBILITY MODEL ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΙΝΗΣΗΣ 1500X300 M ² (MESH)	121
ΣΧΗΜΑ Π.1 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΚΙΝΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΚΟΜΒΩΝ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΤΟ ΜΑΝΗΑΤΤΑΝ MOBILITY MODEL ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΙΝΗΣΗΣ 1500X300 M ² (AD HOC)	131
ΣΧΗΜΑ Π.2 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΚΙΝΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΚΟΜΒΩΝ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΤΟ RANDOM DIRECTION MOBILITY MODEL ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΙΝΗΣΗΣ 1500X300 M ² (AD HOC)	132
ΣΧΗΜΑ Π.3 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΚΙΝΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΚΟΜΒΩΝ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΤΟ RANDOM WAYPOINT ALGORITHM ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΙΝΗΣΗΣ 700X700 M ² (AD HOC)	133
ΣΧΗΜΑ Π.4 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΚΙΝΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΚΟΜΒΩΝ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΤΟ ΜΑΝΗΑΤΤΑΝ MOBILITY MODEL ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΙΝΗΣΗΣ 700X700 M ²	134
ΣΧΗΜΑ Π.5 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΚΙΝΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΚΟΜΒΩΝ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΤΟ RANDOM DIRECTION MOBILITY MODEL ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΙΝΗΣΗΣ 700X700 M ² (AD HOC)	135
ΣΧΗΜΑ Π.6 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΑΡΙΘΜΟΥ ΤΩΝ ΚΛΑΣΕΩΝ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΤΟ ΜΑΝΗΑΤΤΑΝ MOBILITY MODEL ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΙΝΗΣΗΣ 1500X300 M ² (AD HOC)	136
ΣΧΗΜΑ Π.7 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΑΡΙΘΜΟΥ ΤΩΝ ΚΛΑΣΕΩΝ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΤΟ RANDOM DIRECTION MOBILITY MODEL ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΙΝΗΣΗΣ 1500X300 M ² (AD HOC)	137
ΣΧΗΜΑ Π.8 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΑΡΙΘΜΟΥ ΤΩΝ ΚΛΑΣΕΩΝ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΤΟ RANDOM WAYPOINT MOBILITY MODEL ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΙΝΗΣΗΣ 700X700 M ² (AD HOC)	138

ΣΧΗΜΑ Π.9	ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΑΡΙΘΜΟΥ ΤΩΝ ΚΛΑΣΕΩΝ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΤΟ ΜΑΝΗΑΤΤΑΝ MOBILITY MODEL ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΙΝΗΣΗΣ 700X700 Μ ² (AD HOC)	139
ΣΧΗΜΑ Π.10	ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΑΡΙΘΜΟΥ ΤΩΝ ΚΛΑΣΕΩΝ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΤΟ RANDOM DIRECTION MOBILITY MODEL ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΙΝΗΣΗΣ 700X700 Μ ² (AD HOC)	140
ΣΧΗΜΑ Π.11	ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΑΡΙΘΜΟΥ ΤΩΝ ΚΟΜΒΩΝ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΤΟ ΜΑΝΗΑΤΤΑΝ MOBILITY MODEL ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΙΝΗΣΗΣ 1500X300 Μ ² (AD HOC)	141
ΣΧΗΜΑ Π.12	ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΑΡΙΘΜΟΥ ΤΩΝ ΚΟΜΒΩΝ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΤΟ RANDOM DIRECTION MOBILITY MODEL ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΙΝΗΣΗΣ 1500X300 Μ ² (AD HOC)	142
ΣΧΗΜΑ Π.13	ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΑΡΙΘΜΟΥ ΤΩΝ ΚΟΜΒΩΝ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΤΟ RANDOM WAYPOINT MOBILITY MODEL ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΙΝΗΣΗΣ 700X700 Μ ² (AD HOC)	143
ΣΧΗΜΑ Π.14	ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΑΡΙΘΜΟΥ ΤΩΝ ΚΟΜΒΩΝ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΤΟ ΜΑΝΗΑΤΤΑΝ MOBILITY MODEL ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΙΝΗΣΗΣ 700X700 Μ ² (AD HOC)	144
ΣΧΗΜΑ Π.15	ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΑΡΙΘΜΟΥ ΤΩΝ ΚΟΜΒΩΝ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΤΟ RANDOM DIRECTION MOBILITY MODEL ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΙΝΗΣΗΣ 700X700 Μ ² (AD HOC)	145
ΣΧΗΜΑ Π.16	ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΑΡΙΘΜΟΥ ΤΩΝ ΕΡΩΤΩΝΤΩΝ ΚΟΜΒΩΝ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΤΟ ΜΑΝΗΑΤΤΑΝ MOBILITY MODEL ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΙΝΗΣΗΣ 1500X300 Μ ² (AD HOC)	146
ΣΧΗΜΑ Π.17	ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΑΡΙΘΜΟΥ ΤΩΝ ΕΡΩΤΩΝΤΩΝ ΚΟΜΒΩΝ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΤΟ RANDOM DIRECTION MOBILITY MODEL ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΙΝΗΣΗΣ 1500X300 Μ ² (AD HOC)	147
ΣΧΗΜΑ Π.18	ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΑΡΙΘΜΟΥ ΤΩΝ ΕΡΩΤΩΝΤΩΝ ΚΟΜΒΩΝ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΤΟ RANDOM WAYPOINT MOBILITY MODEL ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΙΝΗΣΗΣ 700X700 Μ ² (AD HOC)	148
ΣΧΗΜΑ Π.19	ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΑΡΙΘΜΟΥ ΤΩΝ ΕΡΩΤΩΝΤΩΝ ΚΟΜΒΩΝ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΤΟ ΜΑΝΗΑΤΤΑΝ MOBILITY MODEL ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΙΝΗΣΗΣ 700X700 Μ ² (AD HOC)	149
ΣΧΗΜΑ Π.20	ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΑΡΙΘΜΟΥ ΤΩΝ ΕΡΩΤΩΝΤΩΝ ΚΟΜΒΩΝ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΤΟ RANDOM DIRECTION MOBILITY MODEL ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΙΝΗΣΗΣ 700X700 Μ ² (AD HOC)	150
ΣΧΗΜΑ Π.21	ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΡΥΘΜΟΥ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΕΡΩΤΗΣΕΩΝ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΤΟ ΜΑΝΗΑΤΤΑΝ MOBILITY MODEL ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΙΝΗΣΗΣ 1500X300 Μ ² (AD HOC)	151
ΣΧΗΜΑ Π.22	ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΡΥΘΜΟΥ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΕΡΩΤΗΣΕΩΝ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΤΟ RANDOM DIRECTION MOBILITY MODEL ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΙΝΗΣΗΣ 1500X300 Μ ² (AD HOC)	152
ΣΧΗΜΑ Π.23	ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΡΥΘΜΟΥ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΕΡΩΤΗΣΕΩΝ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΤΟ RANDOM WAYPOINT MOBILITY MODEL ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΙΝΗΣΗΣ 700X700 Μ ² (AD HOC)	153
ΣΧΗΜΑ Π.24	ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΡΥΘΜΟΥ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΕΡΩΤΗΣΕΩΝ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΤΟ ΜΑΝΗΑΤΤΑΝ MOBILITY MODEL ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΙΝΗΣΗΣ 700X700 Μ ² (AD HOC)	154

ΣΧΗΜΑ Π.25 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΡΥΘΜΟΥ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΕΡΩΤΗΣΕΩΝ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΤΟ RANDOM DIRECTION MOBILITY MODEL ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΙΝΗΣΗΣ 700X700 M ² (AD HOC)	155
ΣΧΗΜΑ Π.26 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΜΕΓΙΣΤΟΥ ΑΡΙΘΜΟΥ ΑΛΜΑΤΩΝ ΠΡΟΩΘΗΣΗΣ ΜΙΑΣ ΕΡΩΤΗΣΗΣ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΤΟ ΜΑΝΗΑΤΤΑΝ MOBILITY MODEL ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΙΝΗΣΗΣ 1500X300M ² (AD HOC)	156
ΣΧΗΜΑ Π.27 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΜΕΓΙΣΤΟΥ ΑΡΙΘΜΟΥ ΑΛΜΑΤΩΝ ΠΡΟΩΘΗΣΗΣ ΜΙΑΣ ΕΡΩΤΗΣΗΣ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΤΟ RANDOM DIRECTION MOBILITY MODEL ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΙΝΗΣΗΣ 1500X300M ² (AD HOC)	157
ΣΧΗΜΑ Π.28 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΜΕΓΙΣΤΟΥ ΑΡΙΘΜΟΥ ΑΛΜΑΤΩΝ ΠΡΟΩΘΗΣΗΣ ΜΙΑΣ ΕΡΩΤΗΣΗΣ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΤΟ RANDOM WAYPOINT MOBILITY MODEL ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΙΝΗΣΗΣ 700X700M ² (AD HOC)	158
ΣΧΗΜΑ Π.29 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΜΕΓΙΣΤΟΥ ΑΡΙΘΜΟΥ ΑΛΜΑΤΩΝ ΠΡΟΩΘΗΣΗΣ ΜΙΑΣ ΕΡΩΤΗΣΗΣ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΤΟ ΜΑΝΗΑΤΤΑΝ MOBILITY MODEL ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΙΝΗΣΗΣ 700X700M ² (AD HOC)	159
ΣΧΗΜΑ Π.30 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΜΕΓΙΣΤΟΥ ΑΡΙΘΜΟΥ ΑΛΜΑΤΩΝ ΠΡΟΩΘΗΣΗΣ ΜΙΑΣ ΕΡΩΤΗΣΗΣ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΤΟ RANDOM DIRECTION MOBILITY MODEL ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΙΝΗΣΗΣ 700X700M ² (AD HOC)	160
ΣΧΗΜΑ Π.31 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΚΙΝΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΚΟΜΒΩΝ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΤΟ ΜΑΝΗΑΤΤΑΝ MOBILITY MODEL ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΙΝΗΣΗΣ 1500X300 M ² (MESH)	161
ΣΧΗΜΑ Π.32 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΚΙΝΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΚΟΜΒΩΝ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΤΟ RANDOM DIRECTION MOBILITY MODEL ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΙΝΗΣΗΣ 1500X300 M ² (MESH)	162
ΣΧΗΜΑ Π.33 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΚΙΝΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΚΟΜΒΩΝ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΤΟ RANDOM WAYPOINT MOBILITY MODEL ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΙΝΗΣΗΣ 700X700 M ² (MESH)	163
ΣΧΗΜΑ Π.34 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΚΙΝΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΚΟΜΒΩΝ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΤΟ ΜΑΝΗΑΤΤΑΝ MOBILITY MODEL ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΙΝΗΣΗΣ 700X700 M ² (MESH)	164
ΣΧΗΜΑ Π.35 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΚΙΝΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΚΟΜΒΩΝ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΤΟ RANDOM DIRECTION MOBILITY MODEL ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΙΝΗΣΗΣ 700X700 M ² (MESH)	165
ΣΧΗΜΑ Π.36 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΑΡΙΘΜΟΥ ΤΩΝ ΚΛΑΣΕΩΝ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΤΟ ΜΑΝΗΑΤΤΑΝ MOBILITY MODEL ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΙΝΗΣΗΣ 1500X300 M ² (MESH)	166
ΣΧΗΜΑ Π.37 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΑΡΙΘΜΟΥ ΤΩΝ ΚΛΑΣΕΩΝ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΤΟ RANDOM DIRECTION MOBILITY MODEL ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΙΝΗΣΗΣ 1500X300 M ² (MESH)	167
ΣΧΗΜΑ Π.38 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΑΡΙΘΜΟΥ ΤΩΝ ΚΛΑΣΕΩΝ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΤΟ RANDOM WAYPOINT MOBILITY MODEL ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΙΝΗΣΗΣ 700X700 M ² (MESH)	168
ΣΧΗΜΑ Π.39 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΑΡΙΘΜΟΥ ΤΩΝ ΚΛΑΣΕΩΝ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΤΟ ΜΑΝΗΑΤΤΑΝ MOBILITY MODEL ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΙΝΗΣΗΣ 700X700 M ² (MESH)	169

ΣΧΗΜΑ Π.40	ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΑΡΙΘΜΟΥ ΤΩΝ ΚΛΑΣΕΩΝ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΤΟ RANDOM DIRECTION MOBILITY MODEL ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΙΝΗΣΗΣ 700X700 M ² (MESH)	170
ΣΧΗΜΑ Π.41	ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΑΡΙΘΜΟΥ ΤΩΝ ΚΟΜΒΩΝ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΤΟ ΜΑΝΗΑΤΤΑΝ MOBILITY MODEL ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΙΝΗΣΗΣ 1500X300 M ² (MESH)	171
ΣΧΗΜΑ Π.42	ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΑΡΙΘΜΟΥ ΤΩΝ ΚΟΜΒΩΝ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΤΟ RANDOM DIRECTION MOBILITY MODEL ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΙΝΗΣΗΣ 1500X300 M ² (MESH)	172
ΣΧΗΜΑ Π.43	ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΑΡΙΘΜΟΥ ΤΩΝ ΚΟΜΒΩΝ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΤΟ RANDOM WAYPOINT MOBILITY MODEL ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΙΝΗΣΗΣ 700X700 M ² (MESH)	173
ΣΧΗΜΑ Π.44	ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΑΡΙΘΜΟΥ ΤΩΝ ΚΟΜΒΩΝ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΤΟ ΜΑΝΗΑΤΤΑΝ MOBILITY MODEL ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΙΝΗΣΗΣ 700X700 M ² (MESH)	174
ΣΧΗΜΑ Π.45	ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΑΡΙΘΜΟΥ ΤΩΝ ΚΟΜΒΩΝ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΤΟ RANDOM DIRECTION MOBILITY MODEL ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΙΝΗΣΗΣ 700X700 M ² (MESH)	175
ΣΧΗΜΑ Π.46	ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΑΡΙΘΜΟΥ ΤΩΝ ΕΡΩΤΩΝΤΩΝ ΚΟΜΒΩΝ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΤΟ ΜΑΝΗΑΤΤΑΝ MOBILITY MODEL ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΙΝΗΣΗΣ 1500X300 M ² (MESH)	176
ΣΧΗΜΑ Π.47	ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΑΡΙΘΜΟΥ ΤΩΝ ΕΡΩΤΩΝΤΩΝ ΚΟΜΒΩΝ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΤΟ RANDOM DIRECTION MOBILITY MODEL ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΙΝΗΣΗΣ 1500X300 M ² (MESH)	177
ΣΧΗΜΑ Π.48	ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΑΡΙΘΜΟΥ ΤΩΝ ΕΡΩΤΩΝΤΩΝ ΚΟΜΒΩΝ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΤΟ RANDOM WAYPOINT MOBILITY MODEL ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΙΝΗΣΗΣ 700X700 M ² (MESH)	178
ΣΧΗΜΑ Π.49	ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΑΡΙΘΜΟΥ ΤΩΝ ΕΡΩΤΩΝΤΩΝ ΚΟΜΒΩΝ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΤΟ ΜΑΝΗΑΤΤΑΝ MOBILITY MODEL ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΙΝΗΣΗΣ 700X700 M ² (MESH)	179
ΣΧΗΜΑ Π.50	ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΑΡΙΘΜΟΥ ΤΩΝ ΕΡΩΤΩΝΤΩΝ ΚΟΜΒΩΝ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΤΟ RANDOM DIRECTION MOBILITY MODEL ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΙΝΗΣΗΣ 700X700 M ² (MESH)	180
ΣΧΗΜΑ Π.51	ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΡΥΘΜΟΥ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΕΡΩΤΗΣΕΩΝ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΤΟ ΜΑΝΗΑΤΤΑΝ MOBILITY MODEL ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΙΝΗΣΗΣ 1500X300 M ² (MESH)	181
ΣΧΗΜΑ Π.52	ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΡΥΘΜΟΥ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΕΡΩΤΗΣΕΩΝ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΤΟ RANDOM DIRECTION MOBILITY MODEL ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΙΝΗΣΗΣ 1500X300 M ² (MESH)	182
ΣΧΗΜΑ Π.53	ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΡΥΘΜΟΥ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΕΡΩΤΗΣΕΩΝ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΤΟ RANDOM WAYPOINT MOBILITY MODEL ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΙΝΗΣΗΣ 700X700 M ² (MESH)	183
ΣΧΗΜΑ Π.54	ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΡΥΘΜΟΥ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΕΡΩΤΗΣΕΩΝ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΤΟ ΜΑΝΗΑΤΤΑΝ MOBILITY MODEL ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΙΝΗΣΗΣ 700X700 M ² (MESH)	184
ΣΧΗΜΑ Π.55	ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΡΥΘΜΟΥ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΕΡΩΤΗΣΕΩΝ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΤΟ RANDOM DIRECTION MOBILITY MODEL ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΙΝΗΣΗΣ 700X700 M ² (MESH)	185

ΣΧΗΜΑ Π.56 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΜΕΓΙΣΤΟΥ ΑΡΙΘΜΟΥ ΑΛΜΑΤΩΝ ΠΡΟΩΘΗΣΗΣ ΜΙΑΣ ΕΡΩΤΗΣΗΣ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΤΟ ΜΑΝΗΑΤΤΑΝ MOBILITY MODEL ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΙΝΗΣΗΣ 1500X300 Μ ² (MESH)	186
ΣΧΗΜΑ Π.57 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΜΕΓΙΣΤΟΥ ΑΡΙΘΜΟΥ ΑΛΜΑΤΩΝ ΠΡΟΩΘΗΣΗΣ ΜΙΑΣ ΕΡΩΤΗΣΗΣ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΤΟ RANDOM DIRECTION MOBILITY MODEL ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΙΝΗΣΗΣ 1500X300 Μ ² (MESH)	187
ΣΧΗΜΑ Π.58 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΜΕΓΙΣΤΟΥ ΑΡΙΘΜΟΥ ΑΛΜΑΤΩΝ ΠΡΟΩΘΗΣΗΣ ΜΙΑΣ ΕΡΩΤΗΣΗΣ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΤΟ RANDOM WAYPOINT MOBILITY MODEL ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΙΝΗΣΗΣ 700X700 Μ ² (MESH)	188
ΣΧΗΜΑ Π.59 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΜΕΓΙΣΤΟΥ ΑΡΙΘΜΟΥ ΑΛΜΑΤΩΝ ΠΡΟΩΘΗΣΗΣ ΜΙΑΣ ΕΡΩΤΗΣΗΣ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΤΟ ΜΑΝΗΑΤΤΑΝ MOBILITY MODEL ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΙΝΗΣΗΣ 700X700 Μ ² (MESH)	189
ΣΧΗΜΑ Π.60 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΜΕΓΙΣΤΟΥ ΑΡΙΘΜΟΥ ΑΛΜΑΤΩΝ ΠΡΟΩΘΗΣΗΣ ΜΙΑΣ ΕΡΩΤΗΣΗΣ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΤΟ RANDOM DIRECTION MOBILITY MODEL ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΙΝΗΣΗΣ 700X700 Μ ² (MESH)	190

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ευθυμία Ρόβα του Χρήστου και της Άννας. MSc, Τμήμα Πληροφορικής, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, Απρίλιος, 2007. Δρομολόγηση σε Ασύρματα Κινητά Δίκτυα για την Εξυπηρέτηση Ερωτήσεων σε Βάσεις Δεδομένων. Επιβλέποντας: Παναγιώτης Βασιλειάδης.

Η ραγδαία εξέλιξη της ασύρματης επικοινωνίας αποτέλεσε έναν από τους σημαντικούς παράγοντες της ανάπτυξης των ασύρματων δικτύων. Από τα βασικότερα θέματα που έχουν συζητηθεί σε σχέση με τα τελευταία είναι η ανάπτυξη data-centric εφαρμογών. Για την πραγματοποίηση μιας τέτοιας εφαρμογής είναι απαραίτητη η σωστή συνεργασία μεταξύ των επιπέδων δρομολόγησης και εφαρμογών. Στη συγκεκριμένη εργασία προτείνεται ένας μηχανισμός δρομολόγησης και μεταφοράς δεδομένων για τα ασύρματα μεταβλητά δίκτυα, ο οποίος ενσωματώνει στοιχεία από το επίπεδο εφαρμογών, ώστε να υποστηρίζονται τόσο η παραδοσιακή, όσο και η data-centric επικοινωνία μεταξύ των μελών ενός δικτύου, ενώ ταυτόχρονα βελτιώνει τη διαχείριση των περιορισμένων πόρων του δικτύου. Μεταξύ της cross-layer τεχνικής και της εξαντλητικής μεθόδου της πλημμύρας, παρουσιάζεται ένας ενδιάμεσος μηχανισμός, ο οποίος αντιμετωπίζει το πρόβλημα των άσκοπων εκπομπών που προκαλεί η παραδοσιακή μέθοδος της πλημμύρας βελτιώνοντας αρκετά τη δρομολόγηση των ερωτήσεων. Ο προτεινόμενος cross-layer μηχανισμός αξιολογήθηκε μέσα από μια σειρά προσομοιώσεων, με ορισμένες παραμέτρους, που εκτελέστηκαν σε δύο είδη ασύρματων δικτύων, τα ad hoc και τα mesh. Επιπλέον, εκτιμώνται μετρικές για την αποτελεσματικότητα, την απόδοση σε σχέση με τη χρονική συμπεριφορά του δικτύου και την επιβάρυνση που επιφέρει στο δίκτυο η προτεινόμενη μεθοδολογία, οι οποίες αποδεικνύουν την ικανότητα του μηχανισμού να εφαρμοστεί σε περιβάλλοντα με ασύρματους και κινούμενους χρήστες. Επίσης, αποδεικνύεται ότι η απόδοση της μεθόδου στα mesh δίκτυα δεν είναι τόσο ικανοποιητική όσο εκείνη στα ad hoc δίκτυα, για το λόγο ότι όλα τα αιτήματα-ερωτήσεις συγκεντρώνονται αρχικά πριν την προώθησή τους σε έναν κεντρικό κόμβο προκαλώντας, έτσι, μεγάλη επιβάρυνση στο δίκτυο.

EXTENDED ABSTRACT IN ENGLISH

Rova, Efthymia, MSc. Computer Science Department, University of Ioannina, Greece. April, 2007. Cross-layer Networking for Peer Databases over Wireless Ad-Hoc Communities. Thesis Supervisor: Panos Vassiliadis.

The rapid evolution of the wireless technology has been one of the crucial factors in the development of the wireless networks. Expanding data-centric applications to wireless ad-hoc networks has become a hot issue. It is necessary that the routing layer must cooperate effectively with the application layer in order for such an application to be developed. In this essay a new routing and transport mechanism for wireless ad-hoc networks is suggested, that incorporates application layer specifics in order to support both traditional and data-centric communications and at the same time optimizes the management of scarce network resources. Between the cross-layer technique and the exhaustive method of flooding, an intermediate mechanism is presented, that deals with the problem of useless transmissions caused by the traditional method of flooding, thus considerably improving the routing of queries. The proposed cross-layer technique has been evaluated through extended simulations with certain parameters, executed in two types of wireless networks, namely ad hoc and mesh. Furthermore, metrics are estimated concerning the effectiveness, efficiency and overhead caused by the proposed method to the network. These metrics prove the ability of the proposed method to be applied to environments with wireless and mobile nodes. Moreover, it is proved that the efficiency of the method to mesh networks is not as satisfactory as that to ad hoc networks, due to the fact that all the queries are primarily gathered to a central node before they are forwarded to the other nodes of the network, thus causing a considerable overhead to the network.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Εισαγωγή

1.2 Δομή της Διατριβής

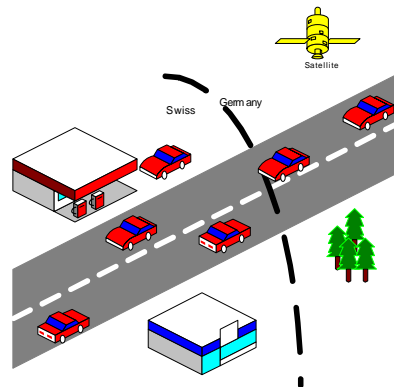
1.1. Εισαγωγή

Στη δεκαετία που διανύουμε οι υπολογιστές έχουν γίνει αναπόσπαστο μέρος της ζωής μας. Οι αυξανόμενες ανάγκες για επικοινωνία μεταξύ των υπολογιστών έχουν οδηγήσει στη ραγδαία ανάπτυξη των δικτύων υπολογιστών. Αρχικά τα δίκτυα χαρακτηρίζονταν από σταθερή δικτυακή υποδομή και την ύπαρξη δρομολογητών ή την ύπαρξη κάποιου κεντρικού διαχειριστή. Αργότερα, όμως, με την εμφάνιση των φορητών συσκευών και την επιθυμία των χρηστών να επικοινωνούν και σε περιπτώσεις όπου δεν υπάρχει σταθερή δικτυακή υποδομή, όπως μέσα σε ένα αυτοκίνητο ή αεροπλάνο, γεννήθηκε η ανάγκη για την κατασκευή ασύρματων κινητών δικτύων.

Μια μεγάλη κατηγορία ασύρματων κινητών δικτύων που αναπτύσσεται τα τελευταία χρόνια είναι τα *mobile ad hoc networks* (MANETs). Τα MANETs αποτελούνται από ένα σύνολο από ασύρματους κινητούς κόμβους που σχηματίζουν δυναμικά ένα προσωρινό δίκτυο χωρίς τη χρήση υπάρχουσας δικτυακής υποδομής ή κεντρικού διαχειριστή. Αυτό σημαίνει ότι ένα δίκτυο MANET δεν είναι σταθερό και οι κόμβοι του μπορούν οποιαδήποτε στιγμή να εισέρχονται και να εξέρχονται από αυτό. Πρόκειται, δηλαδή, για ασύρματα δίκτυα που η βασική τους ιδιότητα είναι η νομαδική τους συμπεριφορά. Η ιδιαίτερη φύση των δικτύων αυτών, τα καθιστά χρήσιμα για μια πληθώρα εφαρμογών.

Πριν παρουσιαστούν τα χαρακτηριστικά της προτεινόμενης εφαρμογής πρέπει να καταλάβουμε καλύτερα τη φύση ενός δικτύου MANET με ένα παράδειγμα. Θεωρείστε τα οχήματα που ταξιδεύουν στον εθνικό δρόμο Γερμανίας-Ελβετίας, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.1. Κάθε όχημα αποτελεί μία υπολογιστική μονάδα που κινείται κατά μήκος της εθνικής οδού και αλλάζει συνεχώς θέση, σταματά και ξεκινά. Επιπλέον κάθε όχημα διατηρεί πληροφορίες που μεταβάλλονται διαρκώς και αφορούν στη θέση του σε σχέση με τα άλλα οχήματα, την ταχύτητά του, καθώς επίσης και πληροφορίες για άλλα είδη μονάδων που βρίσκονται κατά μήκος του δρόμου, όπως είναι πρατήρια βενζίνης και εστιατόρια. Οι πληροφορίες αυτές αποθηκεύονται σε πίνακες. Ειδικοί μηχανισμοί που περιλαμβάνει κάθε όχημα επιτρέπουν την υποβολή ερωτήσεων μεταξύ τους. Έτσι, για παράδειγμα, ένα όχημα μπορεί να ρωτήσει:

- τα προπορευόμενα οχήματα σε μια συγκεκριμένη απόσταση ποια είναι τα κοντινότερα εστιατόρια ή πρατήρια βενζίνης.
- και να πληροφορηθεί μόνο από τα οχήματα που είναι ευρωπαϊκού τύπου για την ταχύτητά τους.
- τα οχήματα που ανήκουν σε μία συγκεκριμένη κλάση, για παράδειγμα την κλάση των φορτηγών, και απέχουν το πολύ ένα χιλιόμετρο μακριά από αυτό αν έχει διακοπή η κυκλοφορία λόγω κάποιου ατυχήματος.



Σχήμα 1.1 Παράδειγμα ενός Συστήματος MANET

Στο παραπάνω παράδειγμα τα οχήματα αποτελούν τους κινητούς κόμβους ενός τέτοιου δικτύου τα οποία σε οποιαδήποτε στιγμή μπορούν να συμμετέχουν και να αποχωρούν από το δίκτυο. Αυτό που χαρακτηρίζει τα δίκτυα MANETs είναι η

νομαδική συμπεριφορά των κόμβων τους, όπως προκύπτει και από το προηγούμενο παράδειγμα, και ο τρόπος συνεργασίας τους. Είναι προφανές ότι οι απαιτήσεις της εφαρμογής του παραδείγματος απαιτούν την ύπαρξη μηχανισμών που επιτρέπουν α) τον εντοπισμό και την επικοινωνία των κόμβων του δικτύου μεταξύ τους και β) την απάντηση ερωτήσεων που θέτουν οι χρήστες. Με άλλα λόγια, θα πρέπει να υπάρχουν μηχανισμοί που θα αντιμετωπίζουν το πρόβλημα της *δρομολόγησης* και της *επεξεργασίας των ερωτήσεων* που θέτουν μεταξύ τους, αφού δεν είναι δυνατόν κάθε στιγμή καθένας κόμβος-αυτοκίνητο να έχει στην εμβέλειά του όλα τα υπόλοιπα. Είναι κατανοητό ότι στο παράδειγμα του Σχήματος 1.1, αντικειμενικός στόχος είναι η εύρεση δεδομένων και όχι συγκεκριμένων κόμβων. Για το λόγο αυτό κρίνεται σκόπιμη η ανάπτυξη και η εφαρμογή ενός μηχανισμού που θα εντοπίζει δεδομένα που υπάρχουν στους κόμβους (data-centric επικοινωνία). Ο λόγος γίνεται για μία δικτυακή εφαρμογή που επικεντρώνεται στην επεξεργασία ερωτήσεων σε δεδομένα διασπαρμένα στο δίκτυο.

Αυτού του είδους οι εφαρμογές αποτέλεσαν ένα από τα σημαντικότερα θέματα κατά την εξάπλωση των δικτύων και εισήγαγαν ένα νέο παράδειγμα επικοινωνίας. Σε αντίθεση με την ένα - προς - ένα επικοινωνία μεταξύ των κόμβων, η οποία στηρίζεται στην ταυτότητά τους, οι κόμβοι γενικά επικοινωνούν σε ομάδες οι οποίες δημιουργούνται βάσει των δεδομένων που διαθέτουν οι κόμβοι και επιθυμούν να αποκτούν κατά διαστήματα (data-centric επικοινωνία). Παράδειγμα μιας τέτοιας εφαρμογής αποτελεί ο διαμοιρασμός αρχείων στα p2p δίκτυα. Σε αυτά οι χρήστες επικοινωνούν συχνά στηριζόμενοι στο είδος των δεδομένων που επιθυμούν. Η επικοινωνία αυτή περιλαμβάνει δύο φάσεις. Αρχικά, ένας κόμβος πρέπει να επικοινωνήσει ταυτόχρονα με πολλούς άλλους κόμβους, ώστε να ανακαλύψει τον κόμβο που διαθέτει τα ζητούμενα δεδομένα και στη δεύτερη φάση πραγματοποιείται μία παραδοσιακή ένα - προς - ένα επικοινωνία μεταξύ των δύο κόμβων. Άλλο παράδειγμα data-centric επικοινωνίας αποτελεί η λειτουργία των δικτύων αισθητήρων (sensor networks) [AkY05].

Είναι προφανές ότι για την υλοποίηση των παραπάνω εφαρμογών απαιτείται η οργάνωση των κόμβων στο επίπεδο εφαρμογών. Επομένως, το κλειδί για την υλοποίηση μιας data-centric εφαρμογής είναι η ενσωμάτωση χαρακτηριστικών από το

επίπεδο εφαρμογών στις συναρτήσεις του επιπέδου δρομολόγησης. Παρόλα αυτά, η ιδέα αυτή δεν είναι τόσο εύκολο να πραγματοποιηθεί σε υπάρχουσες δικτυακές υποδομές, οι οποίες έχουν αναπτυχθεί μέχρι τώρα αμελώντας την εξάρτησή τους από το επίπεδο εφαρμογών. Μια προσωρινή λύση δόθηκε με την εισαγωγή των overlays στα δίκτυα. Έτσι, μέσω αυτών πραγματοποιείται μια νέα δικτύωση στο επίπεδο εφαρμογών, ενώ οι παραδοσιακές υπηρεσίες δικτύου αναλαμβάνουν την παραδοσιακή επικοινωνία μεταξύ ζευγών κόμβων. Στα overlay δίκτυα στηρίζεται και ο διαμοιρασμός αρχείων στα p2p δίκτυα. Παρόλο που η ιδέα των overlay δικτύων φαίνεται αρκετά ελκυστική για τα ενσύρματα δίκτυα, είναι δύσκολο να εφαρμοστεί στα ασύρματα δίκτυα για τους εξής λόγους:

- οι πόροι των δικτύων αυτών είναι περιορισμένοι.
- το είδος των ερωτήσεων που επιθυμούν να θέσουν οι κόμβοι στο δίκτυο του παραδείγματος που περιγράφηκε στην αρχή της ενότητας δεν είναι δυνατόν να πραγματοποιηθεί με τις υπάρχουσες τεχνολογίες. Πιο αναλυτικά, η αναζήτηση πληροφοριών σε ένα p2p δίκτυο έγκειται στον εντοπισμό ενός κόμβου που διαθέτει τα κατάλληλα δεδομένα και όχι στη δρομολόγηση της ερώτησης σε όσο γίνεται περισσότερους κόμβους ανήκουν στην ίδια θεματική ενότητα ανάλογα με τα δεδομένα τους, ώστε να συγκεντρωθούν όσο περισσότερες πληροφορίες είναι δυνατό, γεγονός που επιθυμούμε να ισχύει στην εφαρμογή μας.

Επιπλέον, το γεγονός των περιορισμένων πόρων που διαθέτουν τα ασύρματα δίκτυα αποτελεί επίσης πρόβλημα για τα υπάρχοντα πρωτόκολλα δρομολόγησης που το αντιμετωπίζουν με μη αποδοτικό τρόπο. Ο λόγος αφορά στις υπηρεσίες επικοινωνίας που προσφέρουν τα υπάρχοντα πρωτόκολλα για ασύρματα κινητά δίκτυα. Μια λύση που στηρίζεται στα παραδοσιακά πρωτόκολλα δρομολόγησης είναι η ένα – προς – ένα επικοινωνία για τη μετάδοση μιας ερώτησης προς τους επιθυμητούς κόμβους, γεγονός που οδηγεί σε άσκοπη κατανάλωση των περιορισμένων πόρων του δικτύου. Μία πιο πολύπλοκη λύση θα μπορούσε να είναι η δρομολόγηση της πολλαπλής διανομής που εφαρμόζουν τα πρωτόκολλα δρομολόγησης αυτού του είδους [JeJo01]. Όμως, η κατασκευή και η διατήρηση των δέντρων στα οποία στηρίζεται η συγκεκριμένη διαδικασία οδηγεί στο ίδιο πρόβλημα με την προηγούμενη περίπτωση. Τέλος, η πιο συνηθισμένη μέθοδος δρομολόγησης, η μέθοδος της πλημμύρας, ενώ

προωθεί μια ερώτηση σε όλους τους κατάλληλους κόμβους, φαίνεται να μην αντιμετωπίζει αποτελεσματικά το πρόβλημα της επιβάρυνσης του δικτύου που προκαλούν και οι άλλες δύο μέθοδοι που αναφέρθηκαν προηγούμενα.

Από την ανάλυση των παραπάνω προβλημάτων που εμφανίζονται στα ασύρματα κινητά δίκτυα κατά την εφαρμογή των υπάρχοντων τεχνολογιών προκύπτει ότι σκοπός της εργασίας είναι η εύρεση ενός μηχανισμού δρομολόγησης των ερωτήσεων, ώστε να επιτυγχάνονται ταυτόχρονα η απόκτηση όσο γίνεται περισσότερων πληροφοριών διαθέτει το δίκτυο και ικανοποιούν την ερώτηση, η ελαχιστοποίηση των εκπομπών και κατά συνέπεια η εξοικονόμηση πόρων του δικτύου, η ελαχιστοποίηση του μέσου χρόνου που χρειάζονται τα πακέτα για να μεταδοθούν στο δίκτυο, ως αποτέλεσμα του μικρότερου φόρτου του δικτύου, και η ελαχιστοποίηση του ποσοστού των πακέτων που απορρίπτονται από το δίκτυο λόγω συμφόρησης. Όσον αφορά στο μηχανισμό μεταφοράς των απαντήσεων, τα παραδοσιακά πρωτόκολλα δρομολόγησης αντιμετωπίζουν ήδη το συγκεκριμένο πρόβλημα εφαρμόζοντας μία ένα – προς – ένα επικοινωνία μεταξύ των κόμβων. Σκοπός, επομένως, δεν είναι η δημιουργία ενός νέου πρωτοκόλλου δρομολόγησης αλλά η ενσωμάτωση του προτεινόμενου μηχανισμού στα υπάρχοντα πρωτόκολλα και η ομαλή λειτουργία του με άλλες εφαρμογές. Έτσι, αρκεί μόνο η σχεδίαση και η υλοποίηση της δρομολόγησης της ερώτησης σύμφωνα με τις παραπάνω αρχές.

Συγκεφαλαιώνοντας τα παραπάνω, το πρόβλημα που μας απασχολεί στην εργασία αυτή είναι η *εύρεση ενός μηχανισμού δρομολόγησης των ερωτήσεων* ο οποίος οφείλει να πληροί τους παρακάτω περιορισμούς:

- Απαιτήση είναι η αναζήτηση και η εύρεση όσο το δυνατόν περισσότερων κόμβων που μπορούν να απαντήσουν στην ερώτηση, και κατά συνέπεια η συγκέντρωση όσο περισσότερων πληροφοριών γίνεται από το δίκτυο.
- Η διαδικασία προώθησης μιας ερώτησης να ελαχιστοποιεί το φόρτο του συστήματος και να εξοικονομεί πόρους.
- Τέλος σημαντικός σχεδιαστικός παράγοντας είναι η συμβατότητα της προτεινόμενης λύσης με όλα τα υπάρχοντα πρωτόκολλα δρομολόγησης.

Στην εργασία αυτή ασχολούμαστε με την ανάπτυξη ενός μηχανισμού δρομολόγησης, ο οποίος εφαρμόζεται σε ένα περιβάλλον με κινητούς κόμβους οι οποίοι επικοινωνούν ασύρματα μεταξύ τους, με σκοπό να ικανοποιήσουμε τις απαιτήσεις που αναφέρθηκαν παραπάνω. Η πρότασή μας στηρίζεται σε μια cross-layer εφαρμογή. Το βασικό σενάριο στο οποίο αναπτύσσεται η εργασία περιλαμβάνει τα εξής. Κόμβοι κινούνται σε μία ορισμένη περιοχή και διατηρούν πληροφορίες οι οποίες οργανώνονται σε μία τοπική βάση δεδομένων. Οι κόμβοι του δικτύου οργανώνονται επίσης, σε ομάδες οι οποίες ονομάζονται *κλάσεις*. Όλοι οι κόμβοι μιας κλάσης προσφέρουν τις ίδιες υπηρεσίες ή δεδομένα που ανήκουν στην ίδια θεματική ενότητα. Συνεπώς, εφόσον είναι γνωστή η κλάση στην οποία ανήκει ένας κόμβος είναι εύκολο για τους άλλους κόμβους να θέσουν ερωτήσεις σε αυτόν. Έτσι, βασιζόμενη στον τύπο της ζητούμενης πληροφορίας, μια ερώτηση μπορεί να αφορά σε μία συγκεκριμένη κλάση κόμβων, σε περισσότερες από μία κλάσεις ή μπορεί να αφορά γενικά σε όλους τους κόμβους του δικτύου ανεξάρτητα από την κλάση στην οποία ανήκουν. Επιπλέον, οι κόμβοι έχουν την ικανότητα του περιορισμού των αλμάτων προώθησης μιας ερώτησης.

Ο μηχανισμός δρομολόγησης που προτείνουμε και στηρίζεται σε μία cross-layer τεχνική εκμεταλλεύεται την πληροφορία της οργάνωσης των κόμβων σε κλάσεις και γενικά την πληροφορία που φέρει το επίπεδο εφαρμογών. Συγκεκριμένα, την επιπρόσθετη πληροφορία του επιπέδου εφαρμογών την ενσωματώνουμε στο πρωτόκολλο δρομολόγησης, ώστε οι αποφάσεις που παίρνει αυτό για την προώθηση των ερωτήσεων να λαμβάνονται με τη βοήθεια αυτής της πληροφορίας. Για το λόγο αυτό επεκτείνουμε τους πίνακες δρομολόγησης που διατηρεί κάθε κόμβος και δημιουργεί το πρωτόκολλο δρομολόγησης προσθέτοντας πεδία που περιέχουν ως τιμές την επιπρόσθετη πληροφορία. Εδώ πρέπει να γίνει σαφές ότι από τα γνωστά πρωτόκολλα δρομολόγησης το ενδιαφέρον μας εστιάζεται στα πρωτόκολλα περιοδικής ανανέωσης (proactive) λόγω του ιδιαίτερου χαρακτήρα του προτεινόμενου μηχανισμού. Αυτό σημαίνει ότι την επιπρόσθετη πληροφορία που εισάγουμε στο πρωτόκολλο δρομολόγησης αναλαμβάνει το ίδιο να τη γνωστοποιήσει στους κόμβους του δικτύου μέσω των μηνυμάτων δρομολόγησης (updates) που δημιουργεί και προωθεί το ίδιο σε τακτά χρονικά διαστήματα. Επιπλέον, μεταξύ της cross-layer τεχνικής και της εξαντλητικής μεθόδου της πλημμύρας, υλοποιούμε έναν ενδιάμεσο

μηχανισμό, ο οποίος αντιμετωπίζει το πρόβλημα των άσκοπων εκπομπών που προκαλεί η παραδοσιακή μέθοδος της πλημμύρας βελτιώνοντας αρκετά τη δρομολόγηση των ερωτήσεων.

Για την αξιολόγηση του συστήματός μας ορίζουμε μετρικές που εκτιμούν την αποτελεσματικότητα, την απόδοσή του σε σχέση με τη χρονική του συμπεριφορά και την επιβάρυνση που επιφέρει στο δίκτυο η προτεινόμενη μεθοδολογία σε σχέση με τις άλλες δύο μεθόδους δρομολόγησης. Για το λόγο αυτό πραγματοποιείται μια σειρά πειραμάτων. Τα τελευταία εκτελούνται σε δύο διαφορετικά είδη δικτύων, τα ad hoc και τα mesh δίκτυα. Το δεύτερο είδος δικτύων αποτελεί μια συναφή με τα MANETs κατηγορία δικτύων που εξυπηρετεί παρόμοιους σκοπούς. Στόχος είναι να αποδειχτεί η καταλληλότητα της προτεινόμενης cross-layer τεχνικής και στα δύο τελευταία είδη δικτύων. Τέλος, χρησιμοποιούνται τρεις αλγόριθμοι για την κίνηση των κόμβων και δύο διαφορετικές περιοχές κίνησης.

Συνοπτικά η συγκεκριμένη εργασία:

- Προτείνει τη σχεδίαση ενός μηχανισμού δρομολόγησης, που βασίζεται σε μία cross-layer τεχνική, και είναι κατάλληλος για τη λειτουργία μιας εφαρμογής βάσεων δεδομένων στους κόμβους ενός MANET.
- Ορίζει ένα μοντέλο κινητών κόμβων στο οποίο εφαρμόζεται η προτεινόμενη λύση.
- Αξιολογεί το σύστημα με την εκτέλεση σειράς πειραμάτων.

1.2. Δομή της Διατριβής

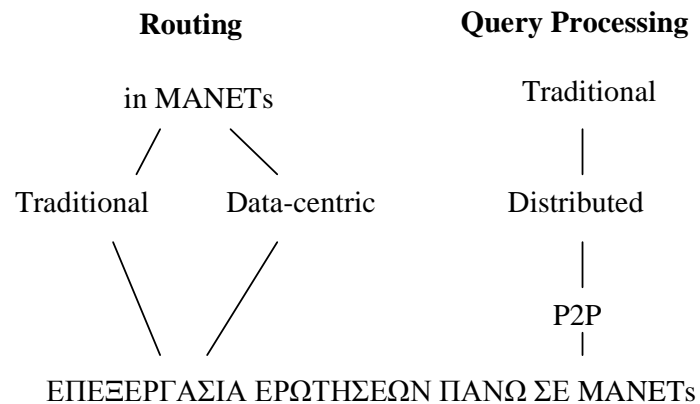
Τα υπόλοιπα κεφάλαια οργανώνονται ως εξής. Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι εργασίες που σχετίζονται με το αντικείμενο αυτής της εργασίας. Στο τρίτο κεφάλαιο, περιγράφεται το μοντέλο του συστήματος που θα αναπτύξουμε και παρουσιάζεται ένα απλό παράδειγμα δικτύου. Στη συνέχεια, ακολουθεί ένας τυπικός ορισμός του προβλήματος που μας απασχολεί, και τέλος παρουσιάζεται η προτεινόμενη λύση. Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζεται το πρωτόκολλο δρομολόγησης που θα χρησιμοποιηθεί και η μεθοδολογία που θα εφαρμοστεί για την προσομοίωση του συστήματός μας. Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάζονται οι

παράμετροι του συστήματος και οι μετρικές που θα χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση της απόδοσής του. Στη συνέχεια, περιγράφονται τα διαφορετικά πειράματα με τις τιμές που ανατέθηκαν στις παραμέτρους του προβλήματος για να αξιολογήσουμε το σύστημά μας και τέλος παρουσιάζονται και αναλύονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης. Τέλος, στο πέμπτο κεφάλαιο ανακεφαλαιώνουμε και παραθέτουμε κάποιες ιδέες για μελλοντικές επεκτάσεις της εργασίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΣΧΕΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ

-
- 2.1 Επεξεργασία Ερωτήσεων
 - 2.2 Δρομολόγηση
 - 2.3 Κινητοί Υπολογιστές και Βάσεις Δεδομένων
 - 2.4 Υπηρεσίες Διαδικτύου
 - 2.5 Επεξεργασία Ερωτήσεων πάνω σε MANETs
-

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφονται σχετικές εργασίες που αφορούν στα δίκτυα και σε οποιοδήποτε ρόλο έχουν σε αυτά οι κόμβοι τους, καθώς επίσης και το μοντέλο και τα εργαλεία που θα χρησιμοποιηθούν για την ολοκλήρωση της συγκεκριμένης εργασίας.



Σχήμα 2.1 Σχετικές και Υποστηρικτικές Τεχνολογίες στο Θέμα της Επεξεργασίας Ερωτήσεων σε MANETs

Όπως έγινε κατανοητό στο κεφάλαιο 1, δύο είναι τα βασικά ζητήματα που θα μας απασχολήσουν στην υλοποίηση του συστήματός μας και αυτά είναι: η επεξεργασία των ερωτήσεων που θέτουν μεταξύ τους οι κόμβοι και η δρομολόγηση των ερωτήσεων αυτών.

Όσον αφορά στο πρώτο ζήτημα, την αποθήκευση δεδομένων και στη συνέχεια την επεξεργασία τους, αρχικά έχουμε τα παραδοσιακά κεντρικά συστήματα βάσεων δεδομένων, τα οποία περιλαμβάνουν τοπικούς πίνακες. Οι ερωτήσεις που διατυπώνονται από ένα χρήστη προωθούνται στον επεξεργαστή ερωτημάτων του DBMS, ο οποίος μετά από επεξεργασία επιστρέφει την απάντηση. Αργότερα αναπτύχθηκαν τα κατακευματισμένα συστήματα βάσεων δεδομένων σύμφωνα με τα οποία τα δεδομένα ήταν αποθηκευμένα σε διαφορετικές τοποθεσίες. Στην περίπτωση αυτή, είναι προφανές, ότι η επεξεργασία των ερωτήσεων απαιτούσε αρχικά τη συγκέντρωση των ζητούμενων δεδομένων από τις τοποθεσίες όπου ήταν αποθηκευμένα. Το σημαντικό ερώτημα που πρέπει να απαντηθεί σε ένα τέτοιο σύστημα είναι σε ποιες τοποθεσίες θα επιμεριστούν τμήματα της επεξεργασίας της ερώτησης και τι είδους δεδομένα θα διακινηθούν ανάμεσα στις τοποθεσίες αυτές. Έτσι, αναφέρονται αρκετοί εναλλακτικοί τρόποι εκτέλεσης ερωτήσεων σε ένα κατακευματισμένο σύστημα βάσεων δεδομένων, όπως είναι η ομαδοποίηση εγγράφων. Στη συνέχεια, ένα άλλο σύστημα που έκανε την εμφάνισή του και περιελάμβανε βάσεις δεδομένων ήταν τα P2P δίκτυα. Ο όρος αφορά στα κατακευματισμένα δίκτυα όπου κάθε κόμβος (peer) είναι αυτόνομος, έχει ισότιμα δικαιώματα χρήσης των πόρων με τους υπόλοιπους και συμμετέχει στο δίκτυο προσφέροντας τα δεδομένα του. Πρόκειται για νοητά δίκτυα όπου οι κόμβοι τους οργανώνονται και συνδέονται με βάση τις ιδιότητές τους και όχι ανάλογα με την απόστασή τους στο δίκτυο, δηλαδή ένας κόμβος δε συνδέεται αποκλειστικά με εκείνους τους κόμβους που απέχουν λιγότερα βήματα από αυτόν αλλά με εκείνους, για παράδειγμα, που διαθέτουν δεδομένα που ανήκουν στην ίδια θεματική ενότητα με τα δικά του. Τα τελευταία διακρίνονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες, τα κεντρικοποιημένα και τα μη κεντρικοποιημένα. Επιπλέον τα P2P δίκτυα, ανάλογα με τη δομή των κόμβων στο δίκτυο χωρίζονται στα δομημένα και μη δομημένα. *Η επεξεργασία μιας ερώτησης σε ένα P2P δίκτυο αφορά στην αναζήτηση ενός συγκεκριμένου δεδομένου.* Έτσι, αναπτύχθηκαν διάφοροι μηχανισμοί αναζήτησης δεδομένων που εξαρτώνται από την οργάνωση του δικτύου. Τέλος, για την επεξεργασία των ερωτήσεων πάνω σε MANETs, με την οποία ασχολείται η συγκεκριμένη εργασία, ήταν απαραίτητη η επέκταση της γνωστής γλώσσας SQL, που χρησιμοποιείται για τη δημιουργία ερωτήσεων σε βάσεις δεδομένων.

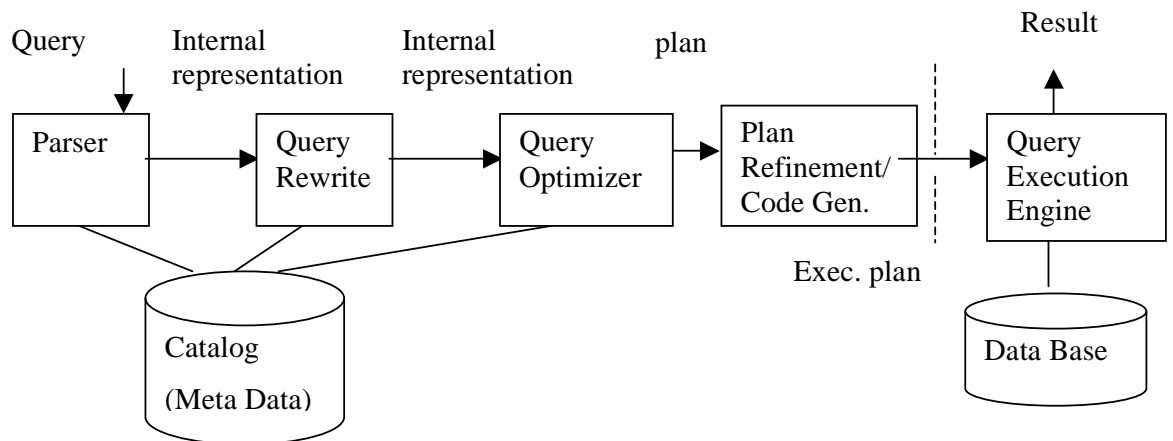
Τα MANETs, στις βασικές αρχές των οποίων στηρίζεται και η υλοποίηση του συστήματός μας, αποτελούν μία ειδική κατηγορία και ένα νέο είδος δικτύων, τα ασύρματα δίκτυα κινητών κόμβων. Βασική ιδιότητα αυτών των δικτύων είναι η νομαδική τους συμπεριφορά και το γεγονός ότι οποιαδήποτε στιγμή οι κόμβοι μπορούν να εισέρχονται, να εξέρχονται, καθώς και να κινούνται μεταβάλλοντας την τοπολογία του δικτύου. Τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των MANETs που αναφέρθηκαν παραπάνω οδήγησαν στην ανάπτυξη νέων αλγορίθμων δρομολόγησης, επειδή οι παλαιότεροι αλγόριθμοι που έχουν εφαρμοστεί σε σταθερά ενσύρματα δίκτυα δεν έχουν καλή ιδιότητα κλιμάκωσης και έχουν προβλήματα σύγκλισης. Πιο αναλυτικά, δύο μεγάλες ομάδες αλγορίθμων που εφαρμόζονται παραδοσιακά στη δρομολόγηση των πακέτων είναι η δρομολόγηση κατάστασης συνδέσμων (link state) και η δρομολόγηση με διανύσματα απόστασης (distance vector). Στους τελευταίους στηρίζονται οι τρεις κατηγορίες πρωτοκόλλων: περιοδικά (proactive/table-driven), κατ' αίτηση (on-demand/reactive) και υβριδικά (hybrid) που σχεδιάστηκαν ώστε να εφαρμόζονται στα ασύρματα κινητά δίκτυα λαμβάνοντας υπόψη τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους.

Όλοι οι αλγόριθμοι που αναφέρθηκαν προσφέρουν επικοινωνία μεταξύ δύο κόμβων, ωστόσο δεν μπορούν να υποστηρίξουν μία data-centric εφαρμογή. Πρόκειται για ένα από τα πιο ελκυστικά θέματα, καθώς η ανάπτυξη των ασύρματων κινητών δικτύων σημείωνε προόδους με την πάροδο των χρόνων. Στην ανάπτυξη μιας τέτοιας εφαρμογής αφορά το θέμα της συγκεκριμένης εργασίας. Τα παραδοσιακά πρωτόκολλα δρομολόγησης μπορούν να αντιμετωπίσουν μόνο το πρόβλημα της εύρεσης μιας διαδρομής προς ένα συγκεκριμένο προορισμό-κόμβο. Έτσι, η περίπτωση μας κατά την οποία απαιτούμε η δρομολόγηση των ερωτήσεων να πραγματοποιείται με βάση τα ζητούμενα δεδομένα δεν είναι δυνατόν να αντιμετωπιστεί από τα υπάρχοντα πρωτόκολλα δρομολόγησης. Έτσι, κρίνεται απαραίτητη η ανάπτυξη μιας cross-layer τεχνικής σύμφωνα με την οποία θα ενσωματωθούν χαρακτηριστικά από το επίπεδο εφαρμογών στις συναρτήσεις του δικτύου. Τις πληροφορίες αυτές εκμεταλλεύεται το πρωτόκολλο δρομολόγησης ώστε να προωθηθούν οι ερωτήσεις στους επιθυμητούς κόμβους.

2.1. Επεξεργασία Ερωτήσεων

2.1.1. Κεντροποιημένες Βάσεις Δεδομένων

Οι παραδοσιακές βάσεις δεδομένων περιλαμβάνουν μηχανισμούς επεξεργασίας ερωτήσεων που αφορούν δεδομένα που προέρχονται συνήθως από μία μόνο πηγή. Η πηγή αυτή είναι οι πίνακες μιας τοπικής βάσης δεδομένων. Τα δεδομένα περιγράφονται με βάση το σχεσιακό μοντέλο που είναι γνωστό σε αυτόν που διατυπώνει την ερώτηση. Σε αυτή την περίπτωση πολλοί χρήστες μπορούν να απασχολούν την κεντρική βάση δεδομένων, είναι δηλαδή χαρακτηριστικό το γεγονός ότι οι χρήστες χρησιμοποιούν τους ίδιους πόρους. Η ερώτηση που διατυπώνεται από ένα χρήστη προωθείται στο DBMS το οποίο την επεξεργάζεται και επιστρέφει την απάντηση. Στο Σχήμα 2.2 παρουσιάζονται οι φάσεις επεξεργασίας των ερωτήσεων σε έναν επεξεργαστή ερωτημάτων που μπορεί να υπάρχει σε οποιοδήποτε σύστημα βάσεων δεδομένων, δηλαδή κεντρικά, κατακεντρωμένα ή παράλληλα συστήματα [Koss00].

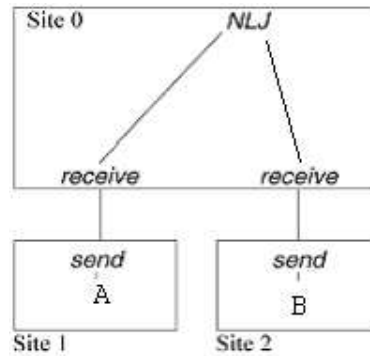


Σχήμα 2.2 Φάσεις Επεξεργασίας Ερωτήσεων [Koss00]

Ο επεξεργαστής ερωτημάτων δέχεται ως είσοδο ένα ερώτημα SQL. Στα επόμενα στάδια το μεταφράζει, το βελτιστοποιεί και δημιουργεί ένα πλάνο εκτέλεσης. Στη συνέχεια αναλύονται όλα τα στάδια της επεξεργασίας ερωτήσεων, καθώς και τα τμήματα του DBMS που εμπλέκονται σε αυτήν.

- *Συντακτικός αναλυτής (parser)*: Ο “parser”, που είναι το πρώτο μέρος του επεξεργαστή που δέχεται το ερώτημα, το αναλύει συντακτικά και το μεταφράζει σε μια εσωτερική αναπαράσταση, η οποία μπορεί να επεξεργαστεί ευκολότερα από τα επόμενα τμήματα του επεξεργαστή.
- *Επανεγγραφή ερωτήματος (query rewrite)*: Το επόμενο στάδιο στην επεξεργασία του ερωτήματος είναι η “επανεγγραφή ερωτήματος”. Εδώ το ερώτημα μετατρέπεται σε μία λογικά ισοδύναμη μορφή αποσκοπώντας έτσι στη βελτιστοποίηση ανεξάρτητα από τη φυσική κατάσταση του συστήματος. Δηλαδή, η συγκεκριμένη φάση της επεξεργασίας ερωτημάτων δε λαμβάνει υπόψη διάφορες πληροφορίες του συστήματος βάσεων δεδομένων, όπως το μέγεθος των πινάκων, την ύπαρξη ευρετηρίων, τις τοποθεσίες αντιγράφων των πινάκων, την ταχύτητα των μηχανημάτων και άλλα. Τυπικοί μετασχηματισμοί των ερωτημάτων είναι η απαλοιφή περιττών κατηγορημάτων, η απλοποίηση εκφράσεων και η κατάργηση εμφωλευμένων ερωτημάτων και όψεων.
- *Βελτιστοποιητή ερωτήματος (query optimizer)*: Στη φάση του “βελτιστοποιητή ερωτήματος” εκτελούνται βελτιστοποιήσεις, οι οποίες εξαρτώνται από τη φυσική κατάσταση του συστήματος. Αυτό σημαίνει ότι ο βελτιστοποιητής αποφασίζει ποια ευρετήρια θα χρησιμοποιηθούν για την εκτέλεση του ερωτήματος, ποιες μέθοδοι, όπως ο κατακερματισμός (hashing) ή η ταξινόμηση (sorting), θα εφαρμοστούν για την εκτέλεση συγκεκριμένων πράξεων, όπως η συνένωση (join), άλλα και με ποια σειρά θα εκτελεστούν αυτές οι πράξεις. Σε περίπτωση που το σύστημα είναι κατανεμημένο, ο βελτιστοποιητής πρέπει να αποφασίσει επιπλέον σε ποια τοποθεσία πρέπει να εκτελεστεί η κάθε πράξη. Για τη λήψη όλων αυτών των αποφάσεων, ο βελτιστοποιητής απαριθμεί μια σειρά από εναλλακτικά πλάνα και επιλέγει το καλύτερο από αυτά με τη χρήση ενός μοντέλου εκτίμησης κόστους.
- *Πλάνο (plan)*: Όπως μπορούμε να διακρίνουμε από το Σχήμα 2.2 το πλάνο παράγεται ως έξοδος από το βελτιστοποιητή ερωτήματος. Ένα πλάνο καθορίζει επακριβώς πώς θα εκτελεστεί το ερώτημα, δηλαδή καθορίζει τη σειρά των επιμέρους πράξεων που συμμετέχουν στην εκτέλεση μιας ερώτησης. Συνήθως, τα συστήματα βάσεων δεδομένων αναπαριστούν τα πλάνα ως δέντρα. Οι κόμβοι ενός πλάνου είναι τελεστές, καθένας από τους

οποίους εκτελεί μία συγκεκριμένη πράξη, όπως τη συνένωση, την ταξινόμηση και άλλες. Οι κόμβοι ενός πλάνου περιέχουν ενδείξεις, όπως για παράδειγμα την τοποθεσία στην οποία θα εκτελεστεί ο εκάστοτε τελεστής. Οι ακμές ενός πλάνου αναπαριστούν σχέσεις εξυπηρετούμενου-εξυπηρετητή μεταξύ των τελεστών. Στο Σχήμα 2.3 απεικονίζεται ένα παράδειγμα πλάνου ενός ερωτήματος που περιλαμβάνει τους πίνακες A και B. Πιο αναλυτικά για την απάντηση του συγκεκριμένου ερωτήματος απαιτείται η πράξη της συνένωσης δύο πινάκων, των A και B. Αν θεωρήσουμε ότι οι δύο πίνακες δεν είναι αποθηκευμένοι στην ίδια τοποθεσία δημιουργείται το ερώτημα ποια θα είναι εκείνη η τοποθεσία όπου θα εκτελεστεί το ερώτημα και ποια δεδομένα θα διακινηθούν ανάμεσα στις τοποθεσίες. Για παράδειγμα, κάποιες από τις εναλλακτικές περιπτώσεις είναι είτε η πράξη να εκτελεστεί στην τοποθεσία όπου είναι αποθηκευμένος ο πίνακας A μεταφέροντας εκεί τον πίνακα B, είτε να εκτελεστεί στην τοποθεσία που είναι αποθηκευμένος ο πίνακας B μεταφέροντας εκεί τα δεδομένα του πίνακα A, είτε η πράξη να εκτελεστεί σε μια άλλη τοποθεσία διαφορετική από τις δύο προηγούμενες μεταφέροντας εκεί τα δεδομένα και των δύο πινάκων. Το συγκεκριμένο πλάνο καθορίζει ότι ο πίνακας A που είναι αποθηκευμένος στο Site 1 και ο πίνακας B που είναι αποθηκευμένος στο Site 2 μεταφέρονται στο Site 0 (χρησιμοποιώντας τους τελεστές send και receive). Εκεί οι πίνακες A και B συνενώνονται με τη μέθοδο nested – loop join (χρησιμοποιώντας τον τελεστή NLJ). Επειδή οι τελεστές send και receive είναι οι μόνοι υπεύθυνοι για την επικοινωνία μεταξύ των διαφόρων τοποθεσιών, οι υπόλοιποι τελεστές που αφορούν, για παράδειγμα, στις διάφορες πράξεις και στον τρόπο που διαβάζονται τα δεδομένα των πινάκων (είτε με κάποιο ευρετήριο είτε με απλή σάρωση) μπορούν να υλοποιηθούν με τον ίδιο τρόπο σε ένα καταναμημένο σύστημα, όπως και σε ένα κεντρικό.



Σχήμα 2.3 Παράδειγμα Πλάνου Ερώτησης [Koss00]

- *Βελτιστοποίηση πλάνου / παραγωγή κώδικα (plan refinement / code generation)*: Στο στάδιο αυτό το πλάνο που παρήγαγε ο βελτιστοποιητής μετατρέπεται σε ένα εκτελέσιμο πλάνο.
- *Μηχανή παραγωγής ερωτημάτων (query execution engine)*: Το συγκεκριμένο κομμάτι λογισμικού παρέχει γενικές υλοποιήσεις για κάθε τελεστή, όπως είναι για παράδειγμα οι τελεστές send, scan και NLJ.
- *Συγκεντρωτικός κατάλογος (catalog)*: Στο συγκεντρωτικό κατάλογο, αποθηκεύονται όλες οι πληροφορίες που χρειάζονται για τη συντακτική ανάλυση, την επανεγγραφή και τη βελτιστοποίηση των ερωτημάτων. Ο συγκεντρωτικός κατάλογος περιέχει το *σχήμα (schema)* της βάσης δεδομένων, με άλλα λόγια τους ορισμούς των πινάκων, τις όψεις, τύπους δεδομένων ορισμένους από το χρήστη και συναρτήσεις, περιορισμούς ακεραιότητας και άλλα. Επίσης, περιλαμβάνει το *partitioning schema* της βάσης, δηλαδή πληροφορίες για το ποιο πίνακες έχουν τεμαχιστεί και πώς μπορούν να ανασυγκροτηθούν και *φυσικές πληροφορίες (physical information)* όπως η τοποθεσία που βρίσκονται τα αντίγραφα των τμημάτων κάθε πίνακα, πληροφορίες για τα ευρετήρια και στατιστικά στοιχεία που θα χρησιμεύσουν για την εκτίμηση του κόστους ενός πλάνου. Στα περισσότερα σχεσιακά συστήματα βάσεων δεδομένων, οι πληροφορίες του καταλόγου αποθηκεύονται όπως και τα υπόλοιπα δεδομένα σε πίνακες. Στα καταναμημένα συστήματα όμως προκύπτει το ερώτημα πού να αποθηκευτεί ο συγκεντρωτικός κατάλογος. Η πιο απλή προσέγγιση είναι ο συγκεντρωτικός κατάλογος να αποθηκευτεί σε ένα κεντρικό site. Στα μεγάλα δίκτυα, συνήθως

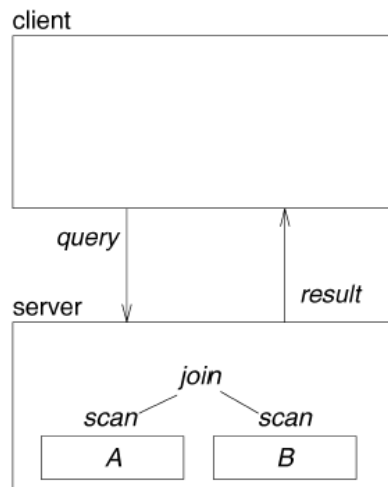
αντιγράφουμε τον κατάλογο σε πολλά sites, προκειμένου να ελαττώσουμε το κόστος επικοινωνίας. Είναι επίσης δυνατό σε ένα μεγάλο δίκτυο να κάνουμε cache τις πληροφορίες του συγκεντρωτικού καταλόγου σε διάφορα sites. Τόσο η αντιγραφή όσο και το caching των πληροφοριών του καταλόγου είναι πολύ αποτελεσματικές μέθοδοι, γιατί οι κατάλογοι είναι συνήθως αρκετά μικροί σε μέγεθος (μερικές εκατοντάδες kilobytes) και επειδή οι πληροφορίες του καταλόγου τροποποιούνται σπάνια. Υπάρχουν όμως ορισμένες περιπτώσεις που ο συγκεντρωτικός κατάλογος μπορεί να γίνει πολύ μεγάλος σε μέγεθος και να χρειάζεται να τροποποιείται συχνά. Για να αντιμετωπιστεί αυτό το πρόβλημα, οι πληροφορίες του συγκεντρωτικού καταλόγου διαμερίζονται και τα δεδομένα αποθηκεύονται όπου χρειάζονται περισσότερο (τοπικός κατάλογος σε κάθε site ο οποίος περιέχει πληροφορίες για το συγκεκριμένο site).

2.1.2. Κατανεμημένες Βάσεις Δεδομένων

Σε αντίθεση με την παραπάνω αρχιτεκτονική κεντρικοποιημένων βάσεων δεδομένων υπάρχουν και οι κατανεμημένες βάσεις δεδομένων στις οποίες τα δεδομένα αποθηκεύονται σε διαφορετικές τοποθεσίες. Είναι επομένως προφανές ότι για να επιστραφεί μία απάντηση από τον επεξεργαστή ερωτήσεων δεν αρκεί μόνο η αναζήτηση δεδομένων από μία τοποθεσία και παράλληλα η εκτέλεση κάποιας πράξης πάνω σε αυτά. Είναι δυνατόν να απαιτείται η επεξεργασία δεδομένων από δύο ή περισσότερες τοποθεσίες. Σε αυτή την περίπτωση πριν εκτελεστεί από τον επεξεργαστή ερωτήσεων μία από τις γνωστές πράξεις στις βάσεις δεδομένων, όπως είναι η συνένωση, πρέπει πρώτα να συγκεντρωθούν τα κατάλληλα δεδομένα από τις διάφορες τοποθεσίες όπου είναι αποθηκευμένα και στη συνέχεια να πραγματοποιηθεί η συνένωση. Παρόμοιες τεχνικές επεξεργασίας ερωτήσεων εφαρμόζονται και σε συστήματα ετερογενών βάσεων δεδομένων [Koss00]. Ένα τέτοιο σύστημα απαρτίζεται από αυτόνομες βάσεις δεδομένων με διαφορετικά σχήματα και διαφορετικές διεπαφές των προγραμμάτων εφαρμογής. Μία επιπλέον λειτουργία κατά την επεξεργασία ερωτήσεων σε αυτά τα συστήματα είναι η μετατροπή του αποτελέσματος κάθε βάσης δεδομένων, λόγω της ετερογένειάς τους, σε μορφή που να είναι κατανοητή από το ανώτερο επίπεδο επεξεργασίας τους.

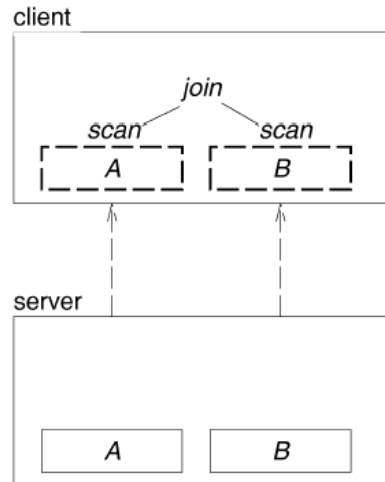
Σε συστήματα όπως τα παραπάνω, η βάση δεδομένων είναι αποθηκευμένη σε υπολογιστές που έχουν το ρόλο του εξυπηρετητή, ενώ μια ερώτηση προς τη βάση πηγάει από έναν υπολογιστή που έχει το ρόλο του εξυπηρετούμενου. Το ερώτημα που προκύπτει είναι αν η ερώτηση αυτή πρέπει να εκτελεστεί στον εξυπηρετούμενο που την έθεσε ή στον εξυπηρετητή στον οποίο είναι αποθηκευμένα τα δεδομένα που σχετίζονται με την ερώτηση αυτή. Κάποιες προσεγγίσεις που προσπαθούν να δώσουν απάντηση σε αυτό είναι οι εξής:

- *Query shipping*: Σύμφωνα με την προσέγγιση αυτή μια ερώτηση προς τη βάση δεδομένων εκτελείται εξολοκλήρου στον εξυπηρετητή. Ο εξυπηρετούμενος στέλνει την ερώτηση στον εξυπηρετητή, ο οποίος την αποτιμά και στέλνει τα αποτελέσματα πίσω στον εξυπηρετούμενο, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.4.



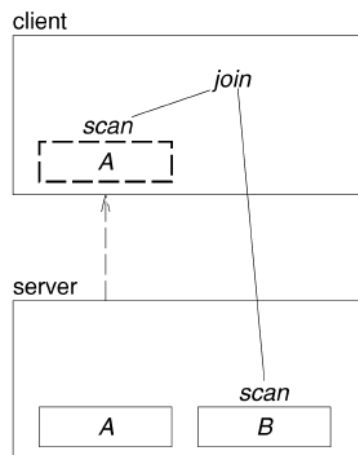
Σχήμα 2.4 Query Shipping [Koss00]

- *Data shipping*: Η συγκεκριμένη προσέγγιση είναι ακριβώς αντίθετη από την προηγούμενη, αφού μια ερώτηση που θέτει ένας εξυπηρετούμενος εκτελείται εξολοκλήρου στην πηγή της, δηλαδή στον εξυπηρετούμενο που τη δημιούργησε. Τα δεδομένα που χρειάζονται για την εκτέλεση της ερώτησης στέλνονται από τον εξυπηρετητή, στον οποίο είναι αποθηκευμένα, στον εξυπηρετούμενο με τη μορφή σελίδων (τεχνική που θα περιγραφεί παρακάτω). Στο Σχήμα 2.5 φαίνεται ένα παράδειγμα του data shipping.



Σχήμα 2.5 Data Shipping [Koss00]

- Hybrid shipping*: Η προσέγγιση αυτή συνδυάζει τα πλεονεκτήματα των δύο προηγούμενων και προσφέρει τη δυνατότητα της εκτέλεσης τελεστών μιας ερώτησης τόσο στον εξυπηρετούμενο όσο και στους εξυπηρετητές. Το κόστος όμως που δημιουργείται από αυτή τη δυνατότητα είναι η μεγάλη πολυπλοκότητα του βελτιστοποιητή των συστημάτων που χρησιμοποιούν αυτή την τεχνική, αφού τα πλάνα που πρέπει να εκτιμηθούν κάθε φορά είναι αρκετά. Στο Σχήμα 2.6, παρουσιάζεται η επεξεργασία μιας ερώτησης με βάση αυτή την τεχνική.

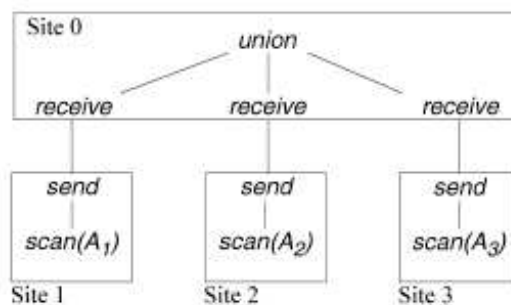


Σχήμα 2.6 Hybrid Shipping [Koss00]

Υπάρχουν διάφοροι εναλλακτικοί τρόποι [Koss00] εκτέλεσης ερωτήσεων σε ένα κατανεμημένο σύστημα βάσεων δεδομένων. Πρόκειται, δηλαδή, για τεχνικές που εφαρμόζονται για τη μεταφορά των δεδομένων και τον υπολογισμό συνενώσεων μεταξύ πινάκων που είναι αποθηκευμένοι σε διαφορετικές τοποθεσίες. Γνωστές θεωρούνται οι τεχνικές εκτέλεσης που χρησιμοποιούνται ευρέως στα κεντρικά συστήματα βάσεων δεδομένων, όπως είναι οι αλγόριθμοι για hashing και sorting, και μπορούν να εφαρμοστούν και στα κατανεμημένα συστήματα σε συμφωνία με τους τελεστές send και receive. Οι τεχνικές εκτέλεσης που περιγράφονται στη συνέχεια αναπαριστούν έναν από τους πολλούς τρόπους υλοποίησης ενός τελεστή σε ένα κατανεμημένο σύστημα. Για να κάνει όσο το δυνατόν καλύτερη χρήση τέτοιων τεχνικών εκτέλεσης, ο βελτιστοποιητής του συστήματος πρέπει να αποφασίσει αν θα χρησιμοποιήσει αυτές τις τεχνικές για ένα συγκεκριμένο ερώτημα και με ποιον τρόπο.

- *Ομαδοποίηση εγγράφων (row blocking)*: Η βασική ιδέα στη συγκεκριμένη τεχνική είναι να μεταφέρονται ολόκληρα *blocks* από πλειάδες, αντί να μεταφέρεται μία-μία πλειάδα ξεχωριστά από την τοποθεσία όπου αποθηκεύονται τα δεδομένα στην τοποθεσία που γίνεται η επεξεργασία της ερώτησης. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.3, η επικοινωνία πραγματοποιείται στην ουσία με τους τελεστές send και receive. Η υλοποίηση αυτών των τελεστών βασίζεται στα TCP/IP, UDP και σε άλλα πρωτόκολλα δικτύων. Σχεδόν όλα τα συστήματα βάσεων δεδομένων χρησιμοποιούν αυτή την τεχνική για να μειώσουν το κόστος μεταφοράς των δεδομένων. Αυτή η προσέγγιση είναι προφανώς πολύ πιο φθηνή από την απλοϊκή προσέγγιση της αποστολής μιας πλειάδας τη φορά, γιατί τα δεδομένα πακετίζονται σε λιγότερα μηνύματα. Αν οι πλειάδες μεταφέρονται μία-μία μέσα από το δίκτυο, κάθε μικρή καθυστέρηση στο δίκτυο θα σταματούσε αμέσως την εκτέλεση του ερωτήματος στην τοποθεσία που περιμένει να λάβει δεδομένα, εξαιτίας της έλλειψης εγγράφων που διαθέτει προς κατανάλωση. Έτσι, ένας τελεστής send καταναλώνει αρκετές πλειάδες του τελεστή join, που είναι παιδί του στο δέντρο εκτέλεσης, και στέλνει αυτές τις πλειάδες σαν μια ομάδα εγγράφων.
- *Πολυνηματική εκτέλεση ερωτημάτων (multithreaded query execution)*: Για να εκμεταλλευτούμε τον παραλληλισμό, είναι πολλές φορές καλύτερο να χρησιμοποιήσουμε πολλά νήματα σε μια τοποθεσία. Για παράδειγμα, για το πλάνο του Σχήματος 2.7, το οποίο υλοποιεί το ερώτημα $A_1 \cup A_2 \cup A_3$, ο

πίνακας A_1 είναι αποθηκευμένος στο Site 1, ο πίνακας A_2 είναι αποθηκευμένος στο Site 2 και ο πίνακας A_3 στο Site 3. Αν οι τελεστές union και receive στο Site 0 εκτελούνται μέσα σε ένα μόνο νήμα, τότε το Site 0 ζητά ένα μόνο block πλειάδων κάθε φορά και έτσι χάνεται η δυνατότητα να διαβαστούν και να αποσταλούν παράλληλα τα τρία τμήματα από τα Sites 1, 2 και 3 στο Site 0. Μόνο εφόσον οι τελεστές union και receive τρέξουν σε διαφορετικά νήματα είναι δυνατόν να ζητούν συνεχώς πλειάδες οι τελεστές receive από τους τελεστές send που βρίσκονται στα Site 1, 2 και 3, έτσι ώστε και οι τρεις τελεστές send να τρέχουν και να παράγουν πλειάδες παράλληλα. Η χρήση ενός ξεχωριστού νήματος για κάθε τελεστή δεν είναι πάντα όμως η καλύτερη επιλογή. Η τεχνική αυτή δεν ενδείκνυται γιατί τα νήματα προσπελαίνουν κοινή μνήμη και η επικοινωνία πρέπει να συγχρονίζεται, γεγονός που προσδίδει επιπλέον κόστος.



Σχήμα 2.7 Παράδειγμα Πλάνου Εκτέλεσης [Koss00]

- *Ημισυνενώσεις (semi-joins)*: Πρόκειται για μια εναλλακτική τεχνική για την επεξεργασία συνενώσεων μεταξύ πινάκων που είναι αποθηκευμένοι σε διαφορετικές τοποθεσίες. Για παράδειγμα, σε περίπτωση που ο πίνακας A είναι αποθηκευμένος στο Site 2, ο συμβατικός τρόπος για την εκτέλεση της συνένωσης $A \bowtie B$ είναι να μεταφερθεί ο πίνακας A από το Site 1 στο Site 2 και να εκτελεστεί η συνένωση στο Site 2 (ή αντίστροφα). Η ιδέα που εκμεταλλεύεται ένα πρόγραμμα ημισυνένωσης για το παραπάνω παράδειγμα είναι η εξής: αρχικά, στέλνονται από το Site 1 στο Site 2 μόνο οι στήλες του πίνακα A , οι οποίες χρειάζονται για την εκτίμηση της συνθήκης της συνένωσης. Οπότε, στο Site 2 μπορούν να βρεθούν οι εγγραφές του πίνακα B ,

οι οποίες ικανοποιούν τη συνένωση. Οι συγκεκριμένες εγγραφές, στη συνέχεια, στέλνονται στο Site 1 για την εύρεση των εγγραφών του πίνακα A, με τις οποίες μπορούν να συνενωθούν. Με τη χρήση τύπων, η παραπάνω διαδικασία μπορεί να αναπαρασταθεί ως εξής:

$$A \bowtie B = A \bowtie (B \bowtie \pi(A)),$$

όπου \bowtie είναι ο τελεστής ημισυνένωσης.

2.1.3. Επεξεργασία Ερωτήσεων σε P2P Συστήματα

Ένα άλλο σύστημα στο οποίο μπορούμε να έχουμε βάσεις δεδομένων είναι ένα P2P δίκτυο. Τα Peer-to-Peer (P2P) συστήματα είναι κατανεμημένα δίκτυα στα οποία οι κόμβοι έχουν ίσους ρόλους και ικανότητες και ανταλλάσσουν πληροφορίες μεταξύ τους. Διακρίνονται σε δύο κατηγορίες, τα κεντροκοποιημένα (π.χ., Napster [Naps06]) και τα μη κεντροκοποιημένα (π.χ., Gnutella [Gnut06]). Τα τελευταία ανάλογα με τον τρόπο που οργανώνονται οι κόμβοι και δρομολογούνται οι ερωτήσεις στο δίκτυο κατηγοριοποιούνται στα δομημένα, όπως είναι τα δίκτυα CAN και CHORD, και στα μη δομημένα δίκτυα, όπως είναι το Gnutella.

Ο όρος των κεντροκοποιημένων συστημάτων αφορά στην πρώτη από τις δύο κατηγορίες των P2P δικτύων. Αυτού του είδους τα δίκτυα διατηρούν έναν κατάλογο-ευρετήριο σε μια κεντρική τοποθεσία ο οποίος κρατά πληροφορίες για όλα τα δεδομένα που βρίσκονται αποθηκευμένα στους κόμβους. Ο κατάλογος-ευρετήριο δημιουργείται με δύο τρόπους: είτε με τη συνεργασία των κόμβων που του παρέχουν τακτικά μια λίστα με τα δεδομένα που προσφέρουν στο δίκτυο, είτε με αναζήτηση στο δίκτυο όπως συμβαίνει με μια μηχανή αναζήτησης στο Internet.

Όσον αφορά τα μη κεντροκοποιημένα αποτελούν τη δεύτερη από τις δύο κατηγορίες των P2P συστημάτων η οποία στη συνέχεια διασπάται στις υποκατηγορίες των δομημένων και μη δομημένων δικτύων. Αυτό που διαφοροποιεί τα μη κεντροκοποιημένα P2P δίκτυα από αυτά της προηγούμενης ενότητας είναι ότι δε διαθέτουν κάποιον κεντρικό κατάλογο-ευρετήριο. Τα δομημένα P2P συστήματα χαρακτηρίζονται από μια συγκεκριμένη δομή με την έννοια ότι υπάρχει κάποιος κανόνας για τις συνδέσεις μεταξύ των κόμβων κι ότι τα δεδομένα δεν τοποθετούνται

τυχαία σε αυτούς άλλα σε προκαθορισμένες τοποθεσίες, γεγονός που βοηθά σημαντικά στην απόδοση του δικτύου. Υπάρχουν αυστηρά δομημένα δίκτυα που στηρίζονται σε καταναμημένους πίνακες κατακερματισμού (distributed hash tables-DHTs) και πιο γνωστά από αυτά είναι τα CAN και CHORD. Αντιθέτως, στα μη δομημένα συστήματα δεν υπάρχει κάποια δομή στην οργάνωση των κόμβων ούτε στον τρόπο με τον οποίο τοποθετούνται τα δεδομένα στο δίκτυο. Η συμπεριφορά ολόκληρου του δικτύου καθορίζεται από τις τοπικές αντιδράσεις. Για να εντοπιστεί ένα δεδομένο, ένας κόμβος ρωτά τους γείτονές του. Η πιο συνηθισμένη μέθοδος αναζήτησης είναι η πλημμύρα, δηλαδή η διαδοχική μετάδοση της ερώτησης σε όλους τους γείτονες μέχρι μια συγκεκριμένη ακτίνα.

Μια ερώτηση σε ένα P2P δίκτυο μπορεί να είναι η αναζήτηση κάποιου συγκεκριμένου δεδομένου. Έτσι, οι τεχνικές επεξεργασίας ερωτήσεων στα P2P δίκτυα συμπίπτουν με τους μηχανισμούς αναζήτησης σε αυτά. Οι μηχανισμοί αναζήτησης μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις κατηγορίες: στους μηχανισμούς χωρίς τη χρήση ευρετηρίου, μηχανισμούς με τη χρήση ενός κεντρικού ευρετηρίου και μηχανισμούς με ευρετήρια σε κάθε κόμβο. Έτσι σε διάφορα δίκτυα διακρίνουμε την τυφλή αναζήτηση (blind search), την αναζήτηση με βάση κάποιον πίνακα κατακερματισμού και την αναζήτηση με βάση κάποιες πληροφορίες-στατιστικά. Ο μηχανισμός αναζήτησης που εφαρμόζεται σε κάθε P2P δίκτυο εξαρτάται από την κατηγορία στην οποία ανήκει το συγκεκριμένο δίκτυο καθώς και από την ύπαρξη κάποιας συγκεκριμένης δομής. Είναι κατανοητό ότι κάποιοι μηχανισμοί αναζήτησης μπορούν να εφαρμοστούν σε όλα τα είδη P2P δικτύων όπως είναι η τυφλή αναζήτηση, αλλά αν θέλουμε, για παράδειγμα, να αναζητήσουμε ένα δεδομένο σε κάποιο δομημένο P2P δίκτυο θα προτιμήσουμε ένα μηχανισμό που θα εκμεταλλεύεται την ιδιαίτερη δομή του δικτύου, ελαττώνοντας το κόστος που προκαλεί ο τελευταίος μηχανισμός. Έτσι, έχουν επικρατήσει κάποιοι μηχανισμοί αναζήτησης να εφαρμόζονται σε συγκεκριμένες κατηγορίες P2P συστημάτων.

Στα κεντροποιημένα P2P δίκτυα εφαρμόζεται μηχανισμός αναζήτησης που στηρίζεται στη χρήση κεντρικού ευρετηρίου. Έτσι, ένας χρήστης – κόμβος που αναζητά ένα συγκεκριμένο δεδομένο στο δίκτυο θέτει μια ερώτηση στο κεντρικό ευρετήριο, ο οποίος διατηρεί πληροφορίες για όλα τα δεδομένα που είναι

αποθηκευμένα στους κόμβους του δικτύου. Στη συνέχεια, ο κεντρικός κατάλογος μετά από μια τοπική αναζήτηση στις εγγραφές του επιστρέφει ως απάντηση στον κόμβο που έθεσε την ερώτηση την ακριβή τοποθεσία του δεδομένου μέσα στο δίκτυο. Έτσι ο αρχικός κόμβος ζητά απευθείας από τον κόμβο που διαθέτει το δεδομένο να του το στείλει.

Όσον αφορά τα μη κεντρικοποιημένα P2P δίκτυα, η δρομολόγηση εξαρτάται από τη δομή του δικτύου. Για παράδειγμα, σε ένα μη δομημένο P2P δίκτυο, μια συνηθισμένη μέθοδος αναζήτησης είναι η πλημμύρα. Έτσι, ένας κόμβος που αναζητά ένα συγκεκριμένο δεδομένο προωθεί μια ερώτηση στο δίκτυο μέσω των γειτόνων του, οι οποίοι ακολουθούν την ίδια διαδικασία, και λαμβάνει την απάντηση από τον κόμβο που περιέχει το δεδομένο. Η μέθοδος της πλημμύρας ανήκει στη γενικότερη κατηγορία των μεθόδων τυφλής αναζήτησης. Στα μη δομημένα P2P δίκτυα εφαρμόζονται επίσης μέθοδοι “ενημερωμένης” αναζήτησης. Οι μέθοδοι αυτής της κατηγορίας εκμεταλλεύονται κάποια στατιστικά για τη δρομολόγηση της ερώτησης στο δίκτυο. Τα στατιστικά αυτά αφορούν στις πληροφορίες που αποθηκεύονται στα τοπικά ευρετήρια που διατηρούν όλοι οι κόμβοι του δικτύου.

Στα δομημένα P2P δίκτυα η δρομολόγηση πραγματοποιείται με αλγορίθμους που εκμεταλλεύονται τη δομή του δικτύου χρησιμοποιώντας μια συνάρτηση κατακερματισμού. Έτσι, ο αλγόριθμος δρομολόγησης που εφαρμόζεται σε δύο πολύ γνωστά δίκτυα αυτής της κατηγορίας, τα CAN και CHORD, είναι διαφορετικός.

Στην ενότητα αυτή αναφέρθηκαν διάφορες τεχνικές για την επεξεργασία ερωτήσεων που μπορούν να εφαρμοστούν σε ένα δίκτυο με σκοπό την καλύτερη απόδοσή του. Τα χαρακτηριστικά του δικτύου θεωρούσαμε ότι είναι δεδομένα και σταθερά. Στην επόμενη ενότητα αναφέρονται διάφορα είδη δικτύων. Θεωρώντας τώρα ότι έχουμε δεδομένη τεχνική επεξεργασίας ερωτήσεων, τα χαρακτηριστικά του δικτύου μεταβάλλονται με το χρόνο.

2.2. Δρομολόγηση

2.2.1. MANET

Τα τελευταία χρόνια και συγκεκριμένα από τη δεκαετία του '90 και έπειτα παρατηρήθηκε μια γρήγορη και διαρκώς αυξανόμενη ανάπτυξη δικτύων που αποτελούνται από κινητούς κόμβους-υπολογιστές και επικοινωνούν ασύρματα μεταξύ τους, χωρίς την ύπαρξη σταθερής δικτυακής υποδομής. Τα δίκτυα αυτά κοινώς ονομάζονται *mobile ad hoc networks (MANETs)* [AbWD03], [ChCL03], [RoBT99].

Η εξάπλωση των δικτύων αυτών συνέπεσε με την ανάπτυξη πολλών φορητών ηλεκτρονικών συσκευών, όπως είναι τα τηλέφωνα, οι φορητοί υπολογιστές και οι υπολογιστές παλάμης (laptop), και πολλών εφαρμογών που χρησιμοποιούν αυτά. Ο λόγος ήταν ότι οι χρήστες αυτών των συσκευών είχαν την απαίτηση να ανταλλάσσουν πληροφορίες μεταξύ τους. Έτσι γεννήθηκε η ανάγκη για την κατασκευή ασύρματων δικτύων, όπου κάθε κόμβος θα μπορεί ευέλικτα να συμμετέχει και να αποχωρεί από το δίκτυο, και επιπλέον δε θα υπάρχει η απαίτηση της ύπαρξης κάποιου κεντρικού διαχειριστή (administrator) ή σταθερής δικτυακής υποδομής.

Σκοπός των MANETs είναι η παροχή κάποιου μηχανισμού, ώστε οι ασύρματες συσκευές υπολογισμού να είναι ικανές να επικοινωνούν μεταξύ τους ακόμα και αν δεν υπάρχουν καθόλου δρομολογητές ή προμηθευτές υπηρεσιών Internet. Αντίθετα οι κόμβοι του δικτύου πρέπει να δρουν ως δρομολογητές. Για παράδειγμα, οι χρήστες υπολογιστών παλάμης σε ένα συνέδριο, που πραγματοποιείται σε ένα ξενοδοχείο, επιθυμούν να επικοινωνήσουν με κάποιον τρόπο, χωρίς τη μεσολάβηση σταθερής υποδομής για τη δρομολόγηση. Ένα άλλο παράδειγμα μπορεί να θεωρηθεί το σενάριο κατά το οποίο δεν υπάρχει δικτυακή υποδομή λόγω κάποιας φυσικής καταστροφής με αποτέλεσμα να μην υπάρχει σύνδεση στο διαδίκτυο. Σε αυτή την περίπτωση είναι πολύ σημαντικό να βρεθούν τρόποι για την εκτέλεση δικτυακών εφαρμογών, που είναι υπεύθυνες για την αντιμετώπιση επειγόντων περιστατικών. Έτσι, για παράδειγμα, τα περιπολικά της αστυνομίας και τα πυροσβεστικά οχήματα μπορούν

να παραμένουν σε επικοινωνία και να ανταλλάσσουν πληροφορίες ακόμα και στις παραπάνω δύσκολες περιπτώσεις.

Τα δίκτυα λοιπόν για τα οποία γίνεται λόγος έχουν τα εξής χαρακτηριστικά:

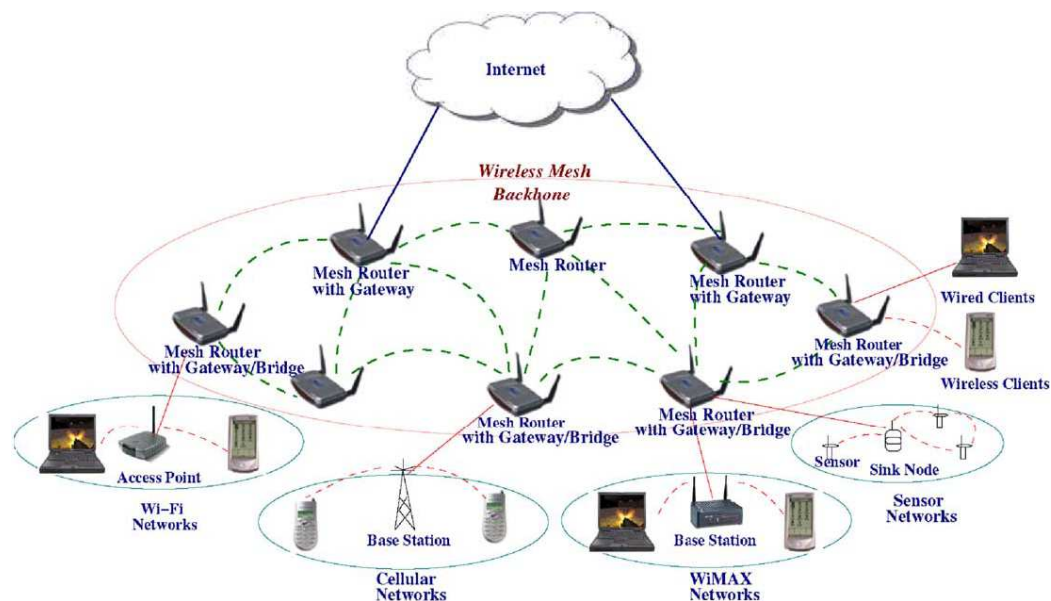
- Η τοπολογία του δικτύου είναι δυναμική, εξ' αιτίας της κίνησης των κόμβων. Έτσι, είναι δυνατόν κάποιος κόμβος σε μια δεδομένη στιγμή να μην έχει στην εμβέλειά του εκείνους τους κόμβους που είχε πριν από κάποιο χρονικό διάστημα.
- Δεν υπάρχει κάποιος κόμβος που να έχει ρόλο διαχειριστή.
- Οι κόμβοι μπορεί να βρίσκονται αρκετά μακριά μεταξύ τους, ώστε κανείς κόμβος δεν έχει στην εμβέλειά του όλους τους άλλους κόμβους.
- Οι κόμβοι κάθε στιγμή μπορεί να προωθήσουν δεδομένα που αφορούν στην επικοινωνία μεταξύ οποιονδήποτε δύο κόμβων, δηλαδή πραγματοποιούν τη λειτουργία ενός δρομολογητή.

Προκύπτει έτσι το πρόβλημα του συντονισμού ενός πλήθους από υπολογιστικές συσκευές και της οργάνωσής τους στη μορφή ενός MANET δικτύου. Είναι επομένως κατανοητό ότι θα πρέπει να αναπτυχθούν κατάλληλοι μηχανισμοί που να υποστηρίζουν την ενημέρωση ενός μεγάλου πλήθους υπολογιστικών μονάδων, τη διαδικασία υποβολής ερωτήσεων σε αυτές και τη μεταφορά δεδομένων μεταξύ αυτών λαμβάνοντας υπόψη τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους. Τα MANETs είναι επιθυμητό να χρησιμοποιούν το παραδοσιακό μοντέλο TCP/IP, ώστε να υποστηριχθούν όλες οι υπηρεσίες που έχουν δημιουργηθεί με βάση αυτό και να εξασφαλιστεί η συμβατότητά τους με το Internet. Λόγω όμως της μεγάλης κινητικότητας και της περιορισμένης ισχύος των κόμβων, κάθε επίπεδο του μοντέλου TCP/IP χρειάζεται τροποποιήσεις ώστε να λειτουργεί αποτελεσματικά στο περιβάλλον ενός MANET.

Μία συναφής με τα MANETs κατηγορία δικτύων που εξυπηρετεί παρόμοιους σκοπούς είναι τα *Wireless Mesh Networks (WMNs)* [AkWW05]. Η αρχιτεκτονική ενός WMN φαίνεται στο Σχήμα 2.8. Ένα mesh δίκτυο αποτελείται από mesh δρομολογητές (routers) και mesh πελάτες (clients) όπου οι mesh δρομολογητές έχουν ελάχιστη κινητικότητα ή είναι σταθεροί και σχηματίζουν τη δομή του δικτύου. Επιπλέον, οι τελευταίοι παρέχουν υπηρεσίες δικτύωσης στους πελάτες και διατηρούν

συναρτήσεις ώστε να επιτυγχάνεται η ενοποίηση και άλλων δικτύων στο WMN, όπως είναι το Internet, δίκτυα από αισθητήρες και άλλα, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.8. Επίσης, για να βελτιωθεί η ευχρηστία ενός mesh δικτύου, ο δρομολογητής συνήθως διαθέτει διάφορες διεπαφές ασύρματης επικοινωνίας που είναι ίδιας ή διαφορετικής τεχνολογίας.

Τα WMNs επιδιώκουν να λύσουν το πρόβλημα της εξοικονόμησης πόρων που χαρακτηρίζει γενικά τα MANETs. Η ανάπτυξη ενός mesh δικτύου δεν θεωρείται δύσκολη, δεδομένου ότι εφαρμόζονται οι ίδιες αρχές που ισχύουν και για τα επίπεδα ενός mobile ad hoc δικτύου. Πρόκειται για δίκτυα τα οποία σημειώνουν ραγδαία εξέλιξη. Ωστόσο, υπάρχουν ακόμα αρκετά ανοιχτά θέματα που πρέπει να ερευνηθούν.



Σχήμα 2.8 Αρχιτεκτονική ενός WMN [AkWW05]

2.2.2. Παραδοσιακοί Αλγόριθμοι Δρομολόγησης

Πριν από τις μεγάλες ανάγκες που παρουσιάστηκαν στα ασύρματα δίκτυα, δύο βασικές ομάδες αλγορίθμων δρομολόγησης εφαρμόζονταν στα ενσύρματα δίκτυα, η ομάδα αλγορίθμων της δρομολόγησης κατάστασης συνδέσμων (*link state*) και η ομάδα της δρομολόγησης με διανύσματα απόστασης (*distance vector*) [BeGa87]. Χαρακτηριστικό των δύο ομάδων είναι το γεγονός ότι αναγκάζουν κάθε δρομολογητή

να διατηρεί έναν πίνακα όπου αποθηκεύονται πληροφορίες που αφορούν στο δίκτυο. Η διαφορά τους έγκειται στον τρόπο με τον οποίο ενημερώνονται οι κόμβοι του δικτύου, στην κατασκευή των πινάκων για τη διατήρηση των ενημερώσεων και το είδος των πληροφοριών αυτών.

Έτσι, στους αλγορίθμους δρομολόγησης κατάστασης συνδέσμων οι κόμβοι αποθηκεύουν πληροφορίες για τη μεταβαλλόμενη εικόνα του δικτύου, όπως αυτή διαμορφώνεται από τις συνδέσεις μεταξύ των κόμβων. Σύμφωνα με αυτές τις πληροφορίες, που διατηρούνται συνεπείς λόγω των τακτικών ενημερώσεων, οι δρομολογητές προωθούν τα πακέτα στους κόμβους που ανήκουν στο συντομότερο μονοπάτι για τον προορισμό. Στους αλγορίθμους δρομολόγησης με διανύσματα απόστασης, που στηρίζονται στον κλασικό αλγόριθμο *DBF* (*Distributed Bellman-Ford*) [BeGa87], κάθε κόμβος i διατηρεί, για κάθε προορισμό x , ένα σύνολο από αποστάσεις $\{d_{ij}^x\}$ όπου j είναι κάποιος από τους γείτονες του i . Ο κόμβος i προωθεί το μήνυμα που είναι προορισμένο για τον κόμβο x στον γείτονα k για τον οποίο ισχύει ότι η απόσταση $\{d_{ik}^x\}$ είναι η μικρότερη από το σύνολο των αποστάσεων. Με αυτό τον τρόπο το μήνυμα προωθείται στον κόμβο x μέσω του συντομότερου μονοπατιού. Απαιτήση του συγκεκριμένου αλγορίθμου είναι το σύνολο των αποστάσεων να παραμένει ενημερωμένο με τις τελευταίες αλλαγές του δικτύου. Έτσι κάθε κόμβος γνωστοποιεί περιοδικά στους γείτονές του την εικόνα που έχει για κάθε άλλο κόμβο του δικτύου.

Οι αλγόριθμοι δρομολόγησης link-state και distance vector που χρησιμοποιούνται στα ενσύρματα δίκτυα δεν διατηρούν καλά την ιδιότητα της κλιμάκωσης στα μεγάλα MANETs. Αυτό σημαίνει ότι απαιτούν πολλά μηνύματα ενημέρωσης τα οποία καταναλώνουν σημαντικό μέρος του διαθέσιμου bandwidth [AbWD03] [RoBT99]. Έτσι, αρκετά πρωτόκολλα δρομολόγησης, που στηρίζονται στους παραπάνω αλγορίθμους, έχουν αναπτυχθεί για τα εν λόγω δίκτυα, με καθένα από αυτά να αποδίδει καλύτερα σε συγκεκριμένα σενάρια. Τα πρωτόκολλα αυτά διακρίνονται σε τρεις διαφορετικές κατηγορίες: στα *περιοδικά* (*proactive*), στα *κατ' αίτηση* (*on-demand/reactive*) και στα *υβριδικά* (*hybrid*).

Στην πρώτη κατηγορία των proactive πρωτοκόλλων, η δρομολόγηση πραγματοποιείται λαμβάνοντας υπόψη τις πληροφορίες που διατηρούν οι κόμβοι. Καθένας από αυτούς προσπαθεί κάθε στιγμή να κρατά συνεπείς πληροφορίες δρομολόγησης για κάθε άλλο κόμβο του δικτύου. Αυτό επιτυγχάνεται με μηνύματα που μεταδίδουν μεταξύ τους οι κόμβοι είτε κάθε φορά που συντελείται μια αλλαγή στο δίκτυο είτε σε τακτά χρονικά διαστήματα. Για το λόγο ότι οι πληροφορίες αυτές συνήθως διατηρούνται σε έναν αριθμό από διαφορετικούς πίνακες, τα πρωτόκολλα αυτά αναφέρονται και ως *Table-Driven protocols*. Ανάλογα με τον τύπο των πληροφοριών που διατηρούνται σε κάθε πίνακα και τον τρόπο που κατασκευάζονται και ενημερώνονται οι τελευταίοι, υπάρχουν διάφορα πρωτόκολλα αυτής της κατηγορίας [AbWD03].

Τα πρωτόκολλα δρομολόγησης reactive ή on-demand σχεδιάστηκαν ώστε να ελαττώνουν την κατανάλωση πόρων που προκαλούν τα πρωτόκολλα της προηγούμενης κατηγορίας. Αυτό επιτυγχάνεται με την προσπάθεια να διατηρηθεί συνεπής η πληροφορία μόνο για τα μονοπάτια που χρησιμοποιούνται. Αυτό σημαίνει ότι τα μονοπάτια αποκαλύπτονται μόνο όταν κάποιος κόμβος επιθυμεί να στείλει δεδομένα σε κάποιον άλλο κόμβο. Έτσι, ο συγκεκριμένος κόμβος ανακαλύπτει τα υποψήφια μονοπάτια προς τον κόμβο προορισμό τη στιγμή που ο ίδιος θέλει να επικοινωνήσει μαζί του για την αποστολή κάποιων δεδομένων. Τότε, η ανακάλυψη των μονοπατιών αυτών πραγματοποιείται με την εφαρμογή της πλημμύρας στο δίκτυο. Αντίθετα προς την τακτική αυτή λειτουργούν τα global/proactive πρωτόκολλα τα οποία φροντίζουν όλοι οι κόμβοι να γνωρίζουν κάθε στιγμή τα μονοπάτια που οδηγούν σε οποιοδήποτε κόμβο του δικτύου και όχι μόνο τη στιγμή που θέλουν να επικοινωνήσουν μαζί τους.

Η τρίτη κατηγορία πρωτοκόλλων συνδυάζει τα πλεονεκτήματα των προηγούμενων κατηγοριών. Συγκεκριμένα, σε μια μικρή περιοχή γύρω από έναν κόμβο η δρομολόγηση πραγματοποιείται ακολουθώντας τους κανόνες της πρώτης κατηγορίας πρωτοκόλλων, ενώ για τη δρομολόγηση δεδομένων έξω από αυτή την περιοχή εφαρμόζονται αλγόριθμοι της δεύτερης κατηγορίας ή και το αντίστροφο.

Στα [AbWD03], [RoBT99] παρουσιάζεται μια σύνοψη των πρωτοκόλλων που αναφέρθηκαν παραπάνω, καθώς και μια σύντομη αναφορά μερικών αντιπροσωπευτικών από κάθε κατηγορία. Τέλος, ακολουθεί σύγκριση αυτών των πρωτοκόλλων. Ένα θέμα που ερευνάται είναι αν κατά την εφαρμογή των πρωτοκόλλων των παραπάνω τριών κατηγοριών το δίκτυο οργανώνεται με κάποια ιεραρχία. Έτσι προκύπτουν οι υποκατηγορίες των πρωτοκόλλων που εφαρμόζονται σε δίκτυα που δεν έχουν κάποια ιεραρχία και σε αυτά που έχουν. Στα δίκτυα με ιεραρχία οι κόμβοι οργανώνονται σε ομάδες (clusters) και καθένας έχει μια από τις τρεις ονομασίες: *cluster-head*, *regular node* και *gateway*, ανάλογα με το ρόλο του μέσα στην ομάδα. Οι πρώτοι αναλαμβάνουν τη διαχείριση όλων των άλλων κόμβων (*regular nodes*) μέσα στην ομάδα, και τον έλεγχο της επικοινωνίας, δηλαδή της μεταφοράς των μηνυμάτων, είτε μεταξύ των κόμβων της ίδιας ομάδας, είτε διαφορετικής ομάδας. Το τρίτο είδος κόμβων αποτελεί το συνδεδετικό κρίκο μεταξύ των ομάδων. Το πλεονέκτημα των πρωτοκόλλων που εφαρμόζονται σε ιεραρχικά δίκτυα είναι ότι οι κόμβοι διατηρούν μόνο μονοπάτια προς τον *cluster-head* της ομάδας τους.

Η ύπαρξη μεγάλου αριθμού πρωτοκόλλων από διάφορες κατηγορίες οφείλεται στην προσπάθεια αντιμετώπισης των σημαντικών θεμάτων που είναι η κλιμάκωση, η ελάχιστη κατανάλωση πόρων του δικτύου, η δημιουργία και αποστολή μικρού αριθμού μηνυμάτων για τη διατήρηση του δικτύου, καθώς επίσης και ο ελάχιστος χρόνος απόκρισης του δικτύου για την εύρεση μονοπατιού με σκοπό την αποστολή δεδομένων μεταξύ κόμβων. Από τη σύγκριση που προέκυψε μεταξύ των τριών βασικών κατηγοριών πρωτοκόλλων, *proactive*, *on-demand/reactive* και *hybrid*, και των υποκατηγοριών τους, ιεραρχικών και μη, διαπιστώθηκε ότι άλλα από αυτά αντιμετωπίζουν με επιτυχία τα παραπάνω θέματα και άλλα όχι.

Για την κατηγορία των *proactive* πρωτοκόλλων προέκυψαν τα εξής:

Μη ιεραρχικά:

- Είναι εύκολα στην υλοποίηση.
- Μειώνουν το χρόνο απόκρισης του δικτύου στην περίπτωση που κάποιος κόμβος επιθυμεί να στείλει ένα δεδομένο σε έναν άλλο κόμβο, αφού τα μονοπάτια προς κάθε προορισμό είναι γνωστά εκ των προτέρων.

- Από την άλλη πλευρά παρουσιάζουν κακή ιδιότητα κλιμάκωσης.
- Καταναλώνουν σημαντικό ποσοστό του διαθέσιμου bandwidth του δικτύου, λόγω συνεχούς διαδικασίας ενημέρωσης των κόμβων.
- Επομένως δημιουργούν μεγάλο αριθμό μηνυμάτων ενημέρωσης των κόμβων.

Ιεραρχικά:

- Όπως ισχύει και στα μη ιεραρχικά πρωτόκολλα αυτής της κατηγορίας μειώνουν το χρόνο απόκρισης του δικτύου στην περίπτωση που κάποιος κόμβος επιθυμεί να στείλει ένα δεδομένο σε έναν άλλο κόμβο για τον ίδιο λόγο.
- Μειώνουν το πρόβλημα της κλιμάκωσης που παρουσιάζουν τα μη ιεραρχικά πρωτόκολλα, λόγω της ξεχωριστής δομής του δικτύου.
- Μειώνουν το ποσοστό δημιουργίας και αποστολής μηνυμάτων για την ενημέρωση των κόμβων, αφού τα τελευταία προωθούνται μόνο προς τους αντιπροσώπους κάθε cluster.
- Έτσι, επιτυγχάνουν λιγότερη κατανάλωση πόρων του δικτύου.
- Παρόλα αυτά παρουσιάζουν το μειονέκτημα της διαχείρισης της κίνησης των κόμβων. Δηλαδή η κινητικότητα των κόμβων προσθέτει στο δίκτυο την επεξεργασία των πρόσθετων διατηρούμενων πληροφοριών για τις ομάδες με σκοπό την αντιστοίχιση κάθε κόμβου σε μια ομάδα.

Όσον αφορά τα reactive πρωτόκολλα, από τη σύγκριση προέκυψαν τα εξής:

Σε αντίθεση με τα πρωτόκολλα της προηγούμενης κατηγορίας σχεδιάστηκαν με σκοπό να μειώσουν το φόρτο του δικτύου διατηρώντας μόνο πληροφορίες για “ενεργά” μονοπάτια. Ωστόσο, υπάρχουν και μειονεκτήματα.

Μη ιεραρχικά:

- Παρουσιάζουν έλλειψη κλιμάκωσης σε μεγάλο μεγέθους δίκτυα, καθώς σε μερικά reactive πρωτόκολλα τα μηνύματα που μεταφέρονται περιέχουν την πλήρη διεύθυνση του προορισμού, δηλαδή και την πληροφορία για τους κόμβους όπου θα σταλούν και βρίσκονται στο μονοπάτι.
- Ένα μεγάλο επίσης μειονέκτημα σε σχέση με τα proactive πρωτόκολλα είναι η αύξηση του χρόνου απόκρισης του δικτύου όταν κάποιος κόμβος επιθυμεί να στείλει ένα δεδομένο σε άλλον κόμβο. Ο λόγος είναι ότι ο αρχικός κόμβος δε

διατηρεί στους πίνακές του το μονοπάτι που οδηγεί στον κόμβο προορισμό, οπότε θα πρέπει να εφαρμοστεί αρχικά η μέθοδος της πλημμύρας για την εύρεση του μονοπατιού.

Ιεραρχικά:

- Δημιουργήθηκαν για να αντιμετωπίσουν το πρόβλημα της κλιμάκωσης που παρουσιάζουν τα flat πρωτόκολλα αυτής της κατηγορίας.
- Παρόλα αυτά αυξάνουν το χρόνο απόκρισης του δικτύου για τον ίδιο λόγο που ισχύει και στα flat πρωτόκολλα.

Η τρίτη κατηγορία πρωτοκόλλων όπως αναφέρθηκε παραπάνω συνδυάζει τα πλεονεκτήματα των δύο πρώτων. Για το λόγο αυτό έχουν τη δυνατότητα να παρουσιάζουν καλύτερη ιδιότητα κλιμάκωσης και από τις δύο πρώτες κατηγορίες. Μια άλλη καινοτομία αυτής της κατηγορίας είναι η προσπάθεια να μειωθούν οι αποτυχίες του δικτύου.

Πίνακας 2.1 Βασικές Διαφορές μεταξύ Proactive και Reactive Πρωτοκόλλων

Παράμετροι	Proactive	Reactive
Δομή του δικτύου	Είναι διαθέσιμα και τα δύο είδη πρωτοκόλλων	Τα περισσότερα πρωτόκολλα είναι flat
Διαθεσιμότητα κάποιου μονοπατιού	Είναι πάντα διαθέσιμο κάποιο μονοπάτι	Καθορίζεται μόνο όταν χρειάζεται
Περιοδικές ανανεώσεις μονοπατιών	Ναι, παρόλα αυτά κάποια προωθούν ενημερώσεις μόνο όταν ισχύει μια συγκεκριμένη συνθήκη	Δεν είναι απαραίτητο
Απαιτήσεις αποθήκευσης δεδομένων	Υψηλές	Εξαρτώνται από τον αριθμό των μονοπατιών που διατηρούνται ή απαιτούνται. Συνήθως μικρότερες από αυτές των proactive πρωτοκόλλων
Επίπεδο κλιμάκωσης	Συνήθως μέχρι 100 κόμβους	Μεγαλύτερο από αυτό των proactive πρωτοκόλλων
QoS (Quality of service support)	Κυρίως χρησιμοποιείται το συντομότερο μονοπάτι ως μετρική QoS.	Αρκετά μπορούν να υποστηρίξουν QoS, παρόλο που τα περισσότερα υποστηρίζουν το συντομότερο μονοπάτι

Στον Πίνακα 2.1 φαίνονται μερικές από τις βασικές διαφορές μεταξύ των proactive και των reactive πρωτοκόλλων. Ένα μεγάλο ζήτημα είναι αν θα χρησιμοποιηθεί πρωτόκολλο που εφαρμόζει κάποια ιεραρχική δομή στο δίκτυο ή όχι. Ωστόσο, δεν είναι σαφές ότι κάποιο συγκεκριμένο πρωτόκολλο ή κατηγορία πρωτοκόλλων είναι καλύτερη για όλα τα πιθανά σενάρια, καθώς όλα παρουσιάζουν και πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.

2.2.3. *Data-centric Δρομολόγηση*

Ένα από τα σημαντικότερα θέματα κατά την εξάπλωση των ασύρματων κινητών δικτύων είναι η data-centric δρομολόγηση εξαιτίας της φύσης πολλών νέων εφαρμογών που απαιτούν τέτοιες υπηρεσίες. Σε αντίθεση με τα παραδοσιακά πρωτόκολλα δρομολόγησης που αναφέρθηκαν παραπάνω η data-centric επικοινωνία μεταξύ των κόμβων του δικτύου αφορά στον εντοπισμό διαδρομών προς συγκεκριμένα δεδομένα ή διαφορετικά η δρομολόγηση πραγματοποιείται με βάση τα ζητούμενα δεδομένα. Από την άλλη πλευρά τα παραδοσιακά πρωτόκολλα αντιμετωπίζουν το πρόβλημα της εύρεσης μιας διαδρομής προς ένα συγκεκριμένο προορισμό-κόμβο. Παράδειγμα μίας τέτοιας εφαρμογής αποτελούν τα p2p δίκτυα. Σε αυτά οι κόμβοι επικοινωνούν μεταξύ τους με βάση τα δεδομένα που αποθηκεύει ο καθένας τοπικά. Έτσι, όταν ένας κόμβος επιθυμεί να αποκτήσει ένα συγκεκριμένο δεδομένο, αρχικά αναζητά στο δίκτυο τον κόμβο που διαθέτει το ζητούμενο δεδομένο επικοινωνώντας παράλληλα με πολλούς κόμβους και στη συνέχεια εκτελείται μία ένα - προς - ένα επικοινωνία μεταξύ των δύο κόμβων. Εκτός από τη μέθοδο της πλημμύρας που εφαρμόζεται στα p2p δίκτυα, για την υλοποίηση μιας data-centric εφαρμογής μπορεί να χρησιμοποιηθεί και η δρομολόγηση της πολλαπλής διανομής. Η εφαρμογή των παραπάνω δύο τεχνικών για την ανάπτυξη μιας data-centric εφαρμογής επιβαρύνει αρκετά το δίκτυο, ιδιαίτερα όταν πρόκειται για ασύρματο με κινητούς κόμβους. Είναι προφανής ο φόρτος που επιφέρει η μέθοδος της πλημμύρας. Επιπλέον, η δρομολόγηση της πολλαπλής διανομής γίνεται με τη χρήση δέντρων που στηρίζονται στα χαρακτηριστικά των ερωτήσεων που προωθούν οι κόμβοι. Η δημιουργία δέντρων προϋποθέτει την ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ των δρομολογητών και των γειτόνων τους. Είναι ξεκάθαρη η αναποτελεσματικότητα της

προσέγγισης αυτής, αν σκεφτούμε το κόστος της δημιουργίας και της διατήρησης τέτοιων δέντρων. Από τα παραπάνω γίνεται σαφές ότι η data-centric επικοινωνία εξαρτάται από το επίπεδο εφαρμογών. Επομένως, ένας τρόπος ώστε ένα δίκτυο να παρέχει τέτοιες υπηρεσίες επικοινωνίας είναι η ενσωμάτωση χαρακτηριστικών από το επίπεδο εφαρμογών στις συναρτήσεις του δικτύου, δηλαδή η ανάπτυξη μιας cross-layer τεχνικής.

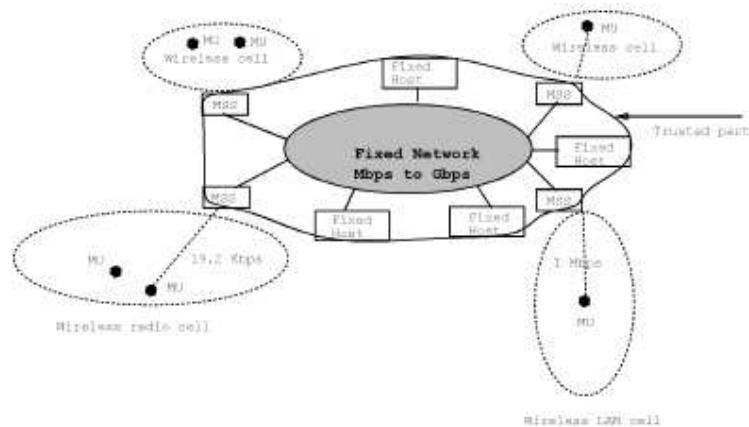
Πιο αναλυτικά, μία τεχνική cross-layer μπορεί να εκτελεστεί με δύο τρόπους. Ο πρώτος αφορά στην ενσωμάτωση παραμέτρων και στοιχείων από κάποιο επίπεδο σε κάποιο άλλο επίπεδο δικτύου με σκοπό τη βελτίωση της απόδοσης του τελευταίου. Έτσι, για παράδειγμα μπορούμε να έχουμε ενσωμάτωση και έκθεση κάποιων στοιχείων που φέρει το επίπεδο MAC στο επίπεδο μεταφοράς, όπως είναι ο ρυθμός απώλειας των πακέτων, έτσι ώστε το TCP πρωτόκολλο να είναι ικανό να διαφοροποιεί τη συμφόρηση από την απώλεια των πακέτων. Ο δεύτερος τρόπος για την εκτέλεση μιας cross-layer τεχνικής αφορά στη συγχώνευση δύο επιπέδων δικτύου, ώστε να επιτυγχάνεται καλύτερα η συνεργασία μεταξύ αυτών των δύο. Για παράδειγμα, σε ένα ad hoc δίκτυο είναι δυνατόν τα επίπεδα MAC και δρομολόγησης να συνδυαστούν σε ένα πρωτόκολλο, ώστε η συνεργασία τους να είναι πιο αποδοτική. Το πλεονέκτημα του πρώτου τρόπου είναι ότι αυτός δεν εγκαταλείπει τη διαφάνεια που υπάρχει μεταξύ των δύο επιπέδων πρωτοκόλλων, ενώ με τον δεύτερο τρόπο το πλεονέκτημα αυτό χάνεται τελείως. Παρόλα αυτά ο δεύτερος τρόπος μπορεί να επιτύχει καλύτερη απόδοση θεωρώντας μία βέλτιστη συνεργασία μεταξύ των δύο επιπέδων πρωτοκόλλων.

Από τις περιπτώσεις που παρουσιάστηκαν παραπάνω μεγάλη έμφαση δόθηκε στην ενσωμάτωση στοιχείων από το επίπεδο εφαρμογών στο επίπεδο δρομολόγησης, εξυπηρετώντας παράλληλα την επιθυμία της υλοποίησης μιας data-centric επικοινωνίας.

2.3. Κινητοί Υπολογιστές και Βάσεις Δεδομένων

Στο [Barb99], γίνεται μια επισκόπηση για την επιρροή που έχουν οι κινητοί υπολογιστές στην διαχείριση των δεδομένων. Η αρχιτεκτονική του γενικού μοντέλου

ενός συστήματος από κινητούς υπολογιστές φαίνεται στο Σχήμα 2.9. Το γενικό μοντέλο περιβάλλοντος με κινητούς κόμβους αποτελείται από δύο διαφορετικές ομάδες οντοτήτων, τις *κινητές μονάδες (mobile units)* και τους *σταθερούς κόμβους (fixed hosts)*. Κάποιοι από τους σταθερούς κόμβους ονομάζονται *Mobile Support Stations (MSS)* και διαθέτουν μία ασύρματη διεπαφή, ώστε να επικοινωνούν με κινητές μονάδες οι οποίες τοποθετούνται σε μία περιοχή με συγκεκριμένη ακτίνα εμβέλειας που ονομάζεται *cell*. Μια τέτοια περιοχή μπορεί να είναι ένα τοπικό ασύρματο δίκτυο που λειτουργεί στην περιοχή ενός κτιρίου. Οι σταθεροί κόμβοι επικοινωνούν πάνω από το *σταθερό δίκτυο (Fixed Network)*, ενώ οι κινητές μονάδες επικοινωνούν με τους άλλους κόμβους, σταθερούς ή κινητούς, μέσω του ασύρματου καναλιού.



Σχήμα 2.9 Μοντέλο Συστήματος με Κινητούς Κόμβους [Barb99]

Σε προηγούμενο κεφάλαιο αναφέρθηκαν τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά που έχουν τα δίκτυα που αποτελούνται από κινητούς υπολογιστές. Συγκεκριμένα το σύστημα χαρακτηρίζεται από:

- Ασυμμετρία στην επικοινωνία μεταξύ των κόμβων-υπολογιστών. Οι κόμβοι-εξυπηρετητές μπορούν να στέλνουν πακέτα προς τους κόμβους-πελάτες με μεγαλύτερη ταχύτητα σε αντίθεση με τους τελευταίους.
- Συνεχείς αποσυνδέσεις των πελατών από το δίκτυο σε αντίθεση με τους κόμβους εξυπηρετητές που παραμένουν ενεργοί στο δίκτυο και ικανοποιούν τις αιτήσεις των πρώτων.
- Περιορισμούς στους πόρους των φορητών συσκευών.

- Κάποιες από τις φορητές συσκευές έχουν μικρές οθόνες.

Καθένα από αυτά τα χαρακτηριστικά επιδρά διαφορετικά στον τρόπο διαχείρισης των βάσεων δεδομένων σε ένα σύστημα με κινητούς υπολογιστές, δημιουργώντας, έτσι, νέα θέματα προς έρευνα. Λόγω των παραπάνω χαρακτηριστικών δόθηκε ιδιαίτερο ενδιαφέρον στα θέματα της μετάδοσης των δεδομένων, της συνέπειας των δεδομένων, της εξάρτησης των ερωτήσεων από την τοποθεσία και τις διεπαφές.

Η μεταφορά των δεδομένων αφορά στη μετάδοση των τελευταίων από ένα σύνολο εξυπηρετητών σε ένα μεγαλύτερο σύνολο από πελάτες. Διάφορες τεχνικές και μέθοδοι αναπτύχθηκαν για τη διαδικασία της αποστολής πληροφοριών στους πελάτες χωρίς συγκεκριμένη αίτηση των τελευταίων και είναι γνωστές με το όνομα *push-based*. Ένα σημαντικό ζήτημα στον τομέα αυτό είναι η ικανότητα των *push-based* συστημάτων να προβλέπουν τις ανάγκες των πελατών και να μεταδίδουν τα κατάλληλα δεδομένα. Η χρησιμότητα του κάθε συστήματος εξαρτάται από αυτήν ακριβώς την ικανότητά τους.

Το δεύτερο θέμα της συνέπειας των δεδομένων αποτελεί τη βασική αρχή σε κάθε συναλλαγή μεταξύ των κόμβων στα εν λόγω συστήματα. Για παράδειγμα, αν θεωρήσουμε ότι ένας πελάτης μιας κατανεμημένης βάσης δεδομένων πραγματοποιήσει μια συναλλαγή γραψίματος σε κάποιον κόμβο εξυπηρετητή, θα πρέπει οποιαδήποτε άλλη στιγμή να διαβάσει από κάποιον άλλο εξυπηρετητή ακριβώς το ίδιο αντικείμενο που έγραψε στον πρώτο. Η συνέπεια αυτή στα δεδομένα προϋποθέτει τον συγχρονισμό ανάμεσα στους κόμβους εξυπηρετητές.

Το γεγονός ότι οι πελάτες κινούνται συνεχώς στο δίκτυο καθιστά τη διαδικασία ικανοποίησης των αιτήσεών τους εξαρτημένη από την τρέχουσα τοποθεσία του κόμβου που θέτει την ερώτηση. Το βασικό πρόβλημα στον τομέα αυτό είναι ο τρόπος ελαχιστοποίησης του κόστους επικοινωνίας για την ανάκτηση της απαραίτητης πληροφορίας, ώστε να απαντηθεί η ερώτηση.

Το μικρό μέγεθος των οθονών κάποιων φορητών συσκευών έστρεψε τους ερευνητές στην αναζήτηση νέων διεπαφών για την ανάκτηση πληροφοριών. Αρκετές προσπάθειες αναφέρονται για τη δημιουργία εύχρηστων διεπαφών [Barb99].

2.4. Υπηρεσίες Διαδικτύου

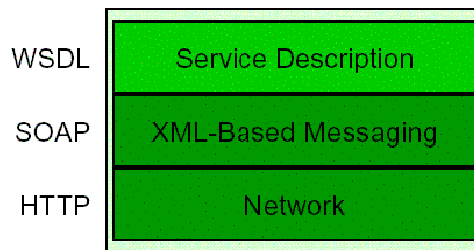
Με τον όρο *web services* ή αλλιώς *υπηρεσίες διαδικτύου* εννοούμε υπηρεσίες οι οποίες είναι δομημένες με βάση τα πρωτόκολλα του διαδικτύου [ACKM04], [Kreg01]. Οι υπηρεσίες διαδικτύου είναι μια νέα γενιά εφαρμογών διαδικτύου και είναι αυτόνομες και σύνθετες εφαρμογές οι οποίες μπορούν να δημοσιευθούν, να “τοποθετηθούν” και να κληθούν μέσω του διαδικτύου ή σε υπολογιστές που χρησιμοποιούν τα πρωτόκολλα διαδικτύου. Οι υπηρεσίες διαδικτύου εκτελούν λειτουργίες οι οποίες μπορεί να είναι οτιδήποτε από απλές αιτήσεις μέχρι πολυσύνθετες επιχειρησιακές διαδικασίες. Κάθε φορά που μία υπηρεσία διαδικτύου “αναπτύσσεται” και δημοσιεύεται, κάποιες άλλες υπηρεσίες διαδικτύου ή άλλο λογισμικό μπορούν να ανακαλύψουν και να καλέσουν τη δημοσιευμένη υπηρεσία διαδικτύου.

Ένας τυπικός ορισμός είναι: υπηρεσία διαδικτύου είναι μια διεπαφή που περιγράφει μια συλλογή λειτουργιών που προσφέρονται από το Διαδίκτυο και προσπελούνται μέσω τυποποιημένων XML μηνυμάτων. Η διεπαφή μιας υπηρεσίας διαδικτύου κρύβει τις λεπτομέρειες της εφαρμογής της υπηρεσίας, επιτρέποντάς της να χρησιμοποιηθεί ανεξάρτητα από το υλικό και το λογισμικό στο οποίο εφαρμόζεται και επίσης από τη γλώσσα στην οποία είναι γραμμένη. Έτσι οι χρήστες τέτοιων υπηρεσιών δε χρειάζεται να γνωρίζουν τις λεπτομέρειες της εφαρμογής της υπηρεσίας αλλά το μόνο που πρέπει να κάνουν είναι να στέλνουν και να λαμβάνουν μηνύματα. Οι υπηρεσίες διαδικτύου μπορούν να χρησιμοποιηθούν, για παράδειγμα, μόνες τους ή σε συνεργασία με άλλες υπηρεσίες για να πραγματοποιήσουν μια εμπορική συναλλαγή.

Οι υπηρεσίες διαδικτύου βρίσκονται στα πρώτα στάδια της εξέλιξής τους. Πρόκειται για μία νέα τεχνολογία που δε χρησιμοποιεί παλαιότερες και λύνει με διαφορετικό τρόπο ήδη υπάρχοντα προβλήματα που αντιμετωπίζουν παλιότερες τεχνολογίες. Οι

υπηρεσίες δικτύου χρησιμοποιούνται σε πολλούς τομείς όπως στις τράπεζες και στην οικονομία γενικότερα, στο ηλεκτρονικό εμπόριο, στις επιχειρήσεις, στις τηλεπικοινωνίες ακόμα και στην ψυχαγωγία. Τα ίδια προβλήματα μπορούν να αντιμετωπίσουν και άλλες τεχνολογίες όπως οι RMI, CORBA, DCOM. Οι υπηρεσίες διαδικτύου στηρίζονται στο διαδεδομένο HTTP πρωτόκολλο και χρησιμοποιούν ως βασική γλώσσα την XML. Το γεγονός αυτό χαρακτηρίζει το περιβάλλον ανάπτυξης φιλικό. Από την άλλη πλευρά το πρωτόκολλο RMI βασίζεται στη Java καθιστώντας το δύσκολο να συνεργαστεί, με άλλες γλώσσες. Επιπλέον οι υπηρεσίες διαδικτύου είναι βασισμένες σε ένα σύνολο τυποποιημένων κανόνων και προδιαγραφών εξασφαλίζοντας έτσι το πλεονέκτημα της φορητότητας έναντι των άλλων τεχνολογιών.

Η αρχιτεκτονική των υπηρεσιών διαδικτύου που είναι δημοσιευμένες στο Internet φαίνεται στο Σχήμα 2.10.



Σχήμα 2.10 Στοιβά Υπηρεσιών Διαδικτύου [Kreg01]

Τα ανώτερα στρώματα στηρίζονται στις ικανότητες που παρέχονται από τα κατώτερα στρώματα. Η βάση της στοιβάς είναι το δίκτυο (*Network*). Οι υπηρεσίες πρέπει να είναι προσβάσιμες από κάποιο δίκτυο για να μπορούν να κληθούν από τους πελάτες. Οι υπηρεσίες που είναι διαθέσιμες στο Internet αναπτύσσονται χρησιμοποιώντας πρωτόκολλα δικτύου, κυρίως όμως χρησιμοποιώντας το HTTP που είναι και το πιο διαδεδομένο. Το επόμενο επίπεδο, *XML-based messaging*, παρουσιάζει τη χρήση της XML (eXtensible Markable Language) ως τη βάση του πρωτοκόλλου βασισμένου σε μηνύματα. Το πρωτόκολλο αυτό είναι το SOAP (Simple Object Access Protocol) και επιλέχθηκε μεταξύ άλλων για συγκεκριμένους λόγους που αναφέρονται παρακάτω. Το ανώτερο επίπεδο αφορά την περιγραφή της υπηρεσίας και στην πραγματικότητα είναι μια στοιβά από περιγραφές. Αρχικά, η WSDL (Web Service Description

Language), είναι το de facto πρότυπο για την περιγραφή υπηρεσιών βασισμένων σε XML. Αυτό είναι το ελάχιστο πρότυπο περιγραφής υπηρεσίας που απαιτείται για να υποστηριχθούν οι υπηρεσίες διαδικτύου. Η WSDL ορίζει τη διεπαφή και τους μηχανισμούς της αλληλεπίδρασης της υπηρεσίας. Επιπρόσθετα η περιγραφή είναι απαραίτητη για να προσδιορίσει το πλαίσιο και την ποιότητα της υπηρεσίας και τις σχέσεις μεταξύ υπηρεσιών.

WSDL είναι το ακρωνύμιο των λέξεων Web Services Description Language [W3C03]. Η WSDL παρέχει μία γραμματική για την περιγραφή μιας υπηρεσίας δικτύου. Στο αρχείο αυτό δεν προσδιορίζεται μόνο η τοποθεσία της υπηρεσίας δικτύου και οι λειτουργίες που αυτή προσφέρει αλλά και ο τρόπος με τον οποίο η διεπαφή συνδέεται με το πρωτόκολλο επικοινωνίας HTTP.

Ένα WSDL κείμενο ορίζει μια υπηρεσία δικτύου χρησιμοποιώντας τα εξής κύρια στοιχεία:

- **Types:** Ορίζει τους τύπους δεδομένων που χρησιμοποιούνται από την υπηρεσία δικτύου. Το στοιχείο *Types* είναι παρόμοιο με κλάσεις Java.
- **Message:** Είναι το στοιχείο των δεδομένων. Χρησιμοποιείται από μια λειτουργία για να μεταφέρει τα δεδομένα αυτής. Το στοιχείο *Message* περιγράφει την επικοινωνία μεταξύ πελάτη και εξυπηρετητή, καταγράφοντας τους τύπους των δεδομένων που ανταλλάσσονται.
- **Operations, messages and faults:** Τα στοιχείο *Operation* είναι παρόμοιο με μια μέθοδο της Java. Αποτελείται από εισερχόμενα, εξερχόμενα και μηνύματα λάθους. Μπορούμε να σκεφτούμε ένα εισερχόμενο μήνυμα μιας λειτουργίας (operation) σαν μία παράμετρο μιας μεθόδου Java. Μπορούμε να σκεφτούμε ένα εξερχόμενο μήνυμα μιας λειτουργίας (operation) σαν μία επιστρεφόμενη τιμή μιας μεθόδου Java. Μπορούμε να σκεφτούμε ένα μήνυμα λάθους (fault message) σαν εξαίρεση της Java.
- **PortType:** Ένα port type είναι ένα σύνολο από αφηρημένες λειτουργίες. Ένα port type στη WSDL είναι σαν ένα interface στη Java. Είναι το πιο σημαντικό WSDL στοιχείο.
- **Binding:** Ορίζει τα πρωτόκολλα επικοινωνίας που χρησιμοποιούνται από την υπηρεσία δικτύου.

- **Services:** Μια υπηρεσία (service) ορίζει τις πληροφορίες σύνδεσης για μια συγκεκριμένη τιμή του στοιχείου *Binding*. Οι υπηρεσίες μπορούν να έχουν ένα ή περισσότερα ports καθένα από τα οποία ορίζει μια διαφορετική μέθοδο σύνδεσης.

2.5. Επεξεργασία Ερωτήσεων πάνω σε MANETs

Στις προηγούμενες ενότητες αυτού του κεφαλαίου παρουσιάστηκαν σχετικές και υποστηρικτικές τεχνολογίες στο θέμα της επεξεργασίας ερωτήσεων πάνω σε MANETs. Στη συγκεκριμένη ενότητα περιγράφεται η δική μας προσέγγιση στο παραπάνω θέμα, η οποία εντάσσεται στον τομέα της *κινητής πληροφορικής*. Οι πρόσφατες εξελίξεις στις ασύρματες τεχνολογίες έχουν οδηγήσει στην κινητή πληροφορική, μια νέα διάσταση στις επικοινωνίες και την επεξεργασία δεδομένων. Το περιβάλλον κινητής πληροφορικής εφοδιάζει τις εφαρμογές των βάσεων δεδομένων με χρήσιμες απόψεις από την ασύρματη τεχνολογία. Η πλατφόρμα της κινητής πληροφορικής επιτρέπει στους χρήστες να αποκαθιστούν επικοινωνία με άλλους χρήστες και να διαχειρίζονται την εργασία τους ενώ βρίσκονται σε κίνηση. Τα τρία βασικά θέματα που μας απασχολούν στην υλοποίηση του συστήματος είναι:

- Η συγκέντρωση όσο γίνεται περισσότερων πληροφοριών κατά την προώθηση μιας ερώτησης στο δίκτυο.
- Η ελαχιστοποίηση του κόστους που προκαλείται κατά τη δρομολόγηση μιας ερώτησης.
- Η συμβατότητα και η συνύπαρξη της προτεινόμενης λύσης με τα υπάρχοντα παραδοσιακά πρωτόκολλα δρομολόγησης.

Αρχικά αναλύθηκε η επεξεργασία ερωτήσεων στις πρώτες βάσεις δεδομένων που αναπτύχθηκαν και αυτές είναι οι κεντροκοποιημένες. Είναι προφανές ότι οι αρχές και οι μηχανισμοί επεξεργασίας ερωτήσεων που διέπουν την τεχνολογία αυτή των βάσεων δεδομένων δεν μπορούν να εφαρμοστούν στο σύστημα που αναπτύσσουμε. Ο λόγος οφείλεται στο γεγονός ότι εδώ δεν υπάρχει μόνο μία πηγή πληροφοριών η οποία είναι κεντρική. Αντίθετα, το σύστημα αποτελείται από κόμβους που καθένας διαθέτει μία βάση δεδομένων. Οι τελευταίες περιλαμβάνουν τοπικά αποθηκευμένους πίνακες, καθώς επίσης και πίνακες με εγγραφές που είναι αποθηκευμένες σε άλλους

κόμβους και συλλέγονται από αυτούς κατά τη διάρκεια δημιουργίας και προώθησης μιας ερώτησης προς τους άλλους κόμβους. Το περιεχόμενο, δηλαδή, των βάσεων δεδομένων είναι μεταβαλλόμενο.

Στη συνέχεια, η επεξεργασία ερωτήσεων με την τεχνολογία των κατανεμημένων βάσεων δεδομένων, από τις οποίες δανείζεται αρκετά χαρακτηριστικά η κινητή πληροφορική και κατά συνέπεια το σύστημα που αναπτύσσουμε, είναι δύσκολο να εφαρμοστεί σε ένα δίκτυο MANET λόγω των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών του. Ένα σύστημα που περιλαμβάνει μια κατανεμημένη βάση δεδομένων θεωρεί σταθερό τον αριθμό των κόμβων, γεγονός που έρχεται σε αντίθεση με τη φύση του δικτύου που μας απασχολεί και περιγράφηκε παραπάνω. Επιπλέον, μία κατανεμημένη βάση δεδομένων ορίζεται ως μία συλλογή πολλαπλών λογικά συσχετιζόμενων βάσεων δεδομένων διαμοιρασμένων σε ένα υπολογιστικό δίκτυο. Ένα δίκτυο MANET δεν έχει τις ιδιότητες που περιγράφει ο προηγούμενος ορισμός. Μερικά από τα προβλήματα λογισμικού, που μπορεί να περιλαμβάνουν διαχείριση δεδομένων, διαχείριση δοσοληψιών, και ανάκαμψη βάσεων δεδομένων και έχουν την προέλευσή τους στα κατανεμημένα συστήματα βάσεων δεδομένων, είναι δύσκολο να επιλυθούν στην κινητή πληροφορική. Οι λόγοι οφείλονται στο μικρό εύρος των καναλιών ασύρματης επικοινωνίας, των περιορισμένων πόρων των κινητών μονάδων και στη νομαδική συμπεριφορά των κόμβων του δικτύου.

Όσον αφορά στην επεξεργασία ερωτήσεων στα p2p δίκτυα, ο λόγος γίνεται για την αναζήτηση και τον εντοπισμό ενός συγκεκριμένου δεδομένου. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται σε δύο φάσεις. Αρχικά ο κόμβος που θέτει την ερώτηση, αναζητά δηλαδή ένα συγκεκριμένο δεδομένο, ακολουθεί τη μέθοδο της πλημμύρας προωθώντας την ερώτηση σε όλους τους κόμβους του δικτύου, ώστε να βρεθεί ο κόμβος που διαθέτει τα ζητούμενα δεδομένα και στη συνέχεια, πραγματοποιείται μία ένα – προς – ένα επικοινωνία μεταξύ αυτών των δύο κόμβων για την απόκτηση των ζητούμενων δεδομένων. Η διαδικασία αυτή της επεξεργασίας ερωτήσεων έρχεται σε αντίθεση με την πρώτη βασική απαίτησή μας, που αναφέρθηκε στην αρχή της ενότητας για, ένα ασύρματο κινητό δίκτυο. Σύμφωνα με αυτή, σκοπός είναι κάθε φορά που ένας κόμβος δημιουργεί και προωθεί μια ερώτηση να εντοπίζονται και να συλλέγονται τα δεδομένα εκείνα που ικανοποιούν το αίτημά του. Πρέπει επιπλέον να

σημειωθεί ότι δεν αρκεί απλά η εύρεση ενός κόμβου που διαθέτει τα κατάλληλα δεδομένα, όπως συμβαίνει στα p2p δίκτυα, αλλά η συγκέντρωση όσο γίνεται περισσότερων πληροφοριών που υπάρχουν διεσπαρμένες στο δίκτυο. Ο λόγος αφορά δηλαδή, σε μία data-centric επικοινωνία. Στην ενότητα 2.2.3 αυτού του κεφαλαίου αναφέρθηκαν σχετικές εργασίες που έχουν γίνει στο θέμα αυτό. Παρόλα αυτά οι εναλλακτικές λύσεις της πλημμύρας και της πολλαπλής διανομής, που προτάθηκαν για την υλοποίηση μιας τέτοιας εφαρμογής που στηρίζεται στην εν λόγω επικοινωνία, εφαρμόζονται με μη αποδοτικό τρόπο στα ασύρματα κινητά δίκτυα. Η επιβάρυνση που επιφέρουν στο δίκτυο είναι αρκετά σημαντική, με αποτέλεσμα να μην εξασφαλίζεται η πραγματοποίηση της δεύτερης βασικής απαίτησης που αναφέρθηκε παραπάνω.

Στη συνέχεια αυτού του κεφαλαίου παρουσιάστηκε η επεξεργασία και η δρομολόγηση των ερωτήσεων στα δίκτυα γενικά. Οι παραδοσιακοί αλγόριθμοι που προτάθηκαν δεν μπορούν να εφαρμοστούν με αποδοτικό τρόπο στα ασύρματα κινητά δίκτυα. Ο λόγος οφείλεται στην κακή ιδιότητα κλιμάκωσης που παρουσιάζουν δημιουργώντας και προωθώντας στο δίκτυο πολλά μηνύματα ενημέρωσης και κατά συνέπεια προκαλώντας μεγάλη κατανάλωση των πόρων του δικτύου. Έτσι, αναπτύχθηκαν αρκετά πρωτόκολλα δρομολόγησης, που στηρίζονται στους παραπάνω αλγόριθμους, με καθένα από αυτά να αποδίδει καλύτερα σε συγκεκριμένα σενάρια. Βέβαια, σε αρκετά από τα πρωτόκολλα αυτά εφαρμόζεται η μέθοδος της πλημμύρας για την προώθηση των ερωτήσεων, γεγονός που οδηγεί σε μεγάλη κατανάλωση των πόρων του δικτύου.

Έτσι, η ιδέα που προτείνεται, ώστε η ερώτηση να προωθείται σε όλους τους κόμβους που διαθέτουν τα κατάλληλα δεδομένα και επιπλέον να ελαχιστοποιείται ο φόρτος που προκαλείται από το μεγάλο αριθμό των μεταδόσεων μιας ερώτησης, είναι η εκμετάλλευση της πληροφορίας που φέρει κάθε ερώτηση και βρίσκεται στο επίπεδο εφαρμογών. Με άλλα λόγια, αποσκοπούμε στην υλοποίηση μιας cross-layer τεχνικής του πρωτοκόλλου δρομολόγησης. Κατά συνέπεια, αν το επίπεδο δικτύου ενσωματώνει χαρακτηριστικά από το επίπεδο εφαρμογών και τα εκμεταλλεύεται κατά την προώθηση μιας ερώτησης, τότε μειώνεται ο αριθμός των εκπομπών και εξοικονομούνται πόροι. Όσον αφορά στη μετάδοση των πακέτων απάντησης είναι

σαφές ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί η ένα – προς – ένα επικοινωνία. Το πρόβλημα αυτό το λύνουν ήδη τα παραδοσιακά πρωτόκολλα δρομολόγησης. Επομένως, δεν είναι απαραίτητη η κατασκευή ενός νέου πρωτοκόλλου δρομολόγησης αλλά η επέκταση ενός ήδη υπάρχοντος που θα ενσωματώνει στοιχεία από το επίπεδο εφαρμογών. Με αυτό τον τρόπο εξασφαλίζεται και η τρίτη απαίτηση που αναφέρθηκε παραπάνω, αλλά και η επιθυμία μας να υποστηρίζεται η συνύπαρξη των data-centric εφαρμογών, όπως είναι οι βάσεις δεδομένων σε p2p δίκτυα, με άλλους τύπους εφαρμογών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΤΥΠΙΚΟΣ ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΙΔΕΑ

3.1 Μοντελοποίηση του Προβλήματος

3.2 Προτεινόμενη Λύση

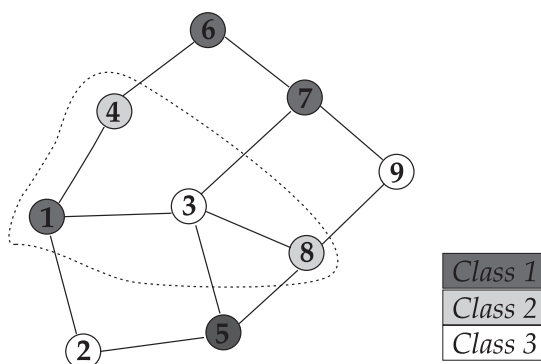
Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο, περιγράφεται το μοντέλο του συστήματος που θα αναπτύξουμε και παρουσιάζεται ένα απλό παράδειγμα δικτύου. Στη συνέχεια, ακολουθεί ένας τυπικός ορισμός του προβλήματος που μας απασχολεί, και τέλος παρουσιάζεται η προτεινόμενη λύση.

3.1. Μοντελοποίηση του Προβλήματος

3.1.1. Περιγραφή του Μοντέλου

Όπως προκύπτει και από το κεφάλαιο 2 των σχετικών εργασιών, το σύστημα που αναπτύσσουμε στηρίζεται στις κατανεμημένες βάσεις δεδομένων καθώς επίσης και στις λειτουργίες και τις αρχές που χαρακτηρίζουν τα wireless mobile ad hoc networks. Ένα σενάριο που περιγράφει εύστοχα το σύστημά μας είναι το εξής. Θεωρούμε ένα μεγάλο πλήθος από υπολογιστικές οντότητες οι οποίες κινούνται σε μία καθορισμένη περιοχή και διατηρούν πληροφορίες οι οποίες αποθηκεύονται τοπικά. Οι υπολογιστικές οντότητες ανήκουν σε ομάδες που ονομάζονται κλάσεις (*classes*) και αυτό που τις διακρίνει είναι το είδος των υπηρεσιών που προσφέρουν τα μέλη τους. Έτσι, τα μέλη μιας κλάσης προσφέρουν τις ίδιες υπηρεσίες και η γνώση αυτών βοηθά τις οντότητες να θέσουν ερωτήσεις προς τα μέλη μιας συγκεκριμένης κλάσης. Ένα ασύρματο κινητό δίκτυο με τα παραπάνω χαρακτηριστικά μπορεί να

είναι το εξής. Ας υποθέσουμε ένα μεγάλο πλήθος από οχήματα και πεζούς που κινούνται σε μία μικρή πόλη. Τα οχήματα αυτά μπορεί να είναι αυτοκίνητα, φορτηγά, ασθενοφόρα και άλλα. Κάθε όχημα και πεζός θεωρούμε ότι είναι μια υπολογιστική οντότητα η οποία διατηρεί πληροφορίες που αφορούν στις υπόλοιπες υπολογιστικές οντότητες. Αυτές οι πληροφορίες μπορεί να είναι η ταχύτητα ενός οχήματος, η ακριβής θέση του οχήματος ή ενός πεζού στο δρόμο, καθώς επίσης και πληροφορίες που αφορούν στα τεχνικά χαρακτηριστικά των οχημάτων, όπως ο τύπος του οχήματος, η μάρκα του και άλλα. Είναι προφανές ότι η θέση των οντοτήτων δεν είναι σταθερή, αλλά αυτά κινούνται και αλλάζουν κατεύθυνση, ενώ είναι επίσης δυνατόν να σταθμεύουν. Επιπλέον, οι οντότητες επικοινωνούν μεταξύ τους και περιλαμβάνουν εφαρμογές ώστε να επιτυγχάνεται η διαδικασία της επερώτησης. Έτσι, ένα όχημα μπορεί να δημιουργήσει ερωτήσεις που αφορούν, για παράδειγμα, στην ταχύτητα των οχημάτων που βρίσκονται σε απόσταση ενός χιλιομέτρου, τον εντοπισμό του κοντινότερου πρατηρίου βενζίνης ή την ακριβή θέση των οχημάτων ενός συγκεκριμένου τύπου, για παράδειγμα, ευρωπαϊκού. Ανάλογα, επομένως, με το είδος της ερώτησης και της ζητούμενης πληροφορίας είναι δυνατόν να ερωτηθούν τα μέλη μιας συγκεκριμένης κλάσης. Οι οντότητες που λαμβάνουν την ερώτηση αναζητούν τοπικά τα κατάλληλα δεδομένα και αναλαμβάνουν στη συνέχεια την αποστολή μιας απάντησης στο δημιουργό της ερώτησης. Ένα παράδειγμα παρόμοιου δικτύου φαίνεται στο Σχήμα 3.1.



Σχήμα 3.1 Ένα Παράδειγμα Δικτύου με τρεις Κλάσεις Κόμβων

Το παράδειγμα δικτύου που παρουσιάστηκε παραπάνω φέρει αρκετές ομοιότητες με τα γνωστά p2p δίκτυα. Παρόλα αυτά μία σημαντική διαφορά εντοπίζεται μεταξύ αυτών των δύο συστημάτων. Στα p2p δίκτυα για την απόκτηση ενός δεδομένου

αναζητείται ο κόμβος και συγκεκριμένα η διαδρομή που οδηγεί σε αυτόν που διαθέτει το ζητούμενο δεδομένο. Αντίθετα στο σύστημά μας σκοπός είναι η μετάδοση της ερώτησης σε όσο το δυνατόν περισσότερους κόμβους ανήκουν σε μία συγκεκριμένη κλάση, διαθέτουν δηλαδή τα κατάλληλα δεδομένα, έτσι ώστε να συγκεντρωθούν όσο περισσότερες πληροφορίες είναι εφικτό. Είναι προφανές ότι τα πρωτόκολλα δρομολόγησης που εφαρμόζονται στα ασύρματα δίκτυα μέχρι τώρα δεν μπορούν να επιτύχουν το στόχο που αναφέρθηκε τελευταία. Επομένως, θα πρέπει να αναπτυχθεί ένας μηχανισμός ώστε να πραγματοποιείται η δρομολόγηση των ερωτήσεων ακολουθώντας την παραπάνω αρχή αποφεύγοντας παράλληλα την άσκοπη κατανάλωση των πόρων του δικτύου. Μία απλή λύση για το πρόβλημα θα μπορούσε να είναι η ένα προς ένα μετάδοση της ερώτησης σε όλους τους κόμβους του δικτύου. Πρόκειται για μία λειτουργία που παρέχεται ήδη από τα υπάρχοντα πρωτόκολλα δρομολόγησης, ωστόσο η εφαρμογή της θα οδηγούσε σε άσκοπη κατανάλωση πόρων. Ένας άλλος τρόπος με τον οποίο θα δέχονταν την ερώτηση όλοι οι πιθανοί κόμβοι που διαθέτουν τα κατάλληλα δεδομένα είναι η τεχνική της πλημμύρας. Και σε αυτή την περίπτωση δεν είναι απαραίτητη κάποια τροποποίηση στα πρωτόκολλα δρομολόγησης. Παρόλα αυτά η εφαρμογή αυτής της τεχνικής θα επιβάρυνε αρκετά το δίκτυο, αφού όλοι οι κόμβοι του δικτύου θα δέχονταν τουλάχιστον μία φορά την ερώτηση χωρίς απαραίτητα να μπορούν να δώσουν μία απάντηση. Ο λόγος για τον οποίο η λύση αυτή θεωρείται κακή γίνεται κατανοητός αν σκεφτούμε το παράδειγμα δικτύου του Σχήματος 3.1. Αν θεωρήσουμε ότι ο κόμβος 1 μεταδίδει μία ερώτηση επιθυμώντας να αποκτήσει τα δεδομένα των κόμβων που ανήκουν στην κλάση 2, τότε όλοι οι κόμβοι του δικτύου θα λάβουν τουλάχιστον ένα αντίτυπο της ερώτησης. Βασική, όμως, προϋπόθεση είναι να μειωθεί ο φόρτος του δικτύου περιορίζοντας τον αριθμό εκπομπών της ερώτησης. Είναι προφανές ότι η απαίτηση αυτή μπορεί να πραγματοποιηθεί αν εκμεταλλευτούμε τη γνώση για τις κλάσεις των κόμβων που μας προσφέρει το επίπεδο εφαρμογών. Σε αυτή την περίπτωση η ερώτηση του κόμβου 1 του Σχήματος 3.1 θα μεταδοθεί μόνο στους κόμβους που περιβάλλονται από την διακεκομμένη γραμμή. Κατά συνέπεια, περιορίζεται ο αριθμός μεταδόσεων της ερώτησης, καταναλώνοντας με αυτό τον τρόπο όσο γίνεται λιγότερο από το εύρος ζώνης (bandwidth) του δικτύου και παράλληλα εντοπίζοντας όλους τους κόμβους με τα ζητούμενα δεδομένα. Όσον αφορά στο θέμα της αποστολής απαντήσεων, αρκεί η ένα προς ένα επικοινωνία που αντιμετωπίζεται ήδη από τα υπάρχοντα πρωτόκολλα

δρομολόγησης. Συνεπώς, η ιδέα της ενσωμάτωσης χαρακτηριστικών από το επίπεδο εφαρμογών στο επίπεδο δικτύου πρέπει να είναι συμβατή με τα γνωστά πρωτόκολλα δρομολόγησης και να υπάρχει ομαλή λειτουργία με άλλες εφαρμογές. Όπως επίσης, είναι σημαντικό να κατανοηθεί ότι η επέκταση του πρωτοκόλλου με νέους κανόνες δεν πρέπει να επηρεάσει τις υπόλοιπες λειτουργίες του, όπως είναι η εύρεση των συντομότερων μονοπατιών προς κόμβους του δικτύου με βάση την ταυτότητα των κόμβων αυτών.

Από τα παραπάνω γίνεται σαφές ότι η συγκεκριμένη εργασία αποσκοπεί στη βελτίωση της δρομολόγησης των ερωτήσεων σε mobile ad hoc δίκτυα. Σκοπός, δηλαδή, είναι η υποβολή και η δρομολόγηση των ερωτήσεων χρησιμοποιώντας τα χαρακτηριστικά των ζητούμενων πληροφοριών ή των δεδομένων που διατηρεί κάθε κόμβος. Έτσι, αν υποθέσουμε ότι ένας κόμβος στο σύστημά μας επιθυμεί να αποκτήσει ένα συγκεκριμένο δεδομένο και η ερώτηση που υποβάλλει περιλαμβάνει στοιχεία που αφορούν στην απόσταση των κόμβων ή στο υποσύνολο των κόμβων που μας ενδιαφέρει να προωθήσουμε την ερώτηση, καθώς και στην ομάδα των κόμβων που περιέχουν δεδομένα που ανήκουν στην ίδια θεματική ενότητα με το ζητούμενο δεδομένο, τότε η προώθησή της θα γίνει μόνο στους συγκεκριμένους κόμβους. Με τις υπάρχουσες τεχνικές δρομολόγησης σε ένα δίκτυο MANET, ο ίδιος κόμβος για να αποκτήσει το ζητούμενο δεδομένο θα πρέπει να προωθήσει την ερώτηση σε όλους τους κόμβους του δικτύου, αφού μέχρι σήμερα για τη δρομολόγηση τέτοιων ερωτήσεων εφαρμόζεται η τεχνική της πλημμύρας. Μία πιο πολύπλοκη τεχνική θα μπορούσε να είναι η δρομολόγηση της πολλαπλής διανομής. Η εφαρμογή της τελευταίας θα απαιτούσε την κατασκευή ενός δέντρου που θα στηριζόταν στις κλάσεις των κόμβων στους οποίους απευθύνεται η ερώτηση. Αυτό συνεπάγεται την κατασκευή διαφορετικών δέντρων για κάθε κλάση (ή θεματική ενότητα) που δημιουργείται προκαλώντας έτσι, μεγάλη επιβάρυνση στο δίκτυο και καθιστώντας με αυτό τον τρόπο την τεχνική αυτή αναποτελεσματική. Σκοπός, επομένως, είναι η συγκέντρωση όσο περισσότερων πληροφοριών γίνεται προωθώντας την ερώτηση στους κόμβους που γνωρίζουμε ότι περιέχουν τα ζητούμενα δεδομένα, ώστε να ελαχιστοποιηθεί η κατανάλωση των πόρων του δικτύου.

3.1.2. Χαρακτηριστικά του Μοντέλου

Όσον αφορά στα χαρακτηριστικά του συστήματος που παρουσιάστηκε, δύο είναι τα βασικότερα. Η νομαδική συμπεριφορά των κόμβων του και η υποβολή ερωτήσεων σε μεγάλο αριθμό υπολογιστικών οντοτήτων. Πιο αναλυτικά, το σύστημά μας περιλαμβάνει ένα σύνολο από κόμβους, οι οποίοι είναι οργανωμένοι σε ένα γράφο. Με βάση αυτό το γράφο και κάποια άλλα κριτήρια, όπως διαθεσιμότητα των κόμβων, ταχύτητα απόκρισης, κλάση των παρεχόμενων υπηρεσιών που προσφέρουν οι κόμβοι και εγκυρότητα των πληροφοριών που διατηρούν οι κόμβοι, καθορίζουμε το υποσύνολο των κόμβων που μας ενδιαφέρει να προωθήσουμε μια ερώτηση. Ο γράφος των κόμβων μεταβάλλεται δυναμικά, οπότε ενδέχεται κάποιοι από τους κόμβους που ρωτήθηκαν να μη δώσουν απάντηση. Το γεγονός αυτό μας οδηγεί στην αλλαγή της έννοιας του τερματισμού μιας ερώτησης. Έτσι, θέτουμε επιπλέον κάποια κριτήρια επιτυχούς τερματισμού μιας ερώτησης. Αυτά μπορεί να είναι η στιγμή που ο κόμβος που θέτει την ερώτηση, είτε λάβει απάντηση από ένα πλήθος κόμβων που ξεπερνούν ένα ποσοστό από τους συνολικούς που ρωτήθηκαν, είτε συλλέξει ένα πλήθος πλειάδων που ξεπερνούν ένα δεδομένο όριο ή ως κριτήριο μπορεί να είναι η στιγμή μετά από ένα χρονικό όριο που τίθεται ως μέγιστο όριο αποδεκτής ερώτησης. Επιπλέον ένας κόμβος θα έχει τη δυνατότητα να πραγματοποιεί μια ερώτηση σε τακτά χρονικά διαστήματα ενημερώνοντας την αντίστοιχη απάντηση σε στιγμές που ακολουθούν συγκεκριμένη περίοδο. Από αυτά γίνεται σαφές ότι στο σύστημά μας πρέπει να χρησιμοποιηθούν τεχνολογίες που να αντιμετωπίζουν το πρόβλημα της κινητικότητας των κόμβων και την ανάγκη διαλειτουργικότητας σε μια ποικιλία πλατφόρμων. Στη συνέχεια, αναλύονται οι παραδοχές που κάνουμε για το περιβάλλον λειτουργίας των κόμβων ενός δικτύου.

Κλάσεις ομότιμων πρακτόρων. Το δίκτυο χαρακτηρίζεται από κλάσεις στις οποίες ανήκουν κόμβοι που προσφέρουν παρόμοιες υπηρεσίες. Αυτό σημαίνει ότι ένας κόμβος ανάλογα με τις υπηρεσίες που προσφέρει ανήκει σε μια συγκεκριμένη κλάση. Έτσι, είναι δυνατόν ένας κόμβος να ανήκει σε πολλές κλάσεις, αν προσφέρει υπηρεσίες που ανήκουν σε διαφορετικές κλάσεις, αλλά για απλοποίηση του προβλήματος, στο σύστημά μας θεωρούμε ότι κάθε κόμβος ανήκει σε μία μόνο κλάση. Οι κόμβοι γίνονται γνώστες των κλάσεων των ομότιμων τους κόμβων μέσω του δικτύου.

Βάση δεδομένων. Κάθε κόμβος περιλαμβάνει μία βάση δεδομένων. Η τεχνολογία των τελευταίων θα βοηθήσει στη διαδικασία της επερώτησης σε ένα μεγάλο αριθμό υπολογιστικών οντοτήτων. Σε αντίθεση με τις βάσεις δεδομένων, όπως τις γνωρίζουμε μέχρι τώρα, κάνουμε την βασική υπόθεση ότι στη βάση δεδομένων που διατηρεί κάθε κόμβος υπάρχουν τοπικά αποθηκευμένοι πίνακες με πληροφορίες που χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία των διαφόρων ερωτήσεων, καθώς επίσης και πίνακες με εγγραφές που είναι αποθηκευμένες σε άλλους κόμβους και συλλέγονται από αυτούς. Αυτό σημαίνει ότι το περιεχόμενο της βάσης δεδομένων δεν είναι στατικό αλλά μεταβαλλόμενο, και εκτός από τις εγγραφές που αποθηκεύει τοπικά κάθε κόμβος περιλαμβάνει και ένα σύνολο εγγραφών που συλλέγονται κατά τη διάρκεια μιας ερώτησης στους υπόλοιπους κόμβους. Ο πίνακας της βάσης δεδομένων με τις εγγραφές που συλλέγονται κατά τη διάρκεια μιας συγκεκριμένης ερώτησης είναι δυνατόν να διαφέρει από τον πίνακα που αποτελείται από εγγραφές που έχουν συγκεντρωθεί κατά τη διάρκεια προώθησης της ίδιας ακριβώς ερώτησης σε κάποια άλλη χρονική στιγμή. Αυτό συμβαίνει επειδή το δίκτυο είναι επίσης ευμετάβλητο και οι κόμβοι που απάντησαν σε μια ερώτηση κάποια χρονική στιγμή είναι δυνατόν να μην απαντήσουν στην ίδια ακριβώς ερώτηση κάποια άλλη στιγμή. Επίσης, επειδή οι γλώσσες επερώτησης που διαθέτουν οι βάσεις δεδομένων δεν περιλαμβάνουν τεχνικές που να αντιμετωπίζουν τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του δικτύου, που αναφέρθηκαν παραπάνω, και την απαίτηση για βελτιστοποίηση της δρομολόγησης κρίθηκε απαραίτητη η επέκταση μιας ήδη υπάρχουσας γλώσσας. Έτσι, η παραδοσιακή γλώσσα SQL επεκτάθηκε με νέα στοιχεία που αφορούν στα χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος του δικτύου, τα οποία στη συνέχεια ενσωματώνουμε στο πρωτόκολλο δρομολόγησης. Στη συνέχεια περιγράφονται τα χαρακτηριστικά περιβάλλοντος που αποτελούν και τα νέα στοιχεία [Foli06] της εκτεταμένης γλώσσας.

1. *Κλάση.* Πρόκειται για χαρακτηριστικό ομότιμων κόμβων. Η εισαγωγή του συγκεκριμένου γνωρίσματος στη γλώσσα SQL περιορίζει τη δρομολόγηση της ερώτησης μόνο στους κόμβους που διαθέτουν υπηρεσίες διαδικτύου που ανήκουν στην κλάση που ζητείται. Προφανώς απαιτείται κάθε κόμβος να γνωρίζει τις κλάσεις που προσφέρονται στο δίκτυο. Είναι δυνατόν ένας κόμβος να μην ενδιαφέρεται για μια συγκεκριμένη κλάση αλλά να θέλει να απευθύνει την ερώτηση σε όλους τους κόμβους του δικτύου. Αυτό

επιτυγχάνεται με την προσθήκη της φράσης *ALL CLASSES* στο συγκεκριμένο γνώρισμα.

2. *Διαθεσιμότητα*. Το συγκεκριμένο γνώρισμα χαρακτηρίζει τους κόμβους του δικτύου. Η ενσωμάτωσή του σε μια γλώσσα βάσεων δεδομένων περιορίζει τη δρομολόγηση των ερωτήσεων στους κόμβους του δικτύου που θεωρούνται διαθέσιμοι, δηλαδή αυτούς που επιθυμούν να συνεισφέρουν στο δίκτυο. Η πληροφορία για αυτούς τους κόμβους μπορεί να διατηρηθεί σε κάποιον τοπικό πίνακα κάθε κόμβου, παρά το γεγονός ότι θεωρείται δύσκολο. Ο λόγος είναι ότι το δίκτυο μεταβάλλεται συνεχώς χάρη στην κινητικότητα του και έτσι απαιτείται η διαπίστωση της διαθεσιμότητας των κόμβων με τακτικά μηνύματα.
3. *Χρόνος απόκρισης*. Το συγκεκριμένο χαρακτηριστικό ομότιμων κόμβων δρομολογεί την ερώτηση στους κόμβους που μπορούν να δώσουν απάντηση μέσα σε κάποιο χρονικό διάστημα. Έτσι κάθε κόμβος διατηρεί σχετική πληροφορία για κάθε άλλο κόμβο. Δηλαδή το χρόνο σε milliseconds που κάθε κόμβος είναι ικανός να απαντήσει.
4. *Εμβέλεια*. Πρόκειται για χαρακτηριστικό περιβάλλοντος το οποίο επιλέγει ή περιορίζει τη δρομολόγηση της ερώτησης σε καθορισμένους κόμβους. Υπάρχουν διάφορες επιλογές. Μια ερώτηση μπορεί να εκτελεστεί είτε μόνο τοπικά στον κόμβο που τη διατυπώνει, είτε στους κόμβους που απέχουν ένα καθορισμένο αριθμό βημάτων από τον αρχικό κόμβο, είτε σε όλους τους κόμβους του δικτύου, είτε σε επιλεγμένους κόμβους του δικτύου. Τέλος μια ερώτηση είναι δυνατόν να δρομολογηθεί στους κόμβους που ικανοποιούν μια συνθήκη. Η συνθήκη μπορεί να έχει σχέση με τα προηγούμενα γνωρίσματα, όπως είναι η διαθεσιμότητα, ο χρόνος απόκρισης και η κλάση στην οποία ανήκουν οι υπηρεσίες διαδικτύου των κόμβων.
5. *Χρονισμός*. Το συγκεκριμένο γνώρισμα αφορά στην ίδια την ερώτηση, δηλαδή στο χαρακτήρα της. Πιο αναλυτικά μπορεί να χαρακτηριστεί είτε με τη φράση *AD-HOC* είτε με τη φράση *CONTINUOUS*. Η προσθήκη των συγκεκριμένων φράσεων σε μια ερώτηση δεν επηρεάζει τον τρόπο δρομολόγησης της ερώτησης, δηλαδή δεν επηρεάζει τους βασικούς κανόνες του πρωτοκόλλου. Με την προσθήκη της πρώτης φράσης είναι απαραίτητος και ο καθορισμός της συνθήκης τερματισμού της συγκέντρωσης δεδομένων από τους κόμβους

του δικτύου. Η διαδικασία μπορεί να τερματιστεί απλά όταν συγκεντρωθούν αποτελέσματα από όλους τους κόμβους. Είναι δυνατόν όμως να τερματιστεί είτε όταν απαντήσει ένα ποσοστό των συνολικών κόμβων, είτε όταν συγκεντρωθεί ένας συγκεκριμένος αριθμός από πλειάδες πληροφοριών, είτε όταν λήξει ένα καθορισμένο χρονικό όριο. Οι τρεις αυτές περιπτώσεις καθορίζονται από τις εκφράσεις *PEERS_PERCENTAGE*, *AMOUNT_TUPLES* και *TIMEOUT* αντίστοιχα. Αν μια ερώτηση περιγράφεται ως *CONTINUOUS*, τότε εκτελείται περιοδικά και απαιτείται επιπλέον η προσθήκη είτε της φράσης *PULL_BASED WITH PERIOD* είτε της *PUSH_BASED*.

6. *Διάρκεια*. Με το χαρακτηριστικό ερώτησης ή του ερωτώντος κόμβου “Διάρκεια” αξιολογείται η εγκυρότητα των πληροφοριών των κόμβων. Θεωρούμε ότι ένας κόμβος θέτει μια ερώτηση. Είναι δυνατόν η ερώτηση αυτή να ικανοποιείται από τις πληροφορίες που διατηρεί τοπικά ο συγκεκριμένος κόμβος, αν οι τελευταίες είναι πρόσφατες. Για την αξιολόγηση λοιπόν της εγκυρότητας των πληροφοριών ορίζεται ένα χρονικό όριο. Αν οι πληροφορίες του κόμβου που θέτει την ερώτηση ενημερώθηκαν μέσα σε αυτό το χρονικό όριο, τότε θεωρούνται έγκυρες και η ερώτηση εκτελείται τοπικά, διαφορετικά δρομολογείται στους κατάλληλους κόμβους του δικτύου.

Οι απαιτήσεις για επέκταση της SQL που παραθέσαμε παραπάνω, δίνουν τη δυνατότητα σε κάποιον κόμβο να υποβάλλει πιο σύνθετες ερωτήσεις με περισσότερες παραμέτρους. Έτσι, ο χρήστης μπορεί να καθορίζει τις παραμέτρους της ερώτησης, οι οποίες δεν αναφέρονται στο σχήμα της βάσης δεδομένων του. Στο Σχήμα 3.2 φαίνεται το γενικό μοντέλο ερώτησης στην εκτεταμένη SQL.

```

SELECT <στήλες προς προβολή>
FROM <πίνακες που συμμετέχουν στην ερώτηση>
[WHERE <συνθήκες που πρέπει να ικανοποιούν οι πλειάδες του αποτελέσματος>]
[GROUP BY <γνωρίσματα ομαδοποίησης>]
[HAVING <συνθήκη ομαδοποίησης>]
[ORDER BY <γνωρίσματα με βάση τα οποία διατάσσονται οι πλειάδες του
αποτελέσματος σε φθίνουσα ή αύξουσα διάταξη>]
[WITH
  [AGE <μέγιστος χρόνος αξιοπιστίας των περιεχομένων της βάσης
δεδομένων τοπικά> *AND ή OR*]
  [TIMING <χρονισμός της ερώτησης: είτε AD-HOC είτε CONTINUOUS
  • Αν AD-HOC καθορίζεται κριτήριο επιτυχούς ερώτησης, είτε ένα
PEERS_PERCENTAGE, είτε ένα AMOUNT_TUPLES, είτε ένα
TIMEOUT
  • Αν CONTINUOUS τότε επιπλέον καθορίζεται είτε PULL_BASED
WITH PERIOD, είτε PUSH_BASED> *AND ή OR*]
  [HORIZON <καθορισμός των κόμβων (peers) που μας ενδιαφέρει να
απαντήσουν: είτε LOCAL, είτε LOCAL COMMUNITY, είτε HOPS < ή > =
ή <= ή >= K (K ακέραιος), είτε ALL COMMUNITIES, είτε
PEERS=[peer1,peer2,...,peern] > *AND ή OR*]
  [RELIABILITY <ελάχιστη διαθεσιμότητα των κόμβων που θα
ερωτηθούν>*AND ή OR*]
  [RESPONSE_TIME <μέγιστος αποδεκτός χρόνος απάντησης στην
ερώτηση>*AND ή OR*]
  [CLASS <καθορισμός των κόμβων που μας ενδιαφέρει να απαντήσουν με
βάση την κλάση των υπηρεσιών διαδικτύου που παρέχουν>*AND ή OR*]]

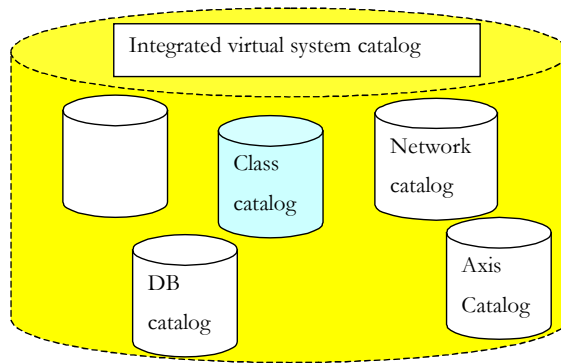
```

Σχήμα 3.2 Γενικό Μοντέλο Ερώτησης στην Εκτεταμένη SQL [Foli06]

Υπηρεσίες διαδικτύου. Κάθε κόμβος δημοσιεύει κάποιες υπηρεσίες διαδικτύου με τις οποίες επιτυγχάνεται η επικοινωνία με τους υπόλοιπους κόμβους του δικτύου οι οποίοι είναι δυνατόν να έχουν αναπτύξει τις εφαρμογές τους με διαφορετικές τεχνολογίες ή σε διαφορετικές πλατφόρμες. Πιο συγκεκριμένα η επικοινωνία, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, αφορά στην υποβολή ερωτήσεων μεταξύ των κόμβων του δικτύου και στην αποστολή απαντήσεων στους κόμβους που έθεσαν τις ερωτήσεις. Η δημιουργία ερωτήσεων πραγματοποιείται με γλώσσες από το χώρο των βάσεων δεδομένων και πιο συγκεκριμένα με την εκτεταμένη γλώσσα SQL, όπως περιγράφηκε παραπάνω. Με τη χρησιμοποίηση των χαρακτηριστικών περιβάλλοντος σε μια ερώτηση οι κόμβοι έχουν τη δυνατότητα να υποβάλλουν πιο σύνθετες ερωτήσεις και επιπλέον με την τροποποίηση του πρωτοκόλλου δρομολόγησης, όπως θα παρουσιαστεί σε επόμενη ενότητα, να τις προωθήσουν

αποκλειστικά και μόνο στους κόμβους που αυτοί επιθυμούν. Η εκτεταμένη γλώσσα SQL αποτελεί τη διαπροσωπεία προς το χρήστη και κάθε ερώτηση που δημιουργείται με βάση τους κανόνες της συνδέεται με μια σειρά υπηρεσιών διαδικτύου. Πιο αναλυτικά, ένας κόμβος υποβάλλει μια ερώτηση που ακολουθεί το γενικό μοντέλο που παρουσιάστηκε παραπάνω και στη συνέχεια η μετάφραση της ερώτησης αυτής προκαλεί την εκτέλεση ενός αριθμού υπηρεσιών διαδικτύου. Τα μηνύματα που επιστρέφουν οι υπηρεσίες διαδικτύου αποτελούν την απάντηση σε κάποιες από τις επιπρόσθετες παραμέτρους με τις οποίες επεκτείναμε την παραδοσιακή γλώσσα SQL. Στη συνέχεια εκτελείται το ερώτημα που τέθηκε χωρίς τις επιπρόσθετες παραμέτρους πάνω στις πλειάδες που συγκεντρώθηκαν. Επιπλέον οι πλειάδες αυτές αποτελούν τμήμα της βάσης δεδομένων του κόμβου που τις συγκέντρωσε.

Class Catalog. Επιπλέον κάθε κόμβος διατηρεί έναν πίνακα από πληροφορίες (class catalog), που αφορούν στους υπόλοιπους κόμβους του δικτύου και βοηθούν στη δημιουργία των ερωτήσεων. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.3 ο class catalog αποτελεί τμήμα του καταλόγου συστήματος κάθε κόμβου. Εδώ αποθηκεύονται πληροφορίες για τις κλάσεις που μπορούν να υπάρχουν στο δίκτυο καθώς επίσης και των υπηρεσιών διαδικτύου που εντάσσονται σε κάθε κλάση. Επίσης, ο κατάλογος περιέχει αντιστοιχίσεις των πινάκων που υπάρχουν τοπικά στη βάση δεδομένων κάθε κόμβου με τις υπηρεσίες διαδικτύου που διαθέτουν οι υπόλοιποι κόμβοι του δικτύου. Αυτό βοηθά στη μετατροπή των αποτελεσμάτων, που επιστρέφουν οι υπηρεσίες διαδικτύου, στη μορφή των πληροφοριών που αποθηκεύονται τοπικά στη βάση δεδομένων κάθε κόμβου, αφού δεν υπάρχει συμφωνία μεταξύ των κόμβων του δικτύου για το σχήμα που περιγράφει τη βάση δεδομένων τους. Έτσι, κάθε κόμβος που επιθυμεί να προωθήσει μια ερώτηση σε κάποιον κόμβο που ανήκει σε μια συγκεκριμένη κλάση, συμβουλευεται τον class catalog και ενημερώνεται για τις υπηρεσίες διαδικτύου που ανήκουν σε αυτή την κλάση, οπότε θα πρέπει να καλέσει αυτές οι υπηρεσίες.



Σχήμα 3.3 System Catalog

Πίνακας δρομολόγησης. Επίσης κάθε κόμβος διαθέτει έναν πίνακα που ονομάζεται πίνακας δρομολόγησης και δημιουργείται από το πρωτόκολλο δρομολόγησης. Ο τελευταίος περιέχει πληροφορίες που είναι απαραίτητες για τη λειτουργία του αλγορίθμου δρομολόγησης. Έτσι, ο πίνακας δρομολόγησης οποιουδήποτε κόμβου περιλαμβάνει τόσες εγγραφές όσοι είναι οι κόμβοι του δικτύου. Σε κάθε εγγραφή υπάρχουν πεδία, οι τιμές των οποίων βοηθούν στη διαδικασία της δρομολόγησης και της προώθησης των ερωτήσεων. Έτσι, ο πίνακας δρομολόγησης είναι απαραίτητο να ενημερώνεται σε τακτά χρονικά διαστήματα με μηνύματα που ανταλλάσσουν μεταξύ τους οι κόμβοι, ώστε να είναι έγκυρος.

Στο Σχήμα 3.4 α φαίνονται τα βασικά πεδία από τα οποία αποτελείται κάθε εγγραφή. Το πεδίο *dst* αναφέρεται στη διεύθυνση κάθε κόμβου του δικτύου, το πεδίο *NH* δηλώνει τον κόμβο μέσω του οποίου πρέπει να προωθηθεί κάθε ερώτηση ώστε να φτάσει στον κόμβο που δηλώνει το πεδίο *dst*. Τέλος, το πεδίο *hops* δηλώνει τον αριθμό των αλμάτων στο μονοπάτι που ενώνει τον κόμβο στον οποίο ανήκει ο πίνακας δρομολόγησης με τον κόμβο που δηλώνει το πεδίο *dst* αυτής της συγκεκριμένης εγγραφής. Για παράδειγμα, ο πίνακας δρομολόγησης του κόμβου 1 του δικτύου που φαίνεται στο Σχήμα 3.1 είναι ο Πίνακας 3.1 α. Σύμφωνα με αυτόν, ο κόμβος 1 απέχει ένα βήμα από τους κόμβους 2, 3 και 4, δύο βήματα από τους κόμβους 5, 6, 7 και 8 και τρία βήματα από τον κόμβο 9.

Dst	NH	Hops
-----	----	------

α)

Dst	NH	Hops	Class
-----	----	------	-------

β)

Σχήμα 3.4 Πεδία Εγγραφής Πίνακα Δρομολόγησης

Πίνακας 3.1 Πίνακας Δρομολόγησης Κόμβου 1 Σχήματος 3.1

Dst	NH	Hops
1	-	0
2	2	1
3	3	1
4	4	1
5	3	2
6	4	2
7	3	2
8	3	2
9	3	3

α)

Dst	NH	Hops	Class
1	-	0	1
2	2	1	3
3	3	1	3
4	4	1	2
5	4	2	1
6	2	2	1
7	2	3	1
8	3	2	2
9	3	3	3

β)

Επειδή σκοπός της εργασίας είναι η βελτιστοποίηση της δρομολόγησης και η προώθηση των ερωτήσεων σε συγκεκριμένους κόμβους του δικτύου, κρίνεται απαραίτητη η ενσωμάτωση των χαρακτηριστικών περιβάλλοντος, που περιγράφηκαν στην παράγραφο “βάση δεδομένων”, στο πρωτόκολλο δρομολόγησης. Η τεχνική, αυτή είναι γνωστή ως cross-layer. Αυτό σημαίνει ότι ο πίνακας δρομολόγησης θα διατηρεί επιπρόσθετες πληροφορίες και κατά συνέπεια το πρωτόκολλο θα μπορεί να περιορίζει την προώθηση των ερωτήσεων στους ζητούμενους μόνο κόμβους. Οι πληροφορίες αυτές μπορεί να είναι ο χρόνος απόκρισης κάθε άλλου κόμβου σε μια ερώτηση, η διαθεσιμότητά τους, η εγκυρότητα των πληροφοριών τους, η κλάση στην οποία ανήκουν οι υπηρεσίες διαδικτύου κάθε κόμβου κ.ο.κ. Αν υποθέσουμε ότι η πληροφορία που εκμεταλλευόμαστε από το επίπεδο εφαρμογών είναι η κλάση στην οποία ανήκει κάθε κόμβος τότε ο πίνακας δρομολόγησης επεκτείνεται όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.4 β προσθέτοντας το πεδίο *class*. Σε αυτή την περίπτωση ο πίνακας δρομολόγησης του κόμβου 1 στο δίκτυο του Σχήματος 3.1 μετατρέπεται στον Πίνακα 3.1 β. Συνεπώς, όταν ο κόμβος 1 επιθυμεί να αποκτήσει τα δεδομένα των κόμβων της

κλάσης 2 μπορεί να εκμεταλλευτεί τη γνώση της νέας πληροφορίας που αποθηκεύεται στον πίνακα δρομολόγησης και να μεταδώσει την ερώτηση αποκλειστικά στους κόμβους 4 και 8. Σαν αποτέλεσμα μειώνεται ο αριθμός των εκπομπών και η κατανάλωση των πόρων του δικτύου. Χωρίς τη γνώση της νέας πληροφορίας, ο κόμβος 1 θα έπρεπε να προωθήσει την ερώτηση σε όλους τους κόμβους του δικτύου ανεξάρτητα από την κλάση στην οποία ανήκαν.

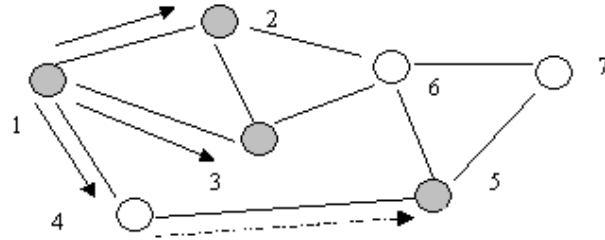
Λειτουργίες Μηχανισμού Δρομολόγησης. Κάθε κόμβος εκτελεί τις λειτουργίες μηχανισμού δρομολόγησης οι οποίες περιλαμβάνουν την ενημέρωση του πίνακα δρομολόγησης με μηνύματα που ανταλλάσσονται μεταξύ τους περιοδικά ή όταν είναι αναγκαίο, όπως στην περίπτωση κατάρρευσης μιας σύνδεσης. Επιπλέον θεωρούμε ότι οι κόμβοι επικοινωνούν μεταξύ τους, δηλαδή υποβάλλουν και αποστέλλουν ερωτήσεις και μεταφέρουν απαντήσεις. Οι ερωτήσεις και οι απαντήσεις που αποστέλλονται σε κάποιους κόμβους, δημιουργούνται αρχικά με βάση τις πληροφορίες που αποθηκεύονται τοπικά στη βάση δεδομένων κάθε κόμβου και στη συνέχεια καλούνται οι υπηρεσίες διαδικτύου των κατάλληλων κόμβων. Για να υπάρχει διαχωρισμός των μηνυμάτων που διακινούνται στο δίκτυο, αναφερόμαστε σε ένα μήνυμα που περιέχει μια ερώτηση ως ένα *πακέτο ερώτησης* και σε ένα μήνυμα που περιέχει μια απάντηση ως ένα *πακέτο απάντησης*. Τα μηνύματα που ανταλλάσσουν μεταξύ τους οι κόμβοι με σκοπό την ενημέρωση του πίνακα δρομολόγησης ονομάζονται *μηνύματα δρομολόγησης*. Όταν ένας κόμβος θέλει να υποβάλλει μια ερώτηση σε κάποιους κόμβους του δικτύου συνθέτει την ερώτηση με το γενικό μοντέλο ερώτησης στην εκτεταμένη SQL που παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.2. Στη συνέχεια, με βάση αυτή την ερώτηση δημιουργείται ένα πακέτο ερώτησης και αποστέλλεται στους κόμβους που προσδιορίζονται από τις παραμέτρους της ερώτησης. Επειδή, οι κόμβοι με τις ζητούμενες πληροφορίες μπορεί να βρίσκονται σε μεγαλύτερη απόσταση από ένα βήμα, είναι δυνατόν να δημιουργηθούν παραπάνω από ένα πακέτα ερώτησης μέχρι η αρχική ερώτηση να φτάσει στον προορισμό της. Αυτό συμβαίνει γιατί κάποιοι ενδιάμεσοι κόμβοι αναλαμβάνουν να προωθήσουν το αρχικό πακέτο ερώτησης ή να φτιάξουν καινούργιο. Όταν κάποιος από τους κόμβους που μπορούν να ικανοποιήσουν το αίτημα, λάβει ένα πακέτο ερώτησης, δημιουργεί ένα πακέτο απάντησης και το στέλνει στον κόμβο που έθεσε την ερώτηση.

Δεδομένου του προβλήματος, όπως ορίστηκε παραπάνω, σκοπός στο συγκεκριμένο σύστημα, όπως αναφέρθηκε και στην αρχή της ενότητας, είναι α) η αποφυγή της πλημμύρας, δηλαδή η δημιουργία και η προώθηση όσο το δυνατόν λιγότερων μηνυμάτων για την ικανοποίηση ενός αιτήματος κάποιου κόμβου και β) η τεχνική της δρομολόγησης που εφαρμόζεται στο σύστημά μας να είναι συμβατή με διάφορα γνωστά πρωτόκολλα δρομολόγησης. Πιο αναλυτικά, σκοπός είναι η προώθηση όσο γίνεται λιγότερων πακέτων ερωτήσεων κατά τη δημιουργία μιας ερώτησης, η μείωση του φόρτου του συστήματος και η εξοικονόμηση πόρων. Έτσι, επιτυγχάνεται η ελαχιστοποίηση

- Του μέσου χρόνου που χρειάζονται τα πακέτα για να μεταδοθούν στο δίκτυο. Αυτό είναι αποτέλεσμα του μικρότερου φόρτου του δικτύου.
- Του ποσοστού των πακέτων που απορρίπτονται από το δίκτυο λόγω συμφόρησης.
- Της καταναλισκόμενης ενέργειας από τους κόμβους λόγω μείωσης του αριθμού εκπομπών.

3.1.3. Παράδειγμα Δικτύου και Προώθησης Ερώτησης

Θεωρούμε το δίκτυο του Σχήματος 3.5. Οι κόμβοι του δικτύου, που είναι οχήματα, συμβολίζονται με κύκλους δίπλα από τους οποίους αναγράφεται ένας αριθμός για τον διαχωρισμό των κόμβων μεταξύ τους και για να βοηθηθούμε στην περιγραφή του παραδείγματος. Επιπλέον, στο Σχήμα 3.5 θεωρούμε ότι οι κόμβοι που συνδέονται με μία γραμμή βρίσκεται ο ένας στην εμβέλεια του άλλου, δηλαδή ο ένας είναι γείτονας του άλλου. Για παράδειγμα, στο Σχήμα 3.5 ο κόμβος 1 έχει ως γείτονες τους κόμβους 2, 3 και 4. Από τους κόμβους του δικτύου, οι κόμβοι 1, 2, 3 και 5 προσφέρουν παρόμοιες υπηρεσίες διαδικτύου και έτσι ανήκουν στην κλάση τύπου “Cars”, ενώ οι υπόλοιποι ανήκουν στην κλάση τύπου “Trucks”. Για το παράδειγμα, υποθέτουμε επίσης ότι όλοι οι κόμβοι του δικτύου διαθέτουν έναν πίνακα στη βάση δεδομένων τους που ονομάζεται VEHICLES και περιλαμβάνει τα γνωρίσματα που φαίνονται στο Σχήμα 3.6.



Σχήμα 3.5 Παράδειγμα Ερώτησης σε Δίκτυο MANET

VEHICLES(ID, PLATE, BRAND, VEL)

ID: ένας ακέραιος αριθμός που αποτελεί αναγνωριστικό του κάθε αυτοκινήτου

PLATE: ο αριθμός κυκλοφορίας του αυτοκινήτου

BRAND: η μάρκα του αυτοκινήτου

VEL: η ταχύτητα του αυτοκινήτου σε χιλιόμετρα ανά ώρα

Σχήμα 3.6 Το Σχήμα της Βάσης Δεδομένων του κάθε Κόμβου

Ας υποθέσουμε ότι ο κόμβος 1 θέλει να υποβάλλει μια ερώτηση στην οποία μπορούν να ανταποκριθούν μόνο οι κόμβοι που ανήκουν στην κλάση “Cars”. Χρησιμοποιώντας την παραδοσιακή γλώσσα SQL ο κόμβος 1 θα μπορούσε να αναζητήσει τις ζητούμενες πληροφορίες στο δίκτυο συνθέτοντας μια ερώτηση που θα απευθυνόταν σε όλους τους κόμβους του δικτύου, και εφαρμόζοντας κάποιο παραδοσιακό πρωτόκολλο δρομολόγησης, η προώθηση των ερωτήσεων θα πραγματοποιούνταν, επίσης, σε όλους τους κόμβους του δικτύου. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα, η προώθηση της ερώτησης στο δίκτυο αναπαρίσταται από τα βέλη. Έχοντας δεδομένη την επέκταση της γλώσσας με την ενσωμάτωση στοιχείων που αφορούν στις πληροφορίες που διατηρούν οι κόμβοι για το δίκτυο και τροποποιώντας το πρωτόκολλο δρομολόγησης ώστε να περιορίζεται η προώθηση της ερώτησης στους κόμβους που ορίζει η ερώτηση, δηλαδή σε εκείνους που περιέχουν τα ζητούμενα δεδομένα, είναι δυνατόν να διατυπωθεί μια ερώτηση και να δρομολογηθεί μόνο στους κόμβους που ανήκουν στη συγκεκριμένη κλάση, δηλαδή στους κόμβους 2, 3 και 5. Στην περίπτωση αυτή η ερώτηση προωθείται μόνο στους κόμβους που δείχνουν τα βέλη. Κατά συνέπεια, συγκεντρώνονται όσες περισσότερες πληροφορίες είναι δυνατό, ενώ ταυτόχρονα εξοικονομείται σημαντικό εύρος ζώνης του δικτύου, σε αντίθεση με την περίπτωση που χρησιμοποιείται ένα παραδοσιακό πρωτόκολλο δρομολόγησης.

Η ερώτηση που θα διατυπώσει ο κόμβος 1 με βάση τους κανόνες της εκτεταμένης γλώσσας SQL είναι η εξής:

```
SELECT *  
FROM VEHICLES  
WITH CLASS Cars
```

Σύμφωνα με την παραπάνω ερώτηση ο κόμβος 1 επιθυμεί να αποκτήσει τις πληροφορίες που αποθηκεύονται στον πίνακα VEHICLES των κόμβων που ανήκουν στην κλάση “Cars”. Στη συνέχεια θα κληθούν οι υπηρεσίες διαδικτύου των κόμβων που ανήκουν στη ζητούμενη κλάση, έτσι ώστε να συγκεντρωθούν οι ζητούμενες πλειάδες στον τελευταίο και τέλος να εκτελεστεί η αρχική ερώτηση στην παραδοσιακή SQL χωρίς τις επιπρόσθετες παραμέτρους. Γίνεται λοιπόν σαφές από το παραπάνω παράδειγμα ότι η ενσωμάτωση στοιχείων από το επίπεδο εφαρμογών στο πρωτόκολλο δρομολόγησης και κατά συνέπεια ο περιορισμός της μετάδοσης των ερωτήσεων σε συγκεκριμένους μόνο κόμβους οδηγούν στη βελτιστοποίηση της δρομολόγησης των ερωτήσεων στο δίκτυο, μειώνοντας έτσι και την κατανάλωση των πόρων του δικτύου.

Το αποτέλεσμα της απάντησης θα είναι όλες οι πλειάδες που περιέχει ο πίνακας VEHICLES των κόμβων 2, 3 και 5. Στη συγκεκριμένη περίπτωση ο συνολικός αριθμός των εκπομπών που απαιτούνται ώστε να λάβουν οι ζητούμενοι κόμβοι την ερώτηση είναι δύο. Κατά την πρώτη εκπομπή της ερώτησης θα τη λάβουν οι κόμβοι 2, 3 και 4. Στη συνέχεια για να τη λάβει και ο κόμβος 5 θα πρέπει ο κόμβος 4 να αναμεταδώσει την ερώτηση. Η πρώτη εκπομπή της ερώτησης αναπαρίσταται με το βέλος που έχει συνεχόμενη γραμμή και η δεύτερη εκπομπή με το βέλος που έχει διακεκομμένη γραμμή. Αντίθετα, κατά την εφαρμογή ενός παραδοσιακού πρωτοκόλλου δρομολόγησης όπου η μετάδοση των ερωτήσεων ακολουθεί την τεχνική της πλημμύρας, θα αναμέναμε ο αριθμός των εκπομπών στο παραπάνω παράδειγμα να είναι τουλάχιστον επτά, όσοι είναι οι κόμβοι του δικτύου, αφού κάθε κόμβος που θα δεχόταν την ερώτηση θα την προωθούσε κιόλας.

3.1.4. Τυπικός Ορισμός του Προβλήματος

Ορίζουμε με $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ το σύνολο των κόμβων από τους οποίους αποτελείται το ασύρματο δίκτυο. Κάθε κόμβος v_k θεωρούμε ότι έχει μία ακμή $e_i = (v_k, v_m)$ που τον συνδέει με έναν κόμβο v_m αν ο κόμβος v_k έχει στην εμβέλεια του τον κόμβο v_m . Με βάση τα όσα αναφέραμε, το ασύρματο κινητό δίκτυο αναπαρίσταται με ένα γράφο $G(V,E)$, όπου $E = \{e_1, e_2, \dots, e_s\}$ το σύνολο των ακμών. Θεωρούμε επίσης ότι αν $e_i = (v_k, v_m) \in E$ τότε επίσης $e_i' = (v_m, v_k) \in E$. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω το δίκτυο αυτό αποτελείται από κινούμενους κόμβους. Αυτό σημαίνει ότι σε κάθε στιγμή είναι δυνατόν να εισέρχονται και να εξέρχονται κόμβοι από το δίκτυο, ή να μεταβάλλεται ο γράφος. Επομένως για μια στιγμή t το δίκτυο αναπαρίσταται από το γράφο $G_t(V_t, E_t)$.

Έτσι, ένας κόμβος v_k σε κάποια χρονική στιγμή t , που καθορίζεται από το ρολόι του συγκεκριμένου κόμβου, είτε

- αποτελεί τον αρχικό κόμβο αποστολής ενός πακέτου ερώτησης μεγέθους m bytes σε κάποιους κόμβους $\{v_b, v_m, \dots, v_s\}$ ή ενός πακέτου απάντησης μεγέθους e bytes σε κάποιον κόμβο v_n
- αποτελεί τον ενδιάμεσο κόμβο που προωθεί κάποιο πακέτο ερώτησης ή απάντησης
- ενημερώνει τον πίνακα πληροφοριών (catalog)

Για κάθε ερώτηση q μεγέθους m bytes που θέτει ένας κόμβος v_m σε κάποιους κόμβους $\{v_1, v_2, \dots, v_s\}$ διακινούνται (q_1, q_2, \dots, q_n) πακέτα ερώτησης στο δίκτυο, όπου $n \leq s$ και οι οποίες μπορεί να έχουν στη γενικότερη περίπτωση διαφορετικό μέγεθος από την ερώτηση q . Μία περίπτωση στην οποία ισχύει η ισότητα στη σχέση $n \leq s$ είναι αυτή κατά την οποία έχουμε μία ένα προς ένα επικοινωνία μεταξύ του κόμβου που θέτει την ερώτηση και του καθένα κόμβου που διαθέτει απάντηση. Έτσι, θα δημιουργηθούν τόσα πακέτα ερωτήσεων όσοι είναι οι κόμβοι που διαθέτουν τα ζητούμενα δεδομένα. Από το σύνολο των n πακέτων ερωτήσεων που διακινούνται στο δίκτυο είναι δυνατόν να φτάσουν στον προορισμό τους τα πακέτα ερωτήσεων (q_1, q_2, \dots, q_t) όπου $t \leq n$. Η ισότητα ισχύει στην περίπτωση που όλοι οι ζητούμενοι κόμβοι έχουν λάβει το πακέτο ερώτησης. Κάτι τέτοιο επιτυγχάνεται μόνον όταν δεν έχει απορριφθεί κανένα πακέτο από το δίκτυο λόγω συμφόρησης, ή δεν έχει

καταρρεύσει καμία σύνδεση στο μονοπάτι που ακολουθεί το πακέτο κατά τη μετάδοσή του στον κόμβο-προορισμό. Για κάθε μια ερώτηση που διακινείται στο δίκτυο και φτάνει σε κάποιον κόμβο-προορισμό προκύπτει ένα σύνολο από απαντήσεις (r_1, r_2, \dots, r_l) , όπου $l \leq t$ και σταθερού μεγέθους e bytes. Η ισότητα ισχύει στην ιδανική περίπτωση που όλοι οι κόμβοι οι οποίοι έχουν λάβει την ερώτηση διαθέτουν τα κατάλληλα δεδομένα ώστε να απαντήσουν. Επιπλέον, από το σύνολο (r_1, r_2, \dots, r_l) των απαντήσεων που προκύπτουν είναι δυνατόν να φτάσουν στον προορισμό τους μόνο οι απαντήσεις (r_1, r_2, \dots, r_p) όπου $p \leq l$. Οι λόγοι είναι οι ίδιοι που ισχύουν και για την περίπτωση που κάποιο πακέτο ερώτησης δε φτάνει στον προορισμό του.

Για κάθε ερώτηση q που θέτει ένας κόμβος ορίζουμε ως $t_s(q)$ το χρόνο αποστολής της ερώτησης και ως $t_r(q)$ το χρόνο παραλαβής της τελευταίας απάντησης για τη συγκεκριμένη ερώτηση. Οι παραπάνω χρόνοι για κάθε ερώτηση υπολογίζονται πάντα σύμφωνα με το ρολόι του κόμβου που την έθεσε. Επίσης, για κάθε πακέτο απάντησης r ορίζουμε ως $t_s(r)$ το χρόνο αποστολής του συγκεκριμένου πακέτου και ως $t_r(r)$ το χρόνο άφιξης του πακέτου απάντησης στον προορισμό του. Με βάση όσα αναφέρθηκαν ορίζονται οι ποσότητες:

- $ResponseDelay = (t_r(r) - t_s(r))$ για ένα τυχαίο πακέτο απάντησης r
- $DropQueries = (n - t)$ όπου n ο αριθμός των στοιχείων του συνόλου (q_1, q_2, \dots, q_n) και t ο αριθμός των στοιχείων του συνόλου (q_1, q_2, \dots, q_t) για τα πακέτα ερωτήσεων και
- $DropData = (l - p)$ όπου l ο αριθμός των στοιχείων του συνόλου (r_1, r_2, \dots, r_l) και p ο αριθμός των στοιχείων του συνόλου (r_1, r_2, \dots, r_p) για τα πακέτα απαντήσεων

3.2. Προτεινόμενη Λύση

Από όσα αναφέρθηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο, ένας από τους αντικειμενικούς στόχους της εργασίας είναι η συμβατότητα της προτεινόμενης λύσης με τα υπάρχοντα πρωτόκολλα δρομολόγησης και όχι η δημιουργία ενός νέου πρωτοκόλλου. Στόχος είναι η ενσωμάτωση της προτεινόμενης λύσης σε κάποιο υπάρχον πρωτόκολλο δρομολόγησης και συγκεκριμένα σε ένα περιοδικής ανανέωσης, λόγω

της ιδιαίτερης φύσης της λύσης. Τέλος, δεν πρέπει να ξεχνάμε ότι όταν ένας κόμβος δημιουργεί μια ερώτηση, τα δεδομένα πρέπει να συγκεντρώνονται από όσο περισσότερους κόμβους του δικτύου είναι δυνατό. Η προτεινόμενη λύση αποτελείται από δύο φάσεις:

Εισαγωγή των Χαρακτηριστικών του Επίπεδου Εφαρμογών. Για να μπορεί ένας κόμβος στο επίπεδο δρομολόγησης κατά την προώθηση μιας ερώτησης να παίρνει αποφάσεις οι οποίες στηρίζονται στις πληροφορίες από το επίπεδο εφαρμογών, πρέπει να υλοποιηθεί ένας μηχανισμός ώστε η πληροφορία αυτή να γίνεται γνωστή στο επίπεδο δρομολόγησης. Για να επιτευχθεί κάτι τέτοιο, προτείνεται η εισαγωγή της ενδιαφέρουσας πληροφορίας στα μηνύματα δρομολόγησης που ανταλλάσσουν μεταξύ τους οι κόμβοι και δημιουργεί το ίδιο το πρωτόκολλο. Στη συνέχεια, κάθε κόμβος που λαμβάνει τέτοια μηνύματα δρομολόγησης από άλλους κόμβους αποθηκεύει την επιπρόσθετη πληροφορία στις εγγραφές του πίνακα δρομολόγησής του, οι οποίες σχετίζονται με τους κόμβους που έστειλαν τα μηνύματα αυτά. Έτσι, αν η πληροφορία αυτή αφορά στην κλάση στην οποία ανήκει κάθε κόμβος θα πρέπει στις εγγραφές του πίνακα δρομολόγησης κάθε κόμβου να προστεθεί ένα πεδίο όπου θα αποθηκεύεται η αντίστοιχη τιμή για κάθε κόμβο. Με αυτό τον τρόπο, κάθε κόμβος γνωρίζει την κλάση στην οποία ανήκει κάθε άλλος κόμβος του δικτύου και μπορεί στη συνέχεια να την εκμεταλλευτεί. Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθεί ότι η εισαγωγή της επιπλέον πληροφορίας στο πρωτόκολλο δρομολόγησης του συστήματος, προκαλεί επιπρόσθετο φόρτο σε αυτό, αφού τα μηνύματα δρομολόγησης μεγεθύνονται κατά έναν αριθμό bytes. Ωστόσο, ο αριθμός αυτός είναι σχετικά μικρός ιδιαίτερα στην περίπτωση όπου η επιπρόσθετη πληροφορία αφορά σε ένα μόνο πεδίο όπως συμβαίνει στο παρακάτω παράδειγμα της ενσωμάτωσης της κλάσης στην οποία ανήκει κάθε κόμβος. Επιπλέον, η μετάδοση μηνυμάτων δρομολόγησης στο δίκτυο είναι περιορισμένη. Τέλος, η προτεινόμενη λύση δεν εξαρτάται από το πρωτόκολλο δρομολόγησης που εφαρμόζεται.

Για να γίνει πιο κατανοητή η ιδέα που περιγράφηκε στην προηγούμενη παράγραφο ας σκεφτούμε το παράδειγμα δικτύου του Σχήματος 3.5. Με την ενσωμάτωση ενός πεδίου με το όνομα *class* στον πίνακα δρομολόγησης κάθε κόμβου προκύπτει ο πίνακας για τον κόμβο 1 που φαίνεται παρακάτω.

Πίνακας 3.2 Πίνακας Δρομολόγησης Κόμβου 1 Σχήματος 3.5

Dst	NH	Hops	Class
1	-	0	Cars
2	2	1	Cars
3	3	1	Cars
4	4	1	Trucks
5	4	2	Cars
6	2	2	Trucks
7	2	3	Trucks

Προώθηση της Ερώτησης. Η κύρια ιδέα του προτεινόμενου μηχανισμού είναι η βελτιστοποίηση της δρομολόγησης να επιτυγχάνεται με τη βοήθεια της επιπρόσθετης πληροφορίας που ενσωματώνουμε στο πρωτόκολλο δρομολόγησης. Έτσι, όταν ένας κόμβος δημιουργεί και προωθεί μια ερώτηση που απευθύνεται σε συγκεκριμένους κόμβους του δικτύου, που χαρακτηρίζονται από μία ή περισσότερες κοινές ιδιότητες, αρκεί να συμβουλευτεί τον πίνακα δρομολόγησης και να προωθήσει την ερώτηση σε αυτούς ακριβώς τους κόμβους αποφεύγοντας έτσι, την τεχνική της πλημμύρας. Στο παράδειγμα του Σχήματος 3.5 ο κόμβος 1 επιθυμεί να συλλέξει δεδομένα από τους κόμβους που ανήκουν στην κλάση “Cars”. Παρατηρώντας τον Πίνακα 3.2 διαπιστώνουμε ότι είναι τρεις οι κόμβοι (εκτός από τον κόμβο 1) που ανήκουν στην κλάση “Cars” και διαθέτουν τα ζητούμενα δεδομένα. Αυτοί είναι οι κόμβοι 2, 3 και 5. Έτσι, αποφασίζει να προωθήσει την ερώτηση μόνο σε αυτούς τους κόμβους που ονομάζονται και *κόμβοι-προορισμοί*.

Στη συνέχεια, περιγράφεται η διαδικασία δημιουργίας του πακέτου ερώτησης που προωθεί ο αρχικός κόμβος. Η βασική ιδέα που προτείνεται για την προώθηση όσο γίνεται λιγότερων μηνυμάτων σε επίπεδο δικτύου, για κάθε ερώτηση που δημιουργεί κάποιος κόμβος, είναι η ομαδοποίηση των κόμβων-προορισμών με βάση τον κόμβο του επόμενου άλματος (*NH*) στον οποίο πρέπει να προωθηθεί η ερώτηση ώστε να καταλήξει στους κόμβους προορισμούς. Οι κόμβοι που βρίσκονται στο μονοπάτι μεταξύ του αρχικού και των κόμβων-προορισμών ονομάζονται *ενδιάμεσοι* κόμβοι και αναλαμβάνουν την προώθηση των ερωτήσεων προς τους τελικούς κόμβους.

Ο αρχικός κόμβος που δημιουργεί την ερώτηση αφού αποφασίσει τους κόμβους-προορισμούς με βάση τον πίνακα δρομολόγησης και τους ομαδοποιήσει εισάγει στο πακέτο ερώτησης μια κεφαλίδα που αποτελείται από τα πεδία που φαίνονται στο Σχήμα 3.7. Στην αρχή της κεφαλίδας υπάρχει ένα κομμάτι από πέντε πεδία οι τιμές των οποίων αρχικοποιούνται από τον κόμβο που δημιουργεί αρχικά το πακέτο και κατά τη διάρκεια προώθησης του πακέτου στους κόμβους-προορισμούς το κομμάτι αυτό παραμένει σταθερό, δηλαδή δε μεταβάλλεται από τους ενδιαμέσους κόμβους. Το πεδίο με το όνομα *type* αναφέρεται στο είδος του πακέτου που μεταβιβάζεται από το επίπεδο εφαρμογών στο επίπεδο δρομολόγησης. Υπάρχουν δύο διαφορετικές τιμές με τις οποίες μπορεί να αρχικοποιηθεί το συγκεκριμένο πεδίο. Αυτές είναι *DB_QUERY_TYPE* και *DB_DATA_TYPE*, που αφορούν στα πακέτα ερώτησης και απάντησης αντίστοιχα. Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθεί ότι όταν το εν λόγω πεδίο στην κεφαλίδα ενός πακέτου έχει την τιμή *DB_DATA_TYPE*, δηλαδή πρόκειται για πακέτο απάντησης, τότε δεν υπάρχουν όλα τα πεδία που φαίνονται στο Σχήμα 3.7. Στην περίπτωση αυτή, υπάρχουν μόνο τα πεδία *type* και *seq_num* και αμέσως μετά ακολουθούν τα δεδομένα. Έτσι, κάθε κόμβος όταν επεξεργάζεται το πακέτο που λαμβάνει γνωρίζει τα πεδία που ακολουθούν και κατά συνέπεια τη μορφή που έχουν οι πληροφορίες, ανάλογα με τον τύπο του πακέτου. Στη συνέχεια ακολουθεί το πεδίο *seq_num* στο οποίο αποθηκεύεται ένας αριθμός ο οποίος είναι ξεχωριστός για κάθε πακέτο ερώτησης και απάντησης που δημιουργεί κάποιος κόμβος. Το πεδίο *qtype* δηλώνει το είδος της ερώτησης. Για λόγους ευκολίας στην προσομοίωση ορίζουμε ως δύο διαφορετικές τιμές αυτού του πεδίου τις *QUERY_K_HOPS_NEIGHBORS* και *QUERY_K_HOPS_NEIGHBORS_IN_CLASS*. Η αρχικοποίηση του πεδίου με την πρώτη τιμή, σημαίνει ότι ο αρχικός κόμβος απευθύνεται στους κόμβους που απέχουν τόσα βήματα από αυτόν όσα δηλώνει το πεδίο *hops*, ενώ με τη δεύτερη απευθύνεται στους κόμβους που απέχουν τόσα βήματα από αυτόν όσα δηλώνει το πεδίο *hops* και ταυτόχρονα ανήκουν στην κλάση που δηλώνει το πεδίο *class*. Η ύπαρξη αυτών των δύο μόνο τιμών σημαίνει ότι κατά την προσομοίωση του συστήματός μας θα τεθούν αυτές μόνο οι ερωτήσεις.

Στη συνέχεια της κεφαλίδας, μετά τα πέντε πρώτα πεδία, ακολουθεί μια λίστα με τους κόμβους που πρέπει να προωθήσουν την ερώτηση, δηλαδή τους ενδιαμέσους, καθώς

επίσης και τους κόμβους-προορισμούς στους οποίους αναλαμβάνει ο κάθε ενδιάμεσος κόμβος να προωθήσει την ερώτηση. Το κομμάτι αυτό της κεφαλίδας, σε αντίθεση με το πρώτο, μεταβάλλεται από τους ενδιάμεσους κόμβους ανάλογα με τον αριθμό των κόμβων στους οποίους αναλαμβάνει να προωθήσει ο καθένας την ερώτηση. Πιο αναλυτικά, στην κεφαλίδα υπάρχει ένα πεδίο με όνομα *num_FWs* που δηλώνει τον αριθμό των ενδιάμεσων κόμβων που ακολουθούν στη συνέχεια της κεφαλίδας και οι οποίοι αποθηκεύονται στα πεδία FW_1, FW_2, \dots, FW_p . Μεταξύ των πεδίων με τους ενδιάμεσους κόμβους υπάρχουν λίστες με τους κόμβους-προορισμούς οι οποίοι αποθηκεύονται στα πεδία με όνομα *dst*. Αυτό σημαίνει ότι κάθε ενδιάμεσος κόμβος FW_m πρέπει να προωθήσει την ερώτηση στους κόμβους-προορισμούς $dst_1, dst_2, \dots, dst_{k(m)}$. Ο αριθμός των κόμβων αυτών δηλώνεται στο πεδίο *num_dsts* που προηγείται της λίστας των κόμβων-προορισμών για κάθε ενδιάμεσο κόμβο. Έτσι, υπάρχουν τόσα πεδία *num_dsts* όσοι είναι οι ενδιάμεσοι κόμβοι. Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθεί ότι αν κάποιος από τους κόμβους-προορισμούς, που έχει αποφασίσει ο κόμβος που θέτει την ερώτηση, είναι γείτονές του, τότε δεν υπάρχει λόγος να εισαχθούν στην κεφαλίδα. Αυτό συμβαίνει γιατί με την πρώτη εκπομπή του πακέτου ερώτησης από τον αρχικό κόμβο οι γείτονές του θα λάβουν σίγουρα το πακέτο. Επομένως, θεωρείται άσκοπο να δημιουργηθούν και άλλα πακέτα τα οποία μόνο περισσότερη συμφόρηση μπορούν να προκαλέσουν στο δίκτυο. Το ίδιο ισχύει και για τους ενδιάμεσους κόμβους που πρέπει να προωθήσουν το πακέτο ερώτησης σε κάποιους κόμβους που είναι γείτονές τους.

type	seq_num	qtype	hops	class	num_FWs	FW_1	num_dsts ₁	dst ₁	...	dst _{k(1)}	...	FW_p	num_dsts _p	dst ₁	...	dst _{k(p)}
------	---------	-------	------	-------	---------	--------	-----------------------	------------------	-----	---------------------	-----	--------	-----------------------	------------------	-----	---------------------

Σχήμα 3.7 Δομή Κεφαλίδας Πακέτου Ερώτησης

Το επόμενο βήμα από τη δημιουργία του πακέτου ερώτησης είναι η προώθησή του στο δίκτυο. Στη συνέχεια, κάθε κόμβος ο οποίος λαμβάνει το συγκεκριμένο πακέτο εκτελεί δύο ενέργειες. Η πρώτη είναι η μεταβίβαση του πακέτου στο ανώτερο επίπεδο εφαρμογών και η δεύτερη είναι η ανάγνωση της κεφαλίδας του πακέτου. Αν κατά την ανάγνωση της κεφαλίδας ο κόμβος διαπιστώσει ότι βρίσκεται στη λίστα με τους ενδιάμεσους κόμβους ακολουθεί και ο ίδιος την ίδια διαδικασία που περιγράφηκε παραπάνω για τη δημιουργία νέας κεφαλίδας, την οποία θα εισάγει στο πακέτο ερώτησης που πρόκειται να προωθήσει. Η νέα κεφαλίδα θα περιλαμβάνει το

πρώτο κομμάτι με τα πέντε πρώτα πεδία που περιείχε το αρχικό πακέτο ερώτησης και επιπλέον μόνο τους κόμβους-προορισμούς που ανήκουν στη δική του λίστα, καθώς επίσης και τους ενδιάμεσους κόμβους μέσω των οποίων θα προωθηθεί η ερώτηση στους πρώτους. Σε αντίθετη περίπτωση που ο συγκεκριμένος κόμβος που λαμβάνει το πακέτο ερώτησης δεν συμπεριλαμβάνεται στη λίστα με τους ενδιάμεσους κόμβους, απλά απορρίπτει το πακέτο. Η διαδικασία που περιγράφηκε παραπάνω για τη δρομολόγηση μιας ερώτησης ολοκληρώνεται όταν ένας κόμβος διαπιστώσει ότι δεν συμπεριλαμβάνεται στους ενδιάμεσους κόμβους ενός πακέτου και έτσι η αντίστοιχη λίστα του με τους κόμβους-προορισμούς είναι κενή.

Για την καλύτερη κατανόηση του μηχανισμού ας σκεφτούμε την εφαρμογή του στο παράδειγμα του Σχήματος 3.5. Αναφέρθηκε παραπάνω ότι ο κόμβος 1 αποφασίζει να προωθήσει την ερώτηση στους κόμβους 2, 3 και 5. Η επόμενη κίνηση είναι να τους ομαδοποιήσει με βάση το πεδίο NH του πίνακα δρομολόγησης. Η διαπίστωση είναι ότι οι κόμβοι αυτοί δεν μπορούν να ομαδοποιηθούν αφού για όλους υπάρχει διαφορετικό NH στις εγγραφές που τους αφορούν στον πίνακα δρομολόγησης του κόμβου 1. Επιπλέον δύο από τους κόμβους-προορισμούς είναι γείτονες του αρχικού. Έτσι, ο τελευταίος δημιουργεί μόνο ένα πακέτο ερώτησης με την κεφαλίδα που φαίνεται στο Σχήμα 3.8. Το πακέτο αυτό το λαμβάνουν οι κόμβοι 2, 3 και 4. Από αυτούς οι 2 και 3 το μεταβιβάζουν στο ανώτερο επίπεδο εφαρμογών και αφού διαπιστώσουν ότι δεν συμπεριλαμβάνονται στη λίστα με τους ενδιάμεσους κόμβους που πρέπει να προωθήσουν το πακέτο, το απορρίπτουν. Ο κόμβος 4 που είναι ένας ενδιάμεσος κόμβος ακολουθεί την ίδια διαδικασία δημιουργίας της κεφαλίδας για την προώθηση του πακέτου ερώτησης στον κόμβο 5. Σε αυτή την περίπτωση επειδή ο κόμβος 5 είναι γείτονας του 4, ο τελευταίος κατασκευάζει μια κενή κεφαλίδα στο πακέτο ερώτησης και απλά το εκπέμπει.

type	seq_num	qtype	hops	class	num_FW _s	FW	num_dsts	dst
DB_QUERY_TYPE	1	QUERY_K_HOPS_NEIGHBORS_IN_CLASS	3	Cars	1	4	1	5

Σχήμα 3.8 Κεφαλίδα Πακέτου Ερώτησης Κόμβου 1

Το μειονέκτημα του προτεινόμενου μηχανισμού είναι ότι αυτός βασίζεται στην ακρίβεια του πρωτοκόλλου δρομολόγησης να παραδώσει τα πακέτα ερωτήσεων.

Αυτό, άλλωστε, είναι το τίμημα που πρέπει να πληρωθεί, ώστε να εξοικονομηθούν πόροι και να επιτευχθεί η συμβατότητα με τα παραδοσιακά πρωτόκολλα δρομολόγησης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

- 4.1 Πρωτόκολλο Δρομολόγησης
 - 4.2 Μεθοδολογία Προσομοίωσης
 - 4.3 Μοντέλο Προσομοίωσης
 - 4.4 Είδη Πειραμάτων – Αξιολόγηση
 - 4.5 Ανάλυση Αποτελεσμάτων για Ad hoc δίκτυα
 - 4.6 Ανάλυση Αποτελεσμάτων για mesh δίκτυα
 - 4.7 Ανακεφαλαίωση
-

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο παρουσιάζεται το πρωτόκολλο δρομολόγησης που θα χρησιμοποιηθεί και η μεθοδολογία που θα εφαρμοστεί για την προσομοίωση του συστήματός μας. Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάζονται οι παράμετροι του συστήματος και οι μετρικές που θα χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση της απόδοσής του. Στη συνέχεια, περιγράφονται τα διαφορετικά πειράματα με τις τιμές που ανατέθηκαν στις παραμέτρους του προβλήματος για να αξιολογήσουμε το σύστημά μας και τέλος παρουσιάζονται και αναλύονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης.

4.1. Πρωτόκολλο Δρομολόγησης

Το πρωτόκολλο που θα χρησιμοποιηθεί σαν βάση για την πραγματοποίηση αυτής της εργασίας είναι το DSDV [PeBh94]. Ανήκει στην πρώτη από τις τρεις κατηγορίες πρωτοκόλλων που αναπτύχθηκαν για να λειτουργούν σε ένα περιβάλλον MANET, δηλαδή στην κατηγορία global/proactive.

Έχει αποδειχτεί ότι τα πρωτόκολλα της κατηγορίας global/proactive εφαρμόζονται επιτυχημένα σε μικρού μεγέθους δίκτυα, παρά το πρόβλημα της δημιουργίας βρόχων

κατά τη μετάδοση των μηνυμάτων. Αρκετά πρωτόκολλα που προσπαθούν να δώσουν λύση στο πρόβλημα αυτό έχουν αναπτυχθεί. Ένα από αυτά είναι και το DSDV. Η λύση που προτείνει το τελευταίο για την αποφυγή των βρόχων είναι η εισαγωγή σε κάθε εγγραφή του πίνακα δρομολόγησης, που διατηρεί κάθε κόμβος, ενός ακολουθιακού αριθμού (*sequence number*).

Ένας πίνακας δρομολόγησης περιλαμβάνει εγγραφές από πεδία-πληροφορίες για κάθε προορισμό. Ένα πεδίο αναφέρεται στην απόσταση (αριθμός βημάτων) μεταξύ του συγκεκριμένου κόμβου και του εκάστοτε κόμβου προορισμού. Επιπλέον, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, κάθε εγγραφή περιλαμβάνει ένα πεδίο με τον ακολουθιακό αριθμό που καθορίζεται από τον κόμβο προορισμό. Το γεγονός αυτό αποτελεί μια σημαντική διαφορά του εν λόγω πρωτοκόλλου από τους άλλους αλγορίθμους διανυσμάτων απόστασης.

Επειδή το δίκτυο είναι δυναμικό και συντελούνται πολλές αλλαγές σε αυτό καθώς οι κόμβοι κινούνται, το πρωτόκολλο απαιτεί κάθε σταθμός να γνωστοποιεί στους γείτονές του τον πίνακα δρομολόγησης που διατηρεί σε τακτά χρονικά διαστήματα, καθώς οι αλλαγές αυτές είναι αρκετά συχνές. Για παράδειγμα, οι πληροφορίες δρομολόγησης προωθούνται στο δίκτυο όταν οι κόμβοι κινούνται μέσα σε αυτό. Σαν αποτέλεσμα κάθε κόμβος θα γνωρίζει τη θέση κάθε άλλου κόμβου μέσα στο δίκτυο όταν επιθυμεί να επικοινωνήσει μαζί του. Διατηρούνται, επίσης, πληροφορίες για το χρόνο που απαιτήθηκε μέχρι την άφιξη της πρώτης και την άφιξη της καλύτερης διαδρομής προς κάθε προορισμό. Με βάση τις πληροφορίες αυτές μπορεί να παρθεί η απόφαση να καθυστερήσει η μετάδοση των πληροφοριών δρομολόγησης για διαδρομές που πρόκειται να αλλάξουν σύντομα. Σε ένα ασύρματο μέσο, είναι σημαντικό να λαμβάνεται υπόψη ότι οι εκπομπές είναι περιορισμένες σε εμβέλεια, λόγω των φυσικών χαρακτηριστικών του μέσου. Δεν ισχύει ακριβώς το ίδιο σε μια περίπτωση όπου το μέσο είναι το σύρμα, όπου η εμβέλεια αποδοχής είναι μεγαλύτερη. Τα μηνύματα ενημέρωσης που προωθούνται από κάθε κόμβο περιλαμβάνουν το δικό τους ακολουθιακό αριθμό και τις επόμενες πληροφορίες για κάθε νέα διαδρομή:

- Τη διεύθυνση του κόμβου προορισμού.
- Τον αριθμό των βημάτων προς αυτόν.

- Τον ακολουθιακό αριθμό που αφορά στο συγκεκριμένο προορισμό. Ο κόμβος που το μεταδίδει, το γνωρίζει από προηγούμενα μηνύματα ενημέρωσης που έχει λάβει για αυτό το μονοπάτι. Η πληροφορία αυτή, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω και αφορά σε ένα συγκεκριμένο προορισμό, διατηρείται στον πίνακα δρομολόγησης του κόμβου. Δεν πρέπει να γίνει σύγχυση αυτού του αριθμού με τον ακολουθιακό αριθμό που φέρει κάθε μήνυμα και αφορά σε έναν αύξοντα αριθμό που ορίζεται από τον κόμβο που δημιουργεί το μήνυμα και δηλώνει ουσιαστικά τον αριθμό των μηνυμάτων που έχει προωθήσει μέχρι τη στιγμή εκείνη. (Από εδώ και πέρα όταν υπάρχει αναφορά σε ακολουθιακό αριθμό θα εννοείται ο αριθμός εκείνος που αποθηκεύεται στον πίνακα δρομολόγησης).
- Τη διεύθυνση του αποστολέα μέσα στην κεφαλίδα (header) του μηνύματος.

Αν τα τακτικά μηνύματα ενημέρωσης προωθούνται κάθε φορά που συντελείται οποιαδήποτε αλλαγή στο δίκτυο τότε θα υπάρχει μεγάλη κατανάλωση των πόρων του, αφού το δίκτυο θα προσπαθεί συνεχώς να εξυπηρετεί τις αποστολές αυτών των μηνυμάτων και επιπλέον το μέγεθος των τελευταίων θα είναι πολύ μεγάλο. Δύο λύσεις ακολουθούνται για την αποφυγή του παραπάνω προβλήματος. Μια ρύθμιση του πρωτοκόλλου επιτρέπει τη δημιουργία δύο διαφορετικών μηνυμάτων ενημέρωσης τα: *full dump* και *incremental dump*. Τα πρώτα περικλείουν όλη τη διαθέσιμη πληροφορία δρομολόγησης, ενώ τα δεύτερα περικλείουν μόνο την πληροφορία που αφορά στις αλλαγές που διαπιστώθηκαν από τη στιγμή της προηγούμενης ενημέρωσης. Η δεύτερη ρύθμιση για το παραπάνω πρόβλημα αναφέρει ότι οι κόμβοι δεν προωθούν όλα τα μηνύματα που λαμβάνουν. Για παράδειγμα αν ένας κόμβος λάβει ένα νέο μήνυμα για έναν προορισμό με πιο πρόσφατο ακολουθιακό αριθμό άλλα με την ίδια μετρική, δηλαδή τον ίδιο αριθμό βημάτων προς αυτόν, τότε αυτό δε θεωρείται σημαντική αλλαγή ώστε να την προωθήσει στους γείτονές του. Μόνο μηνύματα με μικρότερες μετρικές για τους ίδιους προορισμούς προωθούνται. Επιπλέον ένα μονοπάτι με τον ίδιο ακολουθιακό αριθμό με ένα ήδη υπάρχον λαμβάνεται υπόψη μόνο αν έχει καλύτερη μετρική.

Είναι δυνατόν κάποιες φορές η εγγραφή του πίνακα δρομολόγησης που αφορά σε έναν συγκεκριμένο προορισμό να αλλάζει συνεχώς. Αυτό συμβαίνει γιατί το

μονοπάτι μεταβάλλεται συνεχώς και έτσι παρουσιάζεται νέα πληροφορία. Το γεγονός αυτό όμως προκαλεί το πρόβλημα που περιγράφηκε παραπάνω. Προκειμένου να αποφευχθούν παρόμοιες καταστάσεις, οι κόμβοι αποφασίζουν να μην προωθούν αμέσως τα μηνύματα ενημέρωσης άλλα να περιμένουν ένα μικρό χρονικό διάστημα σε περίπτωση που ληφθεί μια πληροφορία για ένα πιο σταθερό μονοπάτι και έτσι να την προωθήσει. Το χρονικό αυτό διάστημα προκύπτει από στατιστικά που συγκεντρώνουν οι κόμβοι.

4.2. Μεθοδολογία Προσομοίωσης

Το πρόβλημα όπως ορίστηκε στην προηγούμενη ενότητα και με την ενσωμάτωση στοιχείων του επιπέδου εφαρμογών στο πρωτόκολλο δρομολόγησης είναι αρκετά πολύπλοκο. Ο μεγάλος αριθμός των παραμέτρων του συστήματος καθιστά αδύνατη την αξιολόγηση της απόδοσης του συστήματος ακολουθώντας μια θεωρητική προσέγγιση. Αυτός είναι και ο κύριος λόγος που εφαρμόστηκε η προσομοίωση.

Το σύστημά μας είναι ένα ασύρματο δίκτυο από κινούμενους κόμβους. Επομένως, προσομοιώνουμε έναν αριθμό από ασύρματους κόμβους που κινούνται με σταθερή ταχύτητα σε μια καθορισμένη περιοχή $A = x * y$. Κάποιοι από τους κόμβους έχουν μια ακτίνα επικοινωνίας R , με αποτέλεσμα να έχουν στην εμβέλειά τους ένα υποσύνολο των αρχικών κόμβων. Ένας κόμβος μπορεί να εισέρχεται στο γράφο του συστήματος και να εξέρχεται από αυτόν οποιαδήποτε στιγμή. Επίσης, οι κόμβοι είναι χωρισμένοι σε κλάσεις ανάλογα με το είδος των υπηρεσιών που προσφέρουν. Έτσι, οι κόμβοι που προσφέρουν τις ίδιες υπηρεσίες ανήκουν στην ίδια κλάση. Στο δίκτυο υπάρχουν n_c κλάσεις. Επιπλέον ένα υποσύνολο (n_q) των κόμβων του δικτύου θέτει ερωτήσεις σε μια ομάδα ή και σε όλους τους κόμβους του δικτύου, ενώ οι τελευταίοι αναλαμβάνουν να ικανοποιήσουν τα αιτήματα των πρώτων. Οι ερωτήσεις τίθενται περιοδικά με ρυθμό λ . Η ερώτηση που θέτει κάθε κόμβος αφορά στους κόμβους που ανήκουν στην ίδια κλάση με αυτόν και απέχουν το πολύ h άλματα από τον αρχικό.

4.2.1. Παράμετροι του Συστήματος

Συνοπτικά οι παράμετροι που επηρεάζουν την απόδοση του συστήματος είναι:

- Η κινητικότητα των κόμβων του δικτύου, δηλαδή η μέση ταχύτητα (v) και ο χρόνος παραμονής τους σε κάποια θέση (t_p).
- Ο αριθμός των κλάσεων, έστω n_c .
- Ο αριθμός των κόμβων του δικτύου, έστω N .
- Ο αριθμός των ερωτώντων κόμβων στο δίκτυο, έστω n_q .
- Ο ρυθμός των ερωτήσεων που θέτει κάθε κόμβος, έστω λ .
- Ο μέγιστος αριθμός αλμάτων (h) που επιτρέπεται μια ερώτηση να διαδοθεί στο δίκτυο.
- Το είδος (q_i) των ερωτήσεων που θέτει κάθε κόμβος.
- Η περιοχή στην οποία κινούνται οι κόμβοι, έστω $A = x * y$.

Στη συνέχεια περιγράφεται γιατί οι παραπάνω παράμετροι επηρεάζουν την απόδοση του συστήματος. Όσον αφορά στην *κινητικότητα των κόμβων*, η τελευταία επηρεάζει το ρυθμό μεταβολής του δικτύου και κατά συνέπεια τον αριθμό των μηνυμάτων που δημιουργεί το πρωτόκολλο δρομολόγησης για την ενημέρωση των πινάκων δρομολόγησης που διατηρεί κάθε κόμβος. Όσο πιο συχνά μεταβάλλεται το δίκτυο τόσο πιο πολλά μηνύματα δημιουργούνται από το πρωτόκολλο με αποτέλεσμα το μεγάλο φόρτο του συστήματος και τη μείωση της απόδοσής του.

Ο *αριθμός των κλάσεων* στο δίκτυο επηρεάζει τον αριθμό των κόμβων που μπορούν να απαντήσουν σε μία συγκεκριμένη ερώτηση και κατά συνέπεια επηρεάζει το φόρτο του δικτύου. Για να γίνει κατανοητό το τελευταίο ας θεωρήσουμε τα εξής παραδείγματα. Το πρώτο αφορά σε ένα δίκτυο όπου υπάρχει μία μόνο κλάση και όλοι οι κόμβοι ανήκουν σε αυτή. Έτσι, όταν κάποιος κόμβος επιθυμεί να αποκτήσει τα δεδομένα των κόμβων που ανήκουν σε αυτή την κλάση θα υπάρχουν αφενός περισσότερες πιθανές απαντήσεις αλλά θα πρέπει αφετέρου να προωθήσει την ερώτηση σε όλους τους κόμβους του δικτύου, επιβαρύνοντας με αυτό τον τρόπο το δίκτυο. Ας υποθέσουμε μια άλλη περίπτωση δικτύου κατά την οποία υπάρχουν τρεις διαφορετικές κλάσεις και ο ίδιος αριθμός κόμβων που υπήρχε και στο πρώτο παράδειγμα διαμοιράζεται σε αυτές τις τρεις κλάσεις. Με αυτές τις προϋποθέσεις αν κάποιος κόμβος επιθυμήσει να συγκεντρώσει τα δεδομένα των κόμβων που ανήκουν σε μία συγκεκριμένη κλάση, θα έχει στη διάθεσή του λιγότερες απαντήσεις αλλά από

την άλλη πλευρά θα πρέπει να προωθήσει την ερώτηση σε μικρότερο αριθμό κόμβων σε σχέση με το πρώτο παράδειγμα. Γίνεται σαφές λοιπόν ότι σε αυτή την περίπτωση είναι δυνατόν να υπάρξουν λιγότερες απαντήσεις αλλά θα εκτελεστούν και λιγότερες εκπομπές ερωτήσεων. Επομένως, η συγκεκριμένη παράμετρος επηρεάζει σημαντικά το δίκτυο.

Ο *αριθμός των κόμβων* επηρεάζει το μέσο χρόνο που χρειάζεται ένα πακέτο για να μεταδοθεί στο δίκτυο, αφού όσο λιγότεροι είναι οι κόμβοι από τους οποίους αποτελείται το δίκτυο τόσο μικρότερη είναι και η πολυπλοκότητα του συστήματος. Η αύξηση του αριθμού των κόμβων του δικτύου απαιτεί τη διατήρηση περισσότερων πληροφοριών στους πίνακες δρομολόγησης των κόμβων και την προώθηση μεγαλύτερων μηνυμάτων για την ενημέρωσή τους, γεγονός που αυξάνει το φόρτο του συστήματος. Σε αυτή την περίπτωση το σύστημα απασχολείται περισσότερο στην προώθηση μηνυμάτων για την ενημέρωση των πινάκων δρομολόγησης παρά στην ικανοποίηση των αιτημάτων των κόμβων. Έτσι, τα δίκτυα με πολύ μεγάλο αριθμό κόμβων παρουσιάζουν κακή ιδιότητα κλιμάκωσης. Επομένως, επηρεάζεται άμεσα και η απόδοση του συστήματος από το διαφορετικό αριθμό των κόμβων.

Η απόδοση του δικτύου επηρεάζεται άμεσα και από τον *αριθμό των ερωτώντων κόμβων*. Ας θεωρήσουμε δύο διαφορετικά δίκτυα με τον ίδιο αριθμό κόμβων από τα οποία στο πρώτο θέτουν ερωτήσεις όλοι οι κόμβοι του δικτύου, ενώ στο δεύτερο θέτουν ερωτήσεις οι μισοί κόμβοι. Είναι προφανές ότι στην πρώτη περίπτωση δικτύου θα εκτελεστούν περισσότερες εκπομπές σε σχέση με τη δεύτερη, με αποτέλεσμα την επιβάρυνση του δικτύου και τη μείωση της απόδοσής του.

Η παράμετρος που αφορά στο *ρυθμό των ερωτήσεων* που θέτει κάθε κόμβος είναι επίσης πολύ σημαντική, αν σκεφτούμε ότι ο μεγάλος αριθμός των ερωτήσεων που προωθούνται σε ένα δίκτυο αυξάνει το φόρτο του συστήματος για το λόγο ότι θα πρέπει να ικανοποιηθούν αρκετές ερωτήσεις. Κατά συνέπεια αυξάνεται ο μέσος χρόνος που χρειάζεται για να μεταδοθεί ένα πακέτο στο δίκτυο και επηρεάζεται άμεσα η απόδοση του συστήματος.

Ο μέγιστος αριθμός αλμάτων που επιτρέπεται μια ερώτηση να διαδοθεί στο δίκτυο επηρεάζει την απόδοση του δικτύου, αν σκεφτούμε για παράδειγμα την προώθηση μιας ερώτησης στους κόμβους που απέχουν ένα μόνο βήμα από τον κόμβο που τη δημιούργησε και την προώθησή της στους κόμβους που απέχουν τρία βήματα από τον αρχικό κόμβο. Είναι προφανές ότι στη δεύτερη περίπτωση θα επιβαρυνθεί περισσότερο το δίκτυο αφού θα εκτελεστεί μεγαλύτερος αριθμός εκπομπών σε σχέση με την πρώτη.

Το είδος των ερωτήσεων επηρεάζει την απόδοση του δικτύου, αν σκεφτούμε για παράδειγμα την υποβολή των παρακάτω δύο ερωτήσεων σε ένα δίκτυο όπου οι κινούμενοι κόμβοι είναι οχήματα: η πρώτη ερώτηση αφορά στην εύρεση της ταχύτητας των γειτονικών κόμβων ενός κόμβου k και η δεύτερη ερώτηση αναζητά το ποσοστό των οχημάτων του δικτύου που είναι ευρωπαϊκού τύπου. Είναι προφανές ότι η πρώτη ερώτηση θα επιβαρύνει μικρό μέρος του δικτύου σε σχέση με τη δεύτερη, αφού θα ερωτηθούν μόνο οι γειτονικοί κόμβοι του κόμβου k , σε αντίθεση με τη δεύτερη ερώτηση όπου στη χειρότερη περίπτωση θα ερωτηθούν όλοι οι κόμβοι του δικτύου. Έτσι, τα είδη των ερωτήσεων που μπορούν να τεθούν στο σύστημά μας είναι: η υποβολή ερώτησης στους κόμβους που απέχουν ένα συγκεκριμένο αριθμό βημάτων από τον αρχικό κόμβο, έστω k ή η υποβολή ερώτησης στους κόμβους που ανήκουν σε μια ορισμένη κλάση υπηρεσιών διαδικτύου.

Όσον αφορά στην περιοχή κίνησης των κόμβων του δικτύου, η αύξηση αυτής της παραμέτρου επηρεάζει αρνητικά την απόδοση του δικτύου. Πιο αναλυτικά, με τη διεύρυνση της περιοχής στην οποία κινούνται οι κόμβοι, αυξάνεται ο χρόνος απόκρισης του δικτύου και κατά συνέπεια μειώνεται ο μέσος όρος των απαντήσεων που φτάνουν σωστά στον προορισμό τους, αφού το δίκτυο μεταβάλλεται συνεχώς και το πακέτο της απάντησης χάνει τον κόμβο για τον οποίο προορίζεται.

Στη λίστα παραμέτρων που παρουσιάστηκε παραπάνω δεν αναφέρθηκε ως παράμετρος ο όγκος της απάντησης σε μία ερώτηση κόμβου. Στο σύστημά μας θεωρούμε ότι όλες οι απαντήσεις που μεταδίδονται μεταξύ των κόμβων έχουν σταθερό μέγεθος για το λόγο ότι το είδος των ερωτήσεων απαιτεί την προώθηση απάντησης μεγέθους λίγων μόνο bytes. Επιπλέον, στα ασύρματα δίκτυα μας

απασχολεί περισσότερο το κόστος που προκαλείται από την εκπομπή του μηνύματος και όχι από το μέγεθός του. Είναι φανερό, επομένως, ότι τα μεγέθη των πακέτων απάντησης που μας ενδιαφέρουν δεν επηρεάζουν σημαντικά την απόδοση του συστήματος.

4.2.2. Αξιολόγηση Απόδοσης – Μετρικές

Στο σύστημά μας μεταδίδονται δύο ειδών μηνύματα, αυτά που δημιουργούνται από το πρωτόκολλο δρομολόγησης και αυτά που αποτελούν τις ερωτήσεις ή τις απαντήσεις που ανταλλάσσουν μεταξύ τους οι κόμβοι. Επομένως, αυτό που μας ενδιαφέρει είναι να δημιουργούνται όσο το δυνατόν λιγότερα διπλότυπα πακέτα ερωτήσεων και ταυτόχρονα να ικανοποιούνται όλες οι ερωτήσεις των κόμβων. Οι απαιτήσεις αυτές αφορούν σε δύο βασικά μέρη από τα οποία αποτελείται το σύστημά μας. Η πρώτη αφορά στα δίκτυα και η δεύτερη στις βάσεις δεδομένων. Επομένως, είναι σημαντικό να αξιολογήσουμε την απόδοση του συστήματος λαμβάνοντας υπόψη και τα δύο μέρη. Έτσι θεωρούμε κριτήρια που χαρακτηρίζονται ως μετρικές του δικτύου και κριτήρια-μετρικές που χρησιμοποιούνται στο χώρο των βάσεων δεδομένων.

Οι μετρικές δικτύου είναι:

- *Query Overhead* (QOH), που είναι ο μέσος αριθμός των αντιγράφων πακέτων ερωτήσεων που διακινούνται στο δίκτυο για κάθε ερώτηση που δημιουργεί ένας κόμβος.
- *Discovered Replies per Query* (DiRQ), που είναι ο μέσος αριθμός των απαντήσεων που αποστέλλονται για κάθε ερώτηση που δημιουργεί κάποιος κόμβος. Η μετρική αυτή προσδιορίζει την ικανότητα της εκάστοτε τεχνικής να παραδίδει σωστά το αντίγραφο μιας ερώτησης στον κατάλληλο κόμβο.
- *Delivered Replies per Query* (DeRQ), που είναι ο μέσος αριθμός των απαντήσεων που έλαβε κάποιος κόμβος για μια ερώτηση που δημιούργησε. Η μετρική αυτή προσδιορίζει την ικανότητα της εκάστοτε τεχνικής να παραδίδει σωστά τις απαντήσεις των κατάλληλων κόμβων στον κόμβο που έθεσε την ερώτηση.

- *Data Delivery Ratio* (DDR), δηλαδή το ποσοστό των απαντήσεων που έφτασαν στον προορισμό τους ως προς τον αριθμό των απαντήσεων που στάλθηκαν. Η μετρική αυτή αποδεικνύεται επίσης, ότι είναι ίση με την ποσότητα $\frac{DeRQ}{DiRQ}$.
- *Data Mean Number Of Hops* (DMH), που είναι ο μέσος αριθμός αλμάτων ενός πακέτου απάντησης μέχρι να φτάσει στον προορισμό του, δηλαδή ο αριθμός των ακμών που ακολούθησε μια απάντηση κατά την αποστολή της σε κάποιον κόμβο.
- *Data Mean Delay* (DMD), που είναι ο μέσος χρόνος που χρειάζεται ένα πακέτο απάντησης για να μεταδοθεί στο δίκτυο.

Οι μαθηματικές σχέσεις που εκφράζουν τις παραπάνω μετρικές δίνονται στη συνέχεια, ενώ ο Πίνακας 4.1 περιγράφει τους συμβολισμούς που χρησιμοποιούνται στις μαθηματικές σχέσεις.

$$QOH = \frac{\text{αριθμός ερωτήσεων που διακινήθηκαν σε επίπεδο δικτύου}}{\text{αριθμός ερωτήσεων που δημιουργήθηκαν σε επίπεδο εφαρμογών}} = \frac{RTR_query_counter}{DB_query_counter}$$

$$DiRQ = \frac{\text{αριθμός απαντήσεων που στάλθηκαν}}{\text{αριθμός ερωτήσεων που δημιουργήθηκαν σε επίπεδο εφαρμογών}} = \frac{DB_data_send_counter}{DB_query_counter}$$

$$DeRQ = \frac{\text{αριθμός απαντήσεων που έφτασαν στον προορισμό τους}}{\text{αριθμός ερωτήσεων που δημιουργήθηκαν σε επίπεδο εφαρμογών}} = \frac{DB_data_receive_counter}{DB_query_counter}$$

$$DDR = \frac{\text{αριθμός απαντήσεων που έφτασαν στον προορισμό τους}}{\text{αριθμός απαντήσεων που στάλθηκαν}} = \frac{DB_data_receive_counter}{DB_data_send_counter}$$

$$DMH = \frac{\text{συνολικός αριθμός προωθήσεων των απαντήσεων στο δίκτυο}}{\text{αριθμός απαντήσεων που έφτασαν στον προορισμό τους}} = \frac{data_sum_ttl}{DB_data_receive_counter}$$

Για όλα τα επικοινωνούντα ζεύγη,

$$DMD = \frac{\sum (t_r(r) - t_s(r))}{\forall \text{ επιτυχώς μεταδιδόμενη απάντηση } r} DB_data_receive_counter$$

Πίνακας 4.1 Συμβολισμοί στους Τύπους των Μετρικών

<i>RTR_query_counter</i>	ο συμβολισμός αυτός αντιπροσωπεύει το σύνολο των πακέτων ερωτήσεων που διακινούνται στο δίκτυο στο επίπεδο της δρομολόγησης.
<i>DB_query_counter</i>	το σύνολο των πακέτων ερωτήσεων που δημιουργεί το επίπεδο εφαρμογών
<i>DB_data_send_counter</i>	το σύνολο των πακέτων δεδομένων, δηλαδή των συνολικών απαντήσεων, που δημιουργεί το επίπεδο εφαρμογών
<i>DB_data_receive_counter</i>	το σύνολο των πακέτων δεδομένων που λαμβάνει κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης το επίπεδο εφαρμογών. Πιο συγκεκριμένα, ο συμβολισμός <i>DB_data_receive_counter</i> δηλώνει τον αριθμό των απαντήσεων που έφτασαν στον προορισμό τους
<i>data_sum_ttl</i>	ο συνολικός αριθμός των αλμάτων που ακολούθησαν τα πακέτα των απαντήσεων από την αποστολή τους μέχρι να φτάσουν στον προορισμό τους

Οι μετρικές των βάσεων δεδομένων είναι:

- *Completion Time* (CT), που είναι ο μέσος χρόνος που απαιτείται από τη στιγμή που κάποιος κόμβος θέτει μια ερώτηση μέχρι να λάβει και την τελευταία απάντηση.
- *Response Time* (RT), που είναι ο μέσος χρόνος που απαιτείται από τη στιγμή που κάποιος κόμβος θέτει μια ερώτηση μέχρι να λάβει την πρώτη απάντηση.
- *Progressive Arrival Time* (PAT), που δηλώνει το μέσο χρόνο που απαιτείται από τη στιγμή που κάποιος κόμβος θέτει μια ερώτηση μέχρι να λάβει διαδοχικές απαντήσεις για τη συγκεκριμένη ερώτηση. Για παράδειγμα, αν ένας κόμβος λάβει πέντε απαντήσεις σε μία ερώτηση που προώθησε, η

συγκεκριμένη μετρική δηλώνει το μέσο χρόνο που απαιτήθηκε μέχρι να λάβει την πρώτη, τη δεύτερη, την τρίτη, την τέταρτη και την πέμπτη απάντηση.

Οι παραπάνω μετρικές υπολογίζονται από τις εξής μαθηματικές σχέσεις:

$$Completion\ Time = \frac{\sum (t_r(r_l) - t_s(q))}{\forall \text{ απαντημένη ερώτηση } q}, \text{ όπου } t_r(r_l) \text{ είναι ο χρόνος άφιξης}$$

της τελευταίας απάντησης για την ερώτηση q .

$$Response\ Time = \frac{\sum (t_r(r_f) - t_s(q))}{\forall \text{ απαντημένη ερώτηση } q}, \text{ όπου } t_r(r_f) \text{ είναι ο χρόνος άφιξης της}$$

πρώτης απάντησης για την ερώτηση q .

$$Progressive\ Arrival\ Time_i = \frac{\sum (t_r(r_i) - t_s(q))}{\forall \text{ απαντημένη ερώτηση } q}, \text{ όπου } i \text{ η σειρά άφιξης της}$$

απάντησης r_i για την ερώτηση q και $t_r(r_i)$ ο χρόνος άφιξης της συγκεκριμένης απάντησης.

Η ποσότητα $t_s(q)$ στους δύο τύπους δηλώνει το χρόνο αποστολής της ερώτησης q και sum_dq είναι ο συνολικός αριθμός των απαντημένων ερωτήσεων.

4.3. Μοντέλο Προσομοίωσης

Για την αξιολόγηση του συστήματος πραγματοποιήθηκε η προσομοίωση ενός MANET δικτύου χρησιμοποιώντας τον προσομοιωτή ns2 [FaVa01]. Τα πειράματα που εκτελέστηκαν είχαν ως σκοπό την αξιολόγηση της απόδοσης του συστήματος εφαρμόζοντας τρεις διαφορετικές διαδικασίες δρομολόγησης των ερωτήσεων. Σύμφωνα με ανάλυση σε προηγούμενο κεφάλαιο, το πρωτόκολλο δρομολόγησης DSDV, που χρησιμοποιήθηκε ως βάση για την προσομοίωση, συμπεριφέρεται το ίδιο για τη μετάδοση των απαντήσεων μεταξύ των κόμβων και στις τρεις παραπάνω περιπτώσεις. Η σύγκριση έγινε μεταξύ της κλασικής διαδικασίας δρομολόγησης με τη μέθοδο της πλημμύρας, της νέας προτεινόμενης cross-layer τεχνικής και ενός ενδιάμεσου μηχανισμού. Ο τελευταίος βασίζεται στη βασική ιδέα που προτείνεται για την προώθηση όσο γίνεται λιγότερων μηνυμάτων σε επίπεδο δικτύου, για κάθε ερώτηση που δημιουργεί κάποιος κόμβος, και αφορά στην ομαδοποίηση των κόμβων-

προορισμών με βάση το επόμενο άλμα (Next Hop). Η τεχνική αυτή αναλύθηκε σε ενότητα του τρίτου κεφαλαίου. Η διαφορά σε σχέση με την cross-layer τεχνική έγκειται στο γεγονός ότι δεν υπάρχει ενσωμάτωση επιπρόσθετης πληροφορίας από το επίπεδο εφαρμογών στο επίπεδο δρομολόγησης. Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθεί ότι η επιπλέον πληροφορία που εισάγουμε στο πρωτόκολλο δρομολόγησης του συστήματός μας, όταν υλοποιείται η cross-layer τεχνική, αφορά μόνο στην κλάση των κόμβων και αυτό γίνεται για λόγους ευκολίας. Για την εισαγωγή περισσότερων πληροφοριών, όπως αυτών που αναφέρθηκαν στο τρίτο κεφάλαιο, ισχύουν τα ίδια με αυτά που περιγράφηκαν στην ενότητα 3.2 για την εισαγωγή της κλάσης. Το γεγονός αυτό μειώνει το φόρτο που επιφέρει στο δίκτυο η μεγέθυνση των μηνυμάτων δρομολόγησης με την επιπλέον πληροφορία, αφού αρκούν λίγα μόνο bytes για τη μετάδοση της κλάσης.

Χρησιμοποιήθηκαν δύο διαφορετικά μοντέλα δικτύων στην προσομοίωση για την εξαγωγή συμπερασμάτων. Το πρώτο μοντέλο αφορά σε ένα MANET δίκτυο και το δεύτερο μοντέλο αφορά σε ένα WMN δίκτυο. Όσον αφορά στο πρώτο είδος δικτύου, αυτό αποτελείται από έναν αριθμό κόμβων (N) που κινούνται σε μια καθορισμένη περιοχή. Τα δεδομένα της διαφορετικής θέσης των κινούμενων κόμβων σε κάθε χρονική στιγμή αποτελούν είσοδο στον προσομοιωτή. Τα δεδομένα αυτά ομαδοποιούνται με βάση τους τρεις διαφορετικούς αλγορίθμους κίνησης που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή τους. Αυτοί είναι οι Random Waypoint Algorithm [FaVa01], Manhattan Mobility Model [BaSH04] και Random Direction Mobility Model [Nuen02]. Κάθε κόμβος ανήκει τυχαία σε μία μόνο από τις n_c κλάσεις που υπάρχουν στο δίκτυο. Όλες οι κλάσεις αποτελούνται από τον ίδιο αριθμό κόμβων. Ένα υποσύνολο (n_q) των κόμβων του δικτύου θέτει ερωτήσεις κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης στους υπόλοιπους κόμβους του δικτύου με μέσο ρυθμό λ που ακολουθεί εκθετική κατανομή. Οι ερωτήσεις αφορούν στους κόμβους που ανήκουν στην ίδια κλάση με τον ερωτώντα κόμβο και προωθούνται μέχρι ένα μέγιστο αριθμό αλμάτων h από τον τελευταίο. Όταν ένας κόμβος λάβει μία ερώτηση και διαθέτει τα κατάλληλα δεδομένα, ανήκει δηλαδή στη ζητούμενη κλάση, αποστέλλει στον αρχικό κόμβο ένα πακέτο απάντησης που έχει σταθερό μέγεθος 1000 bytes. Οι παράμετροι της προσομοίωσης φαίνονται στον Πίνακα 4.2.

Πίνακας 4.2 Παράμετροι Προσομοίωσης

Αριθμός Κόμβων N	50
Αριθμός Ερωτώντων Κόμβων n_q	10
Αριθμός Κλάσεων n_c	5
Ρυθμός Παραγωγής Ερωτήσεων λ	0.1
Μέγιστος Αριθμός Βημάτων h	3
Χρόνος Προσομοίωσης	900 sec
Κινητικότητα Κόμβων	20 m/sec
Περιοχή Προσομοίωσης A	1500x300, 700x700

Για το δεύτερο είδος δικτύου που χρησιμοποιείται στην προσομοίωση, το WMN, γίνεται η εξής παραδοχή. Το δίκτυο περιέχει ένα μόνο σταθερό κόμβο ο οποίος αναλαμβάνει τα καθήκοντα του mesh router και όλοι οι άλλοι κόμβοι (mesh clients/routers) κινούνται γύρω από αυτόν. Ο λόγος που προσομοιώνεται ένα μικρό κομμάτι μόνο από ένα WMN είναι ότι σκοπός της συγκεκριμένης εργασίας είναι η αξιολόγηση της απόδοσης του δικτύου στο οποίο εφαρμόζεται η προτεινόμενη cross-layer τεχνική και όχι η κατασκευή ενός τέτοιου δικτύου. Η παρακολούθηση της δρομολόγησης των ερωτήσεων σε ένα κομμάτι του δικτύου αρκεί για την εξαγωγή συμπερασμάτων που αφορούν σε ολόκληρο το δίκτυο. Έτσι, για το WMN που προσομοιώθηκε ίσχυσαν οι ίδιες τιμές των παραμέτρων προσομοίωσης του Πίνακα 4.2 που εφαρμόστηκαν και στο ad hoc δίκτυο. Εκτός από τον αριθμό κόμβων N που αποτελούν τους mesh clients του δικτύου υπάρχει ένας ακόμη κόμβος που αναλαμβάνει το ρόλο του mesh router και είναι σταθερός. Επομένως, οι κόμβοι του δικτύου είναι 51. Για τους αλγορίθμους κίνησης των υπόλοιπων κόμβων, τον αριθμό των κλάσεων, τον αριθμό των ερωτώντων κόμβων, το ρυθμό παραγωγής ερωτήσεων και το μέγιστο αριθμό αλμάτων ισχύουν οι ίδιες τιμές του Πίνακα 4.2. Όταν κάποιος κόμβος επιθυμεί να αποκτήσει τα δεδομένα κάποιων άλλων κόμβων δημιουργεί μία ερώτηση και την προωθεί στο mesh router του δικτύου. Εκείνος, στη συνέχεια, αναλαμβάνει να προωθήσει την ερώτηση στους υπόλοιπους κόμβους. Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι κάποιος από τους clients μπορεί να μην βρίσκεται άμεσα στην εμβέλεια του κεντρικού κόμβου. Σε αυτή την περίπτωση ο κεντρικός κόμβος δρομολογεί την ερώτηση στους clients με τους κανόνες που διέπουν τις τρεις

μεθόδους δρομολόγησης που εφαρμόζονται στα ad hoc δίκτυα. Με αυτό τον τρόπο η ερώτηση προωθείται σε όλους τους επιθυμητούς κόμβους και με τις τρεις μεθόδους δρομολόγησης. Οι κόμβοι που θα λάβουν την ερώτηση και μπορούν να απαντήσουν αποστέλλουν απάντηση απευθείας στον αρχικό κόμβο που δημιούργησε την ερώτηση.

4.4. Είδη Πειραμάτων - Αξιολόγηση

Στα πειράματα που εκτελέστηκαν σκοπός ήταν ο υπολογισμός των μετρικών που αναφέρθηκαν στην ενότητα “Αξιολόγηση Απόδοσης”. Έτσι για κάθε παράμετρο που μεταβαλλόταν κάθε φορά στα διαφορετικά πειράματα δημιουργήθηκαν τόσες γραφικές παραστάσεις όσες είναι και οι μετρικές. Στις γραφικές παραστάσεις ο άξονας x αναπαριστά τη μεταβολή της παραμέτρου και ο άξονας y αναπαριστά μία από τις μετρικές. Ο Πίνακας 4.3 συνοψίζει τις δυνατές μεταβολές των τιμών για κάθε μία παράμετρο στα πειράματα που εκτελέστηκαν, διατηρώντας όλες τις άλλες παραμέτρους σταθερές. Τέλος, τα αποτελέσματα που προέκυψαν από κάθε πείραμα αποτελούν το μέσο όρο δέκα ανεξάρτητων προσομοιώσεων.

Από την ανάλυση του μοντέλου προσομοίωσης προκύπτει ότι τα πειράματα διακρίνονται σε κατηγορίες. Υπάρχουν δύο μεγάλες ομάδες πειραμάτων, αυτά που αφορούν στα ad hoc δίκτυα και αυτά που αφορούν στα mesh δίκτυα. Κάθε μία από αυτές τις κατηγορίες περιλαμβάνει τρεις υποκατηγορίες που χαρακτηρίζονται από το διαφορετικό αλγόριθμο που εφαρμόστηκε για την κίνηση των κόμβων. Τέλος, όπως παρουσιάζεται και στον Πίνακα 4.2 υπάρχουν δύο διαφορετικές περιοχές κίνησης των κόμβων. Η μία αφορά σε ένα ορθογώνιο διαστάσεων 1500x300 και η άλλη σε ένα τετράγωνο διαστάσεων 700x700. Κατά συνέπεια, υπάρχουν δώδεκα ομάδες πειραμάτων. Κάθε ομάδα πειραμάτων περιέχει έξι διαφορετικά σενάρια. Καθένα από αυτά αποσκοπεί στη μελέτη της επιρροής των διαφορετικών παραμέτρων στην απόδοση του συστήματος. Συγκεκριμένα:

- *Πρώτο* σενάριο. Το πρώτο σενάριο πειράματος αφορά στη μεταβολή της ταχύτητας των κόμβων. Σκοπός του πειράματος είναι να αξιολογηθεί η απόδοση του συστήματος στα διαφορετικά επίπεδα κινητικότητας των κόμβων.

- *Δεύτερο σενάριο.* Το δεύτερο σενάριο αφορά στη μεταβολή του αριθμού των κλάσεων που υπάρχουν στο σύστημα. Σκοπός είναι να αποδειχτεί η σημαντικότητα της εκμετάλλευσης της πληροφορίας που παρέχει το επίπεδο εφαρμογών.
- *Τρίτο σενάριο.* Το τρίτο σενάριο αφορά στη μεταβολή του αριθμού των κόμβων στο δίκτυο. Το συγκεκριμένο πείραμα αποσκοπεί στην ανακάλυψη ότι η προτεινόμενη μέθοδος παρουσιάζει καλή ιδιότητα κλιμάκωσης.
- *Τέταρτο σενάριο.* Το τέταρτο σενάριο αφορά στη μεταβολή του αριθμού των ερωτώντων κόμβων στο δίκτυο. Σκοπός του είναι να αξιολογηθεί η απόδοση του συστήματος στα διαφορετικά επίπεδα επιβάρυνσής του.
- *Πέμπτο σενάριο.* Το πέμπτο σενάριο αφορά στη μεταβολή του ρυθμού των ερωτήσεων που θέτουν οι κόμβοι του δικτύου. Το συγκεκριμένο πείραμα έχει τον ίδιο σκοπό με το τέταρτο πείραμα.
- *Έκτο σενάριο.* Το συγκεκριμένο σενάριο αφορά στη μεταβολή του αριθμού των βημάτων προώθησης της ερώτησης από τον κόμβο που τη δημιουργήσε. Και το πείραμα αυτό αποσκοπεί στην απόδειξη της καλής ιδιότητας κλιμάκωσης που παρουσιάζει η προτεινόμενη λύση.

Στα πειράματα που εκτελέστηκαν η αποτελεσματικότητα του συστήματος διαπιστώνεται από τις μετρικές “Data Delivery Ratio”, “Discovered Replies per Query” και “Delivered Replies per Query”, η αποδοτικότητά του διαπιστώνεται από τις μετρικές “Response Time”, “Completion Time”, “Data Mean Delay”, “Progressive Arrival Time”, και ο φόρτος του συστήματος διαπιστώνεται από τις μετρικές “Query Overhead” και “Data Mean Number of Hops”. Όσον αφορά στη μετρική “Progressive Arrival Time” πρέπει να σημειωθεί ότι τα διαγράμματα που θα παρουσιαστούν στη συνέχεια στη μεταβολή κάθε παραμέτρου αναφέρονται στη μέγιστη τιμή που έχει για το συγκεκριμένο σενάριο η παράμετρος.

Πίνακας 4.3 Οι Δυνατές Μεταβολές των Τιμών των Παραμέτρων στα Πειράματα που θα Εκτελεστούν

Παράμετροι που μεταβάλλονται	Δυνατές Τιμές
Κινητικότητα των κόμβων (v)	0.5, 5, 10, 15, 20m/sec
Αριθμός των κλάσεων (nc)	1, 3, 5, 10
Αριθμός των κόμβων (N)	20, 40, 60, 80
Αριθμός των ερωτώντων κόμβων (qn)	10, 20, 30, 50
Ρυθμός ερωτήσεων (R)	Χαρακτηρίζεται από μία εκθετική κατανομή με $\lambda=0.1, 0.2, 0.3, 0.5$ queries/sec
# βημάτων πρόωθησης της ερώτησης από τον αρχικό κόμβο	1, 2, 3, 5
Είδος ερωτήσεων (qt)	Ερώτηση στους κόμβους που απέχουν έως και 1, 2, 3, 5 hops και ανήκουν στην κλάση στην οποία ανήκει ο κόμβος που δημιουργεί την ερώτηση
Περιοχή κίνησης των κόμβων (A)	700m x 700m, 1500m x 300m

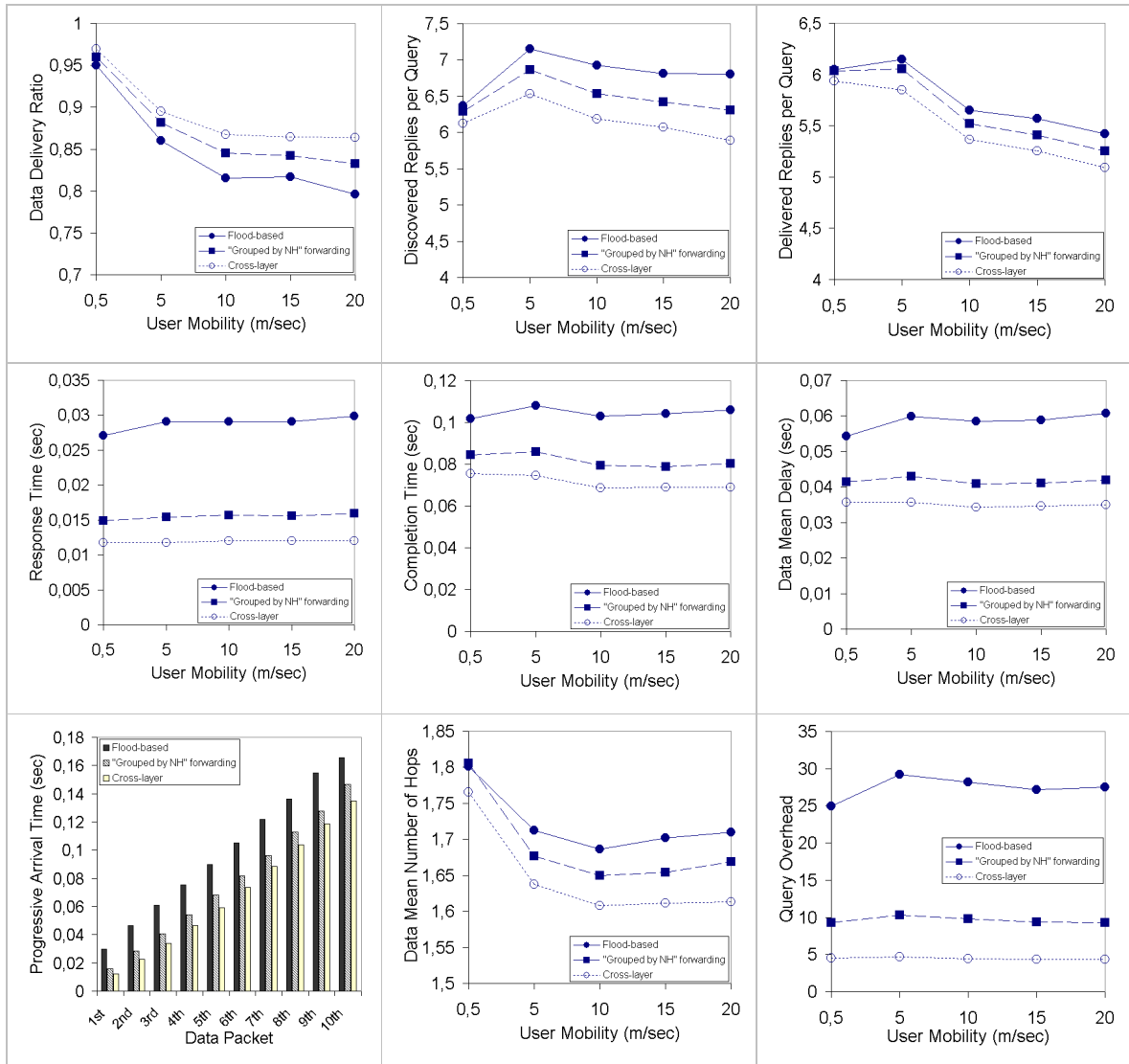
4.5. Ανάλυση Αποτελεσμάτων για Ad hoc Δίκτυα

Στην ενότητα αυτή θα αναλυθούν τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εκτέλεση των πειραμάτων σε ad hoc δίκτυα. Όλα τα πειράματα που περιγράφουμε (και κατά συνέπεια οι γραφικές παραστάσεις που προκύπτουν) εκτελούνται για κόμβους που κινούνται σε μια περιοχή κίνησης $1500 \times 300m^2$ με βάση τον αλγόριθμο κίνησης Random Waypoint. Τα υπόλοιπα αποτελέσματα παρατίθενται στο Παράρτημα.

Μεταβολή της Κινητικότητας των Κόμβων

Στο συγκεκριμένο σύνολο πειραμάτων αποτιμούμε τις μετρικές της ενότητας 4.2.2 και μελετάμε τη συμπεριφορά τους σε σχέση με τη μεταβολή της κινητικότητας των κόμβων. Σκοπός, δηλαδή είναι η αξιολόγηση της απόδοσης του συστήματος σε διαφορετικά επίπεδα κινητικότητας των κόμβων, τα οποία επηρεάζουν τις συνδέσεις μεταξύ τους. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εκτέλεσή τους συγκεντρώνονται στο Σχήμα 4.1. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, τα αποτελέσματα

αυτά αφορούν στα πειράματα όπου για την κίνηση των κόμβων εφαρμόστηκε ο Random Waypoint Algorithm σε μια περιοχή διαστάσεων $1500 \times 300 \text{m}^2$.



Σχήμα 4.1 Μεταβολή της Κινητικότητας των Κόμβων Χρησιμοποιώντας τον Random Waypoint Algorithm σε Περιοχή Κίνησης $1500 \times 300 \text{m}^2$ (ad hoc)

Αποτελεσματικότητα του συστήματος. Όσον αφορά στην αποτελεσματικότητα του συστήματος, που φαίνεται από τις μετρικές **“Data Delivery Ratio”**, **“Discovered Replies per Query”** και **“Delivered Replies per Query”**, εφαρμόζοντας τις τρεις διαδικασίες δρομολόγησης που αναφέρθηκαν παραπάνω, εξάγουμε συμπεράσματα με βάση τα τρία πρώτα διαγράμματα του Σχήματος 4.1. Η μετρική **“Data Delivery Ratio”** αποδεικνύει την υπεροχή του προτεινόμενου και του ενδιάμεσου μηχανισμού

σε σχέση με τη μέθοδο της πλημμύρας. Το γεγονός της μείωσης των εκπομπών και κατά συνέπεια της μείωσης της συμφόρησης του δικτύου, που επιτυγχάνονται με την cross-layer τεχνική, οδηγεί στη μείωση της καθυστέρησης μεταφοράς των δεδομένων και στην αύξηση του ποσοστού των επιτυχημένων μεταδόσεων δεδομένων. Η υπεροχή της cross-layer τεχνικής σε σχέση με τον ενδιάμεσο μηχανισμό επιβεβαιώνει τη βελτίωση που επιφέρει η χρήση της επιπρόσθετης πληροφορίας από το επίπεδο εφαρμογών. Έτσι, με την εκμετάλλευση της πληροφορίας αυτής μειώνονται σε μεγαλύτερο βαθμό οι εκπομπές οδηγώντας στα κέρδη που αναλύθηκαν παραπάνω. Επιπλέον, το ποσοστό των επιτυχημένων μεταδόσεων δεδομένων μειώνεται παράλληλα με την αύξηση της κινητικότητας των κόμβων. Ωστόσο, ενώ η μέθοδος της πλημμύρας φαίνεται να επηρεάζεται περισσότερο από τη διάσπαση των συνδέσεων λόγω της μεγάλης κινητικότητας των κόμβων, η cross-layer τεχνική παρουσιάζει μία πιο ομαλή πορεία του φαινομένου. Η αυξημένη κινητικότητα των κόμβων φαίνεται να επηρεάζει αρνητικά και την πορεία της εύρεσης πιθανών απαντήσεων και της επιτυχημένης μετάδοσης αυτών, όπως παρουσιάζουν οι μετρικές **“Discovered Replies per Query”** και **“Delivered Replies per Query”**. Επιπλέον, στην περίπτωση αυτή η μέθοδος της πλημμύρας παρουσιάζει μία μικρή υπεροχή σε σχέση με τις άλλες δύο μεθόδους δρομολόγησης ερωτήσεων, δηλαδή καταφέρνει να ανακαλύψει περισσότερες απαντήσεις στο δίκτυο. Ο λόγος που οι προτεινόμενες μέθοδοι δεν μπορούν να τα καταφέρουν το ίδιο ικανοποιητικά είναι ο αυξημένος ρυθμός αποτυχίας του πρωτοκόλλου δρομολόγησης. Παρόλο που το δίκτυο υφίσταται τις διασπάσεις των συνδέσεων, λόγω της κινητικότητας των κόμβων, τα πακέτα ερωτήσεων καταφέρνουν να φτάσουν σε περισσότερους πιθανούς κόμβους, όταν εφαρμόζεται η μέθοδος της πλημμύρας, αφού τα πακέτα προωθούνται από όλους τους κόμβους του δικτύου και έτσι δρομολογούνται σε όλα τα μονοπάτια. Αντίθετα, οι προτεινόμενες μέθοδοι, οι οποίες δρομολογούν την ερώτηση στους κατάλληλους μόνο κόμβους, προωθούν τα πακέτα ερωτήσεων σε λιγότερα μονοπάτια σε σχέση με τη μέθοδο της πλημμύρας. Επομένως, το φαινόμενο των διασπάσεων των συνδέσεων επηρεάζει περισσότερο τις προτεινόμενες μεθόδους. Το τελευταίο παρατηρείται πιο έντονα στο συγκεκριμένο σύνολο πειραμάτων, όπου αυξάνεται η κινητικότητα των κόμβων προκαλώντας έτσι πιο συχνά τη διάσπαση των συνδέσεων. Αυτό είναι το τίμημα που πρέπει να πληρωθεί για την ελαχιστοποίηση του φόρτου του συστήματος, η οποία θα αναλυθεί παρακάτω. Ωστόσο, η διαφορά αυτή μεταξύ της μεθόδου της

πλημμύρας και των άλλων δύο μεθόδων δρομολόγησης δεν είναι μεγάλη με αποτέλεσμα να μην υπάρχουν σημαντικές απώλειες. Επίσης, πρέπει να σημειωθεί ότι η υπεροχή της πλημμύρας μειώνεται αισθητά αν θεωρήσουμε τον αριθμό των απαντήσεων που καταφέρνουν να επιστρέψουν στον κόμβο που έκανε την ερώτηση και αυτό γιατί στην περίπτωση της πλημμύρας το δίκτυο εμφανίζει μικρότερη ικανότητα παράδοσης δεδομένων για τους λόγους που αναφέρθηκαν προηγουμένως. Μελετώντας το ίδιο σενάριο πειράματος στο ίδιο δίκτυο εφαρμόζοντας τους αλγόριθμους Manhattan Mobility Model και Random Direction Mobility Model για την κίνηση των κόμβων στη συγκεκριμένη περιοχή, παρατηρείται ποιοτικά η ίδια συμπεριφορά για τις μετρικές που αναλύθηκαν παραπάνω και για τη σχέση μεταξύ των τριών συγκρινόμενων μεθόδων. Τα αποτελέσματα των πειραμάτων στα οποία χρησιμοποιήθηκαν αυτοί οι δύο αλγόριθμοι κίνησης παρουσιάζονται στα Σχήματα Π.1 και Π.2 του Παραρτήματος.

Απόδοση του συστήματος. Για την απόδοση του συστήματος, σε σχέση με τη χρονική του συμπεριφορά, μας πληροφορούν τα διαγράμματα που απεικονίζουν τις μετρικές που αναφέρθηκαν στην αρχή της ενότητας και είναι οι **“Response Time”**, **“Completion Time”**, **“Data Mean Delay”** και **“Progressive Arrival Time”**. Τα διαγράμματα αυτά εκθέτουν τη σημαντική διαφορά μεταξύ των τριών διαδικασιών δρομολόγησης που συγκρίνουμε, ως προς την ικανότητά τους να μεταδίδουν δεδομένα όσο πιο γρήγορα είναι δυνατό. Πιο αναλυτικά, με την εφαρμογή της cross-layer τεχνικής το σύστημα καταφέρνει να μειώσει το χρόνο παραλαβής της πρώτης απάντησης σε έναν κόμβο για μια συγκεκριμένη ερώτηση, σε σχέση με την εφαρμογή της πλημμύρας, σε 43% περίπου. Πολύ καλά αποτελέσματα παρουσιάζει και ο ενδιάμεσος μηχανισμός ο οποίος υπερέχει εμφανώς από τη μέθοδο της πλημμύρας, ωστόσο η απόδοσή του είναι λίγο πιο κακή από αυτή της cross-layer τεχνικής. Ο λόγος αναφέρθηκε στην ανάλυση των προηγούμενων διαγραμμάτων. Επιπλέον, το διάγραμμα μας πληροφορεί για την ελάχιστη αρνητική επιρροή που προκαλεί η αύξηση της κινητικότητας των κόμβων στις τρεις περιπτώσεις. Παρόμοια συμπεριφέρονται και οι μετρικές **“Completion Time”** και **“Data Mean Delay”**, όπως δείχνουν τα επόμενα διαγράμματα. Το διάγραμμα που αφορά στη μετρική **“Progressive Arrival Time”** μας αποκαλύπτει την ανοδική πορεία του μέσου χρόνου που απαιτείται για την παραλαβή ενός επιπρόσθετου πακέτου απάντησης σε μία

δεδομένη ερώτηση. Συγκεκριμένα, τα πακέτα που μπορεί να λάβει ένας κόμβος, κατά τη δημιουργία και την προώθηση μιας ερώτησης σε αυτό το σύνολο πειραμάτων, και δηλώνονται στον άξονα x είναι δέκα. Αυτό προκύπτει από το γεγονός ότι οι κόμβοι του δικτύου είναι 50 και ο αριθμός των κλάσεων του δικτύου είναι 5. Έτσι, όταν ένας κόμβος θέτει μια ερώτηση η οποία αφορά στους κόμβους που ανήκουν σε μία συγκεκριμένη κλάση, είναι δυνατόν να λάβει πακέτα από 10 διαφορετικούς κόμβους, αφού τόσους κόμβους ($\frac{N}{n_c}$) περιλαμβάνει κάθε κλάση. Από το διάγραμμα είναι προφανές ότι για την παραλαβή καθενός από τα δέκα πακέτα δεδομένων για μία ερώτηση, με την εφαρμογή της cross-layer τεχνικής απαιτείται αρκετά λιγότερος χρόνος σε σχέση με την εφαρμογή της πλημμύρας. Η διαφορά της πρώτης μεθόδου σε σχέση με τον ενδιάμεσο μηχανισμό είναι αρκετά μικρή. Πρέπει να σημειωθεί ότι το συγκεκριμένο διάγραμμα προκύπτει από πείραμα στο οποίο δε μεταβάλλεται η ταχύτητα των κόμβων αλλά παραμένει σταθερή με τιμή 20m/sec. Πρόκειται δηλαδή για την περίπτωση στην οποία οι κόμβοι έχουν τη μέγιστη ταχύτητα από το συγκεκριμένο σενάριο πειράματος. Τα αποτελέσματα που μας πληροφορούν για την απόδοση του συστήματος είναι ανάλογα αν εφαρμοστεί κάποιος από τους άλλους δύο αλγορίθμους κίνησης των κόμβων, Manhattan ή Random Direction.

Επιβάρυνση του δικτύου. Τέλος η επιβάρυνση που επιφέρει κάθε μέθοδος δρομολόγησης στο σύστημα κατά την προώθηση μιας ερώτησης παρουσιάζεται στα δύο τελευταία διαγράμματα, άμεσα από αυτό της μετρικής “**Query Overhead**” και έμμεσα από αυτό της μετρικής “**Data Mean Number of Hops**”. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα που απεικονίζονται στο τελευταίο διάγραμμα, αποδεικνύεται για άλλη μία φορά η σημαντικότητα της εκμετάλλευσης της πληροφορίας που φέρει το επίπεδο εφαρμογών, αφού η προτεινόμενη λύση μειώνει τις εκπομπές στο 20% των εκπομπών που πραγματοποιούνται με τη μέθοδο της πλημμύρας. Το ίδιο θεαματική μείωση της επιβάρυνσης στο δίκτυο επιφέρει και ο ενδιάμεσος μηχανισμός σε σχέση με την εξαντλητική μέθοδο της πλημμύρας. Ωστόσο, η cross-layer τεχνική επιτυγχάνει μείωση περίπου 50% του φόρτου ακόμα και ως προς την ενδιάμεση τεχνική. Ο λόγος αναφέρθηκε στην αρχή της ανάλυσης του συγκεκριμένου πειράματος, γεγονός που ενισχύει ακόμα περισσότερο τη συνεισφορά της προτεινόμενης λύσης. Επιπλέον, η επιβάρυνση αυτή που προκαλείται από κάθε μέθοδο δρομολόγησης φαίνεται να μην

επηρεάζεται πρακτικά από την αύξηση της κινητικότητας των κόμβων και κατά συνέπεια τη διάσπαση των συνδέσεων. Παρόλο που το τελευταίο θεωρείται αναμενόμενο για τη μέθοδο της πλημμύρας, για τις άλλες δύο μεθόδους δρομολόγησης θεωρείται σημαντικό χαρακτηριστικό, γιατί αποδεικνύει ότι ο φόρτος για τη δρομολόγηση των ερωτήσεων δεν επηρεάζεται από τη διάσπαση των συνδέσεων, δηλαδή τη συμπεριφορά του αλγορίθμου δρομολόγησης. Τέλος, το γεγονός της ελαχιστοποίησης της επιβάρυνσης που επιφέρει στο δίκτυο η δρομολόγηση των ερωτήσεων και επιτυγχάνεται με την cross-layer τεχνική επηρεάζει σημαντικά τη συνολική απόδοση του συστήματος, όπως διαπιστώνεται από τις προηγούμενες μετρικές που αναλύθηκαν. Όσον αφορά στη μετρική “**Data Mean Number of Hops**”, αυτή μας πληροφορεί έμμεσα για την επιβάρυνση που προκαλούν στο δίκτυο οι τρεις συγκρινόμενες μέθοδοι δρομολόγησης, αφού εκφράζει το μέσο αριθμό αλμάτων που απαιτούνται για την άφιξη των δεδομένων στον προορισμό τους. Έτσι, αν απαιτούνται αρκετά άλματα για τη μετάδοση των δεδομένων τότε εκτελούνται περισσότερες εκπομπές και κατά συνέπεια καταναλώνεται περισσότερο bandwidth δικτύου. Η cross-layer τεχνική καταφέρνει να επιτύχει μικρότερο αριθμό αλμάτων από τις άλλες δύο τεχνικές. Αυτό σημαίνει ότι το δίκτυο επιβαρύνεται από λιγότερες εκπομπές και οφείλεται στο γεγονός ότι η cross-layer τεχνική καταφέρνει να επιλέξει συντομότερα μονοπάτια (ως προς τον αριθμό των αλμάτων) εξ’ αιτίας της χαμηλότερης συμφόρησης που δημιουργεί στο δίκτυο κατά τη δρομολόγηση των ερωτήσεων. Η υπεροχή αυτή της cross-layer τεχνικής είναι ακόμα μεγαλύτερη αν αναλογιστεί κανείς το γεγονός ότι στην περίπτωση της πλημμύρας το ποσοστό επιτυχούς παράδοσης πακέτων είναι μικρότερο από την περίπτωση της cross-layer τεχνικής. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τα πακέτα που κατευθύνονται προς μακρινότερους προορισμούς να έχουν μεγαλύτερη πιθανότητα να απορριφθούν και επομένως ο μέσος αριθμός αλμάτων να είναι μικρότερος, χωρίς αυτό ωστόσο να υποδηλώνει τη μείωση του αριθμού των εκπομπών. Ανάλογα αποτελέσματα παρατηρούνται με την εφαρμογή και των άλλων δύο αλγορίθμων κίνησης που αναφέρθηκαν παραπάνω.

Αλλαγές στην πειραματική διάταξη (Παράρτημα). Στη συνέχεια αναλύονται τα αποτελέσματα που αφορούν στο ίδιο σενάριο πειράματος, δηλαδή στη μεταβολή της κινητικότητας των κόμβων, χρησιμοποιώντας τις ίδιες παραμέτρους προσομοίωσης,

εκτός από την περιοχή κίνησης των κόμβων η οποία έχει διαστάσεις 700m x 700m. Η μελέτη των διαγραμμάτων των Σχημάτων Π.3, Π.4 και Π.5, στα οποία φαίνονται τα αποτελέσματα αυτών των πειραμάτων, μας βεβαιώνει ότι δεν υπάρχουν σημαντικές διαφορές από τα διαγράμματα που αφορούν στην περιοχή κίνησης διαστάσεων 1500m x 300m, επομένως θα επικεντρωθούμε μόνο σε αυτές. Εφαρμόζοντας το ίδιο πείραμα στη συγκεκριμένη περιοχή κίνησης, το σύστημα κατάφερε να δρομολογήσει τις ερωτήσεις σε περισσότερους πιθανούς κόμβους που μπορούν να απαντήσουν και κατά συνέπεια να επιτύχει περισσότερες επιτυχημένες μεταδόσεις απαντήσεων, ανεξάρτητα από τον αλγόριθμο κίνησης και τη διαδικασία δρομολόγησης που εφαρμόζεται. Η σχέση μεταξύ των τριών διαδικασιών δρομολόγησης είναι η ίδια με αυτή που ισχύει στα διαγράμματα των Σχημάτων 4.1, Π.1 και Π.2. Αυτά αποδεικνύονται και από τα αντίστοιχα διαγράμματα των Σχημάτων Π.3, Π.4 και Π.5. Όσον αφορά στα διαγράμματα που αναφέρονται στις μετρικές που υπολογίζουν μέσους χρόνους, σημειώνεται διαφορά στις τιμές με τα αντίστοιχα διαγράμματα των Σχημάτων 4.1, Π.1 και Π.2. Πιο αναλυτικά, η cross-layer τεχνική εξακολουθεί να θεωρείται καλύτερη από τις άλλες δύο μεθόδους δρομολόγησης, ενώ παρατηρείται και οι τρεις μέθοδοι να εμφανίζουν παρόμοια συμπεριφορά με τα διαγράμματα της περιοχής 1500m x 300m καθώς η κινητικότητα των κόμβων αυξάνεται. Το γεγονός αυτό αποδεικνύει για άλλη μία φορά την υπεροχή του προτεινόμενου μηχανισμού σε σχέση με τις άλλες δύο μεθόδους δρομολόγησης, ανεξάρτητα από την αλλαγή της τιμής κάποιας παραμέτρου, όπως είναι οι διαστάσεις της περιοχής κίνησης των κόμβων. Ωστόσο, οι τιμές των μετρικών που αναφέρονται στους μέσους χρόνους είναι λίγο μεγαλύτερες από αυτές των διαγραμμάτων που αναλύθηκαν για την περιοχή κίνησης 1500m x 300m. Η μετρική **“Data Mean Number of Hops”** παρουσιάζει μεγαλύτερες τιμές και στις τρεις μεθόδους δρομολόγησης εφαρμόζοντας το Random Direction Mobility Model. Τέλος, η επιβάρυνση που προκαλείται στο δίκτυο από τις προωθήσεις των ερωτήσεων για κάθε μέθοδο δρομολόγησης είναι μεγαλύτερη για τη συγκεκριμένη περιοχή κίνησης. Το τελευταίο ισχύει με την εφαρμογή και των τριών αλγορίθμων κίνησης. Η σημαντική διαφορά μεταξύ των δύο κατηγοριών πειραμάτων είναι οι διαστάσεις της περιοχής στην οποία κινούνται οι κόμβοι. Η μία περιοχή σχηματίζει ορθογώνιο και η άλλη σχηματίζει τετράγωνο, με αποτέλεσμα το δίκτυο να έχει διαφορετική διάμετρο. Το γεγονός αυτό αποτελεί βασικό λόγο για τον οποίο διαφοροποιούνται λίγο οι τιμές μεταξύ των

αποτελεσμάτων των δύο κατηγοριών. Επιπλέον, η τοπολογία των κόμβων και οι κινήσεις τους στις δύο περιοχές διαμορφώνονται με διαφορετικό τρόπο. Για παράδειγμα, σε μία μεγάλη περιοχή οι κόμβοι έχουν μεγαλύτερο χώρο στη διάθεσή τους ώστε να κινηθούν σε σχέση με μία μικρότερη περιοχή. Κατά συνέπεια, είναι δυνατόν να δημιουργούνται μεγαλύτερες αποστάσεις μεταξύ των κόμβων. Το τελευταίο επηρεάζει άμεσα τη μετρική που αφορά στο φόρτο του δικτύου, καθώς επίσης και τις μετρικές που αφορούν στους μέσους χρόνους. Ένα άλλο παράδειγμα που μπορεί να οδηγήσει στις παραπάνω διαφορές και αφορά στη διαφορετική τοπολογία που έχουν δύο δίκτυα, των οποίων οι κόμβοι κινούνται σε περιοχές με διαφορετικές διαστάσεις, είναι η περίπτωση που οι κόμβοι του ενός δικτύου έχουν περισσότερους γείτονες, με αποτέλεσμα να προκαλείται μεγαλύτερος φόρτος στο επίπεδο MAC.

Μεταβολή του αριθμού των κλάσεων

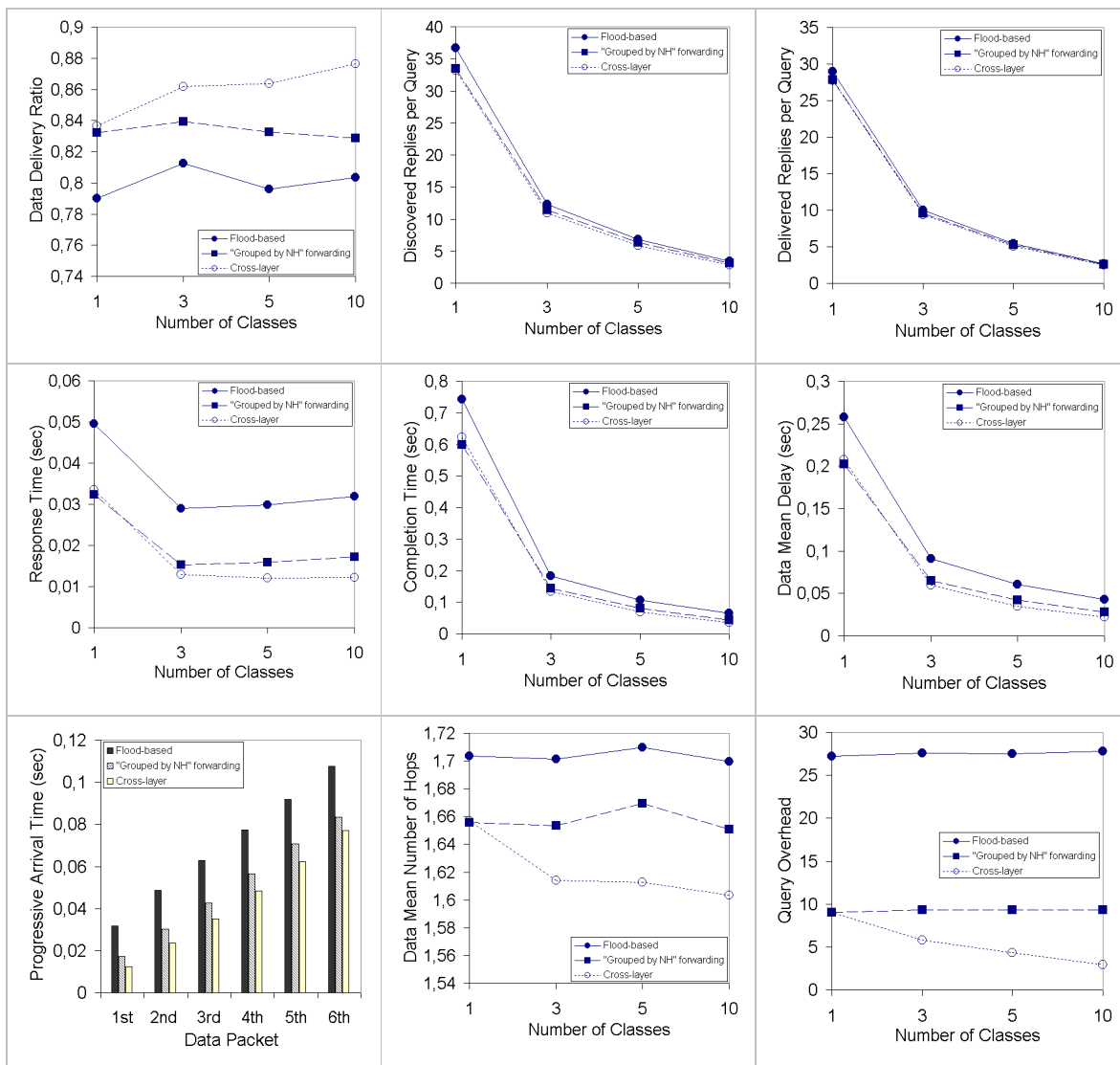
Στα συγκεκριμένα πειράματα μεταβάλλεται ο αριθμός των κλάσεων του συστήματος. Σκοπός αυτού του συνόλου πειραμάτων είναι να αποδείξει τη σημαντικότητα της εκμετάλλευσης της πληροφορίας που φέρει το επίπεδο εφαρμογών. Τα πειράματα εκτελέστηκαν εφαρμόζοντας το Random Waypoint Algorithm για την κίνηση των κόμβων σε μια περιοχή κίνησης με διαστάσεις 1500m x 300m και τα αποτελέσματά τους παρουσιάζονται στο Σχήμα 4.2. Από τη μελέτη τους επιβεβαιώνεται και ο σκοπός του συγκεκριμένου πειράματος, δηλαδή η σημαντικότητα της γνώσης και της εκμετάλλευσης της πληροφορίας που προσφέρει το επίπεδο εφαρμογών.

Αποτελεσματικότητα του συστήματος. Ξεκινώντας με το πρώτο από τα τρία διαγράμματα που μας πληροφορούν για την αποτελεσματικότητα του συστήματος, αυτό της μετρικής “**Data Delivery Ratio**” παρατηρούμε ότι η προτεινόμενη λύση καταφέρνει ξανά να βελτιώσει την αποτελεσματικότητα του συστήματος σε σχέση με τη μέθοδο της πλημμύρας και του ενδιάμεσου μηχανισμού και συγκεκριμένα όταν αυξάνεται ο αριθμός των κλάσεων αυξάνεται και το ποσοστό επιτυχημένης μετάδοσης των δεδομένων. Από την άλλη πλευρά οι άλλες δύο μέθοδοι που δεν χρησιμοποιούν καθόλου την επιπρόσθετη πληροφορία από το επίπεδο εφαρμογών φαίνεται να μην επηρεάζονται από τα οφέλη που προσφέρει η αύξηση του αριθμού των κλάσεων στην cross-layer τεχνική και να παραμένουν σχεδόν σταθερές. Το

γεγονός αυτό είναι περισσότερο εμφανές στα διαγράμματα που παράγονται από τα πειράματα όπου εφαρμόστηκαν οι άλλοι δύο αλγόριθμοι κίνησης και παρουσιάζονται στα Σχήματα Π.6 και Π.7. Όσον αφορά στη σύγκριση των τριών μεθόδων δρομολόγησης για την ικανότητά τους να μεταδίδουν ερωτήσεις και κατά επέκταση να συγκεντρώνουν απαντήσεις, που διαπιστώνεται από τις μετρικές “**Discovered Replies per Query**” και “**Delivered Replies per Query**” αυτή μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι οι τρεις μέθοδοι εμφανίζουν την ίδια συμπεριφορά. Είναι προφανές ότι η καθοδική πορεία των συναρτήσεων στα συγκεκριμένα διαγράμματα, παράλληλα με την αύξηση του αριθμού των κλάσεων, οφείλεται στο μικρότερο αριθμό των κόμβων που ανήκουν σε κάθε κλάση (αφού ο συνολικός αριθμός των κόμβων παραμένει σταθερός). Ανάλογα ποιοτικά αποτελέσματα εξάγονται με την εφαρμογή των αλγορίθμων κίνησης, Manhattan και Random Direction.

Απόδοση του συστήματος. Όσον αφορά στην απόδοση του συστήματος αυτή διαπιστώνεται από τα διαγράμματα που απεικονίζουν τους μέσους χρόνους, δηλαδή αναφέρονται στις μετρικές “**Response Time**”, “**Completion Time**”, “**Data Mean Delay**” και “**Progressive Arrival Time**”. Από τη μελέτη τους προκύπτει η υπεροχή της cross-layer τεχνικής σε σχέση με τη μέθοδο της πλημμύρας. Ο ενδιάμεσος μηχανισμός εμφανίζει και αυτός πολύ καλά αποτελέσματα σε σχέση με την τελευταία, ενώ πλησιάζει αρκετά την πρώτη. Με την αύξηση του αριθμού των κλάσεων μειώνεται ο μέσος χρόνος που απαιτείται για την παραλαβή οποιουδήποτε πακέτου απάντησης είτε αυτό είναι το πρώτο, είτε είναι το τελευταίο, είτε οποιοδήποτε ενδιάμεσο πακέτο για μια συγκεκριμένη ερώτηση. Το γεγονός αυτό ενώ είναι προφανές για την προτεινόμενη λύση, αφού η τελευταία εκμεταλλεύεται τη γνώση των κλάσεων στην οποία ανήκει κάθε κόμβος, δεν είναι το ίδιο ξεκάθαρο για τις άλλες δύο μεθόδους. Αυτό συμβαίνει επειδή ακόμα και όταν εφαρμόζεται η μέθοδος της πλημμύρας και κατά συνέπεια προωθηθεί μια ερώτηση σε όλους τους κόμβους, ανεξάρτητα από την κλάση στην οποία ανήκουν, οι τελευταίοι δεν έχουν όλοι τη δυνατότητα να απαντήσουν στην ερώτηση, γιατί δε διαθέτουν τα κατάλληλα δεδομένα. Επομένως, όταν αυξάνεται ο αριθμός των κλάσεων και προωθηθεί, με τη μέθοδο της πλημμύρας μία ερώτηση η οποία αφορά σε μία συγκεκριμένη κλάση, τότε θα μπορούν να απαντήσουν λιγότεροι κόμβοι από την περίπτωση της ύπαρξης μίας

μόνο κλάσης. Έτσι, σαν αποτέλεσμα έπεται μικρότερη συμφόρηση στο δίκτυο και επιπλέον μικρότερο μέσο χρόνο παραλαβής των πακέτων απάντησης.



Σχήμα 4.2 Μεταβολή του Αριθμού των Κλάσεων Χρησιμοποιώντας τον Random Waypoint Algorithm σε Περιοχή Κίνησης 1500x300 m² (ad hoc)

Επιβάρυνση του δικτύου. Το τελευταίο διάγραμμα, που αφορά στη μετρική “**Query Overhead**”, επιβεβαιώνει για άλλη μία φορά ότι η απόδοση του συστήματος είναι δυνατόν να βελτιωθεί από τη μείωση του φόρτου που επιφέρει η ενσωμάτωση της γνώσης των κλάσεων στο επίπεδο δρομολόγησης. Όπως είναι αναμενόμενο, η απόδοση του συστήματος που στηρίζεται στην πλημμύρα δεν αλλάζει με την αύξηση του αριθμού των κλάσεων, αφού σε όλες τις περιπτώσεις η ερώτηση θα προωθηθεί σε

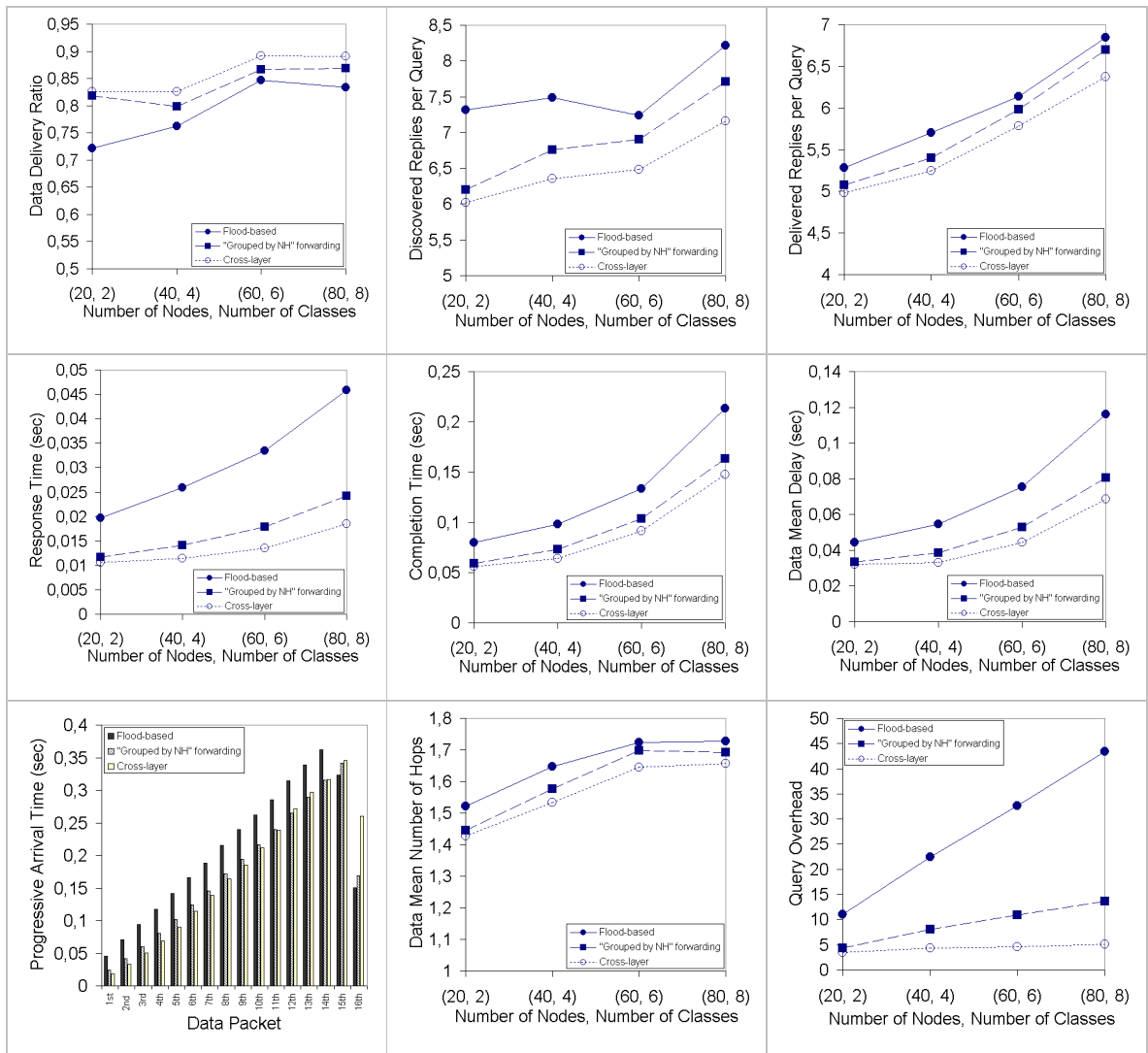
όλους τους κόμβους του δικτύου. Το ίδιο σταθερός παραμένει και ο φόρτος που επιφέρει στο σύστημα ο ενδιάμεσος μηχανισμός με την αύξηση του αριθμού των κλάσεων. Παρόλα αυτά η βασική ιδέα στην οποία στηρίζεται ο τελευταίος βοηθά ώστε να μειωθεί αρκετά σε σχέση με τη μέθοδο της πλημμύρας. Σε αντίθεση με τις δύο παραπάνω μεθόδους η cross-layer τεχνική, που εκμεταλλεύεται την πληροφορία για τις κλάσεις που υπάρχουν στο δίκτυο, προσπαθεί να προωθήσει τις ερωτήσεις μόνο στους κόμβους που ανήκουν στη ζητούμενη κλάση, ελαχιστοποιώντας με αυτό τον τρόπο την επιβάρυνση που προκαλούν στο δίκτυο οι δύο προηγούμενες μέθοδοι από την προώθηση περισσότερων μηνυμάτων. Επιπλέον, με την αύξηση του αριθμού των κλάσεων μειώνεται σημαντικά και ο φόρτος του δικτύου που προκαλεί η cross-layer τεχνική, αφού οι κόμβοι στους οποίους πρέπει να προωθηθεί η ερώτηση είναι λιγότεροι και κατά συνέπεια και οι εκπομπές. Τα προηγούμενα αποδεικνύονται και από τη μετρική “**Data Mean Number of Hops**”, όπου η cross-layer τεχνική εμφανίζει καλύτερα αποτελέσματα σε σχέση με τις άλλες δύο μεθόδους. Δηλαδή ο απαιτούμενος αριθμός αλμάτων για τη μετάδοση των δεδομένων κατά την εφαρμογή της cross-layer τεχνικής είναι μικρότερος από τις άλλες δύο, με αποτέλεσμα να προκαλείται λιγότερη επιβάρυνση στο δίκτυο από τον μικρότερο αριθμό εκπομπών. Αν εφαρμοστεί το Manhattan Mobility Model η προτεινόμενη μέθοδος παρουσιάζει ανάλογα αποτελέσματα. Αντιθέτως η εφαρμογή του Random Direction Mobility Model προκαλεί την ίδια συμπεριφορά για τις τρεις μεθόδους δρομολόγησης, όσον αφορά στην επιβάρυνση του δικτύου που προκαλείται από την προώθηση μιας ερώτησης, με τη μικρή διαφορά ότι οι τιμές της συγκεκριμένης μετρικής είναι λίγο μικρότερες από εκείνες που προκαλούν οι προηγούμενοι αλγόριθμοι δρομολόγησης. Ο λόγος για τον οποίο συμβαίνει κάτι τέτοιο μπορεί να είναι η διαφορετικότητα των κανόνων βάσει των οποίων κινούνται οι κόμβοι.

Αλλαγές στην πειραματική διάταξη (Παράρτημα). Στη συνέχεια θα αναλυθούν τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εκτέλεση του ίδιου σεναρίου πειράματος, δηλαδή της μεταβολής του αριθμού των κλάσεων, σε περιοχή κίνησης 700x700 m² και παρουσιάζονται στα Σχήματα Π.8, Π.9 και Π.10. Με μία γρήγορη μελέτη των διαγραμμάτων που προέρχονται από την παραπάνω κατηγορία πειραμάτων προκύπτει ότι δεν υπάρχουν σημαντικές διαφορές από τα αντίστοιχα διαγράμματα των Σχημάτων 4.2, Π.6 και Π.7. Το σημαντικό γεγονός που εξακολουθεί να ισχύει για το

σύστημα σε αυτό το σύνολο πειραμάτων είναι η υπεροχή της cross-layer τεχνικής σε σχέση με τις άλλες δύο μεθόδους δρομολόγησης. Αυτό σημαίνει ότι η περιοχή διαστάσεων $700 \times 700 \text{ m}^2$ στην οποία κινούνται οι κόμβοι σε αυτή τη σειρά πειραμάτων δεν επηρεάζει τη σχέση μεταξύ των τριών μεθόδων δρομολόγησης. Ωστόσο, η περιοχή κίνησης επηρεάζει την απόδοση του συστήματος με τον τρόπο που περιγράφηκε στην παράγραφο όπου αναλύθηκαν τα αποτελέσματα των πειραμάτων κατά τη μεταβολή της κινητικότητας των κόμβων στην εν λόγω περιοχή κίνησης. Έτσι, από τη σύγκριση των τριών πρώτων διαγραμμάτων που μας πληροφορούν για την αποτελεσματικότητα του συστήματος με τα αντίστοιχα των πειραμάτων που εκτελέστηκαν στην περιοχή κίνησης $1500 \times 300 \text{ m}^2$, με την προϋπόθεση βέβαια ότι χρησιμοποιήθηκε ο ίδιος αλγόριθμος κίνησης, προκύπτει ότι τα πρώτα παρουσιάζουν την ίδια συμπεριφορά με τα δεύτερα αλλά οι τιμές τους έχουν μία μικρή απόκλιση προς τα επάνω σε σχέση με τα δεύτερα. Στη συνέχεια μελετώντας τα διαγράμματα με τους μέσους χρόνους καταλήγουμε στο ίδιο συμπέρασμα. Αυτό σημαίνει ότι τα διαγράμματα που αφορούν στους μέσους χρόνους διαθέτουν μεγαλύτερες τιμές από τα αντίστοιχα που αφορούν στην περιοχή κίνησης $1500 \times 300 \text{ m}^2$. Για παράδειγμα, ο μέσος χρόνος που απαιτήθηκε για να μεταδοθεί ένα πακέτο απάντησης μεταξύ των κόμβων του δικτύου που κινούνταν στην εν λόγω περιοχή είναι μεγαλύτερος από το χρόνο που απαιτήθηκε όταν οι κόμβοι κινούνταν στην ορθογώνια περιοχή. Το ίδιο γεγονός με την μικρή απόκλιση των τιμών προς τα επάνω για τη συγκεκριμένη περιοχή κίνησης εμφανίζεται και στη μετρική “**Query Overhead**”. Ο λόγος για τον οποίο συμβαίνει κάτι τέτοιο είναι οι διαφορετικές διαστάσεις των δύο περιοχών και οι συνέπειες που αυτές επιφέρουν και συζητήθηκαν σε προηγούμενη παράγραφο.

Μεταβολή του αριθμού των κόμβων

Στις επόμενες παραγράφους θα αναλυθούν τα αποτελέσματα του Σχήματος 4.3, στα οποία μεταβάλλεται ο αριθμός των κόμβων του δικτύου και χρησιμοποιείται ο Random Waypoint Algorithm για την κίνηση των κόμβων σε μια περιοχή $1500 \times 300 \text{ m}^2$. Το εν λόγω σενάριο αποτελεί απόδειξη της καλής ιδιότητας κλιμάκωσης που παρουσιάζει η προτεινόμενη λύση.



Σχήμα 4.3 Μεταβολή του Αριθμού των Κόμβων Χρησιμοποιώντας τον Random Waypoint Algorithm σε Περιοχή Κίνησης 1500x300 m² (ad hoc)

Αποτελεσματικότητα του συστήματος. Ξεκινώντας τη μελέτη από τα πρώτα διαγράμματα του Σχήματος 4.3, και συγκεκριμένα των μετρικών “**Data Delivery Ratio**”, “**Discovered Replies per Query**” και “**Delivered Replies per Query**” διαπιστώνουμε για άλλη μία φορά την αποτελεσματικότητα της cross-layer τεχνικής. Όσον αφορά στη μετάδοση των δεδομένων, η τελευταία επιτυγχάνει μεγαλύτερο ποσοστό της τάξεως του 15%-20%, σε σχέση με τη χειρότερη περίπτωση της πλημμύρας. Πολύ καλά αποτελέσματα παρουσιάζει και ο ενδιάμεσος μηχανισμός σε σχέση με τη μέθοδο της πλημμύρας, χωρίς ωστόσο να καταφέρνει να ξεπεράσει το

ποσοστό που επιτυγχάνει η cross-layer τεχνική, αφού η τελευταία εκμεταλλεύεται τη γνώση της κλάσης στην οποία ανήκει κάθε κόμβος. Αναμενόμενο και για τις τρεις περιπτώσεις δρομολόγησης είναι το γεγονός ότι το ποσοστό αυτό αυξάνεται με την παράλληλη αύξηση του αριθμού των κόμβων, καθώς σε αυτή την περίπτωση το δίκτυο παρουσιάζει καλύτερη συνδεσιμότητα λόγω της μεγαλύτερης πυκνότητας. Ποιοτικά παρόμοια συμπεριφορά παρουσιάζουν οι τρεις συγκρινόμενες μέθοδοι με την εφαρμογή των άλλων δύο αλγορίθμων κίνησης, των οποίων τα αποτελέσματα παρατίθενται στα Σχήματα Π.11 και Π.12. Παρόλα αυτά, όταν ο λόγος γίνεται για το μέσο αριθμό των ερωτήσεων που παραδόθηκαν και των απαντήσεων που μεταδόθηκαν, για τις μετρικές “**Discovered Replies per Query**” και “**Delivered Replies per Query**” αντίστοιχα, παρατηρείται το μικρό μειονέκτημα των προτεινόμενων μηχανισμών σε σύγκριση με τη μέθοδο της πλημμύρας. Όπως αναφέρθηκε και στην αρχή της ενότητας, αυτό είναι το τίμημα στην προσπάθεια να ελαχιστοποιηθεί ο φόρτος του δικτύου. Καταφέροντας να μειωθούν σημαντικά οι άσκοπες εκπομπές υστερούμε στην προσπάθεια εύρεσης και παράδοσης πιθανών απαντήσεων, λόγω της αποτυχίας του πρωτοκόλλου δρομολόγησης. Ωστόσο η διαφορά μεταξύ τους δεν είναι μεγάλη, ώστε να υπάρχουν σημαντικές απώλειες. Περισσότερα αναφέρθηκαν σε προηγούμενες παραγράφους. Επιπλέον, είναι προφανές ότι όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των κόμβων του δικτύου τόσο μεγαλύτεροι θα είναι οι παραπάνω μέσοι αριθμοί. Ο λόγος είναι και πάλι η καλύτερη συνδεσιμότητα που χαρακτηρίζει το δίκτυο όταν αποτελείται από περισσότερους κόμβους, δηλαδή είναι πιο πυκνό. Τα διαγράμματα με τους παραπάνω μέσους αριθμούς που προκύπτουν από την εφαρμογή των άλλων δύο αλγορίθμων κίνησης παρουσιάζουν ανάλογη συμπεριφορά αλλά οι τιμές τους είναι μικρότερες. Για παράδειγμα, αν εφαρμοστεί ο αλγόριθμος Manhattan θα παραδοθούν λιγότερες κατά μέσο όρο απαντήσεις για κάθε ερώτηση.

Απόδοση του συστήματος. Αρκετά ενθαρρυντικά είναι τα αποτελέσματα για την cross-layer τεχνική μελετώντας την απόδοση του δικτύου, σε σχέση με τη χρονική του συμπεριφορά, δηλαδή τα διαγράμματα που αναφέρονται στους μέσους χρόνους μετάδοσης των δεδομένων στο δίκτυο. Από τη μελέτη των διαγραμμάτων είναι εμφανής η υπεροχή της προτεινόμενης λύσης σε σχέση με τις άλλες δύο μεθόδους δρομολόγησης, αφού καταφέρνει να μειώσει αρκετά το μέσο χρόνο μετάδοσης των

πακέτων. Στην κατάσταση αυτή οδηγεί το γεγονός ότι η cross-layer τεχνική καταφέρνει να αντιμετωπίσει πιο αποτελεσματικά την αύξηση της πολυπλοκότητας του δικτύου που προκαλείται από την αύξηση του αριθμού των κόμβων. Το τελευταίο στηρίζεται και αυτό στη μείωση του αριθμού των εκπομπών που επιτυγχάνει η προτεινόμενη λύση κατά την προώθηση μιας ερώτησης, αφού ο αριθμός αυτός δεν εξαρτάται από το μέγεθος του δικτύου, όπως συμβαίνει στη μέθοδο της πλημμύρας. Αναμενόμενη είναι η αύξηση των χρόνων αυτών κατά την αύξηση του αριθμού των κόμβων, και για τις τρεις μεθόδους δρομολόγησης, αφού το δίκτυο γίνεται μεγαλύτερο, περισσότερο πολύπλοκο και απαιτείται μεγαλύτερος αριθμός αλμάτων κατά τη μετάδοση ενός πακέτου απάντησης. Το τελευταίο αποδεικνύεται και από το διάγραμμα της μετρικής **“Data Mean Number of Hops”**.

Επιβάρυνση του δικτύου. Τέλος, στο διάγραμμα, **“Query Overhead”**, ενώ η μέθοδος της πλημμύρας αυξάνει γραμμικά την επιβάρυνση του δικτύου, καθώς ο αριθμός των κόμβων αυξάνεται, η cross-layer τεχνική παραμένει σχεδόν σταθερή. Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από τη μελέτη της συγκεκριμένης μετρικής είναι αρκετά σημαντικά για την υπεροχή που παρουσιάζουν οι προτεινόμενοι μηχανισμοί σε σχέση με τη μέθοδο της πλημμύρας. Η προώθηση των ερωτήσεων στους επιθυμητούς μόνο κόμβους σε περιπτώσεις όπου το δίκτυο αποτελείται από μεγάλο αριθμό κόμβων οδηγεί στην ελαχιστοποίηση της επιβάρυνσης του δικτύου και γενικά στην καλύτερη απόδοση του δικτύου, όπως αυτή διαπιστώνεται από τις υπόλοιπες μετρικές. Η μετρική **“Data Mean Number of Hops”** οδηγεί στο ίδιο συμπέρασμα. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την εφαρμογή των Manhattan και Random Direction Mobility Models είναι παρόμοια με αυτά που αναλύθηκαν παραπάνω. Σε μερικά μόνο διαγράμματα υπάρχει μία μικρή απόκλιση των τιμών από τα αντίστοιχα του Σχήματος 4.3. Για παράδειγμα, η μετρική **“Data Mean Number of Hops”** έχει μικρότερες τιμές αν χρησιμοποιηθεί για την κίνηση των κόμβων ο αλγόριθμος Manhattan. Τέλος, τα αποτελέσματα για τη μετρική **“Query Overhead”** δεν διαφοροποιούνται ως προς άλλους δύο αλγορίθμους κίνησης.

Αλλαγές στην πειραματική διάταξη (Παράρτημα). Σε αυτή την παράγραφο θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα από την εκτέλεση του ίδιου σεναρίου, δηλαδή της μεταβολής του αριθμού των κόμβων, σε περιοχή κίνησης $700 \times 700 \text{ m}^2$. Από τη μελέτη

των διαγραμμάτων των Σχημάτων Π.13, Π.14 και Π.15 διαπιστώνουμε ότι δεν υπάρχουν σημαντικές διαφορές από τα αντίστοιχα διαγράμματα των Σχημάτων 4.3, Π.11 και Π.12. Η μοναδική διαφορά εντοπίζεται στις μεγαλύτερες τιμές που εμφανίζουν τα διαγράμματα της εν λόγω κατηγορίας σε σχέση με εκείνα που αφορούν στην περιοχή κίνησης $1500 \times 300 \text{ m}^2$. Πιο συγκεκριμένα, η πορεία των μετρικών και η σχέση μεταξύ των τριών διαδικασιών δρομολόγησης παραμένει η ίδια. Ωστόσο υπάρχει μία μικρή απόκλιση προς τα επάνω στις τιμές σε σύγκριση με εκείνες που αφορούν στην περιοχή κίνησης $1500 \times 300 \text{ m}^2$. Το φαινόμενο αυτό παρατηρήθηκε και στη μελέτη των διαγραμμάτων που προέκυψαν από τα πειράματα της περιοχής $700 \times 700 \text{ m}^2$, όπου μεταβαλλόταν η κινητικότητα των κόμβων και ο αριθμός των κλάσεων, σε σύγκριση με τα αντίστοιχα της περιοχής $1500 \times 300 \text{ m}^2$. Σε εκείνες τις περιπτώσεις εξηγήθηκε ο λόγος για τον οποίο συμβαίνει κάτι τέτοιο.

Μεταβολή του αριθμού των ερωτώντων κόμβων

Στις επόμενες παραγράφους θα αξιολογηθεί και θα συγκριθεί η απόδοση των τριών μεθόδων δρομολόγησης στα διαφορετικά επίπεδα επιβάρυνσης του δικτύου. Συγκεκριμένα, η παράμετρος που μεταβάλλεται είναι ο αριθμός των κόμβων που θέτουν ερωτήσεις και κινούνται στην περιοχή διαστάσεων $1500\text{m} \times 300\text{m}$. Τα αποτελέσματα αυτών των πειραμάτων απεικονίζονται στο Σχήμα 4.4. Ο αλγόριθμος που εφαρμόστηκε για την κίνηση των κόμβων σε αυτά τα πειράματα είναι ο Random Waypoint.

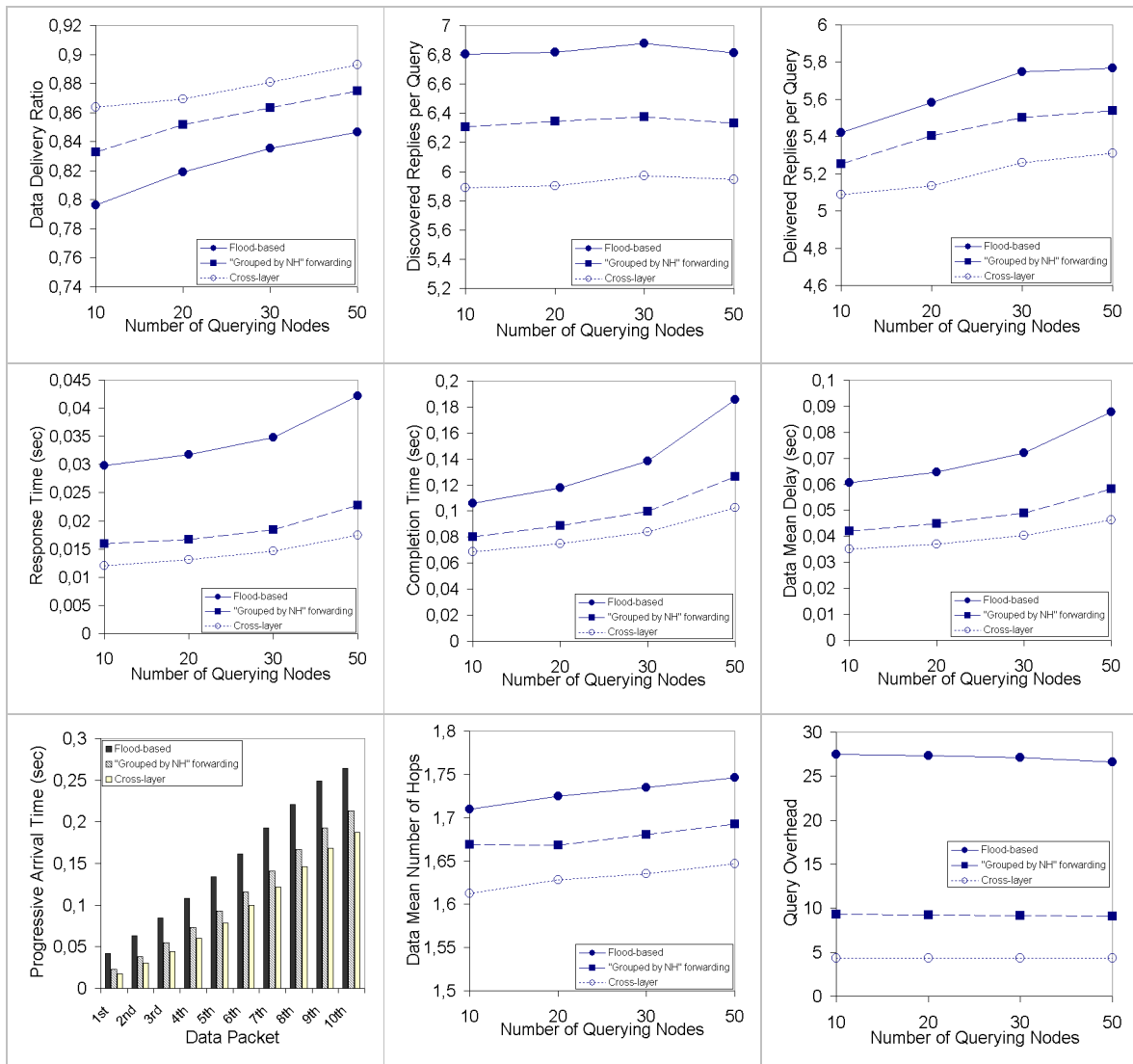
Αποτελεσματικότητα του συστήματος. Για την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας του συστήματος μελετάμε τις μετρικές “**Data Delivery Ratio**”, “**Discovered Replies per Query**” και “**Delivered Replies per Query**”. Σύμφωνα με το πρώτο διάγραμμα οι προτεινόμενοι μηχανισμοί καταφέρνουν να επιτύχουν μεγάλο ποσοστό μετάδοσης των δεδομένων και να ξεπεράσουν τη μέθοδο της πλημμύρας, καθώς με την εφαρμογή της τελευταίας το δίκτυο επιβαρύνεται ολοένα και περισσότερο με την προώθηση μεγαλύτερου αριθμού ερωτήσεων. Αντίθετα, οι άλλοι δύο μηχανισμοί καταφέρνουν να αντιμετωπίσουν το συγκεκριμένο πρόβλημα ελαχιστοποιώντας τον αριθμό των εκπομπών από την προώθηση των ερωτήσεων στους κατάλληλους μόνο κόμβους. Κατά συνέπεια, η συμφόρηση που προκαλείται στο δίκτυο είναι μικρότερη από την εξαντλητική μέθοδο της πλημμύρας και έτσι

επιτυγχάνεται μεγαλύτερο ποσοστό μετάδοσης δεδομένων. Όσον αφορά στη σχέση μεταξύ των δύο προτεινόμενων μεθόδων, η cross-layer τεχνική αποδεικνύεται καταλληλότερη για τους λόγους που αναφέρθηκαν αρχικά. Επιπλέον, καθώς αυξάνεται ο αριθμός των κόμβων που θέτουν ερωτήσεις, αυξάνεται και το παραπάνω ποσοστό και για τις τρεις μεθόδους που συγκρίνονται. Το τελευταίο οφείλεται στην προσπάθεια του πρωτοκόλλου δρομολόγησης να εντοπίζει έγκυρα μονοπάτια με την προώθηση μηνυμάτων ενημέρωσης (updates). Τα μηνύματα αυτά δημιουργούνται από το πρωτόκολλο όχι μόνο περιοδικά αλλά και σε έκτακτες περιπτώσεις όπου κάποιος κόμβος προσπαθεί να προωθήσει πακέτα και αδυνατεί να βρει κάποιο μονοπάτι προς τον προορισμό μέσω του πίνακα δρομολόγησής του. Έτσι, η αύξηση του αριθμού των κόμβων που ρωτάνε συνεπάγεται την προσπάθεια εύρεσης περισσότερων μονοπατιών προς τους προορισμούς, γεγονός που αναγκάζει το πρωτόκολλο να δημιουργεί περισσότερα μηνύματα ενημέρωσης. Ενώ, στην πρώτη μετρική που αναλύθηκε η cross-layer τεχνική υπερέχει, από τα επόμενα δύο διαγράμματα, των μετρικών **“Discovered Replies per Query”** και **“Delivered Replies per Query”**, φαίνεται να παρουσιάζει μειονέκτημα στο μέσο αριθμό των ερωτήσεων που παραδίδει και επίσης στο μέσο αριθμό των απαντήσεων που λαμβάνονται από τους κόμβους. Ο λόγος οφείλεται στην αποτυχία του πρωτοκόλλου δρομολόγησης λόγω διασπάσεων των συνδέσεων. Περισσότερα έχουν αναφερθεί στο πείραμα της μεταβολής της κινητικότητας των κόμβων. Η μικρή αύξηση των εν λόγω μέσων αριθμών, καθώς αυξάνεται ο αριθμός των ερωτώντων κόμβων, οφείλεται στο λόγο για τον οποίο παρατηρείται αύξηση και στη μετρική **“Data Delivery Ratio”**. Οι παραπάνω μετρικές εμφανίζουν μία μικρή απόκλιση προς τα κάτω στις τιμές τους όταν εφαρμόζονται οι άλλοι δύο αλγόριθμοι κίνησης, των οποίων τα αποτελέσματα συγκεντρώνονται στα Σχήματα Π.16 και Π.17.

Απόδοση του συστήματος. Όσον αφορά στην απόδοση του συστήματος, που διαπιστώνεται από τις μετρικές που αφορούν στους μέσους χρόνους, επαληθεύεται η ικανότητα της προτεινόμενης λύσης να αντεπεξέρχεται με ευκολία και στην περίπτωση όπου υπάρχει έντονη επικοινωνία μεταξύ των κόμβων του δικτύου. Έτσι, η cross-layer τεχνική μειώνει αρκετά τους μέσους χρόνους για την μετάδοση των δεδομένων στο δίκτυο. Για παράδειγμα, ο μέσος χρόνος που απαιτείται για την παραλαβή του πρώτου πακέτου απάντησης σε μία ερώτηση είναι μικρότερος από το

μισό του χρόνου που απαιτείται, αν εφαρμοστεί η μέθοδος της πλημμύρας. Το τελευταίο οφείλεται στην ελαχιστοποίηση της επιβάρυνσης και της συμφόρησης που επιφέρει στο δίκτυο η προτεινόμενη λύση. Κατά συνέπεια, απαιτείται λιγότερος χρόνος για τη μετάδοση ενός πακέτου δεδομένων. Πολύ καλά αποτελέσματα εξάγει και ο ενδιάμεσος μηχανισμός, υστερεί όμως σε σχέση με την cross-layer τεχνική για το λόγο που αναφέρθηκε αρχικά. Βέβαια, με την αύξηση της παραμέτρου, του αριθμού των ερωτώντων κόμβων, οι παραπάνω μέσοι χρόνοι αυξάνονται και για τις τρεις μεθόδους δρομολόγησης, αφού το δίκτυο πρέπει να αντιμετωπίσει τα αιτήματα περισσότερων κόμβων. Τα αντίστοιχα διαγράμματα που προκύπτουν κατά την εφαρμογή των άλλων αλγορίθμων κίνησης και παρουσιάζονται στο Παράρτημα, εμφανίζουν μία μικρή απόκλιση προς τα κάτω στις τιμές τους. Αυτό προκαλείται κυρίως από τον αλγόριθμο Random Direction.

Επιβάρυνση του δικτύου. Τέλος, το τελευταίο διάγραμμα της μετρικής “**Query Overhead**” επιβεβαιώνει τη σημαντικότητα εφαρμογής της προτεινόμενης λύσης, αφού μειώνει σημαντικά το φόρτο του συστήματος, σε ποσοστό περίπου 20%, σε σχέση με τη μέθοδο της πλημμύρας. Επιπλέον, οι τρεις συγκρινόμενες μέθοδοι φαίνεται να μην επηρεάζονται από την αύξηση του αριθμού των ερωτώντων κόμβων. Το τελευταίο θεωρείται αναμενόμενο, αφού η επιβάρυνση που θα προκαλέσουν στο δίκτυο οι τρεις μέθοδοι δρομολόγησης κατά την προώθηση ερωτήσεων και η ενέργεια που θα καταναλώσουν δεν εξαρτάται από τον αριθμό των ερωτήσεων που δημιουργούνται και προωθούνται στο δίκτυο. Το παραπάνω γεγονός, της μείωσης του φόρτου του συστήματος από τις προτεινόμενες μεθόδους επιβεβαιώνεται και από τη μετρική “**Data Mean Number of Hops**”, σύμφωνα με την οποία οι τελευταίες μεταδίδουν τα δεδομένα πραγματοποιώντας λιγότερα άλματα και έτσι καταναλώνοντας λιγότερο bandwidth του δικτύου. Το γεγονός αυτό ενισχύεται περισσότερο από το μικρό ποσοστό μετάδοσης των δεδομένων που επιτυγχάνει η μέθοδος της πλημμύρας. Ανάλογα αποτελέσματα ισχύουν με την εφαρμογή και των άλλων δύο αλγορίθμων κίνησης, μόνο που με την εφαρμογή του αλγορίθμου Random Direction η τελευταία μετρική εξάγει μικρότερες τιμές.



Σχήμα 4.4 Μεταβολή του Αριθμού των Ερωτώντων Κόμβων Χρησιμοποιώντας τον Random Waypoint Algorithm σε Περιοχή Κίνησης $1500 \times 300 \text{ m}^2$ (ad hoc)

Αλλαγές στην πειραματική διάταξη (Παράρτημα). Αν μελετήσουμε τα διαγράμματα των Σχημάτων Π.18, Π.19 και Π.20, που αναφέρονται στα πειράματα με την τετράγωνη περιοχή κίνησης, με εκείνα που αναλύθηκαν για την περιοχή $1500 \times 300 \text{ m}^2$, θα καταλήξουμε στο ίδιο συμπέρασμα που περιγράφηκε παραπάνω για τα πειράματα που εκτελέστηκαν στις δύο αυτές περιοχές κίνησης. Η συμπεριφορά των μετρικών για τα πειράματα της περιοχής $700 \times 700 \text{ m}^2$ είναι παρόμοια με εκείνη των μετρικών για τα πειράματα της περιοχής $1500 \times 300 \text{ m}^2$. Όπως είναι αναμενόμενο όμως, λόγω της διαφορετικής τοπολογίας, οι τιμές τους είναι μεγαλύτερες. Επίσης, οι

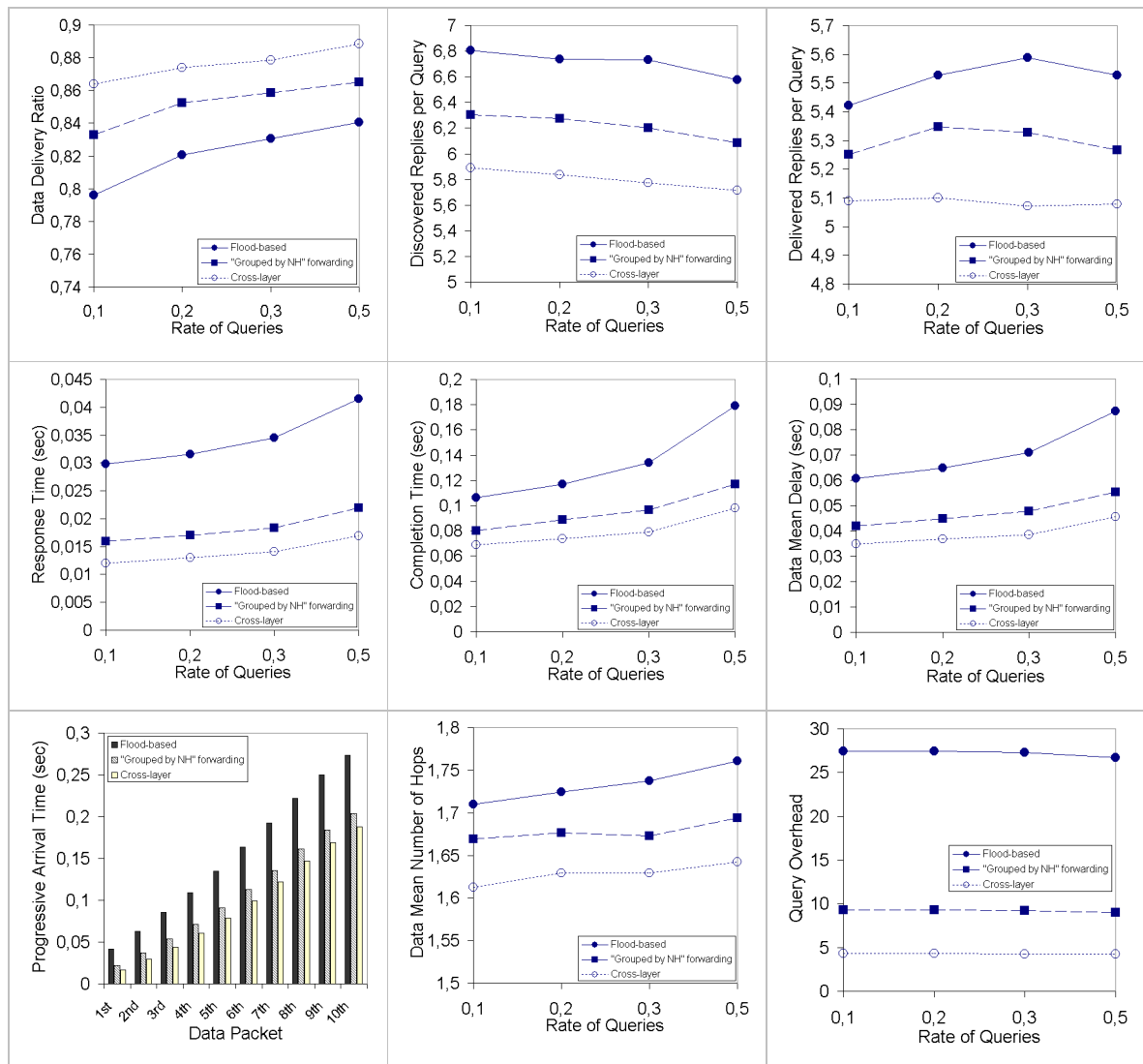
γραφικές παραστάσεις που αφορούν στους μέσους χρόνους παρουσιάζουν πιο έντονη μεταβολή σε αντίθεση με εκείνες της περιοχής 1500x300 m².

Μεταβολή του ρυθμού δημιουργίας ερωτήσεων

Το συγκεκριμένο σενάριο έχει σκοπό ανάλογο με το προηγούμενο. Ωστόσο, η αύξηση του φόρτου του συστήματος προέρχεται από συγκεκριμένους κόμβους. Έτσι, στο προηγούμενο πείραμα η αύξηση του αριθμού των αιτημάτων που έπρεπε να ικανοποιηθούν προερχόταν από την αύξηση του αριθμού των κόμβων που ρωτούσαν, ενώ στο συγκεκριμένο πείραμα η αύξηση του αριθμού των αιτημάτων προέρχεται από την αύξηση του ρυθμού δημιουργίας ερωτήσεων που έχει σταθερός αριθμός κόμβων που ρωτάνε. Στο Σχήμα 4.5 απεικονίζονται τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την εκτέλεση των πειραμάτων στην περιοχή κίνησης 1500x300 m² εφαρμόζοντας τον αλγόριθμο κίνησης Random Waypoint. Η cross-layer τεχνική, όπως και στην προηγούμενη περίπτωση, καταφέρνει να αντιμετωπίσει την επιβάρυνση του δικτύου, που προκαλείται από τη συχνή επικοινωνία των κόμβων.

Αποτελεσματικότητα του συστήματος. Συγκεκριμένα, όσον αφορά στην αποτελεσματικότητα του συστήματος, μελετώντας τις μετρικές “**Data Delivery Ratio**”, “**Discovered Replies per Query**” και “**Delivered Replies per Query**”, η προτεινόμενη λύση επιτυγχάνει μεγαλύτερο ποσοστό μετάδοσης δεδομένων σε σχέση με τη μέθοδο της πλημμύρας που διατηρείται με την αύξηση του ρυθμού δημιουργίας ερωτήσεων. Το ποσοστό αυτό ακολουθεί ήπια ανοδική πορεία, παράλληλα με την αύξηση του ρυθμού δημιουργίας ερωτήσεων. Ο λόγος που συμβαίνει κάτι τέτοιο αναλύθηκε στην περίπτωση όπου είχαμε αύξηση του αριθμού των ερωτώντων κόμβων. Και εδώ, το πρωτόκολλο δημιουργεί και προωθεί περισσότερα μηνύματα ενημέρωσης, αφού το δίκτυο προσπαθεί να μεταδώσει περισσότερα πακέτα ερωτήσεων με τη διαφορά ότι εδώ αυτά δημιουργούνται από τον ίδιο αριθμό κόμβων, ο οποίος παραμένει σταθερός. Παρόλα αυτά, η προτεινόμενη λύση δεν κρίνεται το ίδιο αποτελεσματική όταν γίνεται λόγος για το μέσο αριθμό των απαντήσεων που στάλθηκαν, “**Discovered Replies per Query**” και το μέσο αριθμό των απαντήσεων που παραδόθηκαν, “**Delivered Replies per Query**”. Σε αυτές τις περιπτώσεις υπερέχει η μέθοδος της πλημμύρας για τους λόγους που εξηγήθηκαν αρχικά, ενώ φαίνεται οι μέσοι αριθμοί να μην επηρεάζονται σημαντικά από τη μεταβολή του

ρυθμού δημιουργίας ερωτήσεων. Όσον αφορά στην πρώτη μετρική που σχολιάστηκε, η προτεινόμενη λύση καταφέρνει να επιτύχει μεγαλύτερο ποσοστό μετάδοσης δεδομένων με την εφαρμογή του αλγορίθμου Random Direction. Η πορεία της μετρικής διαγράφεται η ίδια και με τους τρεις αλγορίθμους κίνησης, σύμφωνα με τα διαγράμματα των Σχημάτων Π.21 και Π.22 του Παραρτήματος. Δεν ισχύει, όμως, το ίδιο για τα διαγράμματα των μετρικών “**Discovered Replies per Query**” και “**Delivered Replies per Query**” όπου οι τελευταίες επιδεικνύουν καλύτερα αποτελέσματα όταν εφαρμόζεται ο αλγόριθμος Random Waypoint σε σύγκριση με τους άλλους δύο.



Σχήμα 4.5 Μεταβολή του Ρυθμού Δημιουργίας Ερωτήσεων Χρησιμοποιώντας τον Random Waypoint Algorithm σε Περιοχή Κίνησης 1500x300 m² (ad hoc)

Απόδοση του συστήματος. Σχολιάζοντας την απόδοση του δικτύου, μελετώντας τα διαγράμματα που αφορούν στους μέσους χρόνους, αποδεικνύεται ότι η cross-layer τεχνική είναι η καταλληλότερη. Αξιοσημείωτο είναι επίσης το γεγονός ότι τα συγκεκριμένα αποτελέσματα παρουσιάζουν ομοιότητες με τα αντίστοιχα που προκύπτουν κατά τη μεταβολή του αριθμού των ερωτώντων κόμβων. Ωστόσο, οι μικρές διαφορές που παρατηρούνται οφείλονται στη διαφορετική αιτία που προκαλεί τα διαφορετικά επίπεδα επιβάρυνσης στο δίκτυο. Ανάλογα αποτελέσματα προκύπτουν από την εφαρμογή των άλλων δύο αλγορίθμων κίνησης.

Επιβάρυνση του δικτύου. Τέλος, το διάγραμμα που αφορά στη μετρική “**Query Overhead**” αποδεικνύει για άλλη μία φορά την καταλληλότητα των προτεινόμενων μηχανισμών σε περιπτώσεις μεγάλης επιβάρυνσης του δικτύου, είτε αυτή προκαλείται από την αύξηση του ρυθμού δημιουργίας ερωτήσεων, είτε από την αύξηση του αριθμού των ερωτώντων κόμβων. Βέβαια, από τη σύγκριση μεταξύ των τελευταίων θεωρείται αναμφισβήτητα καλύτερη η cross-layer τεχνική, αφού η τελευταία αξιοποιεί την πληροφορία του επιπέδου εφαρμογών. Επιπλέον, ο φόρτος που προκαλούν στο δίκτυο οι τρεις συγκρινόμενες μέθοδοι παραμένει σταθερός με την αύξηση του ρυθμού δημιουργίας ερωτήσεων, γεγονός που επιβεβαιώνει ότι αυτός δεν εξαρτάται από τον αριθμό των ερωτήσεων που δημιουργούνται και προωθούνται στο δίκτυο. Τέλος, η μετρική “**Data Mean Number of Hops**” επαληθεύει την ελαχιστοποίηση της επιβάρυνσης που επιφέρουν στο δίκτυο οι προτεινόμενες μέθοδοι σε σχέση με τη μέθοδο της πλημμύρας, αφού με την εφαρμογή τους απαιτούνται λιγότερα άλματα για τη μετάδοση των πακέτων. Η μελέτη των αποτελεσμάτων που αφορούν στους άλλους δύο αλγορίθμους κίνησης οδηγούν στη διαπίστωση των ίδιων παρατηρήσεων.

Αλλαγές στην πειραματική διάταξη (Παράρτημα). Για τα διαγράμματα των Σχημάτων Π.23, Π.24 και Π.25 που αφορούν στα αποτελέσματα των πειραμάτων του ίδιου σεναρίου προσομοιώνοντας όμως, το δίκτυο σε περιοχή διαστάσεων 700m x 700m, ισχύουν σχεδόν οι ίδιες παρατηρήσεις με εκείνες που έγιναν για την ορθογώνια περιοχή, οι μετρικές δηλαδή σημειώνουν την ίδια περίπου πορεία. Ωστόσο, αναμενόμενο είναι οι μετρικές των Σχημάτων Π.23, Π.24 και Π.25 να παρουσιάζουν μεγαλύτερες τιμές και μεγαλύτερο εύρος, αφού οι κόμβοι κινούνται σε περιοχή με

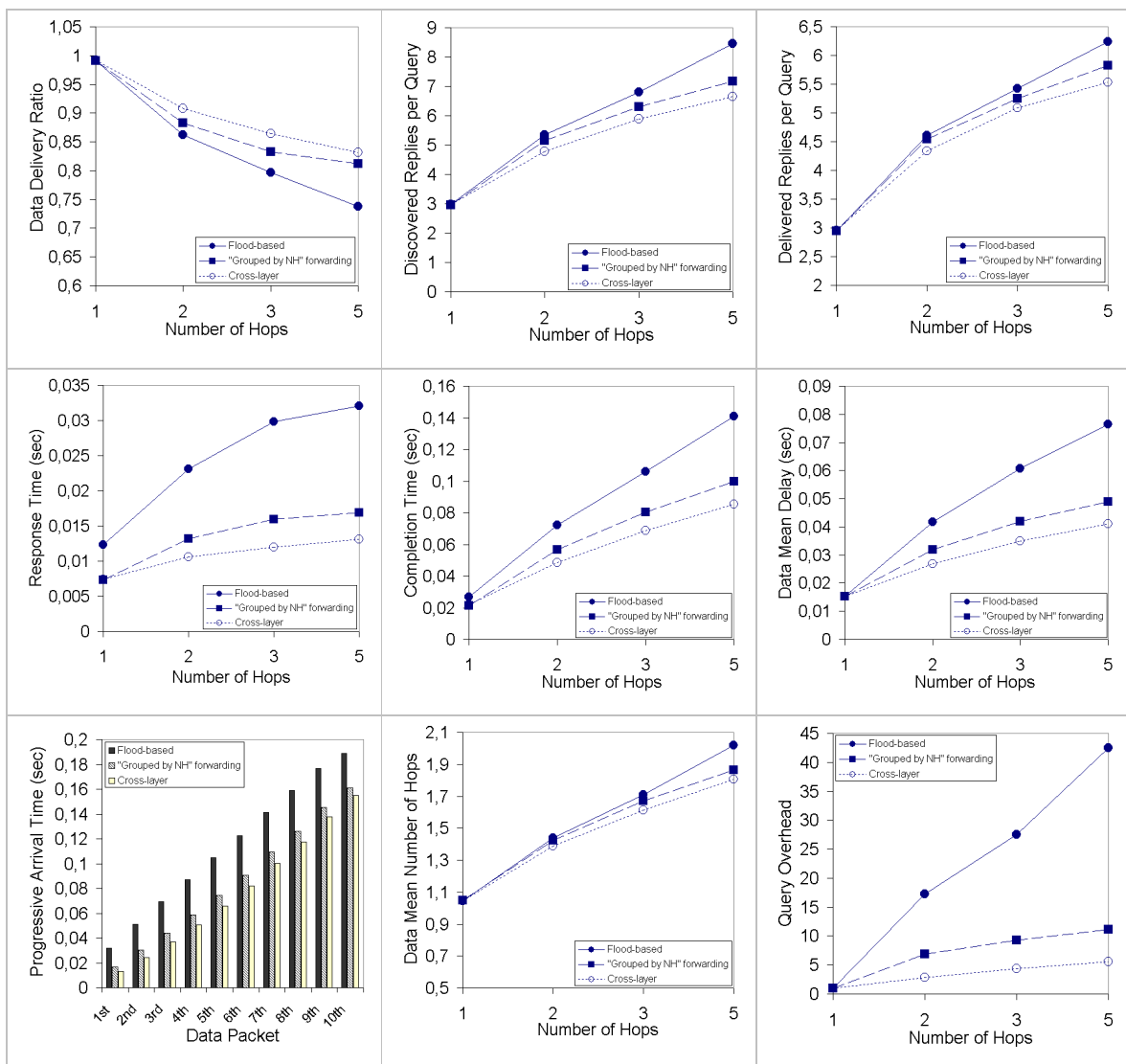
διαφορετικές διαστάσεις και έτσι η τοπολογία και οι κινήσεις τους διαμορφώνονται με διαφορετικό τρόπο από την περίπτωση όπου οι κόμβοι κινούνται στην ορθογώνια περιοχή. Το τελευταίο είναι περισσότερο εμφανές στις μετρικές που αφορούν μέσους χρόνους, όπως είναι οι **“Response Time”**, **“Completion Time”** και **“Data Mean Delay”**.

Μεταβολή του μέγιστου αριθμού αλμάτων προώθησης μιας ερώτησης

Το συγκεκριμένο σενάριο είναι το τελευταίο που εκτελέστηκε για την αξιολόγηση του συστήματος. Τα αποτελέσματα από την εκτέλεση των πειραμάτων αυτής της κατηγορίας για κόμβους που κινούνται στην περιοχή κίνησης 1500x300m² παρουσιάζονται στο Σχήμα 4.6. Σύμφωνα με αυτά αποδεικνύεται ότι η προτεινόμενη λύση παρουσιάζει καλύτερη απόδοση ακόμα και στην περίπτωση που τα ερωτήματα διαδίδονται σε μεγαλύτερο τμήμα του δικτύου.

Αποτελεσματικότητα του συστήματος. Όπως είναι αναμενόμενο για την καλύτερη αποτελεσματικότητα στη μετάδοση των δεδομένων, μελετώντας τη μετρική **“Data Delivery Ratio”**, κρίνεται καταλληλότερη η εφαρμογή της cross-layer τεχνικής. Η διαφορά μεταξύ της προτεινόμενης λύσης και της μεθόδου της πλημμύρας οφείλεται στην αύξηση του φόρτου του δικτύου που προκαλείται στην περίπτωση της τελευταίας, η οποία δημιουργεί μεγάλα επίπεδα συμφόρησης με την αύξηση του μέγιστου αριθμού αλμάτων προώθησης μιας ερώτησης. Επιπλέον, η καθοδική τάση που παρατηρείται και στις τρεις διαδικασίες δρομολόγησης απορρέει από το γεγονός ότι τα πακέτα δεδομένων αποστέλλονται από κόμβους οι οποίοι βρίσκονται αρκετά μακριά στο δίκτυο, και κατά συνέπεια η πιθανότητα απόρριψης των πακέτων αυξάνεται σε συνάρτηση με την αύξηση του μέγιστου αριθμού επιτρεπόμενων αλμάτων των ερωτήσεων. Όσον αφορά στο μέσο αριθμό των απαντήσεων που στάλθηκαν και στο μέσο αριθμό αυτών που παραδόθηκαν, οι προτεινόμενοι μηχανισμοί παρουσιάζουν ένα μικρό μειονέκτημα σε σχέση με τη μέθοδο της πλημμύρας, ενώ η διαφορά αυτή που παρατηρείται μεταξύ τους αυξάνεται ήπια παράλληλα με την αύξηση του μέγιστου αριθμού αλμάτων προώθησης μιας ερώτησης. Πρόκειται για μία αναμενόμενη κατάσταση, όπως έχει παρατηρηθεί και στην ανάλυση των προηγούμενων πειραμάτων, αφού σε περιβάλλοντα με μεγάλη κινητικότητα, οι κόμβοι που βρίσκονται αρκετά μακριά από τον κόμβο που θέτει

ερωτήσεις είναι πιο δύσκολο να παραλάβουν τις ερωτήσεις, λόγω των συχνών διασπάσεων των συνδέσεων. Η μέθοδος της πλημμύρας κερδίζει στο σημείο αυτό, αν σκεφτούμε ότι το πακέτο ερώτησης θα δρομολογηθεί τελικά μέσω ενός άλλου μονοπατιού που είναι έγκυρο προς τον κόμβο προορισμό. Επιπλέον, η ανοδική πορεία των μετρικών που ισχύει και για τις τρεις συγκρινόμενες μεθόδους οφείλεται στο γεγονός ότι όλο και περισσότεροι κόμβοι εμπλέκονται σε μια αναζήτηση. Σύμφωνα με τα Σχήματα Π.26 και Π.27 του Παραρτήματος, εξάγονται παρόμοια ποιοτικά αποτελέσματα από τους άλλους αλγορίθμους κίνησης με μικρή απόκλιση προς τα κάτω στις τιμές.



Σχήμα 4.6 Μεταβολή του Μέγιστου Αριθμού Αλμάτων Προώθησης μιας Ερώτησης Χρησιμοποιώντας τον Random Waypoint Algorithm σε Περιοχή Κίνησης $1500 \times 300 \text{m}^2$ (ad hoc)

Απόδοση του συστήματος. Στη συνέχεια, μελετώντας τις μετρικές που αφορούν στους μέσους χρόνους διαπιστώνουμε τη μικρή απόδοση της μεθόδου της πλημμύρας σε σχέση με την προτεινόμενη λύση. Η αιτία που συμβαίνει κάτι τέτοιο είναι τα μεγάλα επίπεδα συμφόρησης που προκαλεί η μέθοδος της πλημμύρας στο δίκτυο. Έτσι, η μετρική “**Response Time**” αποδεικνύει ότι απαιτείται πολύ περισσότερος χρόνος για την παραλαβή του πρώτου πακέτου απάντησης για μία ερώτηση όταν εφαρμόζεται η μέθοδος της πλημμύρας σε αντίθεση με το χρόνο που απαιτείται κατά την εφαρμογή της cross-layer τεχνικής. Η διαφορά αυτή, η οποία αυξάνεται αρκετά παράλληλα με τη μεταβολή της παραμέτρου, την αύξηση του μεγίστου αριθμού αλμάτων προώθησης μιας ερώτησης, παρατηρείται και στις υπόλοιπες μετρικές που αναφέρονται σε μέσους χρόνους. Η ανοδική πορεία όλων αυτών των μετρικών οφείλεται στο γεγονός ότι οι απαντήσεις προέρχονται από κόμβους ο οποίοι βρίσκονται σε μεγάλη απόσταση από τον κόμβο-προορισμό και έτσι απαιτείται μεγαλύτερος χρόνος για τη μετάδοσή τους. Όσον αφορά στον ενδιάμεσο μηχανισμό, αυτός έρχεται πάντα δεύτερος σε επίδοση για λόγους που έχουν αναλυθεί σε προηγούμενες παραγράφους. Τα αποτελέσματα που εξάγονται με βάση τους άλλους δύο αλγορίθμους κίνησης δεν διαφέρουν πολύ από τα παραπάνω.

Επιβάρυνση του δικτύου. Τέλος, η μετρική “**Query Overhead**” μας πληροφορεί για τη βελτίωση της απόδοσης της προτεινόμενης λύσης όσο αυξάνεται ο μέγιστος αριθμός των επιτρεπόμενων αλμάτων προώθησης μιας ερώτησης. Μία πολύ σημαντική παρατήρηση είναι ότι η cross-layer τεχνική παρουσιάζει σχεδόν σταθερή συμπεριφορά σε αντίθεση με τη μέθοδο της πλημμύρας η οποία παρουσιάζει γραμμική συμπεριφορά. Οι συμπεριφορές που μόλις αναλύθηκαν είναι αναμενόμενες, αν σκεφτούμε ότι όσο μεγαλύτερο μέρος του δικτύου εξερευνείται με τη μέθοδο της πλημμύρας, τόσο μεγαλύτερος αριθμός μηνυμάτων προωθείται. Αντίθετα, η cross-layer τεχνική καταφέρνει να περιορίσει αυτόν τον αριθμό των μηνυμάτων αξιοποιώντας την επιπρόσθετη πληροφορία από το επίπεδο εφαρμογών και προωθώντας τις ερωτήσεις σε συγκεκριμένους μόνο κόμβους. Αυτό αποτελεί άμεση απόδειξη της καλής ιδιότητας κλιμάκωσης που παρουσιάζει η προτεινόμενη λύση. Το γεγονός αυτό ενισχύεται και από τη μετρική “**Data Mean Number of Hops**” σύμφωνα με την οποία με την cross-layer τεχνική απαιτούνται λιγότερα άλματα για τη μετάδοση των δεδομένων. Βέβαια, η διαφορά αυτή δεν είναι μεγάλη, αφού όλες οι

μέθοδοι δρομολόγησης επηρεάζονται αρνητικά από το γεγονός της απόρριψης των πακέτων που πρέπει να διασχίσουν μεγάλο τμήμα του δικτύου. Ανάλογα αποτελέσματα ισχύουν και για τα πειράματα που εφαρμόζονται οι άλλοι δύο αλγόριθμοι κίνησης.

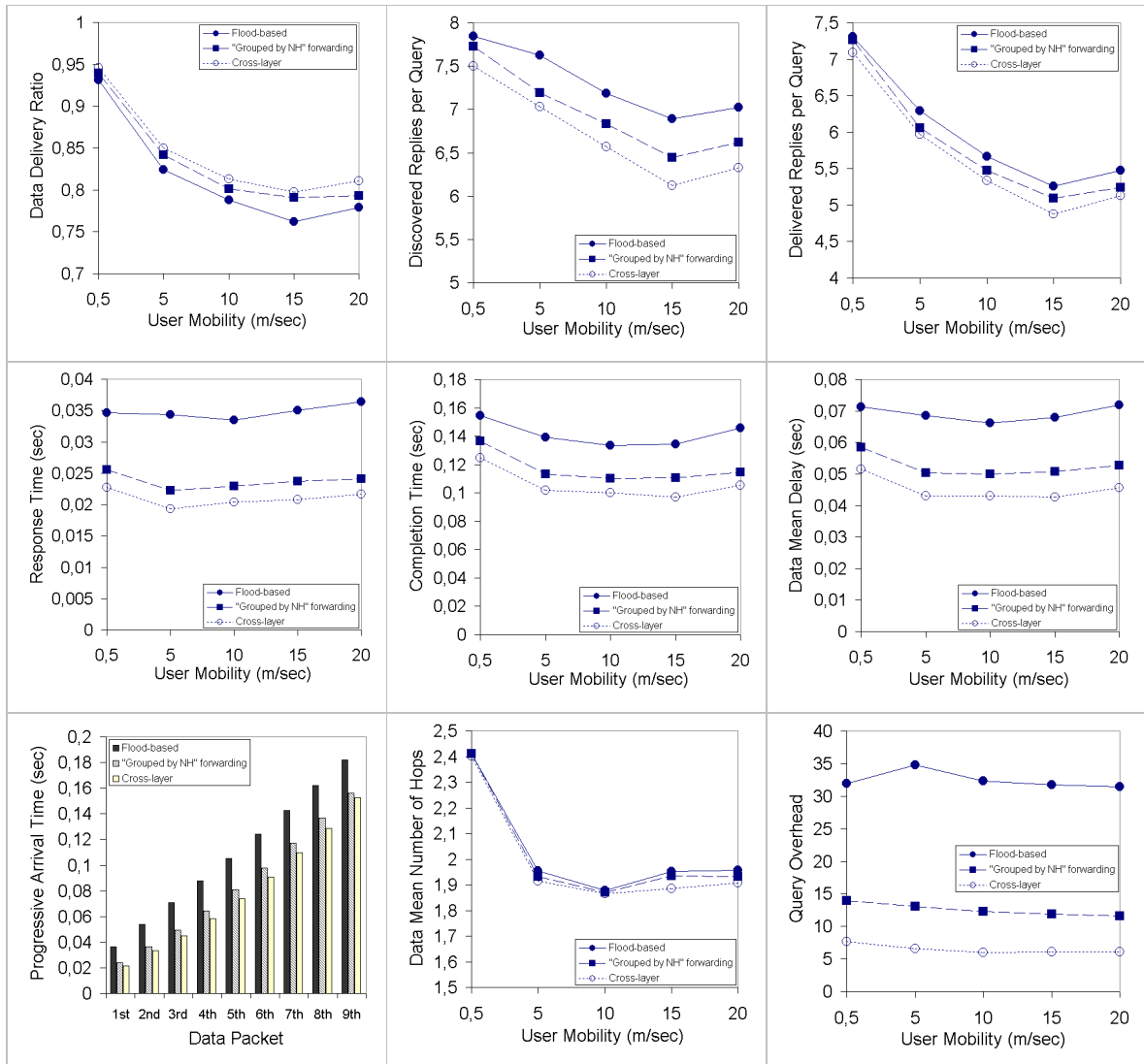
Αλλαγές στην πειραματική διάταξη (Παράρτημα). Στα Σχήματα Π.28, Π.29 και Π.30 παρατίθενται τα διαγράμματα των πειραμάτων στα οποία μεταβάλλεται η ίδια παράμετρος, του μέγιστου αριθμού αλμάτων προώθησης μιας ερώτησης, και οι κόμβοι κινούνται σε περιοχή κίνησης $700 \times 700 \text{m}^2$. Όπως παρατηρήθηκε μέχρι τώρα και αναφέρθηκε σε προηγούμενες παραγράφους τα αποτελέσματα αυτής της κατηγορίας παρουσιάζουν παρόμοια συμπεριφορά με τα αντίστοιχα αποτελέσματα της κατηγορίας πειραμάτων, όπου περιοχή προσομοίωσης είναι η $1500 \times 300 \text{m}^2$. Ωστόσο, οι τιμές τους παρουσιάζουν μικρές αποκλίσεις, από τις τιμές των αποτελεσμάτων των Σχημάτων 4.6, Π.26 και Π.27. Η σημαντική διαφορά μεταξύ των δύο κατηγοριών πειραμάτων στην οποία οφείλεται και το παραπάνω γεγονός είναι οι διαστάσεις της περιοχής στην οποία κινούνται οι κόμβοι.

4.6. Ανάλυση Αποτελεσμάτων για mesh Δίκτυα

Στην ενότητα αυτή θα αναλυθούν τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εκτέλεση των πειραμάτων στα mesh δίκτυα. Είναι αναμενόμενο πως η συγκεκριμένη κατηγορία δικτύων δεν θα παρουσιάζει τόσο καλή απόδοση σε σχέση με την κατηγορία των ad hoc δικτύων. Ο λόγος οφείλεται στο γεγονός ότι όλα τα αιτήματα-ερωτήσεις των κόμβων συγκεντρώνονται σε ένα συγκεκριμένο κόμβο που είναι σταθερός και αναλαμβάνει στη συνέχεια να προωθήσει τις ερωτήσεις στο υπόλοιπο δίκτυο. Έτσι, προκαλείται πάντα μεγάλη συμφόρηση σε συγκεκριμένο σημείο του δικτύου επηρεάζοντας άμεσα την απόδοσή του. Εδώ, πρέπει να σημειωθεί ότι για την αξιολόγηση της απόδοσης των τριών μεθόδων δρομολόγησης σε αυτά τα δίκτυα, χρησιμοποιούνται οι ίδιες μετρικές που αναλύθηκαν στην αντίστοιχη ενότητα. Επίσης, μία σημαντική λεπτομέρεια που πρέπει να αναφερθεί είναι ότι ο σταθερός αυτός κόμβος, που έχει το ρόλο του mesh δρομολογητή έχει οριστεί να βρίσκεται πάντα στο κέντρο της περιοχής προσομοίωσης.

Μεταβολή της κινητικότητας των κόμβων

Στο συγκεκριμένο σύνολο πειραμάτων μεταβάλλεται η κινητικότητα των κόμβων και σκοπός του είναι, όπως και στα ad hoc δίκτυα, να αξιολογηθεί η απόδοση του συστήματος στα διαφορετικά επίπεδα κινητικότητας των κόμβων που επηρεάζουν τις συνδέσεις μεταξύ τους. Τα αποτελέσματα από το πείραμα αυτό, όπου εφαρμόστηκε ο αλγόριθμος κίνησης Random Waypoint και η περιοχή κίνησης των κόμβων έχει διαστάσεις $1500 \times 300 \text{ m}^2$, απεικονίζονται στο Σχήμα 4.7.



Σχήμα 4.7 Μεταβολή της Κινητικότητας των Κόμβων Χρησιμοποιώντας το Random Waypoint Mobility Model σε Περιοχή Κίνησης $1500 \times 300 \text{ m}^2$ (mesh)

Αποτελεσματικότητα του συστήματος. Μελετώντας αρχικά τις μετρικές “**Data Delivery Ratio**”, “**Discovered Replies per Query**” και “**Delivered Replies per Query**”, με τις οποίες αξιολογούμε την αποτελεσματικότητα του συστήματος, επαληθεύεται η προσδοκία που περιγράφηκε παραπάνω. Συγκεκριμένα, το πρώτο διάγραμμα δηλώνει τη μειωμένη απόδοση του δικτύου στη μετάδοση των δεδομένων σε σχέση με τα ad hoc δίκτυα. Ο λόγος που συμβαίνει αυτό περιγράφηκε στην αρχή της ενότητας για τα mesh δίκτυα. Ωστόσο, το πλεονέκτημα είναι ότι μπορούμε να αυξήσουμε την εμβέλεια ενός τέτοιου δικτύου και έτσι οι ερωτήσεις να δρομολογούνται σε περισσότερους κόμβους. Με αυτό τον τρόπο θα είναι δυνατόν το αίτημα ενός κόμβου να ικανοποιείται από περισσότερους κόμβους και έτσι να συγκεντρώνονται περισσότερες απαντήσεις σε μια συγκεκριμένη ερώτηση. Η υπόθεση αυτή επιβεβαιώνεται και από τις μετρικές “**Discovered Replies per Query**” και “**Delivered Replies per Query**”, σύμφωνα με τις οποίες οι τρεις μέθοδοι δρομολόγησης εξάγουν καλύτερα αποτελέσματα σε ένα mesh δίκτυο σε αντίθεση με ένα ad hoc δίκτυο. Εκτός από την απόδειξη που προσφέρουν τα αντίστοιχα διαγράμματα του Σχήματος 4.7, καταλήγουμε θεωρητικά στο ίδιο συμπέρασμα αν σκεφτούμε τα εξής. Ένα mesh δίκτυο, με βάση αυτά που αναφέρθηκαν στο δεύτερο κεφάλαιο, παρέχει τη δυνατότητα της ενοποίησης πολλών ασύρματων δικτύων μέσω των mesh routers και έτσι της ύπαρξης πολλών πιθανών κόμβων που μπορούν να απαντήσουν κατά τη δρομολόγηση μιας ερώτησης. Επιπλέον, η δρομολόγηση μιας ερώτησης μεταξύ των ασύρματων δικτύων που συμμετέχουν σε αυτό πραγματοποιείται από τους mesh routers οι οποίοι διαθέτουν μεγαλύτερη ισχύ από τους κόμβους κάθε υπό-δικτύου. Κατά συνέπεια, η δρομολόγηση της ερώτησης είναι δυνατόν να πραγματοποιηθεί σε μεγαλύτερο αριθμό αλμάτων από τον αρχικό κόμβο επηρεαζόμενη λιγότερο από τη συχνή διάσπαση των συνδέσμων, σε σχέση με τα ad hoc δίκτυα. Επομένως, οι μετρικές των μέσων αριθμών που αναφέρθηκαν παραπάνω παρουσιάζουν καλύτερα αποτελέσματα σε αυτή την περίπτωση δικτύων. Όσον αφορά στη σχέση μεταξύ των τριών μεθόδων δρομολόγησης που συγκρίνουμε δεν παρατηρείται κάτι διαφορετικό από αυτά που ήδη διαπιστώσαμε από τα αποτελέσματα των ad hoc δικτύων. Και εδώ οι προτεινόμενες μέθοδοι θεωρούνται καταλληλότερες από την εξαντλητική μέθοδο της πλημμύρας, αφού καταφέρνουν να μειώσουν σημαντικά τον αριθμό των εκπομπών κατά τη δρομολόγηση μιας ερώτησης από τον κεντρικό κόμβο (mesh router) προς τους υπόλοιπους κόμβους του δικτύου,

προκαλώντας έτσι λιγότερη συμφόρηση στο δίκτυο και βελτιώνοντας αρκετά τη συνολική απόδοσή του. Επιπλέον, αποδεικνύεται η σημαντικότητα της εκμετάλλευσης της επιπρόσθετης πληροφορίας από το επίπεδο εφαρμογών, αφού από τους δύο προτεινόμενους μηχανισμούς η cross-layer τεχνική καταφέρνει να ελαχιστοποιήσει σε μεγαλύτερο βαθμό τον αριθμό των εκπομπών οδηγώντας στα οφέλη που περιγράφηκαν παραπάνω. Τέλος, στα Σχήματα Π.31 και Π.32 του Παραρτήματος παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που αναφέρονται στους άλλους δύο αλγορίθμους κίνησης. Δεν παρατηρείται κάτι διαφορετικό από αυτά που περιγράφηκαν μέχρι τώρα, παρά μόνο μία μικρή απόκλιση προς τα κάτω στις τιμές.

Απόδοση του συστήματος. Μελετώντας την απόδοση του συστήματος από τα διαγράμματα που αναφέρονται στους μέσους χρόνους, διαπιστώνεται ότι και σε αυτό το είδος δικτύων κρίνεται καταλληλότερη η cross-layer τεχνική για τη δρομολόγηση των ερωτήσεων, αφού ελαχιστοποιεί το μέσο χρόνο που απαιτείται για τη μετάδοση ενός πακέτου δεδομένων. Βέβαια, σε σύγκριση με τα αντίστοιχα διαγράμματα που παράχθηκαν για τα ad hoc δίκτυα, οι τιμές εδώ είναι αρκετά μεγαλύτερες. Για παράδειγμα, ο μέσος χρόνος που απαιτείται μέχρι την άφιξη του πρώτου πακέτου δεδομένων ως απάντηση σε μία ερώτηση, είναι μεγαλύτερος στα mesh δίκτυα, σε σχέση με τα ad hoc δίκτυα, δεδομένου ότι εφαρμόζεται η ίδια μέθοδος δρομολόγησης. Αυτή ήταν άλλωστε και η προσδοκία μας για τα δίκτυα για τα οποία γίνεται λόγος, αφού το δίκτυο υφίσταται την επιπλέον επιβάρυνση της συγκέντρωσης όλων των ερωτήσεων-αιτημάτων σε έναν σταθερό κόμβο. Η αύξηση της κινητικότητας των κόμβων επηρεάζει με τον ίδιο τρόπο τις μετρικές, όπως ισχύει και στα ad hoc δίκτυα. Δηλαδή, αυτές επηρεάζονται ελάχιστα από τα διαφορετικά επίπεδα κινητικότητας των κόμβων. Ποιοτικά ανάλογα αποτελέσματα εξάγονται από την εκτέλεση των πειραμάτων στα οποία εφαρμόζονται οι άλλοι δύο αλγόριθμοι κίνησης.

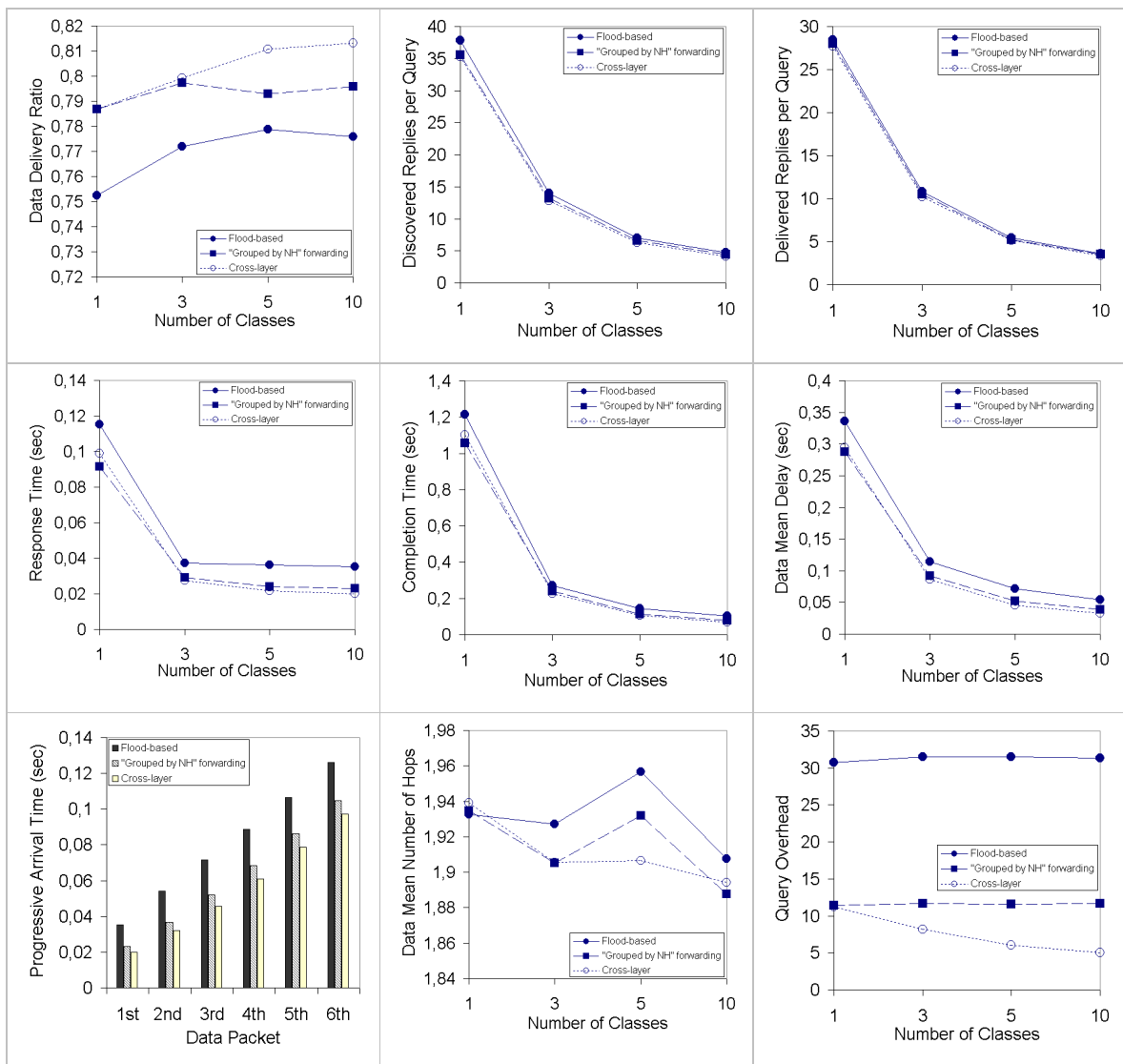
Επιβάρυνση του δικτύου. Τέλος, ο φόρτος του συστήματος κατά τη δρομολόγηση μιας ερώτησης διαπιστώνεται άμεσα και έμμεσα από τις μετρικές “**Query Overhead**” και “**Data Mean Number of Hops**” αντίστοιχα. Σύμφωνα με την πρώτη, εξάγεται το συμπέρασμα ότι οι προτεινόμενοι μηχανισμοί και πολύ περισσότερο η cross-layer τεχνική μειώνει αισθητά την επιβάρυνση που προκαλείται στο δίκτυο κατά τη

δρομολόγηση μιας ερώτησης, γεγονός που θεωρείται αρκετά σημαντικό αν αναλογιστούμε ότι τα mesh δίκτυα επιβαρύνονται από τη συγκέντρωση όλων των αιτημάτων σε ένα συγκεκριμένο κόμβο. Η σημαντική αυτή διαφορά μεταξύ των τριών μεθόδων δρομολόγησης δεν είναι τόσο εμφανής στη μετρική “**Data Mean Number of Hops**” και αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι και οι τρεις μέθοδοι επηρεάζονται έντονα από το φαινόμενο της απόρριψης των πακέτων λόγω διάσπασης των συνδέσεων. Το τελευταίο πηγάζει από το γεγονός της μείωσης του ποσοστού μετάδοσης των δεδομένων παράλληλα με την αύξηση της κινητικότητας των κόμβων. Τα ίδια συμπεράσματα εξάγονται και από την εφαρμογή των άλλων αλγορίθμων κίνησης.

Αλλαγές στην πειραματική διάταξη (Παράρτημα). Στα Σχήματα Π.33, Π.34 και Π.35 του Παραρτήματος απεικονίζονται τα αποτελέσματα των πειραμάτων για τη μεταβολή της κινητικότητας των κόμβων που εκτελέστηκαν σε περιοχή κίνησης των κόμβων 700x700 m². Από τη μελέτη τους διαπιστώνονται δύο σημαντικά συμπεράσματα στα οποία καταλήξαμε στις προηγούμενες παραγράφους. Το πρώτο αφορά στη σύγκριση μεταξύ των δύο ειδών δικτύων που χρησιμοποιήθηκαν για την προσομοίωση των πειραμάτων. Επιβεβαιώνεται, δηλαδή, το γεγονός ότι η απόδοση των τριών μεθόδων δρομολόγησης στα ad hoc δίκτυα είναι καλύτερη από την απόδοσή τους στα mesh δίκτυα. Αυτό προκύπτει από τις μεγαλύτερες τιμές που παρουσιάζουν οι μέθοδοι των mesh δικτύων σε σχέση με τις μεθόδους των άλλων στις μετρικές που αφορούν στους μέσους χρόνους και στο φόρτο του δικτύου. Το δεύτερο συμπέρασμα αφορά στη μικρή απόκλιση των τιμών τους από τα αποτελέσματα που αφορούν στην ορθογώνια περιοχή. Αυτό οφείλεται τόσο στο διαφορετικό μέγεθος των περιοχών όσο και στο διαφορετικό σχήμα που έχουν. Σε άλλες μετρικές η διαφορά των τιμών για τις δύο ομάδες αποτελεσμάτων είναι μεγάλη και σε άλλες είναι μικρή έως και ανύπαρκτη, με την προϋπόθεση βέβαια ότι ο λόγος γίνεται για μία συγκεκριμένη μέθοδο δρομολόγησης και έναν ορισμένο αλγόριθμο κίνησης. Ο λόγος που συμβαίνει κάτι τέτοιο είναι ότι η συμπεριφορά κάθε αλγορίθμου κίνησης εξαρτάται από την περιοχή προσομοίωσης που χρησιμοποιείται και συγκεκριμένα από το μέγεθος και από το σχήμα της. Το σημαντικό είναι ότι σε όλες τις προηγούμενες συγκρίσεις η cross-layer τεχνική αποδεικνύεται καταλληλότερη.

Μεταβολή του αριθμού των κλάσεων

Στο συγκεκριμένο πείραμα μεταβάλλεται ο αριθμός των κλάσεων. Σκοπός είναι να αποδειχτεί η σημαντικότητα της εκμετάλλευσης της πληροφορίας του επιπέδου εφαρμογών. Τα αποτελέσματα από αυτό το σύνολο πειραμάτων, όπου χρησιμοποιήθηκε ο αλγόριθμος κίνησης Random Waypoint και η περιοχή κίνησης των κόμβων ήταν εκείνη που σχηματίζει τετράγωνο σχήμα, παρουσιάζονται στο Σχήμα 4.8.



Σχήμα 4.8 Μεταβολή του Αριθμού των Κλάσεων Χρησιμοποιώντας το Random Waypoint Mobility Model σε Περιοχή Κίνησης 1500x300 m² (mesh)

Αποτελεσματικότητα του συστήματος. Ξεκινώντας με τη μελέτη των τριών πρώτων μετρικών που μας πληροφορούν για την αποτελεσματικότητα του συστήματος διαπιστώνουμε τα εξής. Σύμφωνα με τη μετρική “**Data Delivery Ratio**” αποδεικνύεται για άλλη μία φορά αυτό που αναμέναμε για τα mesh δίκτυα σε σχέση με τα ad hoc και περιγράφηκε στην αρχή της ενότητας αυτής. Όσον αφορά στη σύγκριση μεταξύ των τριών μεθόδων δρομολόγησης εμφανίζεται αναμφισβήτητα καταλληλότερη η cross-layer τεχνική, αφού παρουσιάζει πάντα ανοδική πορεία όσο ο αριθμός των κλάσεων αυξάνεται, ανεξάρτητα από τον αλγόριθμο κίνησης που εφαρμόζεται. Το γεγονός αυτό αποδεικνύει τη σημαντικότητα της ενσωμάτωσης στοιχείων από το επίπεδο εφαρμογών στο επίπεδο δρομολόγησης. Όταν, όμως, ο λόγος γίνεται για τις άλλες δύο μεθόδους δρομολόγησης, αυτές φαίνεται να μην παρουσιάζουν την ίδια συμπεριφορά (σταθερή ή ήπια ανοδική) με την εφαρμογή κάθε αλγορίθμου κίνησης, τα αποτελέσματα των οποίων συγκεντρώνονται στα Σχήματα Π.36 και Π.37 του Παραρτήματος. Για τα επόμενα δύο διαγράμματα με τα οποία μελετάμε την αποτελεσματικότητα του συστήματος διαπιστώνουμε ότι και οι τρεις μέθοδοι δρομολόγησης παράγουν ποιοτικά τα ίδια αποτελέσματα και βέβαια η συμπεριφορά τους είναι καθοδική με την αύξηση του αριθμού των κλάσεων. Περισσότερα για αυτό αναφέρθηκαν στην αντίστοιχη περίπτωση των ad hoc δικτύων. Απλά πρέπει να αναφερθεί ότι τα αποτελέσματα αυτά, λόγω μικρής διαφοράς στις τιμές, είναι καλύτερα όταν εφαρμόζεται ο αλγόριθμος Random Waypoint.

Απόδοση του συστήματος. Για την επόμενη ομάδα διαγραμμάτων που περιγράφουν την απόδοση του συστήματος και αφορούν στους μέσους χρόνους, ισχύουν οι ίδιες παρατηρήσεις που έγιναν για την αντίστοιχη κατηγορία πειραμάτων στα ad hoc δίκτυα. Αυτό σημαίνει ότι οι προτεινόμενες μέθοδοι καταφέρνουν να μειώσουν το μέσο χρόνο μετάδοσης ενός πακέτου στο δίκτυο σε σχέση με τη μέθοδο της πλημμύρας, ως συνέπεια της ελαχιστοποίησης της συμφόρησης που επιφέρει στο δίκτυο η δρομολόγηση των ερωτήσεων. Βέβαια, με την αύξηση του αριθμού των κλάσεων οι μέσοι χρόνοι μειώνονται και για τις τρεις μεθόδους, αφού μεταδίδονται λιγότερα πακέτα λόγω του μικρότερου αριθμού των κόμβων που έχουν τα κατάλληλα δεδομένα για να απαντήσουν. Επιπλέον, ισχύει και εδώ η βασική διαφορά που αναλύθηκε για τα δύο είδη δικτύων. Τέλος, οι μέθοδοι δρομολόγησης παρουσιάζουν

μικρότερες τιμές στα διαγράμματα που αναφέρονται στους μέσους χρόνους, όταν εφαρμόζεται ο αλγόριθμος κίνησης Random Direction.

Επιβάρυνση του δικτύου. Τα διαγράμματα των μετρικών “**Query Overhead**” και “**Data Mean Number of Hops**” είναι εκείνα που βοηθούν περισσότερο να κατανοήσουμε τη συνεισφορά των προτεινόμενων μεθόδων και πολύ περισσότερο της cross-layer τεχνικής που στηρίζεται στη βασική ιδέα της δρομολόγησης των ερωτήσεων με βάση την πληροφορία που προσφέρει το επίπεδο εφαρμογών. Έτσι, η τελευταία καταφέρνει να μειώσει τη συμφόρηση που προκαλεί στο δίκτυο η μέθοδος της πλημμύρας σε πολύ μεγάλο ποσοστό. Η σημαντικότητα της εκμετάλλευσης της πληροφορίας του επιπέδου εφαρμογών είναι περισσότερη εμφανής αν συγκρίνουμε τους προτεινόμενους μηχανισμούς μεταξύ τους. Ενώ, η συμπεριφορά του ενδιάμεσου μηχανισμού παραμένει σταθερή, από την άλλη μεριά η συμπεριφορά της cross-layer τεχνικής είναι καθοδική παράλληλα με την αύξηση του αριθμού των κλάσεων. Αυτό σημαίνει ότι στην περίπτωση που η δρομολόγηση πραγματοποιείται με βάση τη γνώση για τις κλάσεις που υπάρχουν στο δίκτυο ο φόρτος που προκαλείται στο σε αυτό μειώνεται ακόμα περισσότερο. Το γεγονός αυτό επαληθεύεται και από την μετρική “**Data Mean Number of Hops**”, όπου ο μέσος αριθμός αλμάτων που απαιτούνται για τη μετάδοση των απαντήσεων είναι μικρότερος όταν εφαρμόζεται η cross-layer τεχνική. Εκτελούνται, δηλαδή σε αυτή την περίπτωση λιγότερες εκπομπές και κατά συνέπεια προκαλείται λιγότερη συμφόρηση στο δίκτυο. Όσον αφορά στους τρεις αλγόριθμους κίνησης, όταν εφαρμόζεται Random Direction οι τρεις μέθοδοι δρομολόγησης προκαλούν μικρότερο φόρτο στο δίκτυο κατά την προώθηση μιας ερώτησης.

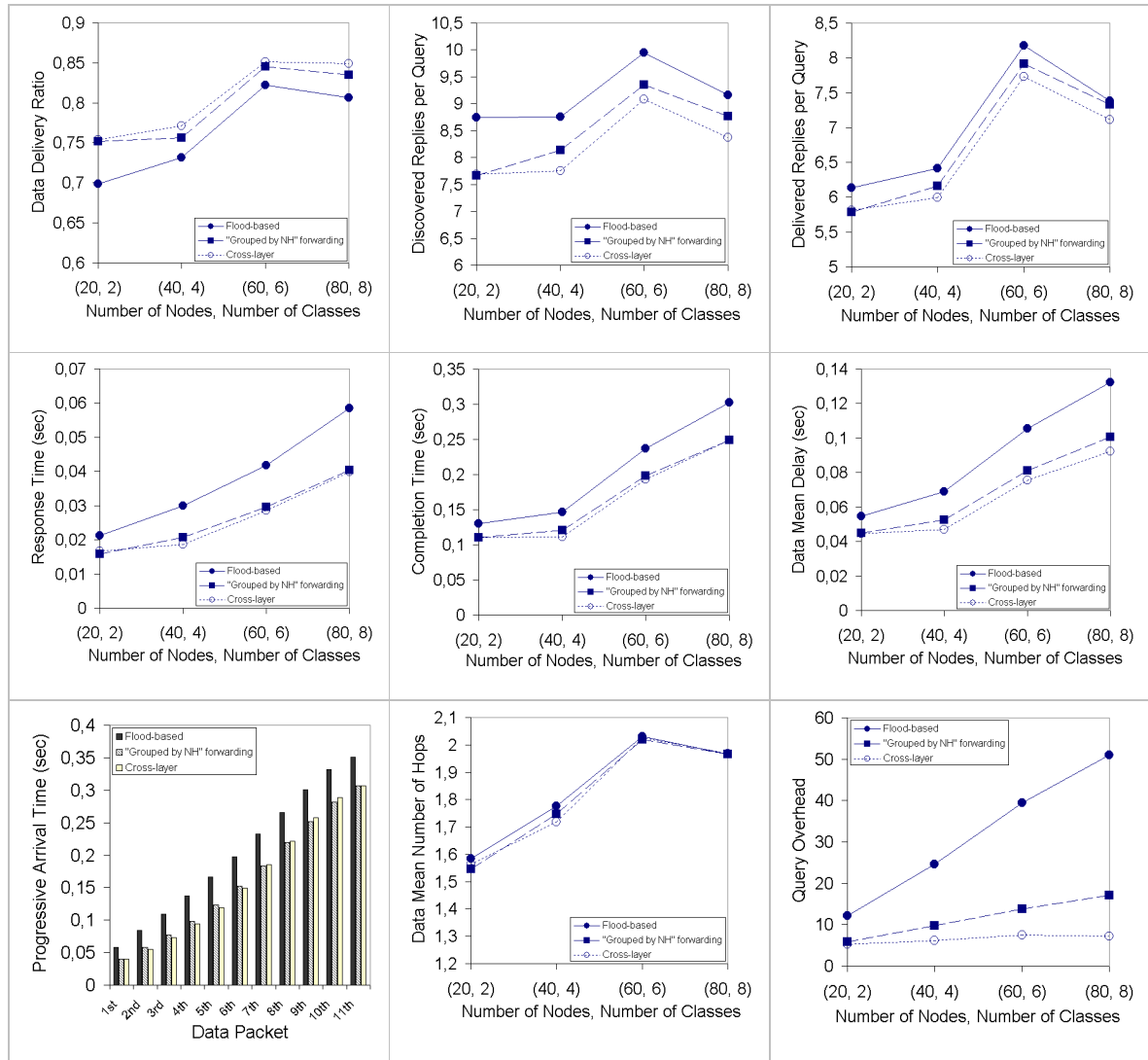
Αλλαγές στην πειραματική διάταξη (Παράρτημα). Στα Σχήματα Π.38, Π.39 και Π.40 φαίνονται τα διαγράμματα των πειραμάτων που εκτελέστηκαν στην περιοχή 700x700 m². Οι μοναδικές διαφορές μεταξύ αυτών των αποτελεσμάτων και των αντίστοιχων της προηγούμενης παραγράφου εντοπίζονται στις τιμές, γεγονός που έχει παρατηρηθεί σε όλες τις προηγούμενες συγκρίσεις των πειραμάτων μεταξύ αυτών των δύο περιοχών κίνησης. Από τη μελέτη, δηλαδή, των παραπάνω σχημάτων διαπιστώθηκε ότι τα αποτελέσματα που αφορούν σε αυτή την περιοχή κίνησης εμφανίζουν μεγαλύτερες τιμές σε όλες σχεδόν τις μετρικές. Σε κάποιες μετρικές η

διαφορά στις τιμές είναι αρκετά μεγάλη και σε άλλες μικρότερη. Επιπλέον, κατά την αύξηση του αριθμού των κλάσεων φαίνεται η διαφορά αυτή να μειώνεται αισθητά. Το σημαντικό είναι ότι η σχέση μεταξύ των τριών συγκρινόμενων μεθόδων παραμένει η ίδια, όπως περιγράφηκε στην ανάλυση των προηγούμενων πειραμάτων.

Μεταβολή του αριθμού των κόμβων

Σε αυτό το σύνολο πειραμάτων η παράμετρος που μεταβάλλεται είναι ο αριθμός των κόμβων. Σκοπός του πειράματος είναι να αποδείξει την καλή ιδιότητα κλιμάκωσης της cross-layer τεχνικής. Τα αποτελέσματα των πειραμάτων παρουσιάζονται στο Σχήμα 4.9 και ο αλγόριθμος κίνησης που εφαρμόζεται είναι ο Random Waypoint, ενώ οι κόμβοι κινούνται στην ορθογώνια περιοχή. Η μελέτη των διαγραμμάτων επιβεβαιώνει το σκοπό του πειράματος, αφού η cross-layer τεχνική καταφέρνει να σταθεροποιήσει τη γραμμική συμπεριφορά του φόρτου που επιφέρει στο δίκτυο η μέθοδος της πλημμύρας και κατά συνέπεια να αυξήσει το ποσοστό μετάδοσης των δεδομένων και να ελαχιστοποιήσει το μέσο χρόνο που απαιτείται για τη μετάδοση των απαντήσεων. Επιπλέον, η αύξηση του αριθμού των κόμβων επηρεάζει με τον ίδιο τρόπο τις τρεις συγκρινόμενες διαδικασίες δρομολόγησης εφαρμοζόμενες σε ένα mesh δίκτυο, όπως συμβαίνει και σε ένα ad hoc δίκτυο. Βέβαια εξακολουθεί να ισχύει η προσδοκία που υπήρχε για τα mesh δίκτυα, σε σχέση με τα ad hoc, η οποία στο εξής θα αναφέρεται μόνο αν δεν ισχύει. Επιπλέον, πρέπει να σημειωθεί ότι η συμπεριφορά των συγκρινόμενων μεθόδων στα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζεται πιο έντονη σε σχέση με τα προηγούμενα δίκτυα που αναλύθηκαν. Αυτό σημαίνει ότι αν σε ένα από τα παρακάτω διαγράμματα η πορεία των τριών μεθόδων είναι ανοδική, η τελευταία εμφανίζει μεγαλύτερη κλίση και κατά συνέπεια το πεδίο τιμών είναι μεγαλύτερο. Τέλος, παρατηρείται σε μερικά διαγράμματα, όπως αυτά που απεικονίζουν τις μετρικές “**Delivered Replies per Query**” και “**Data Mean Number of Hops**”, η ξαφνική αλλαγή της αυξανόμενης πορείας των μεθόδων, η οποία μετατρέπεται σε καθοδική. Κάποιος λόγος που θα μπορούσε να αιτιολογήσει τη συμπεριφορά αυτή είναι ότι στην περίπτωση του δικτύου με το μέγιστο αριθμό κόμβων προκαλείται μεγάλη συμφόρηση στον κεντρικό κόμβο με αποτέλεσμα πολλά πακέτα να απορρίπτονται από το πρωτόκολλο. Στα ίδια συμπεράσματα οδηγούν και τα αποτελέσματα των Σχημάτων Π.41 και Π.42, από την εφαρμογή των άλλων δύο αλγορίθμων κίνησης. Βέβαια οι τρεις διαδικασίες δρομολόγησης φαίνεται να είναι

περισσότερο αποτελεσματικοί όταν εφαρμόζεται ο αλγόριθμος κίνησης Random Waypoint, αφού επιτυγχάνουν μεγαλύτερο ποσοστό μετάδοσης δεδομένων και μικρότερη επιβάρυνση στο δίκτυο κατά την προώθηση μιας ερώτησης, άλλα από την άλλη πλευρά υστερούν με μικρή διαφορά στους μέσους χρόνους.



Σχήμα 4.9 Μεταβολή του Αριθμού των Κόμβων Χρησιμοποιώντας το Random Waypoint Mobility Model σε Περιοχή Κίνησης 1500x300 m² (mesh)

Αλλαγές στην πειραματική διάταξη (Παράρτημα). Στα Σχήματα Π.43, Π.44 και Π.45 απεικονίζονται τα αποτελέσματα των πειραμάτων που εκτελέστηκαν στην τετράγωνη περιοχή με διαστάσεις 700m x 700m. Η μελέτη αυτών των διαγραμμάτων αποδεικνύει για ακόμα μία φορά την επιρροή της περιοχής, στην οποία κινούνται οι

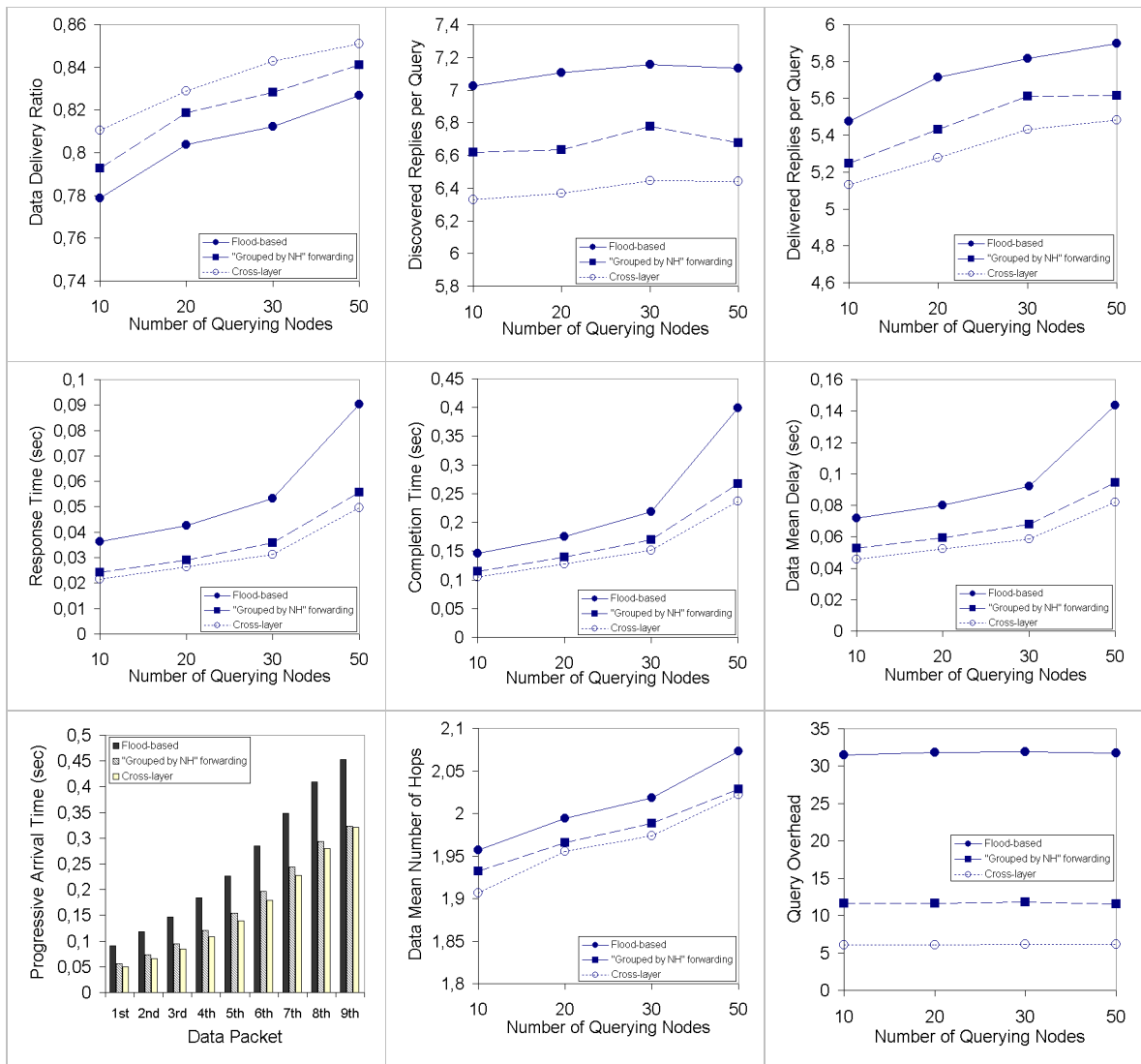
κόμβοι, στα αποτελέσματα. Αν σκεφτούμε ότι η εν λόγω περιοχή είναι τετράγωνη και η άλλη είναι ορθογώνια με τη μία πλευρά να έχει μεγαλύτερο μήκος από την πλευρά του τετραγώνου και επιπλέον, ότι ο mesh router παραμένει σταθερός στο κέντρο των περιοχών αυτών, τότε απαιτούνται περισσότερα βήματα για να προωθηθεί μία ερώτηση από τον κεντρικό κόμβο σε κάποιους κόμβους που μπορεί να βρίσκονται στα όρια των περιοχών. Επίσης, αν στη χειρότερη περίπτωση ένας κόμβος που βρίσκεται στη μία άκρη της ορθογώνιας περιοχής μεταδώσει ένα δεδομένο σε έναν άλλο κόμβο που βρίσκεται στην άλλη άκρη, τότε απαιτείται περισσότερος χρόνος από τη μετάδοση του πακέτου αυτού στην περίπτωση της τετράγωνης περιοχής. Τα τελευταία επιβεβαιώνονται από τα διαγράμματα της μετρικής “**Data Mean Number of Hops**” όπου για την τετράγωνη περιοχή επικρατούν μικρότερες τιμές. Γενικά παρατηρείται η ίδια περίπου συμπεριφορά στα διαγράμματα των δύο περιοχών με μία μικρή διαφορά στις τιμές η οποία εξηγείται από τα παραπάνω. Η διαφορά αυτή σε κάποιες μετρικές είναι πιο έντονη για τη μέθοδο της πλημμύρας, όπως είναι αναμενόμενο.

Μεταβολή του αριθμού των ερωτώντων κόμβων

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τη μεταβολή της συγκεκριμένης παραμέτρου, του αριθμού των ερωτώντων κόμβων, απεικονίζονται στο Σχήμα 4.10. Το συγκεκριμένο πείραμα πραγματοποιείται ώστε να αξιολογηθεί η απόδοση του συστήματος στα διαφορετικά επίπεδα επιβάρυνσής του από τη δημιουργία και την προώθηση περισσότερων ερωτήσεων. Από τη μελέτη των διαγραμμάτων προκύπτει ότι και στα mesh δίκτυα η καταλληλότερη μέθοδος δρομολόγησης που αντιμετωπίζει με πιο αποτελεσματικό τρόπο την επιβάρυνση που προκαλεί η αύξηση του αριθμού των ερωτώντων κόμβων είναι η cross-layer τεχνική. Για τους λόγους που έχουν αναφερθεί σε αρκετές από τις προηγούμενες παραγράφους, η προτεινόμενη λύση ελαχιστοποιεί τον αριθμό των άσκοπων εκπομπών που πραγματοποιεί η μέθοδος της πλημμύρας, κατά την προώθηση μιας ερώτησης και επιφέρει τα κέρδη που διαπιστώνονται στις μετρικές που αφορούν στους μέσους χρόνους, στο ποσοστό μετάδοσης των δεδομένων και του φόρτου. Επιπλέον, πρέπει να σημειωθεί ότι στα διαγράμματα του Σχήματος 4.10 που αφορούν στους μέσους χρόνους οι τρεις συγκρινόμενες μέθοδοι παρουσιάζουν πιο έντονη μεταβολή από εκείνη στα ad hoc δίκτυα. Το ίδιο συμβαίνει και με τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την

εφαρμογή των άλλων δύο αλγορίθμων κίνησης και φαίνονται στα Σχήματα Π.46 και Π.47 του Παραρτήματος.

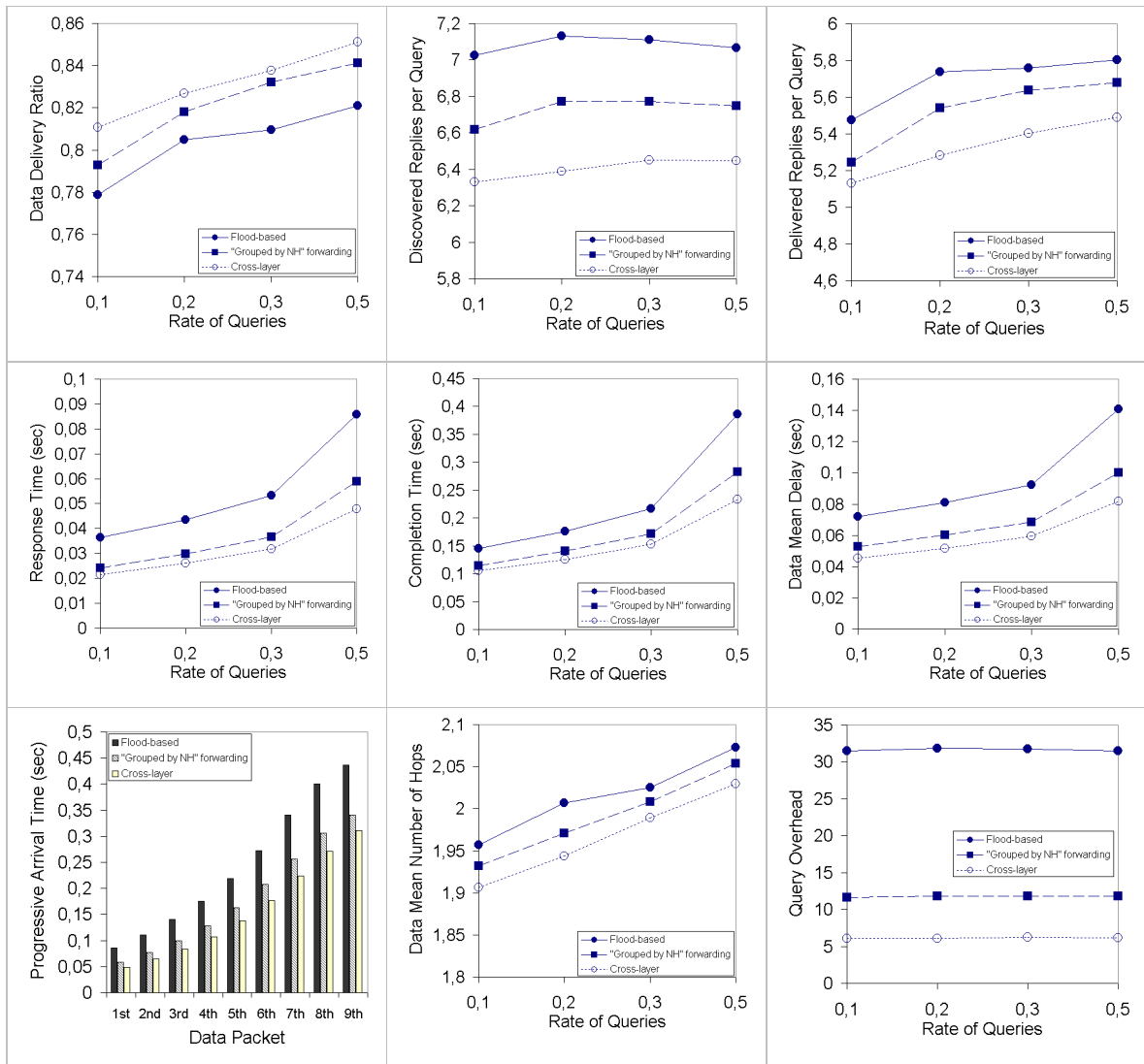
Αλλαγές στην πειραματική διάταξη (Παράρτημα). Ανάλογα ισχύουν και για τα διαγράμματα των Σχημάτων Π.48, Π.49 και Π.50, στα οποία απεικονίζονται τα αποτελέσματα από τα πειράματα που εκτελέστηκαν στην τετράγωνη περιοχή διαστάσεων $700 \times 700 \text{ m}^2$.



Σχήμα 4.10 Μεταβολή του Αριθμού των Ερωτώντων Κόμβων Χρησιμοποιώντας το Random Waypoint Mobility Model σε Περιοχή Κίνησης $1500 \times 300 \text{ m}^2$ (mesh)

Μεταβολή του ρυθμού δημιουργίας ερωτήσεων

Στο Σχήμα 4.11 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τα πειράματα στα οποία μεταβάλλεται ο ρυθμός δημιουργίας ερωτήσεων εφαρμόζοντας τον αλγόριθμο Random Waypoint για την κίνηση των κόμβων στην ορθογώνια περιοχή διαστάσεων $1500 \times 300 \text{ m}^2$, ενώ στα Σχήματα Π.51 και Π.52 απεικονίζονται τα αποτελέσματα από την εφαρμογή των άλλων δύο αλγορίθμων κίνησης.



Σχήμα 4.11 Μεταβολή του Ρυθμού Δημιουργίας Ερωτήσεων Χρησιμοποιώντας το Random Waypoint Mobility Model σε Περιοχή Κίνησης $1500 \times 300 \text{ m}^2$ (mesh)

Ο σκοπός αυτού του πειράματος είναι ο ίδιος με τον προηγούμενο, δηλαδή η αξιολόγηση του συστήματος στα διαφορετικά επίπεδα επιβάρυνσής του. Ωστόσο, ενώ

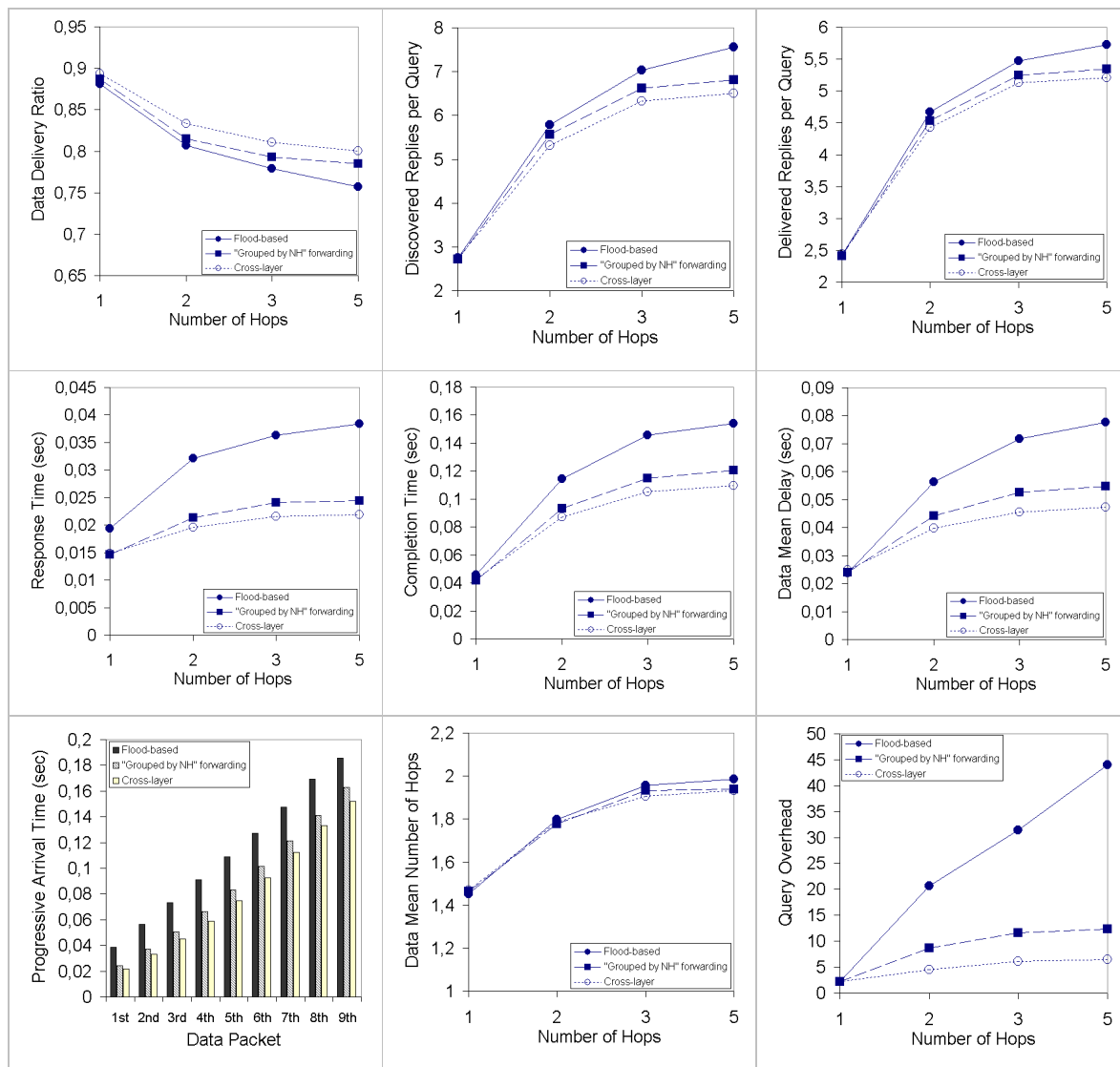
και τα δύο πειράματα καταλήγουν στην επιβάρυνση του δικτύου με την αύξηση του αριθμού των ερωτήσεων που προωθούνται στο δίκτυο παρουσιάζουν μία σημαντική διαφορά. Η διαφορά αυτή είναι η ίδια με αυτή που διαχωρίζει τα αντίστοιχα πειράματα στα ad hoc δίκτυα. Από τη μελέτη των διαγραμμάτων του Σχήματος 4.11 προκύπτει ότι υπάρχουν αρκετές ομοιότητες με τα διαγράμματα του Σχήματος 4.10. Ωστόσο, υπάρχουν και διαφορές οι οποίες οφείλονται σε αυτά που αναφέρθηκαν παραπάνω. Από τα διαγράμματα είναι εμφανές ότι η cross-layer τεχνική είναι αυτή που υπερέχει για τους λόγους που έγιναν γνωστοί μέχρι στιγμής, παρουσιάζει ένα μικρό μειονέκτημα σε σχέση με τις άλλες μεθόδους δρομολόγησης όταν γίνεται λόγος για τις μετρικές “**Discovered Replies per Query**” και “**Delivered Replies per Query**”. Έχει αναφερθεί σε προηγούμενες παραγράφους ότι η αποτυχία του πρωτοκόλλου δρομολόγησης είναι η αιτία για τη διαπίστωση αυτή. Όσον αφορά στους άλλους δύο αλγορίθμους κίνησης, όταν εφαρμόζονται αυτοί οι μέθοδοι δρομολόγησης παράγουν τιμές με μικρές αποκλίσεις για τις μετρικές του Σχήματος 4.11.

Αλλαγές στην πειραματική διάταξη (Παράρτημα). Στα Σχήματα Π.53, Π.54 και Π.55 απεικονίζονται τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την εκτέλεση των πειραμάτων στην τετράγωνη περιοχή. Η επιρροή του σχήματος και του μεγέθους της περιοχής αυτής στα αποτελέσματα συζητήθηκε σε προηγούμενες παραγράφους.

Μεταβολή του μέγιστου αριθμού αλμάτων προώθησης μιας ερώτησης

Στα Σχήματα 4.12, Π.56 και Π.57 συγκεντρώνονται τα αποτελέσματα από την εκτέλεση των πειραμάτων στα οποία μεταβάλλεται ο μέγιστος αριθμός αλμάτων προώθησης μιας ερώτησης και εφαρμόζονται οι αλγόριθμοι κίνησης Random Waypoint, Manhattan και Random Direction αντίστοιχα. Για την ανάλυση των παρακάτω διαγραμμάτων ισχύουν τα ίδια σχόλια που έγιναν για τα ad hoc δίκτυα κατά τη μεταβολή της ίδιας παραμέτρου, αφού και σε αυτή την περίπτωση καταλληλότερη διαδικασία δρομολόγησης κρίνεται η cross-layer. Με το συγκεκριμένο πείραμα αποδεικνύεται για άλλη μία φορά η υπεροχή της προτεινόμενης λύσης ακόμα και στην περίπτωση που τα ερωτήματα διαδίδονται σε μεγαλύτερο τμήμα του δικτύου. Επιπλέον, η αύξηση του μεγίστου αριθμού προώθησης μιας ερώτησης επηρεάζει με τον ίδιο τρόπο τις μετρικές που αναλύθηκε

στην αντίστοιχη παράγραφο στα ad hoc δίκτυα. Οι άλλοι δύο αλγόριθμοι κίνησης επηρεάζουν μόνο τις τιμές των μετρικών.



Σχήμα 4.12 Μεταβολή του Μέγιστου Αριθμού Αλμάτων Προώθησης μιας Ερώτησης Χρησιμοποιώντας το Random Waypoint Mobility Model σε Περιοχή Κίνησης 1500x300 m² (mesh)

Αλλαγές στην πειραματική διάταξη (Παράρτημα). Στα Σχήματα Π.58, Π.59 και Π.60 συγκεντρώνονται τα αποτελέσματα από τα πειράματα που εκτελέστηκαν στην τετράγωνη περιοχή. Από τη μελέτη τους προκύπτει ότι δεν υπάρχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ των αντίστοιχων διαγραμμάτων για τις δύο διαφορετικές περιοχές προσομοίωσης, εκτός από τη διαφορά στις τιμές που έχει αναφερθεί μέχρι τώρα σε

προηγούμενες παραγράφους. Η μεταβολή του μεγίστου αριθμού προώθησης μιας ερώτησης επηρεάζει με τον ίδιο τρόπο τη συμπεριφορά των τριών συγκρινόμενων μεθόδων, κατά την προσομοίωση των δικτύων στις δύο περιοχές κίνησης των κόμβων.

4.7. Ανακεφαλαίωση

Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων στην προηγούμενη ενότητα για τα δύο είδη δικτύων, αποδείχτηκε ότι η καταλληλότερη μέθοδος για τη δρομολόγηση των ερωτήσεων, ώστε να επιτυγχάνονται ταυτόχρονα 1) ελαχιστοποίηση του φόρτου του δικτύου, 2) μετάδοση μεγάλου ποσοστού δεδομένων και 3) μετάδοση των πακέτων δεδομένων όσο πιο γρήγορα είναι δυνατό, είναι η cross-layer τεχνική, ανεξάρτητα από τον αλγόριθμο κίνησης που εφαρμόζεται και τις διαστάσεις της περιοχής στην οποία κινούνται οι κόμβοι. Βέβαια, η απόδοση των διαδικασιών δρομολόγησης είναι διαφορετική στα δύο είδη δικτύων, mesh και ad hoc. Συγκεκριμένα, η απόδοση δεν είναι τόσο ικανοποιητική στα mesh δίκτυα σε σχέση με εκείνη στα ad hoc δίκτυα, για το λόγο ότι όλα τα αιτήματα-ερωτήσεις των κόμβων συγκεντρώνονται αρχικά πριν την προώθησή τους σε έναν κεντρικό κόμβο. Κατά συνέπεια, προκαλείται μεγαλύτερη επιβάρυνση στο δίκτυο. Ωστόσο, τα mesh δίκτυα κερδίζουν σε άλλους τομείς, όπως είναι το πλεονέκτημα της αύξησης της εμβέλειας ενός τέτοιου δικτύου. Συνοπτικά, τα συμπεράσματα των πειραμάτων όσον αφορά στη σχέση μεταξύ των τριών συγκρινόμενων μεθόδων δρομολόγησης στις διάφορες μετρικές είναι τα εξής:

- *Ποσοστό Μετάδοσης Δεδομένων (DDR)*. Η προτεινόμενη λύση επιτυγχάνει μεγαλύτερο ποσοστό σε σχέση με τις άλλες δύο μεθόδους, γεγονός που οφείλεται στη σημαντική μείωση του αριθμού των άσκοπων εκπομπών που πραγματοποιεί η μέθοδος της πλημμύρας κατά την προώθηση μιας ερώτησης και κατά συνέπεια την ελαχιστοποίηση της συμφόρησης στο δίκτυο.
- *Μέσος Όρος Απαντήσεων που Στάλθηκαν και Παραδόθηκαν (DiRQ, DeRQ)*. Η αποτελεσματικότητα του προτεινόμενου μηχανισμού πλησιάζει αρκετά εκείνη της μεθόδου της πλημμύρας, χωρίς σημαντικές απώλειες, αφού τελικά η προτεινόμενη λύση είναι εκείνη που επιτυγχάνει μεγαλύτερο ποσοστό μετάδοσης δεδομένων. Αυτό είναι το τίμημα που πρέπει να πληρωθεί για την ελαχιστοποίηση του φόρτου του δικτύου.

- *Μετρικές για Μέσους Χρόνους (RT, CT, DMD, PAT).* Η προτεινόμενη λύση κρίνεται αναμφισβήτητα η πιο αποδοτική από όλες, αφού καταφέρνει να τους μειώσει σημαντικά (σε πολλές περιπτώσεις έως και στο μισό) σε σχέση με τις άλλες δύο μεθόδους.
- *Επιβάρυνση Δικτύου από την Προώθηση Ερώτησης (QOH).* Η μετρική αυτή αποδεικνύει τη μεγάλη συνεισφορά της cross-layer τεχνικής, αφού η τελευταία καταφέρνει να ελαχιστοποιήσει σε μεγάλο βαθμό το φόρτο που προκαλεί στο δίκτυο η προώθηση μιας ερώτησης και στη συνέχεια να επιφέρει τα κέρδη που επιβεβαιώνονται από τις άλλες μετρικές. Επιπλέον, αποτελεί απόδειξη της καλής ιδιότητας κλιμάκωσης που έχει η μέθοδος αυτή.

Τα αποτελέσματα των πειραμάτων όσον αφορά στις μεταβολές των παραμέτρων είναι τα εξής:

- *Μεταβολή της κινητικότητας των κόμβων.* Η αύξηση της συγκεκριμένης παραμέτρου φαίνεται να επηρεάζει αρνητικά την πορεία των τριών μεθόδων δρομολόγησης, λόγω της συχνής διάσπασης των συνδέσμων μεταξύ των κόμβων. Ωστόσο, σημαντικό είναι το γεγονός ότι η επιβάρυνση του δικτύου κατά την προώθηση μιας ερώτησης παραμένει σταθερή με τη μεταβολή της κινητικότητας των κόμβων, όπως επίσης σχεδόν αμετάβλητη είναι η πορεία των μεθόδων και για τις μετρικές που αναφέρονται στους μέσους χρόνους.
- *Μεταβολή του αριθμού των κλάσεων.* Η αύξηση του αριθμού των κλάσεων αποδεικνύει τη σημαντικότητα της cross-layer τεχνικής. Διαπιστώνεται ότι η εκμετάλλευση της πληροφορίας του επιπέδου εφαρμογών επιφέρει πολύ μικρή επιβάρυνση στο δίκτυο με αποτέλεσμα το ποσοστό μετάδοσης των δεδομένων να αυξάνει και να μειώνεται ο μέσος χρόνος μετάδοσης ενός πακέτου δεδομένων.
- *Μεταβολή του αριθμού των κόμβων.* Η εκτέλεση του συγκεκριμένου πειράματος αποδεικνύει την καλή ιδιότητα κλιμάκωσης της προτεινόμενης λύσης σε σχέση με την παραδοσιακή μέθοδο της πλημμύρας. Το γεγονός αυτό επηρεάζει την απόδοση του δικτύου καθώς ο αριθμός των κόμβων του αυξάνεται. Για παράδειγμα, ο φόρτος που προκαλεί στο δίκτυο η cross-layer

τεχνική κατά την προώθηση μιας ερώτησης παραμένει σχεδόν σταθερός, ενώ εκείνος που προκαλείται από τη μέθοδο της πλημμύρας αυξάνεται γραμμικά.

- *Μεταβολή του αριθμού των ερωτώντων κόμβων.* Διαπιστώνεται ότι στα διαφορετικά επίπεδα επιβάρυνσης του δικτύου, που προκαλείται από την αύξηση της συγκεκριμένης παραμέτρου, η απόδοσή του δεν επηρεάζεται σημαντικά. Η επιβάρυνση του δικτύου παραμένει σταθερή. Το γεγονός, όμως, της αύξησης του αριθμού των κόμβων που ρωτάνε αυξάνει το ποσοστό επιτυχημένης μετάδοσης των δεδομένων, καθώς επίσης και τους μέσους χρόνους μετάδοσης των πακέτων.
- *Μεταβολή του ρυθμού δημιουργίας ερωτήσεων.* Η μεταβολή της συγκεκριμένης παραμέτρου προκαλεί σχεδόν τα ίδια επίπεδα επιβάρυνσης στο δίκτυο με τη μεταβολή του αριθμού των ερωτώντων κόμβων οδηγώντας, έτσι, σε παρόμοια αποτελέσματα. Ωστόσο, οι μικρές διαφορές τους οφείλονται στη διαφορετική αιτία που προκαλεί τα επίπεδα επιβάρυνσης στο δίκτυο.
- *Μεταβολή του μεγίστου αριθμού αλμάτων προώθησης μιας ερώτησης.* Η εκτέλεση του συγκεκριμένου πειράματος αποδεικνύει για άλλη μία φορά την καλή ιδιότητα κλιμάκωσης της προτεινόμενης λύσης. Βέβαια, καθώς αυξάνεται η παράμετρος, το δίκτυο αδυνατεί να προωθήσει τις ερωτήσεις σε κόμβους που βρίσκονται αρκετά βήματα από τον αρχικό, καθώς επίσης και να παραδώσει επιτυχημένα τις απαντήσεις, για το λόγο ότι το μονοπάτι με τα βήματα που πρέπει να ακολουθήσουν είναι αρκετά μεγάλο και ταυτόχρονα υπάρχουν πολλές αποτυχίες στις συνδέσεις των κόμβων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΕΠΙΛΟΓΟΣ

5.1 Συμπεράσματα - Ανακεφαλαίωση

5.2 Μελλοντικές Επεκτάσεις

5.1. Συμπεράσματα – Ανακεφαλαίωση

Το πρόβλημα που μας απασχόλησε στη συγκεκριμένη εργασία ήταν η εύρεση ενός μηχανισμού δρομολόγησης και μεταφοράς δεδομένων για την εφαρμογή του σε ασύρματα μεταβαλλόμενα δίκτυα, ο οποίος ενσωμάτωσε χαρακτηριστικά από το επίπεδο εφαρμογών, ώστε να υποστηρίζονται τόσο η παραδοσιακή όσο και η data-centric επικοινωνία μεταξύ των κόμβων, ενώ ταυτόχρονα αποσκοπούσε στη βελτίωση της διαχείρισης των περιορισμένων πόρων του δικτύου. Πιο αναλυτικά, η ενδιαφέρουσα πληροφορία, που στη συγκεκριμένη περίπτωση ήταν η κλάση στην οποία ανήκε κάθε κόμβος του δικτύου, εισήχθη ως επιπρόσθετο πεδίο στα μηνύματα δρομολόγησης που προκαλεί μόνο του το ίδιο το πρωτόκολλο δρομολόγησης. Με αυτό τον τρόπο κάθε κόμβος γνώριζε την κλάση στην οποία ανήκε κάθε άλλος κόμβος του δικτύου και κατά συνέπεια μπορούσε να την εκμεταλλευτεί για να περιορίσει τη μετάδοση των πακέτων ερωτήσεων στους κατάλληλους μόνο κόμβους. Μεταξύ της cross-layer τεχνικής και της μεθόδου της πλημμύρας, παρουσιάστηκε ένας ενδιάμεσος μηχανισμός, ο οποίος αντιμετώπισε μόνο το πρόβλημα των άσκοπων εκπομπών που προκαλούσε η παραδοσιακή μέθοδος της πλημμύρας βελτιώνοντας αρκετά τη δρομολόγηση των ερωτήσεων. Το τελευταίο επιτεύχθηκε με την ομαδοποίηση των κόμβων-προορισμών με βάση τον επόμενο (NH) από τον αρχικό κόμβο στον οποίο πρέπει να προωθηθεί η ερώτηση ώστε να καταλήξει στους τελευταίους. Έτσι, για τους κόμβους-προορισμούς που είχαν το ίδιο NH

προωθούνταν ένα πακέτο ερώτησης. Την ίδια τεχνική χρησιμοποίησε και η προτεινόμενη λύση στη φάση της δημιουργίας των πακέτων ερωτήσεων. Για την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας, της αποδοτικότητας και της επιβάρυνσης που επιφέρει στο δίκτυο ο προτεινόμενος μηχανισμός σε σχέση με τις άλλες δύο μεθόδους πραγματοποιήθηκε μια σειρά πειραμάτων. Τα τελευταία εκτελέστηκαν σε δύο διαφορετικά είδη δικτύων, τα ad hoc και τα mesh δίκτυα. Σκοπός ήταν να αποδειχτεί η καταλληλότητα της προτεινόμενης cross-layer τεχνικής και στα δύο τελευταία είδη δικτύων. Τέλος, χρησιμοποιήθηκαν τρεις αλγόριθμοι για την κίνηση των κόμβων και δύο διαφορετικές περιοχές κίνησης.

Για την εκτίμηση της αποτελεσματικότητας του δικτύου χρησιμοποιήθηκαν οι μετρικές που αφορούν στο ποσοστό επιτυχούς μετάδοσης δεδομένων (Data Delivery Ratio), το μέσο αριθμό των απαντήσεων που στάλθηκαν για μία συγκεκριμένη ερώτηση (Discovered Replies per Query) και το μέσο αριθμό των απαντήσεων που παραδόθηκαν για μία ερώτηση (Delivered Replies per Query). Όσον αφορά στην εκτίμηση της αποδοτικότητας του δικτύου χρησιμοποιήθηκαν οι μετρικές που αναφέρονται στο μέσο χρόνο που απαιτείται μέχρι να λάβει κάποιος κόμβος την πρώτη απάντηση σε μία συγκεκριμένη ερώτηση (Response Time), στο μέσο χρόνο που απαιτείται μέχρι να λάβει την τελευταία απάντηση (Completion Time), στο μέσο χρόνο που απαιτείται για τη μετάδοση ενός πακέτου δεδομένων στο δίκτυο (Data Mean Delay), στο μέσο χρόνο που απαιτείται μέχρι ο κόμβος να λάβει κάθε απάντηση σε μία ερώτηση (Progressive Arrival Time). Τέλος η επιβάρυνση του δικτύου κατά την προώθηση μιας ερώτησης διαπιστώνεται από την μετρική (Query Overhead) και από το μέσο αριθμό των αλμάτων που ακολουθεί ένα πακέτο απάντησης μέχρι να φτάσει στον προορισμό του (Data Mean Number of Hops).

Η ανάλυση των αποτελεσμάτων αναπτύχθηκε ξεχωριστά για τα δύο είδη δικτύων. Η τελευταία απέδειξε ότι όλοι οι αλγόριθμοι κίνησης και οι περιοχές όπου κινούνταν οι κόμβοι επηρεάζουν με τον ίδιο τρόπο τη σχέση μεταξύ των τριών συγκρινόμενων μεθόδων δρομολόγησης. Έτσι, όσον αφορά στα ad hoc δίκτυα, η προτεινόμενη λύση επιτυγχάνει μεγαλύτερο ποσοστό μετάδοσης δεδομένων σε σχέση με τις άλλες δύο συγκρινόμενες μεθόδους. Το τελευταίο είναι αρκετά σημαντικό γιατί αποδεικνύει την καλή ιδιότητα κλιμάκωσης της cross-layer τεχνικής. Όταν ο λόγος γίνεται για το μέσο

αριθμό των απαντήσεων που στάλθηκαν και παραδόθηκαν για μία ερώτηση, η αποτελεσματικότητα του προτεινόμενου μηχανισμού πλησιάζει αρκετά εκείνη της μεθόδου της πλημμύρας, χωρίς να υπάρχουν σημαντικές απώλειες. Επίσης, η προτεινόμενη λύση κρίθηκε αναμφίβολα η πιο αποδοτική λαμβάνοντας υπόψη τις μετρικές που αναφέρονται στους μέσους χρόνους, αφού καταφέρνει να τους μειώσει σημαντικά σε σχέση με την εξαντλητική μέθοδο της πλημμύρας. Τέλος, η cross-layer τεχνική επιφέρει τη μικρότερη επιβάρυνση κατά την προώθηση μιας ερώτησης στο δίκτυο σε σχέση με τις άλλες δύο μεθόδους. Το γεγονός αυτό αποδεικνύει για άλλη μία φορά την καλή ιδιότητα κλιμάκωσης που παρουσιάζει η cross-layer τεχνική. Για τα mesh δίκτυα αποδείχθηκαν όσα αναφέρθηκαν παραπάνω για τη σχέση μεταξύ των τριών συγκρινόμενων μεθόδων, ωστόσο οι τελευταίες δεν αποδίδουν το ίδιο ικανοποιητικά σε αυτά όσο στα ad hoc δίκτυα για το λόγο ότι όλα τα αιτήματα-ερωτήσεις συγκεντρώνονται αρχικά πριν την προώθησή τους σε έναν κεντρικό κόμβο, το mesh router. Έτσι προκαλείται μεγαλύτερη επιβάρυνση στο δίκτυο.

5.2. Μελλοντικές Επεκτάσεις

Όπως, αναφέρθηκε σε προηγούμενα κεφάλαια, σκοπός της εργασίας ήταν η χρησιμοποίηση και η επέκταση των ήδη υπαρχόντων πρωτοκόλλων δρομολόγησης για την υλοποίηση του προτεινόμενου μηχανισμού. Για την ανάπτυξη της προτεινόμενης cross-layer τεχνικής τροποποιήθηκε ένα συγκεκριμένο πρωτόκολλο δρομολόγησης που ανήκει στην κατηγορία των proactive πρωτοκόλλων. Ενδιαφέρον θα παρουσίαζε η εφαρμογή της προτεινόμενης λύσης και σε κάποιο άλλο πρωτόκολλο της κατηγορίας αυτής και η αξιολόγησή της με την εκτέλεση της ίδιας σειράς πειραμάτων.

Επίσης, μία ακόμα ενδιαφέρουσα μελλοντική εργασία θα μπορούσε να αποτελέσει η προσομοίωση της συγκέντρωσης των διαφόρων ζητούμενων πληροφοριών από τη βάση δεδομένων κάθε κόμβου και η μετατροπή κάθε ερώτησης, που έχει τη μορφή μιας SQL εντολής, στο πακέτο ερώτησης που προωθείται μέσω του πρωτοκόλλου.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [AbWD03] M. Abolhasan, T. Wysocki, E. Dutkiewicz. A review of routing protocols for mobile ad hoc networks. *Ad Hoc Networks* 2 (2004), 1-22.
- [ACKM04] G. Alonso, F. Casati, H. Kuno, V. Machiraju. *Web Services concepts, architecture and applications* Springer, 2004.
- [AkYo05] K. Akkaya and M. F. Younis. “A survey on routing protocols for wireless sensor networks”. *Ad Hoc Networks*, 3(3), 325-349, 2005.
- [AkWW05] Ian F. Akyildiz, Xudong Wang, Weilin Wang. Wireless mesh networks: a survey. *Computer Networks* 47 (2005), 445-487.
- [Barb99] D. Barbara. *Mobile Computing and Databases-A Survey*. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*. 11(1), January/February, 1999.
- [BaSH04] Mobility Generator Tool website: <http://nile.usc.edu/important>.
- [BeGa87] D. Bertsekas, R. Gallager. *Data Networks*. Pages 297-333. Prentice-Hall, Inc., 1987.
- [ChCL03] I. Chlamtac, M. Conti, J. J.-N. Liu. Mobile ad hoc networking: imperatives and challenges. *Ad Hoc Networks* 1 (2003), 13-64.
- [ChSN02] K. Chen, S. H. Shah, K. Nahrstedt. Cross-Layer Design for Data Accessibility in Mobile Ad Hoc Networks. *Journal of Wireless Personal Communications*, 21(2), 49-76, 2002.
- [FaVa01] K. Fall and K. Varadhan. “The ns manual”. VINT Project, Univ. California, Berkeley, CA, 2001. [Online]. Available: <http://www.isi.edu/nsnam/ns/ns-documentation.html>
- [Foli06] Nikos Folinias. “Query Processing in Ad-Hoc P2P Networks”. MSc. Thesis, Computer Science Department, University of Ioannina, 2006. Available as technical report to www.cs.uoi.gr
- [Gnut06] Gnutella website: <http://gnutella.wego.com>.
- [HDVL03] S. Helal, N. Desai, V. Verma, C. Lee. Konark – A Service Discovery and Delivery Protocol for Ad Hoc Networks. *Proceedings of the Third IEEE Conference on Wireless Communication Networks (WCNC)*, New Orleans, March 2003.
- [HuDP04] Y. C. Hu, S. M. Das, H. Pucha. Peer-to-Peer Overlay Abstractions in MANETs. In *Theoretical and Algorithmic Aspects of Sensor*, CRC Press, 2004.
- [HuDP03] Y. C. Hu, S. M. Das, H. Pucha. Exploiting the Synergy between Peer-to-Peer and Mobile Ad Hoc Networks. In *Proceedings of HotOS-IX: Ninth Workshop on Hot Topics in Operating Systems*, May 18-21, 2003.

- [JeJo01] J. Jetcheva and D. B. Johnson. “Adaptive demand-driven multicast routing in multi-hop wireless ad hoc networks”. In *MobiHoc*, 2001, pp. 33-34.
- [KILW03] A. Klemm, C. Lindemann, O. P. Waldhorst. A Special-Purpose Peer-to-Peer File Sharing System for Mobile Ad Hoc Networks. Workshop on Mobile Ad Hoc Networking and Computing, in conjunction with *WiOpt’03*, 2003.
- [Koss00] D. Kossman. The State Of The Art in Distributed Query Processing. *ACM Computing Surveys*, 32(4), December 2000, 422-469.
- [Kreg01] Heather Kreger (IBM Software Group). Web Sevices Conceptual Architecture (WSCA 1.0). May 2001. Διαθέσιμο στη σελίδα: <http://www-900.ibm.com/developerworks/cn/webservices/ws-wsca/part1/index.shtml>.
- [LiLS04] M. Li, W-C Lee, A. Sivasubramaniam. Efficient peer to peer information sharing over mobile ad hoc networks. The Second WWW Workshop on Emerging Applications for Wireless and Mobile Access (*MobEA’04*), New York City, NY, May 2004, 6 pages.
- [Naps06] Napster website: <http://www.napster.com>.
- [Nuev02] Mobility Generator Tool website: <http://externe.emt.inrs.ca/users/nuevo/NSmobgenerator.htm>
- [PeBh94] C. E. Perkins, P. Bhagwat. Highly Dynamic Destination-Sequenced Distance-Vector Routing (DSDV) for Mobile Computers. In *ACM SIGCOMM’94 Conference on Communications Architectures*, London, UK, 1994.
- [PuDH04] H. Pucha, S. M. Das, Y. C. Hu. Ekta: An Efficient DHT Substrate for Distributed Applications in Mobile Ad Hoc Networks. In *Proceedings of the 6th IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications (WMCSA 2004)*, English Lake District, UK, December 2-3, 2004.
- [RoBT99] M. Royer, S. Barbara, C.-K. Toh. A Review of Current Routing Protocols for Ad Hoc Mobile Wireless Networks. *IEEE Personal Communications*, April, 1999.
- [Tane00] A. S. Tanenbaum. *Computer Networks*, 3d Edition Prentice-Hall, Inc.
- [W3C03] W3C. Web Services Description Language (WSDL) Version 2.0. W3C Working Draft. November 2003. Διαθέσιμο στη σελίδα <http://www.w3.org/TR/wsd120/>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Το συγκεκριμένο κομμάτι της διατριβής συγκεντρώνει κάποια από τα αποτελέσματα των πειραμάτων. Η δομή που ακολουθούν τα σχήματα περιγράφεται με την εξής λίστα:

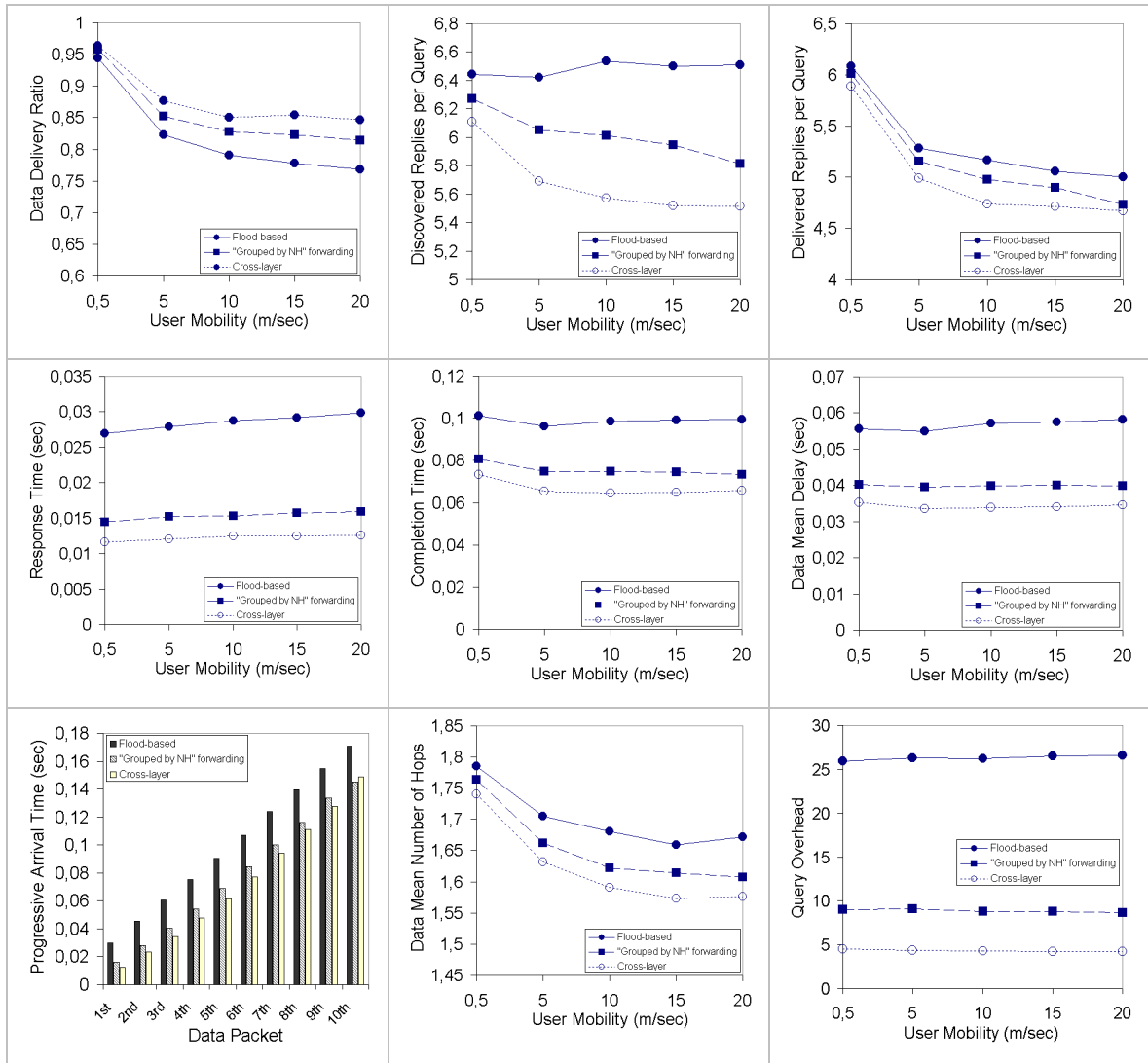
Ad hoc / Mesh

- μεταβολή της κινητικότητας των κόμβων
 - περιοχή κίνησης 1500x300 m²
 - Manhattan Mobility Model
 - Random Direction Mobility Model
 - περιοχή κίνησης 700x700 m²
 - Random Waypoint Mobility Model
 - Manhattan Mobility Model
 - Random Direction Mobility Model
- μεταβολή του αριθμού των κλάσεων
- μεταβολή του αριθμού των κόμβων
- μεταβολή του αριθμού των ερωτώντων κόμβων
- μεταβολή του ρυθμού δημιουργίας ερωτήσεων
- μεταβολή του μεγίστου αριθμού βημάτων προώθησης μιας ερώτησης

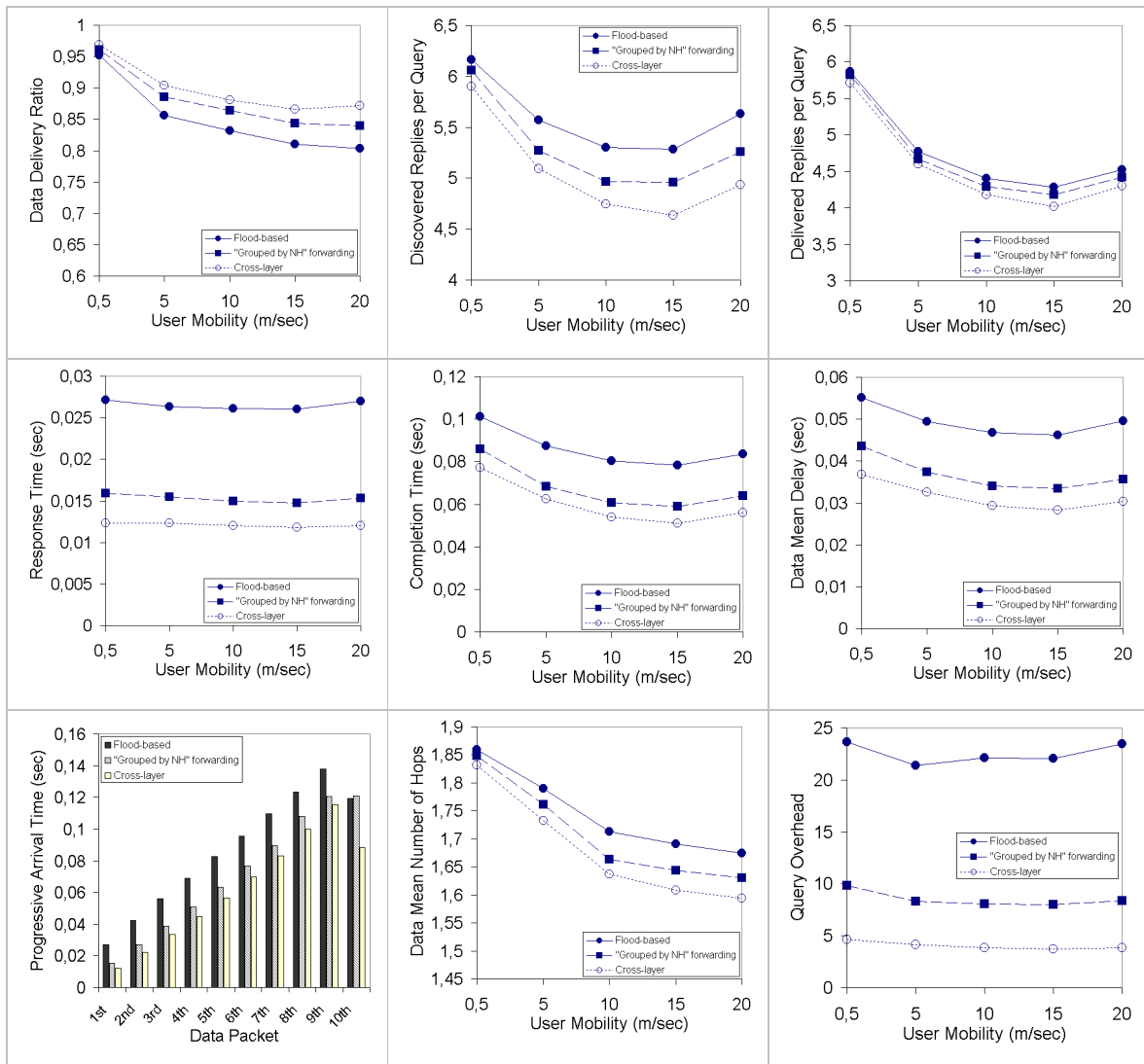
Σύμφωνα με την παραπάνω λίστα υπάρχει μια ομάδα σχημάτων που αφορούν στα ad hoc δίκτυα. Για κάθε μεταβολή της παραμέτρου ακολουθούν τα σχήματα που αναφέρονται στα αποτελέσματα των πειραμάτων στις δύο περιοχές κίνησης. Για την ορθογώνια περιοχή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν με την εφαρμογή δύο αλγορίθμων κίνησης, ενώ για την τετράγωνη περιοχή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που αφορούν και στους τρεις αλγορίθμους κίνησης. Τα αποτελέσματα με την εφαρμογή του αλγορίθμου Random Waypoint στην περιοχή κίνησης 1500x300 m² παρουσιάζονται στο τέταρτο κεφάλαιο. Τέλος, ακολουθεί μία

ακόμα ομάδα αποτελεσμάτων που αφορούν στα mesh δίκτυα και παρουσιάζεται με την παραπάνω δομή.

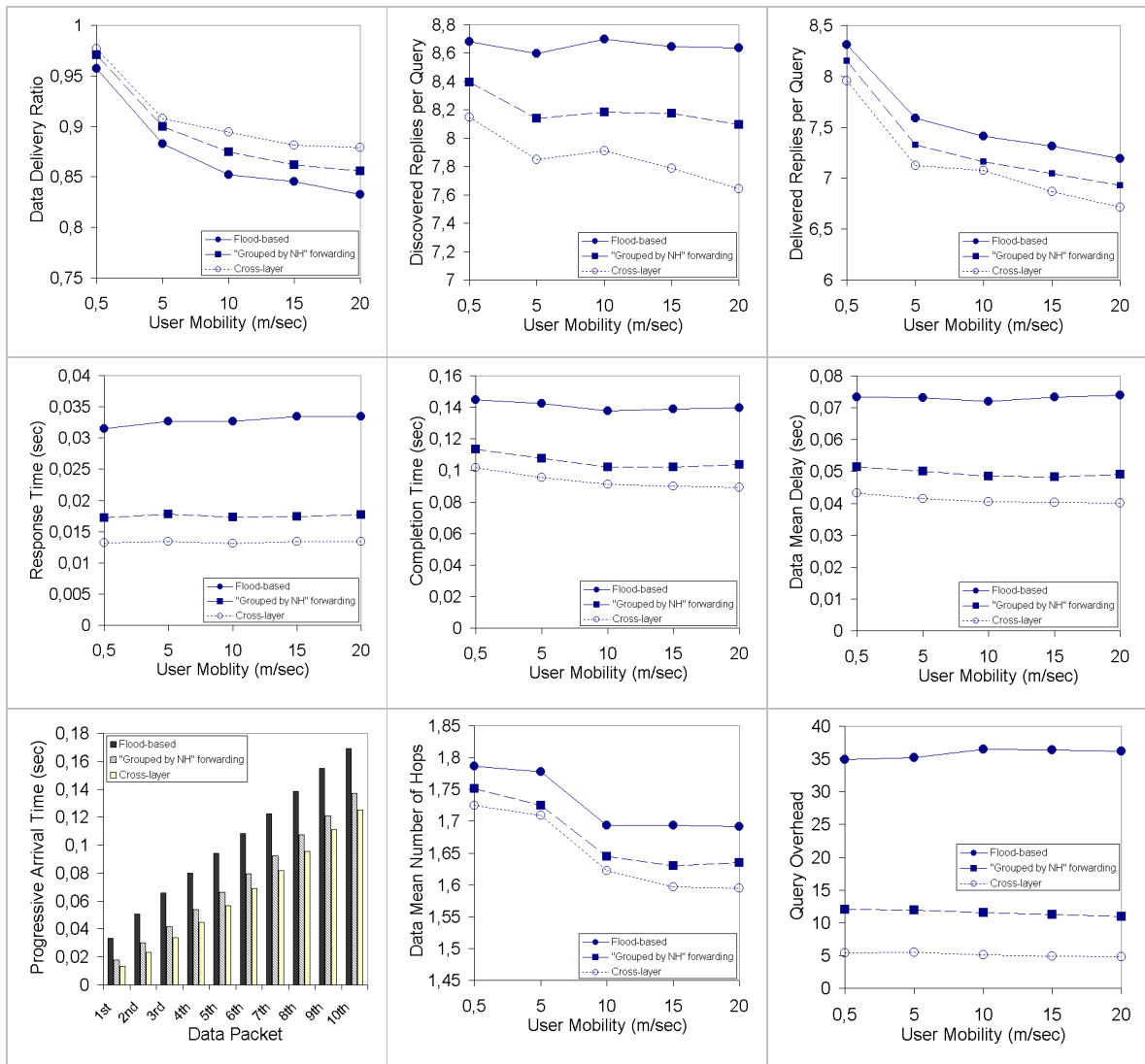
Ad hoc δίκτυα



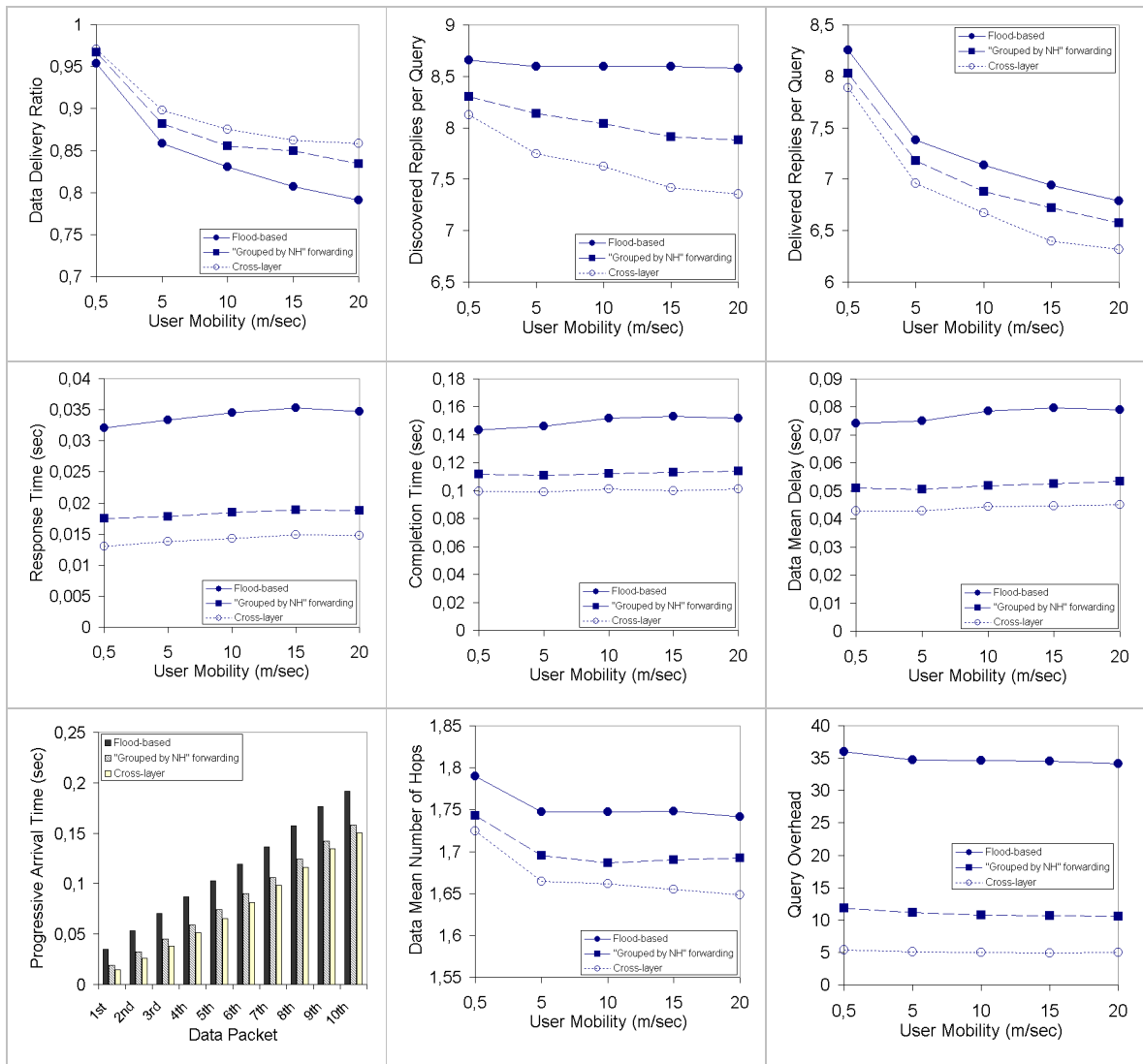
Σχήμα Π.1 Μεταβολή της Κινητικότητας των Κόμβων Χρησιμοποιώντας το Manhattan Mobility Model σε Περιοχή Κίνησης 1500x300 m² (ad hoc)



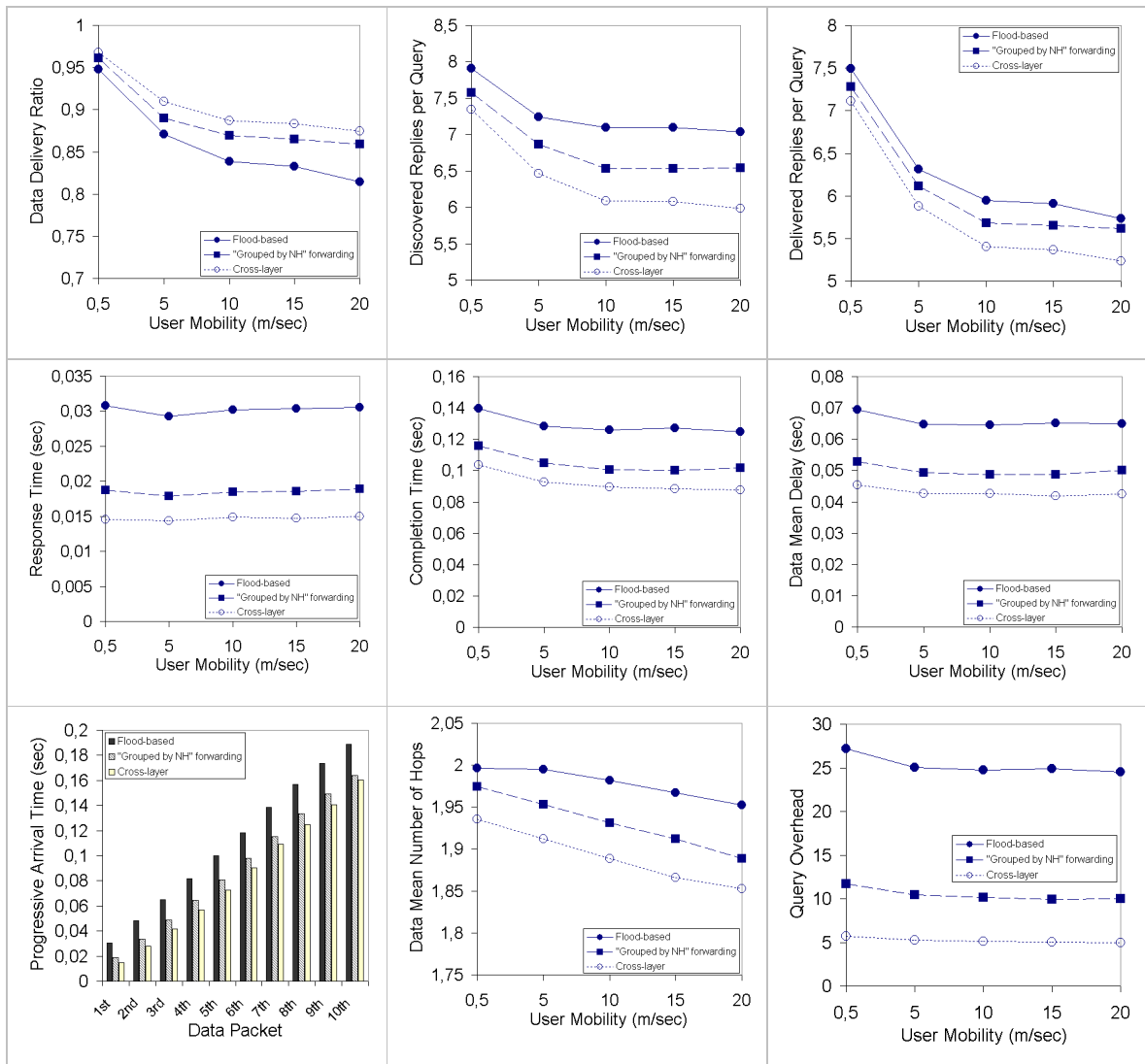
Σχήμα Π.2 Μεταβολή της Κινητικότητας των Κόμβων Χρησιμοποιώντας το Random Direction Mobility Model σε Περιοχή Κίνησης 1500x300 m² (ad hoc)



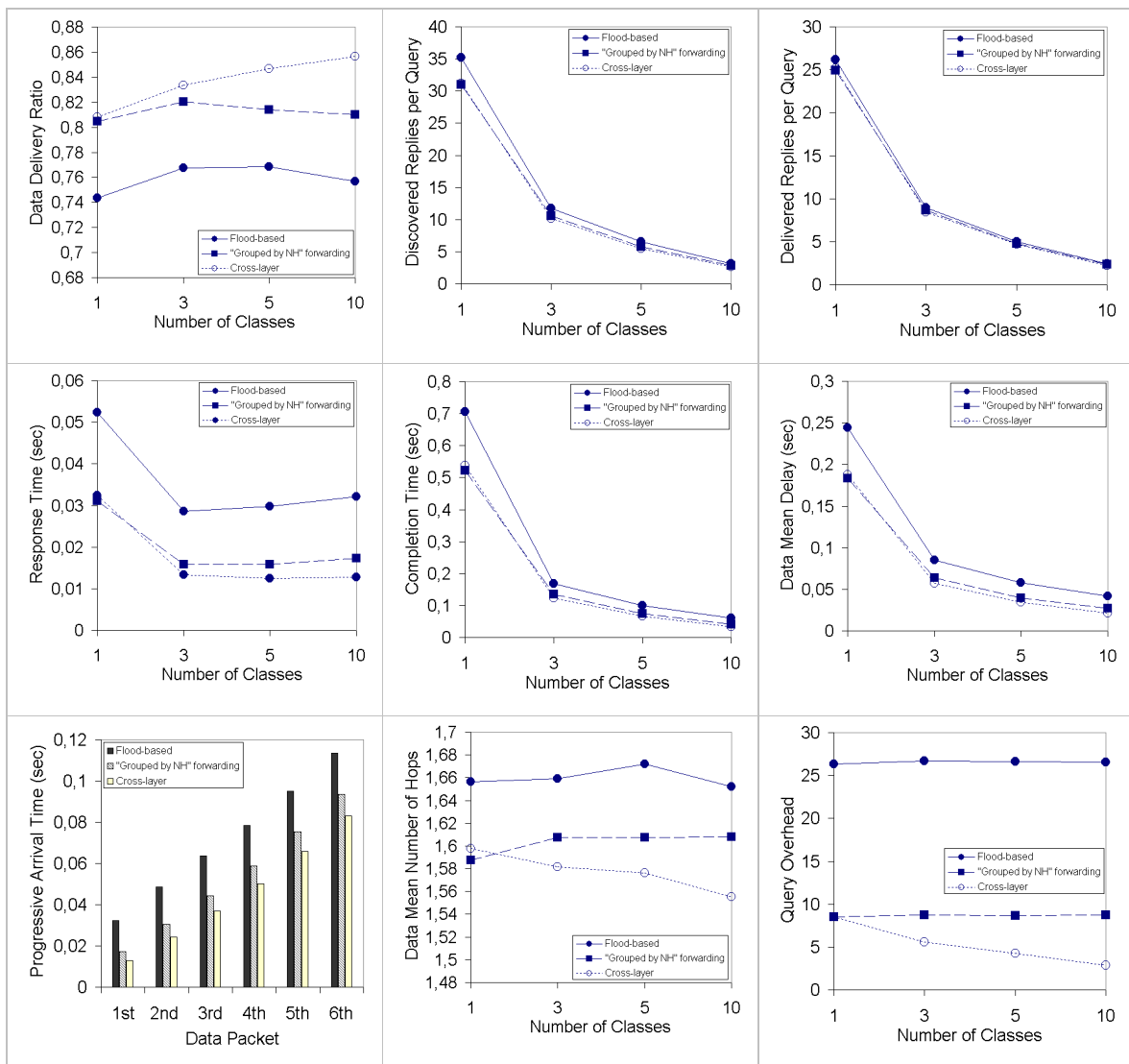
Σχήμα Π.3 Μεταβολή της Κινητικότητας των Κόμβων Χρησιμοποιώντας το Random Waypoint Algorithm σε Περιοχή Κίνησης 700x700 m² (ad hoc)



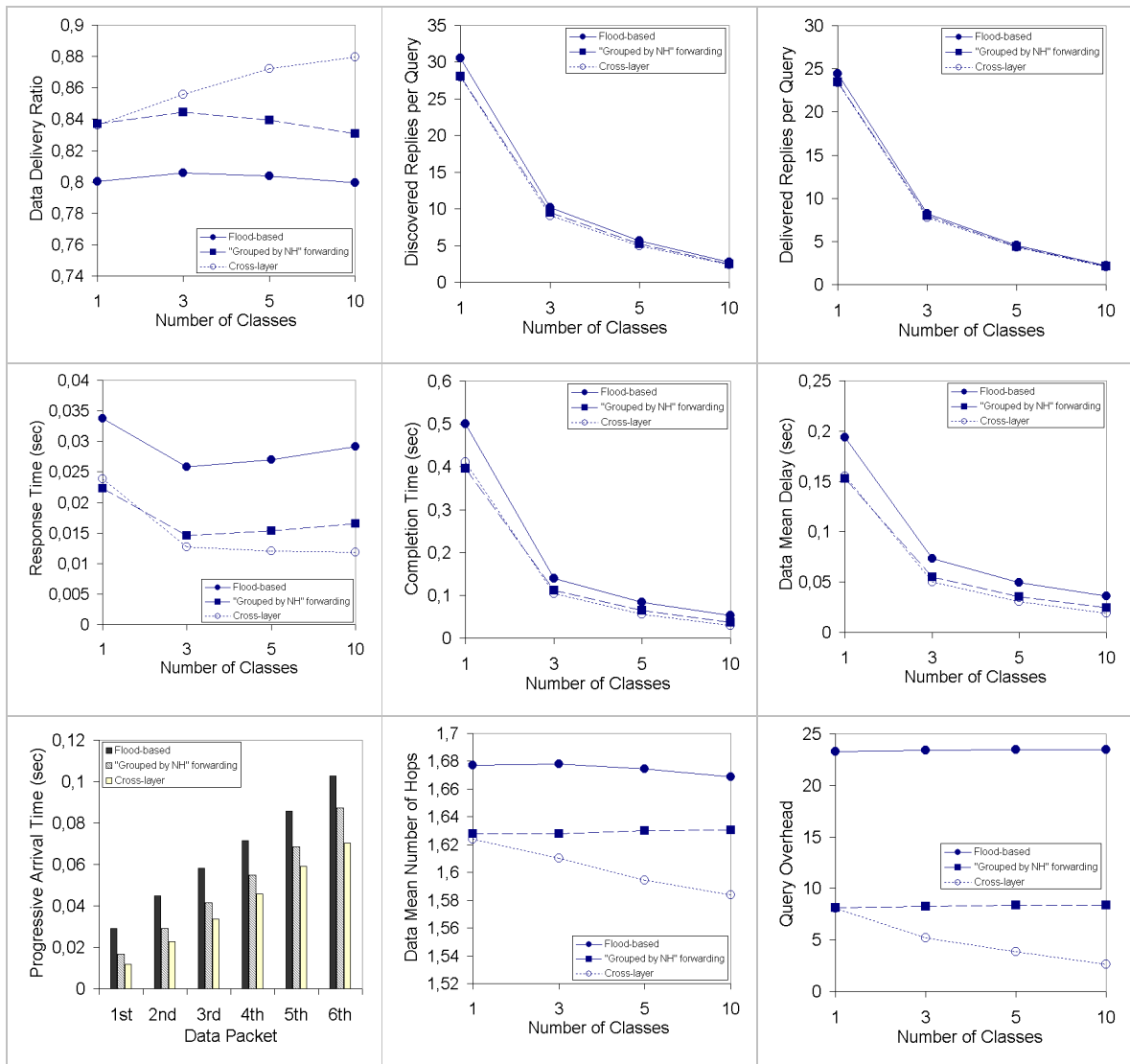
Σχήμα Π.4 Μεταβολή της Κινητικότητας των Κόμβων Χρησιμοποιώντας το Manhattan Mobility Model σε Περιοχή Κίνησης $700 \times 700 \text{ m}^2$



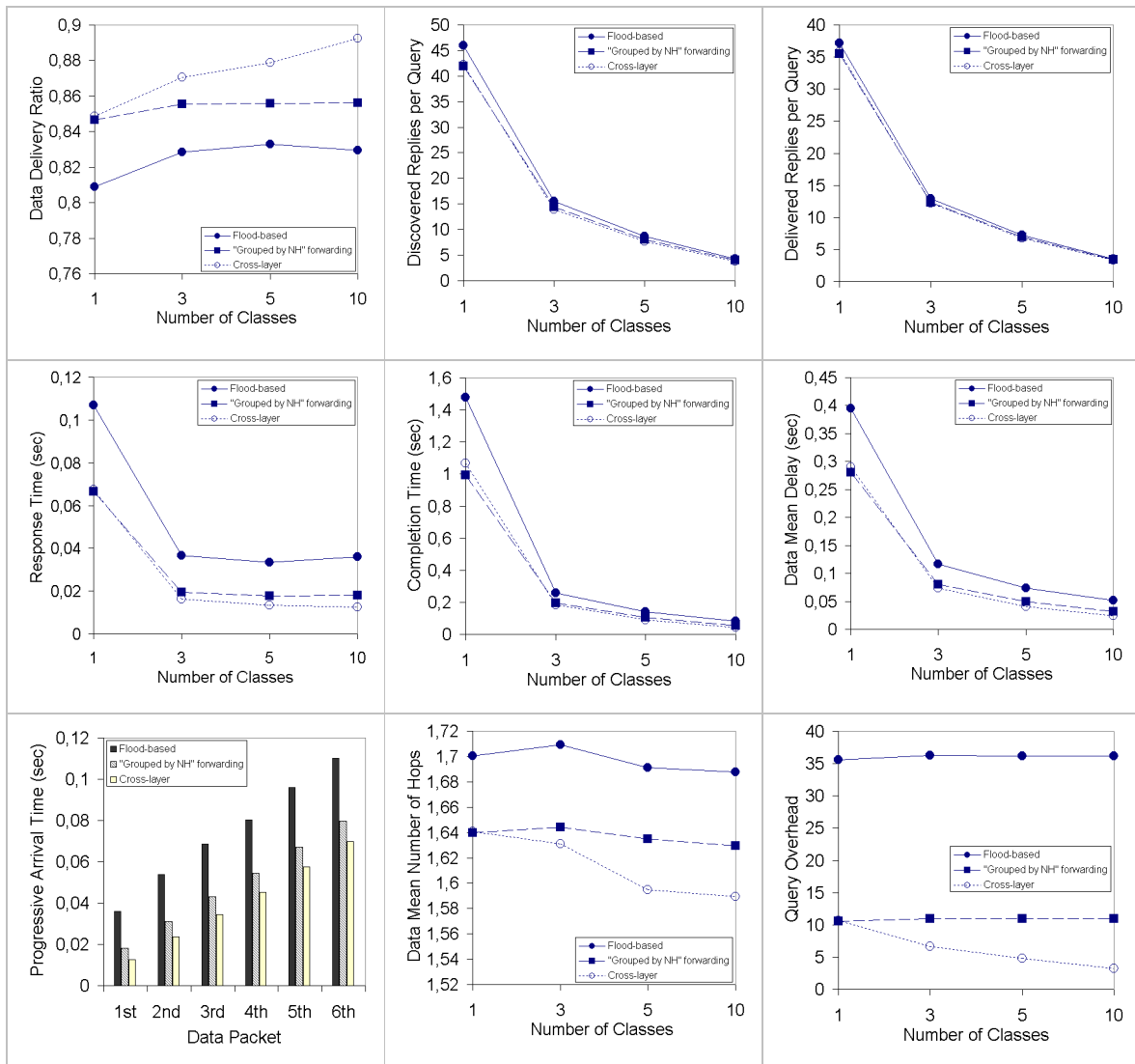
Σχήμα Π.5 Μεταβολή της Κινητικότητας των Κόμβων Χρησιμοποιώντας το Random Direction Mobility Model σε Περιοχή Κίνησης 700x700 m² (ad hoc)



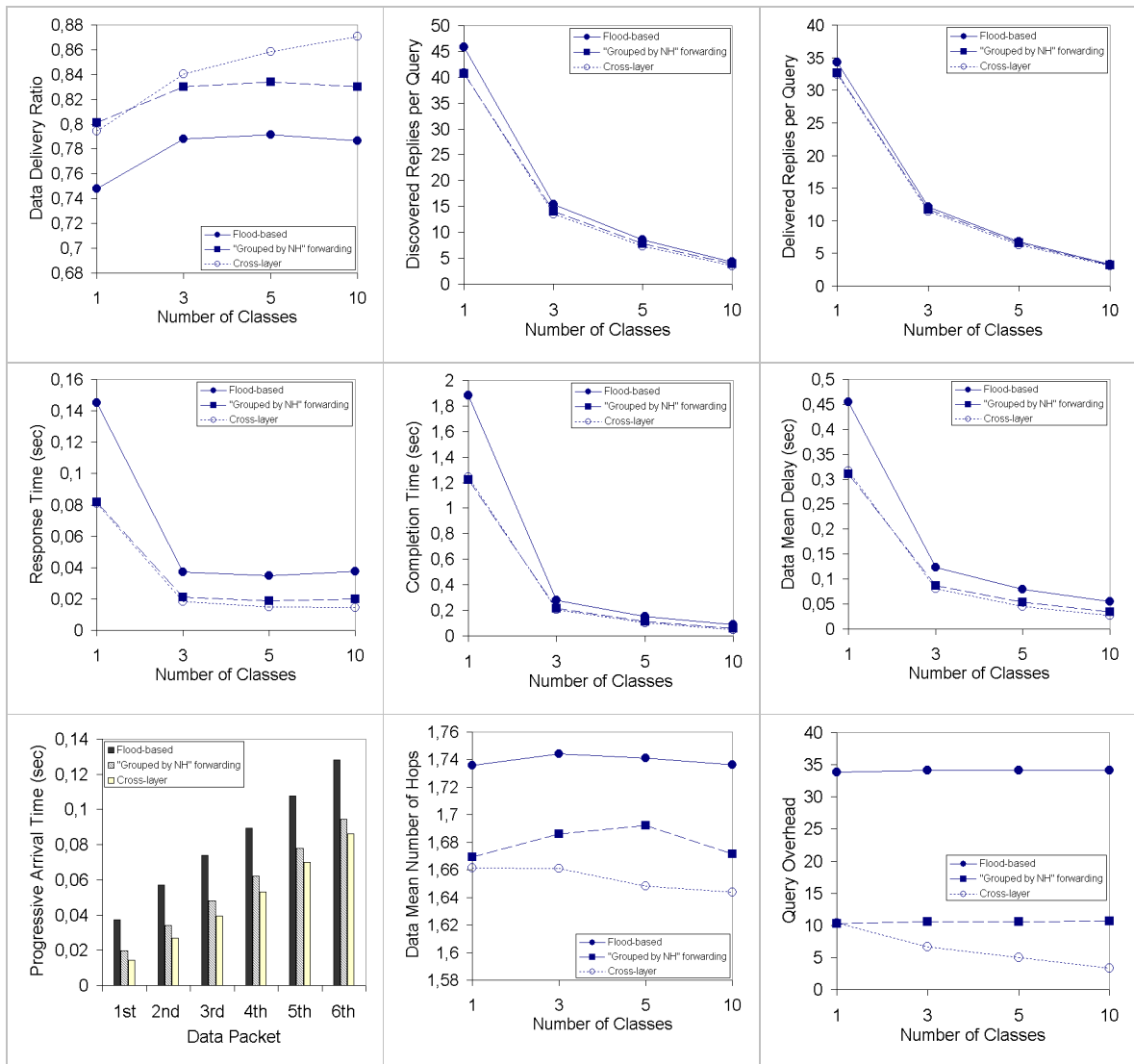
Σχήμα Π.6 Μεταβολή του Αριθμού των Κλάσεων Χρησιμοποιώντας το Manhattan Mobility Model σε Περιοχή Κίνησης 1500x300 m² (ad hoc)



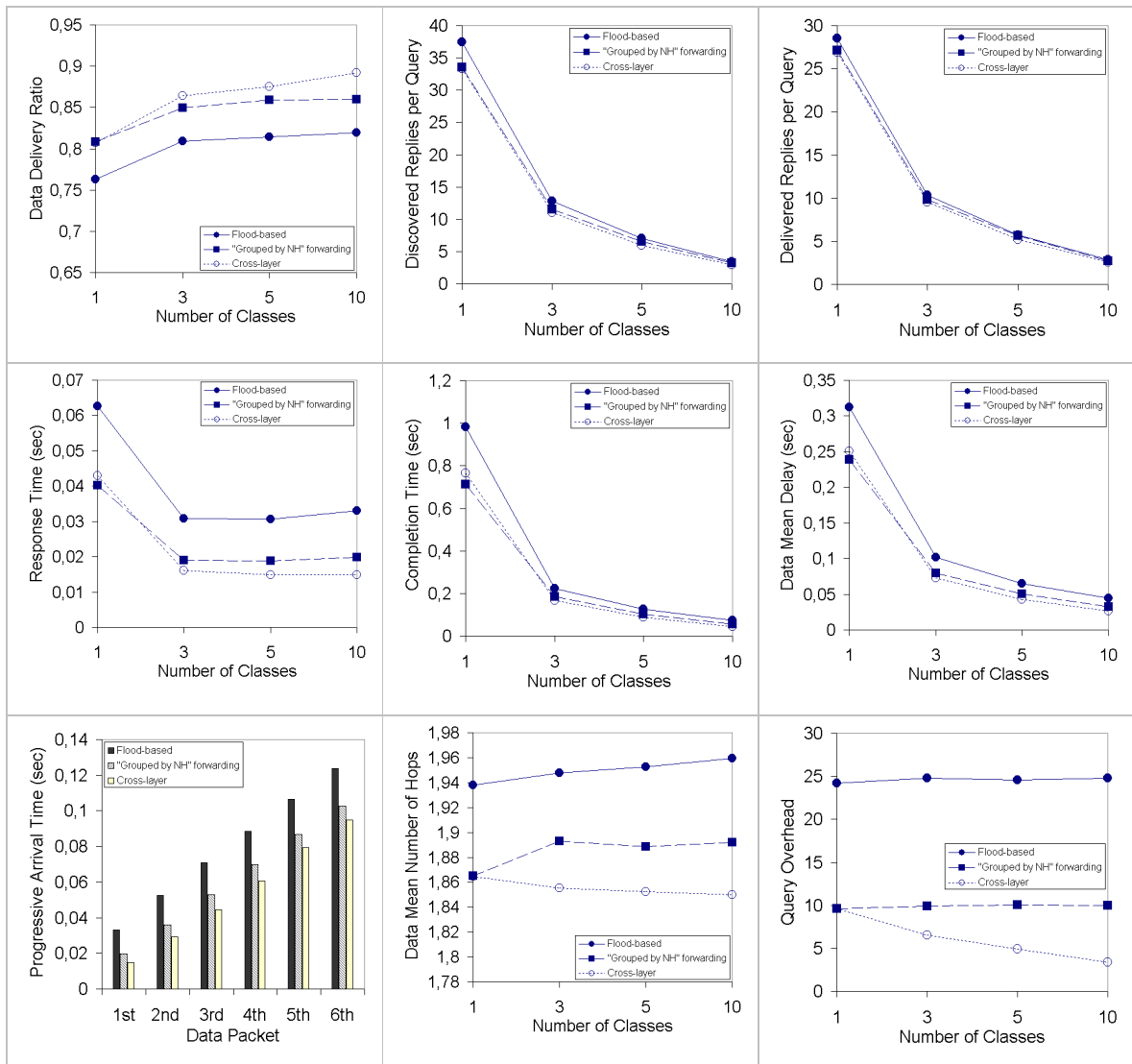
Σχήμα Π.7 Μεταβολή του Αριθμού των Κλάσεων Χρησιμοποιώντας το Random Direction Mobility Model σε Περιοχή Κίνησης 1500x300 m² (ad hoc)



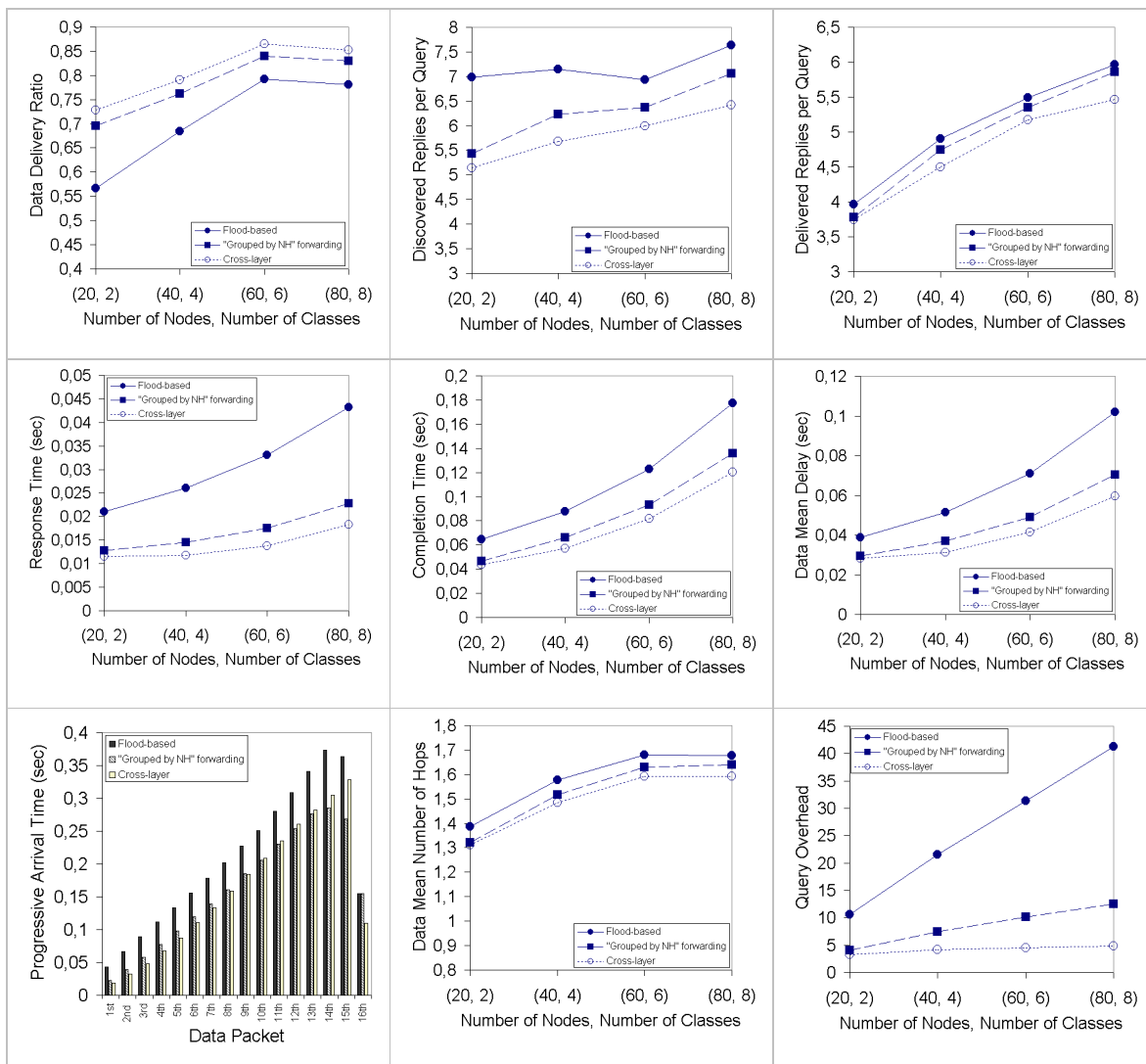
Σχήμα Π.8 Μεταβολή του Αριθμού των Κλάσεων Χρησιμοποιώντας το Random Waypoint Mobility Model σε Περιοχή Κίνησης 700x700 m² (ad hoc)



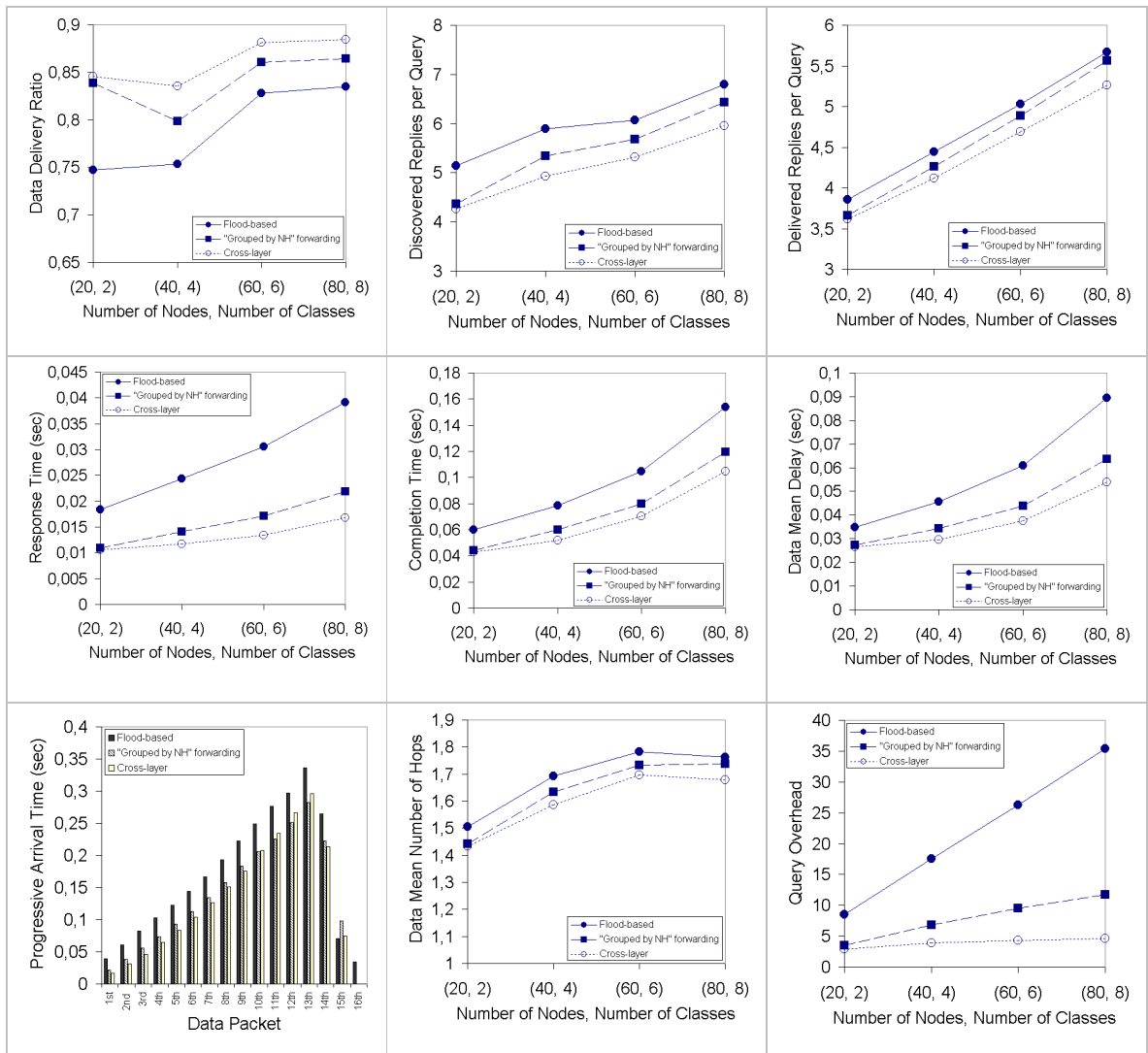
Σχήμα Π.9 Μεταβολή του Αριθμού των Κλάσεων Χρησιμοποιώντας το Manhattan Mobility Model σε Περιοχή Κίνησης 700x700 m² (ad hoc)



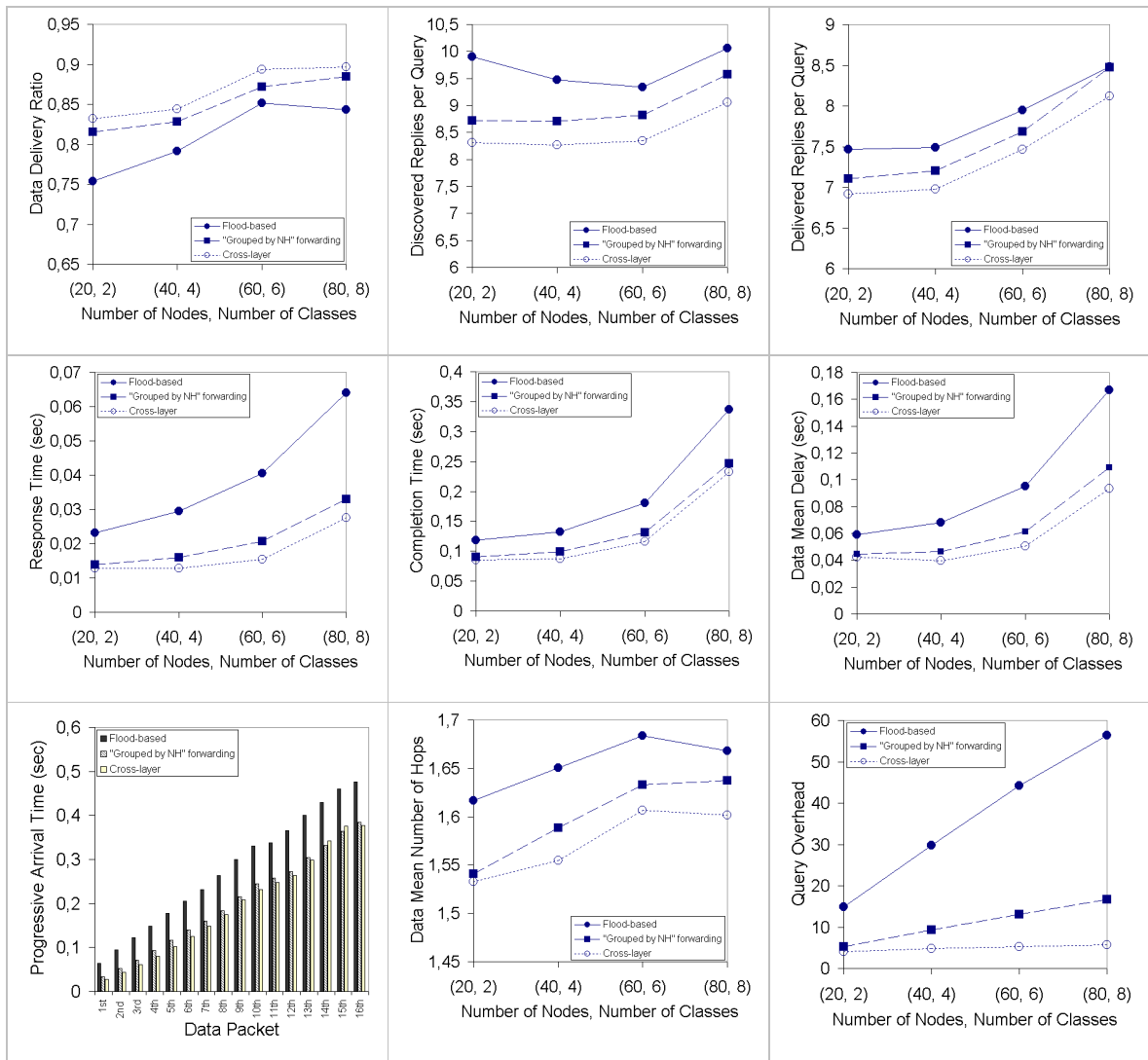
Σχήμα Π.10 Μεταβολή του Αριθμού των Κλάσεων Χρησιμοποιώντας το Random Direction Mobility Model σε Περιοχή Κίνησης 700x700 m² (ad hoc)



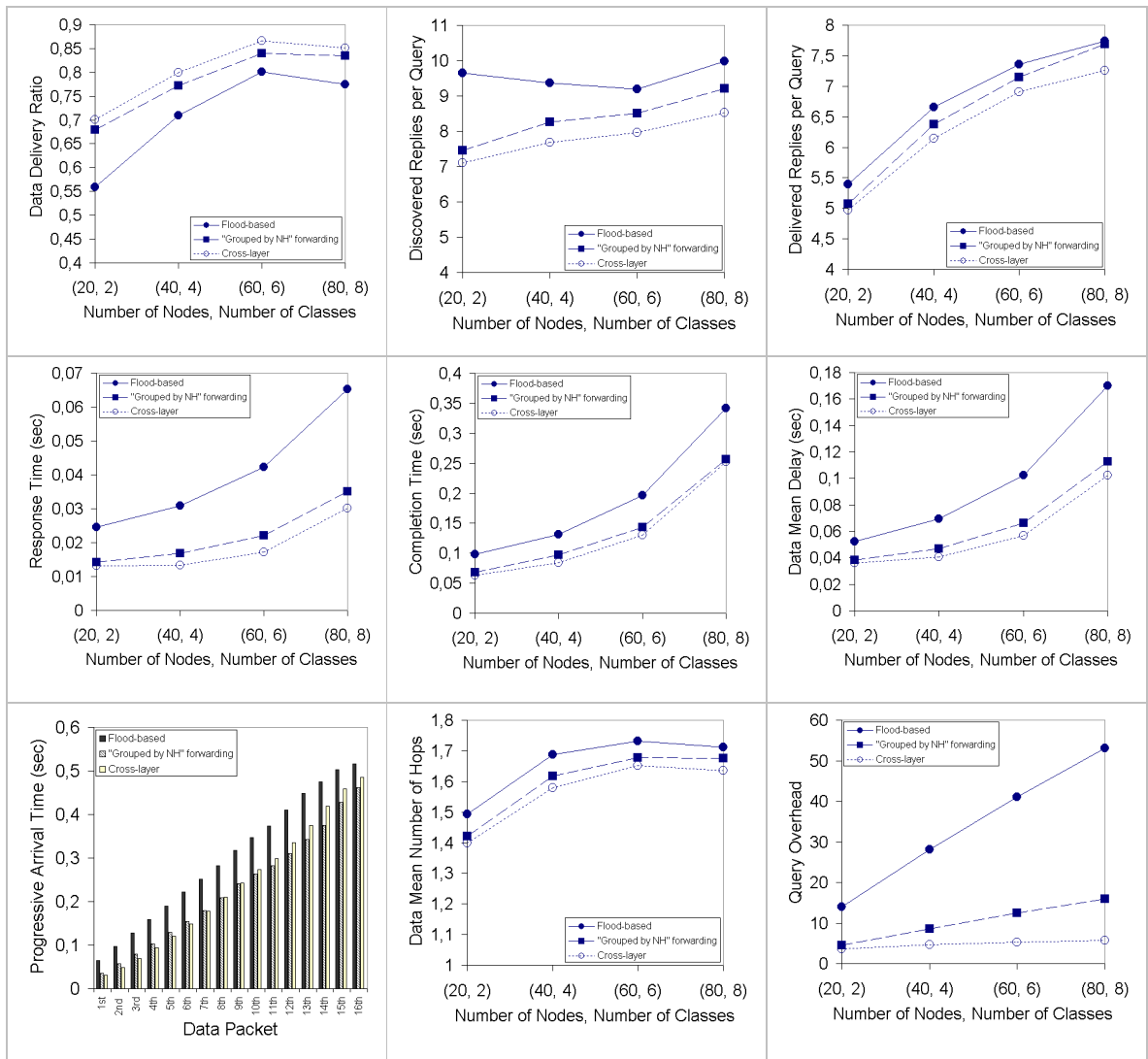
Σχήμα Π.11 Μεταβολή του Αριθμού των Κόμβων Χρησιμοποιώντας το Manhattan Mobility Model σε Περιοχή Κίνησης 1500x300 m² (ad hoc)



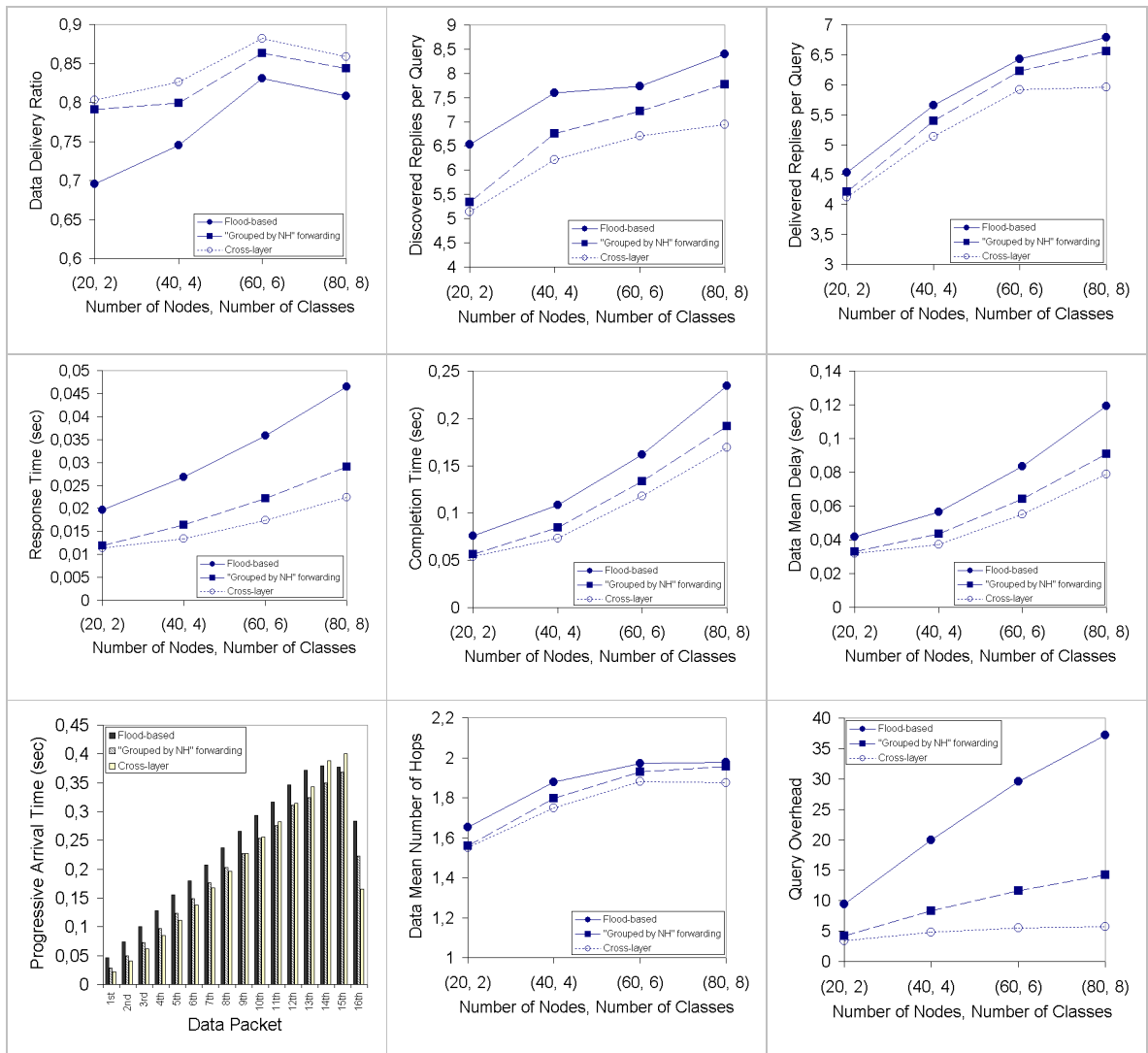
Σχήμα Π.12 Μεταβολή του Αριθμού των Κόμβων Χρησιμοποιώντας το Random Direction Mobility Model σε Περιοχή Κίνησης 1500x300 m² (ad hoc)



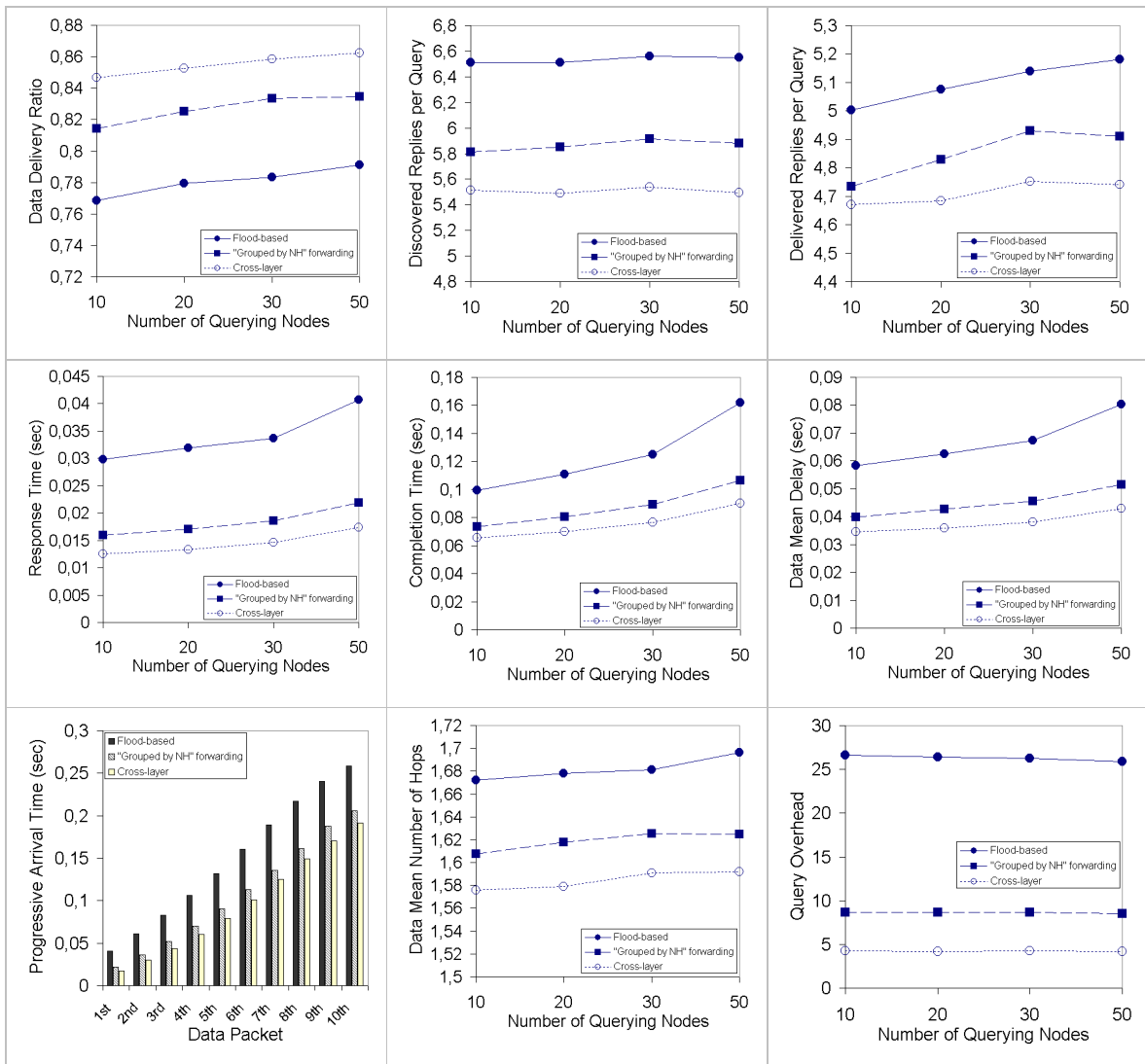
Σχήμα Π.13 Μεταβολή του Αριθμού των Κόμβων Χρησιμοποιώντας το Random Waypoint Mobility Model σε Περιοχή Κίνησης $700 \times 700 \text{ m}^2$ (ad hoc)



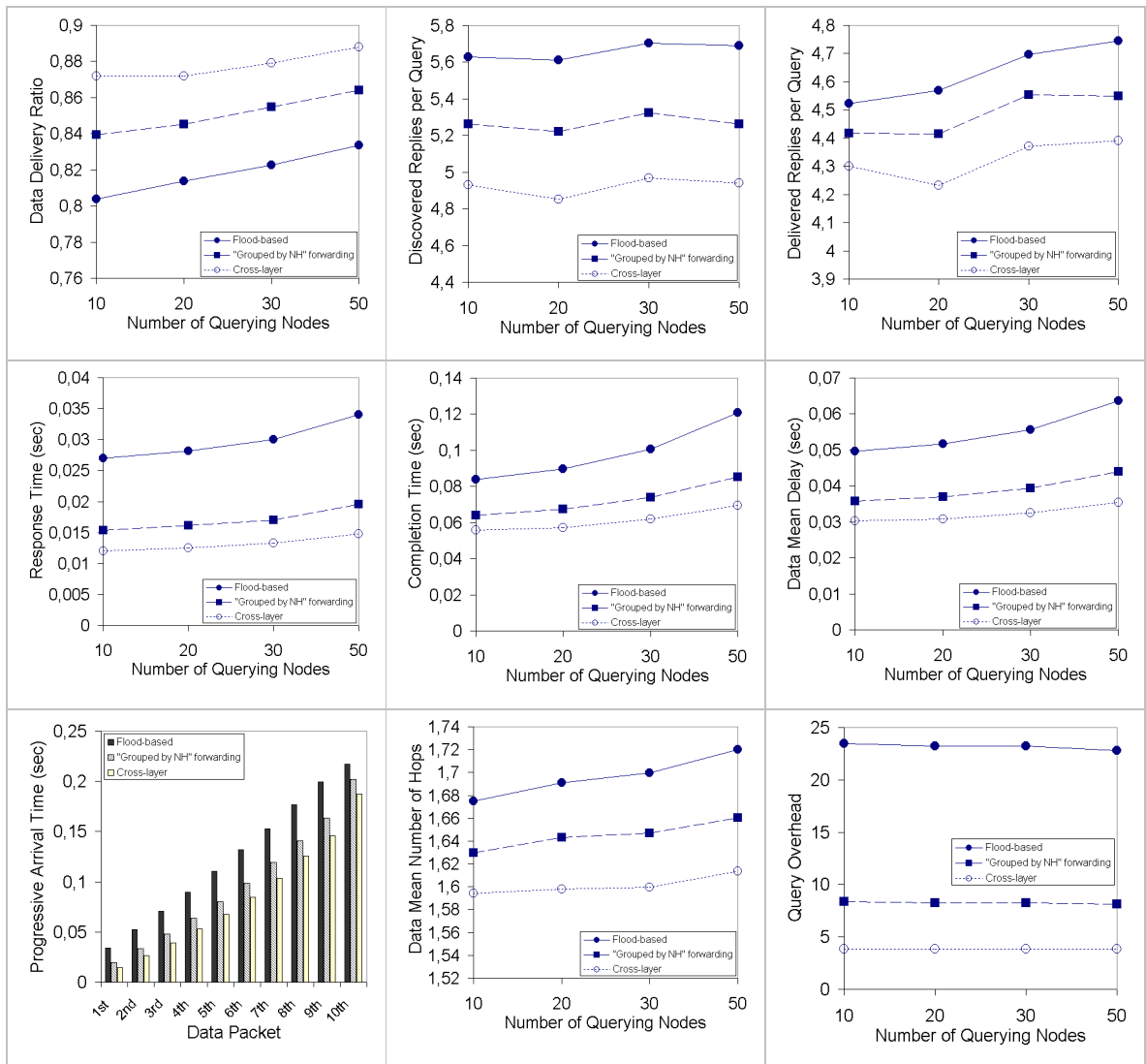
Σχήμα Π.14 Μεταβολή του Αριθμού των Κόμβων Χρησιμοποιώντας το Manhattan Mobility Model σε Περιοχή Κίνησης 700x700 m² (ad hoc)



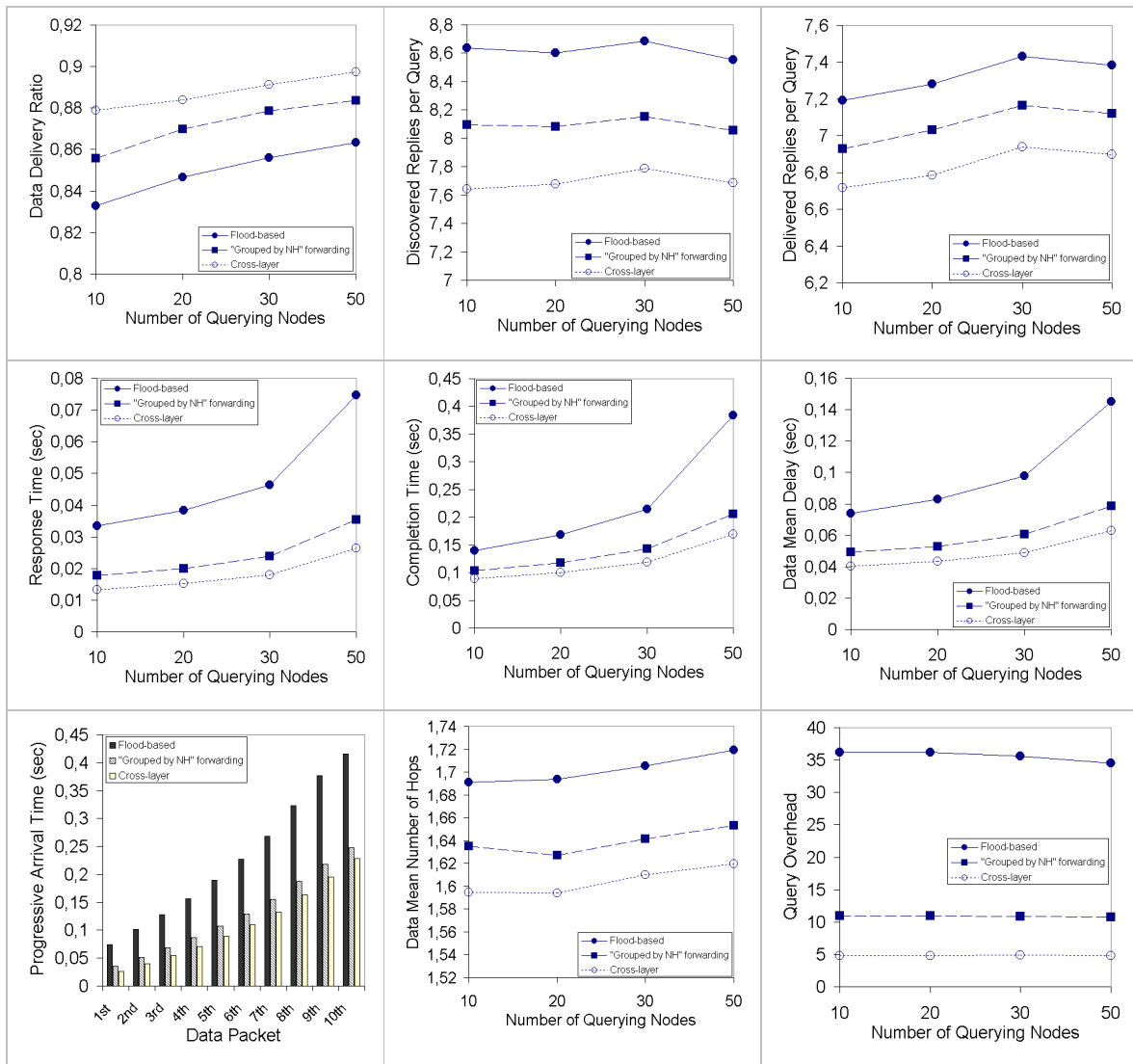
Σχήμα Π.15 Μεταβολή του Αριθμού των Κόμβων Χρησιμοποιώντας το Random Direction Mobility Model σε Περιοχή Κίνησης 700x700 m² (ad hoc)



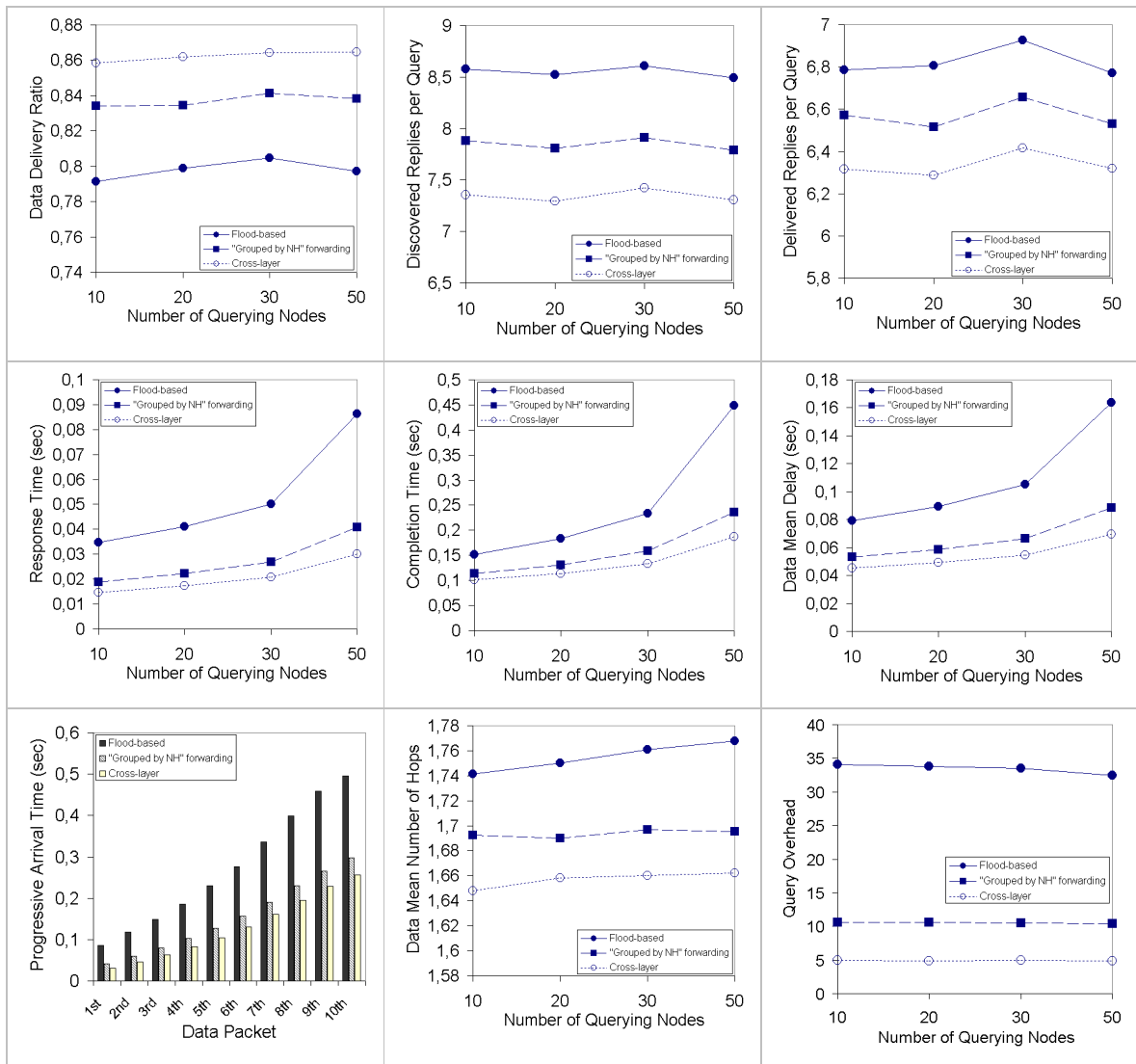
Σχήμα Π.16 Μεταβολή του Αριθμού των Ερωτώντων Κόμβων Χρησιμοποιώντας το Manhattan Mobility Model σε Περιοχή Κίνησης 1500x300 m² (ad hoc)



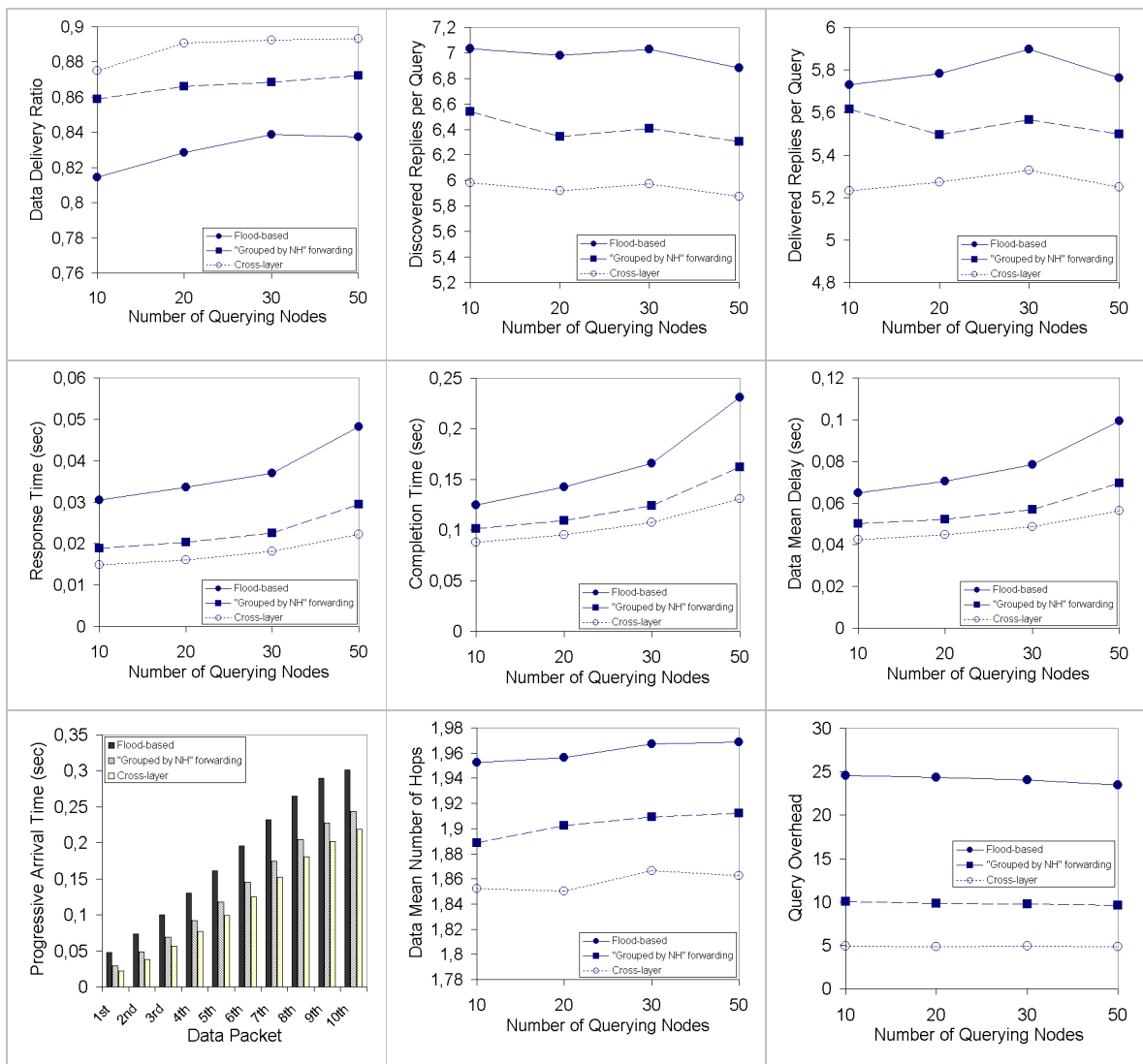
Σχήμα Π.17 Μεταβολή του Αριθμού των Ερωτώντων Κόμβων Χρησιμοποιώντας το Random Direction Mobility Model σε Περιοχή Κίνησης $1500 \times 300 \text{ m}^2$ (ad hoc)



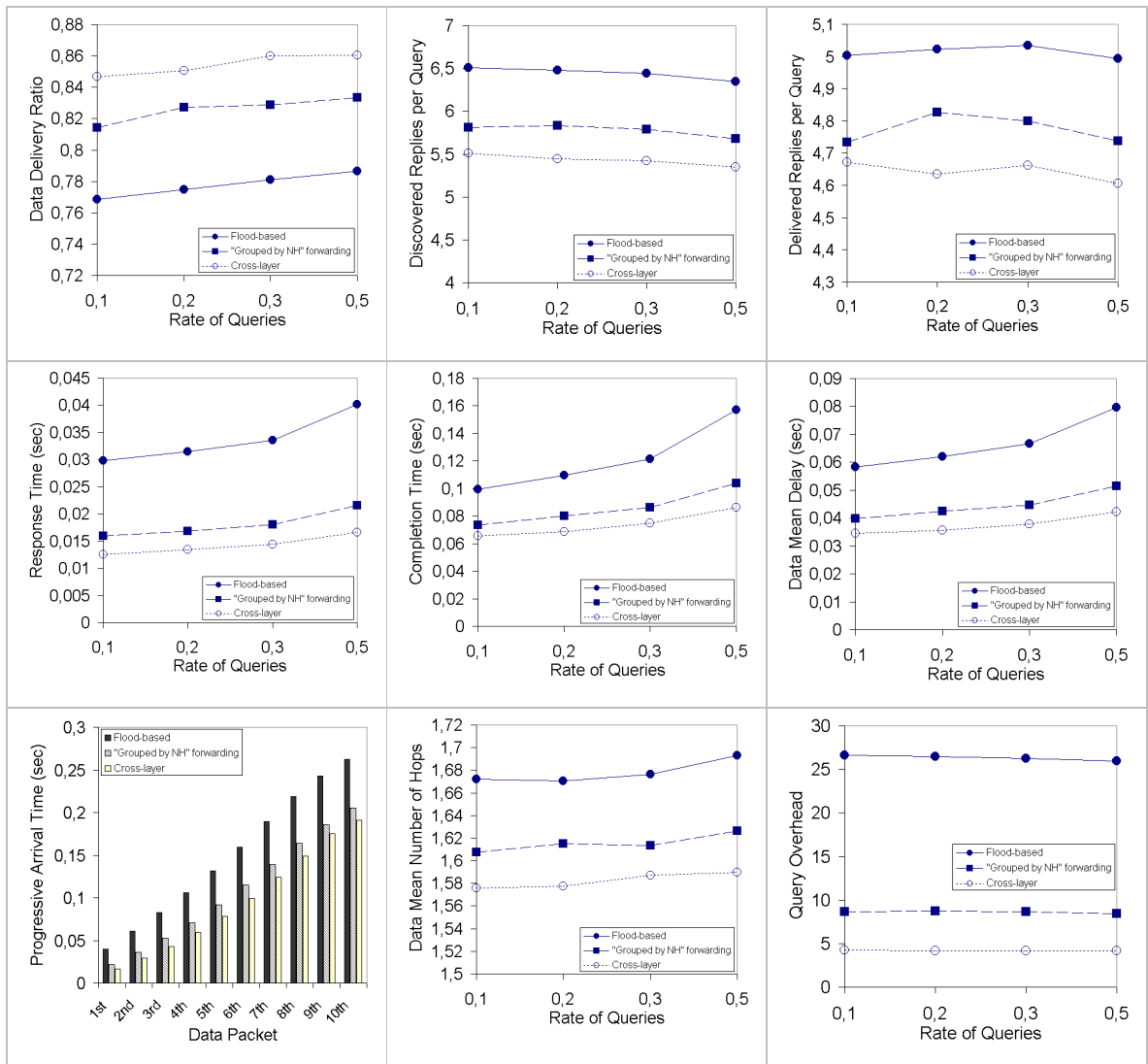
Σχήμα Π.18 Μεταβολή του Αριθμού των Ερωτώντων Κόμβων Χρησιμοποιώντας το Random Waypoint Mobility Model σε Περιοχή Κίνησης $700 \times 700 \text{ m}^2$ (ad hoc)



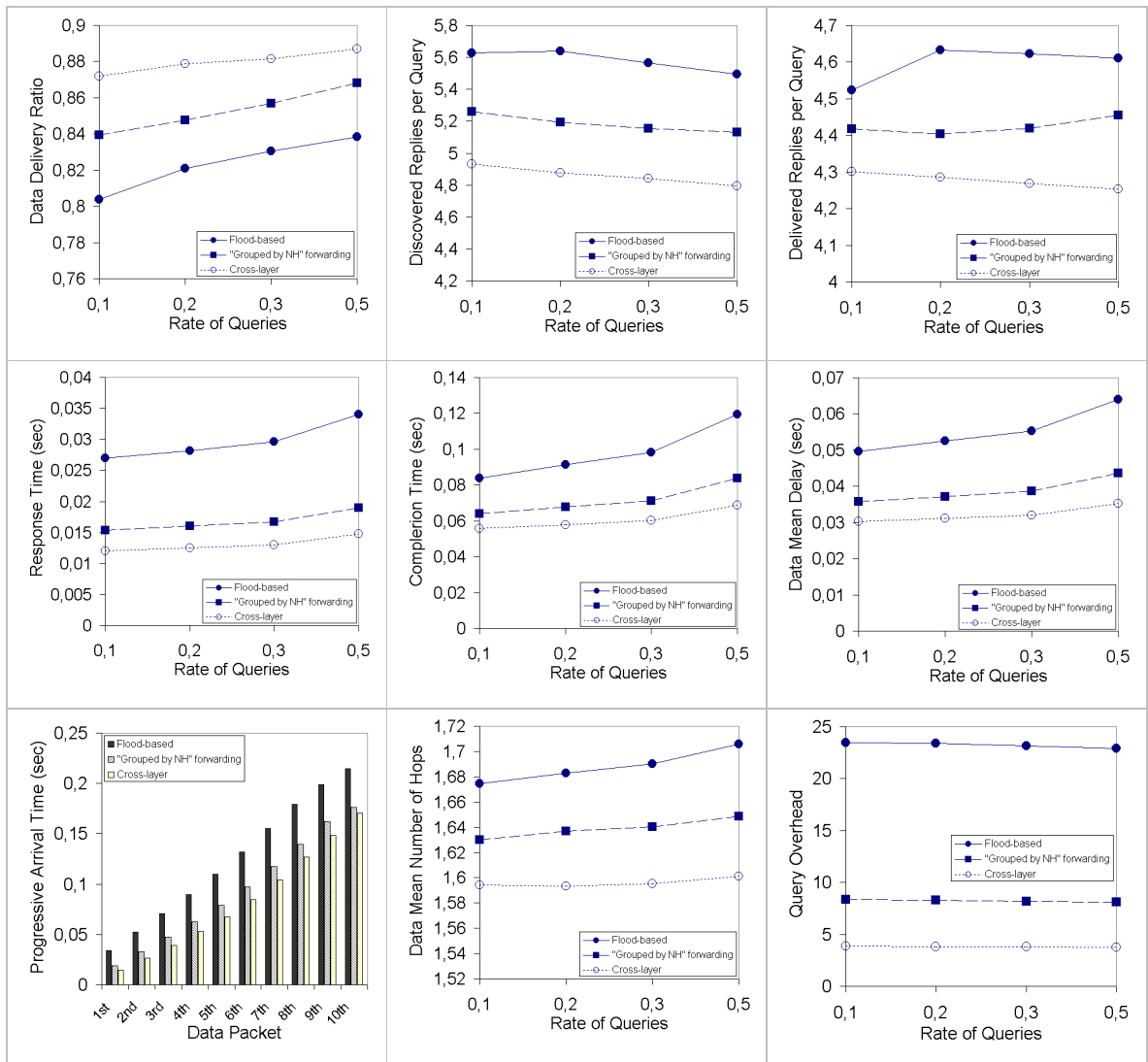
Σχήμα Π.19 Μεταβολή του Αριθμού των Ερωτώντων Κόμβων Χρησιμοποιώντας το Manhattan Mobility Model σε Περιοχή Κίνησης 700x700 m² (ad hoc)



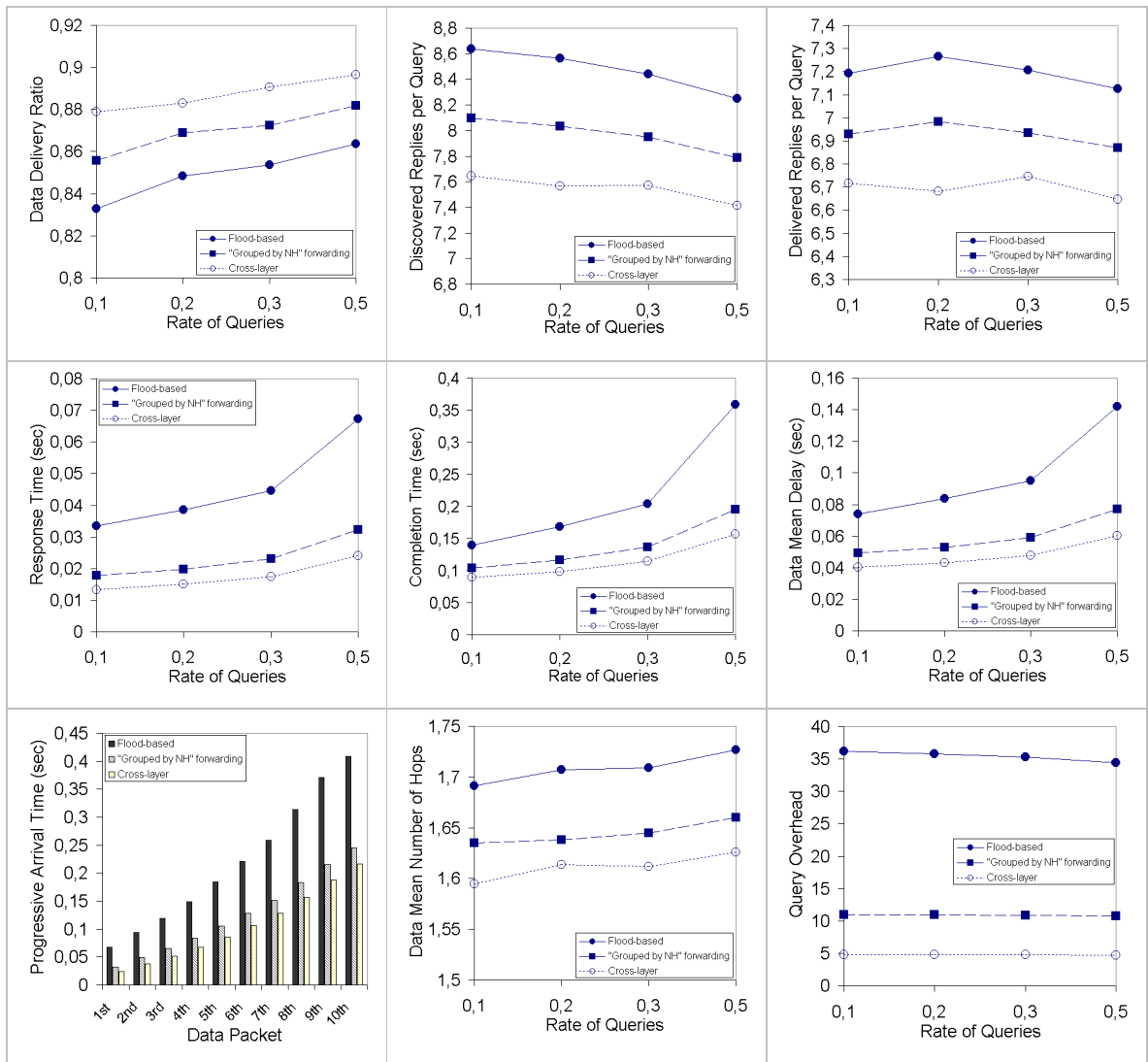
Σχήμα Π.20 Μεταβολή του Αριθμού των Ερωτώντων Κόμβων Χρησιμοποιώντας το Random Direction Mobility Model σε Περιοχή Κίνησης 700x700 m² (ad hoc)



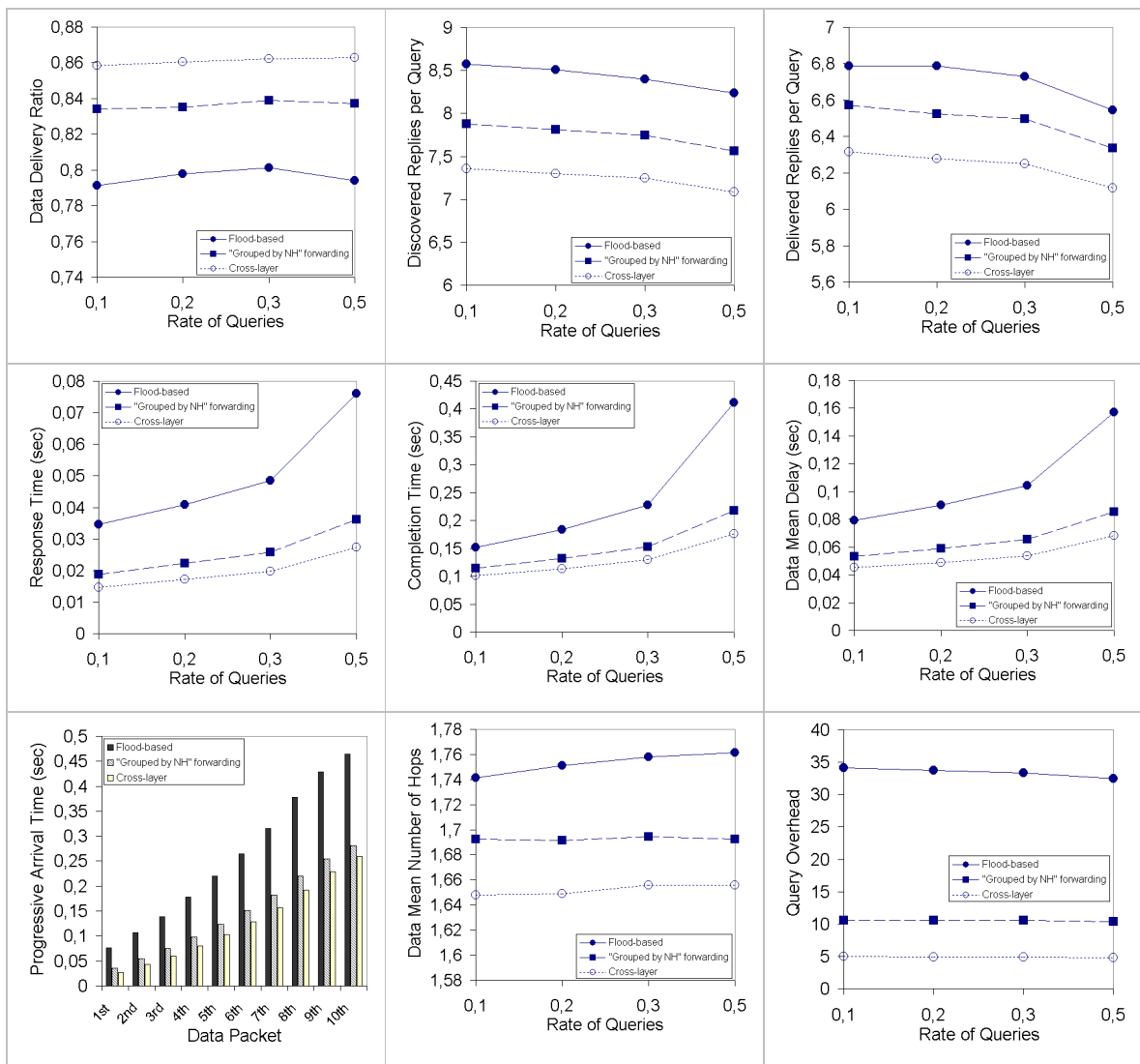
Σχήμα Π.21 Μεταβολή του Ρυθμού Δημιουργίας Ερωτήσεων Χρησιμοποιώντας το Manhattan Mobility Model σε Περιοχή Κίνησης 1500x300 m² (ad hoc)



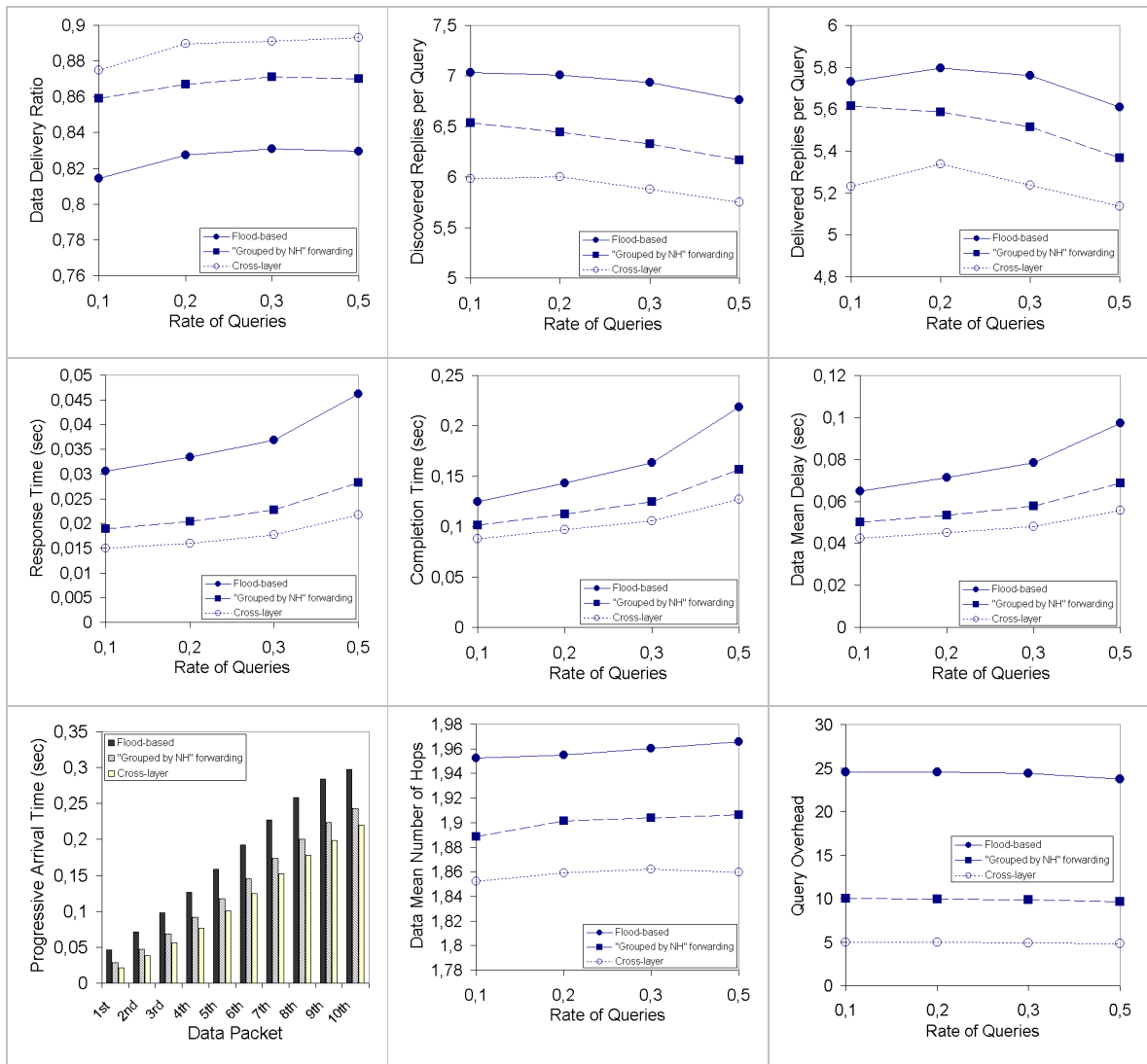
Σχήμα Π.22 Μεταβολή του Ρυθμού Δημιουργίας Ερωτήσεων Χρησιμοποιώντας το Random Direction Mobility Model σε Περιοχή Κίνησης 1500x300 m² (ad hoc)



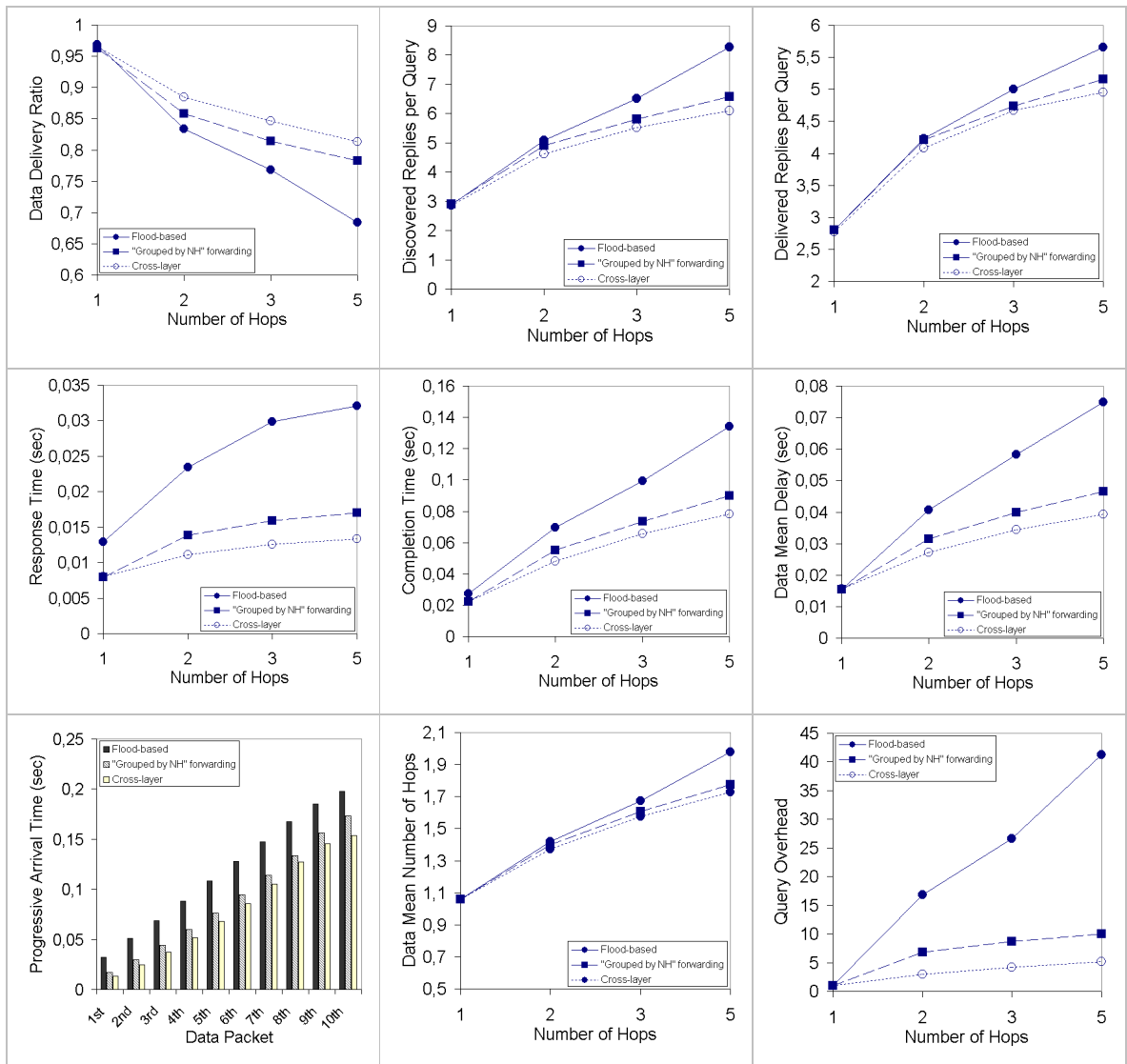
Σχήμα Π.23 Μεταβολή του Ρυθμού Δημιουργίας Ερωτήσεων Χρησιμοποιώντας το Random Waypoint Mobility Model σε Περιοχή Κίνησης 700x700 m² (ad hoc)



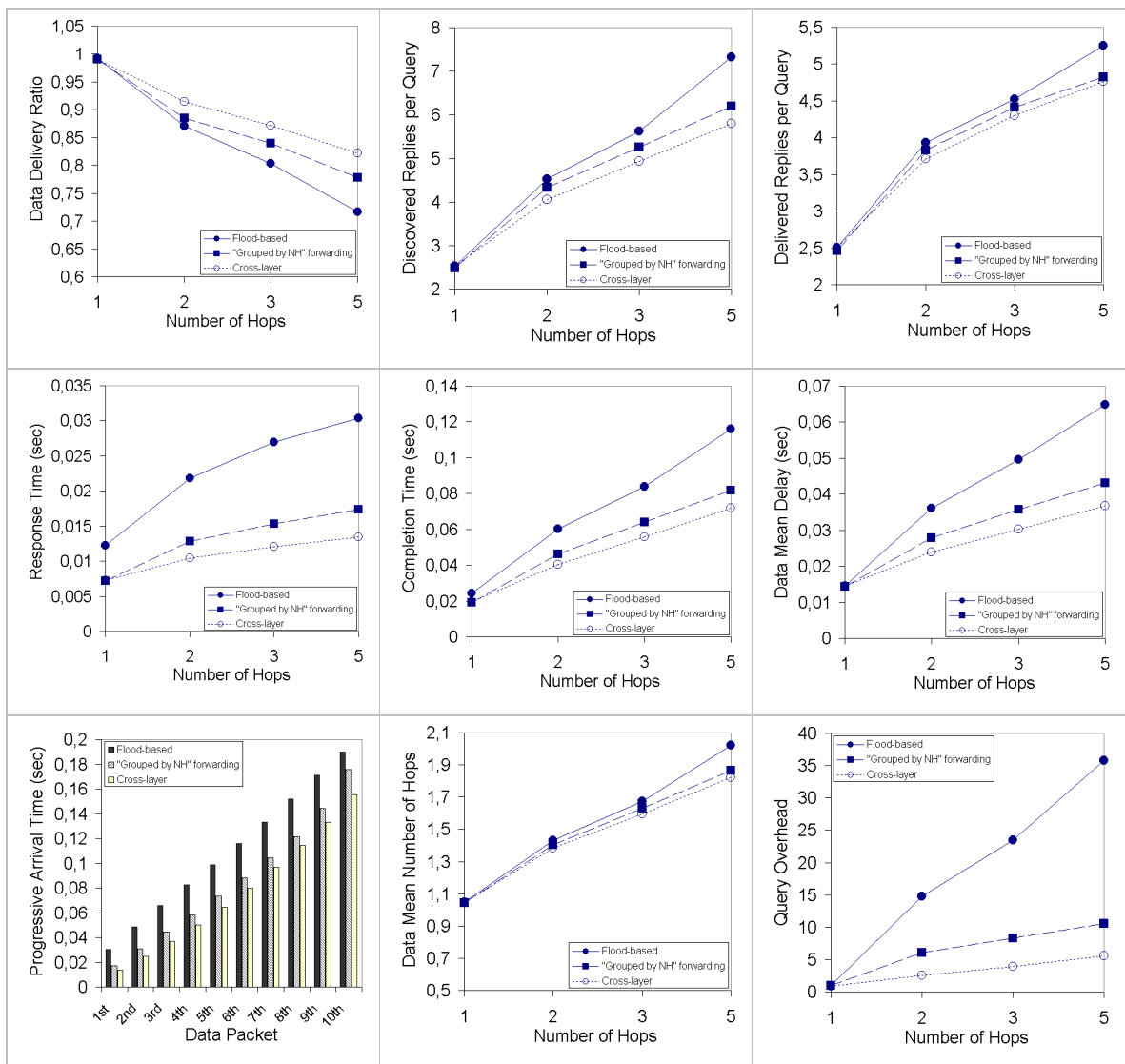
Σχήμα Π.24 Μεταβολή του Ρυθμού Δημιουργίας Ερωτήσεων Χρησιμοποιώντας το Manhattan Mobility Model σε Περιοχή Κίνησης 700x700 m² (ad hoc)



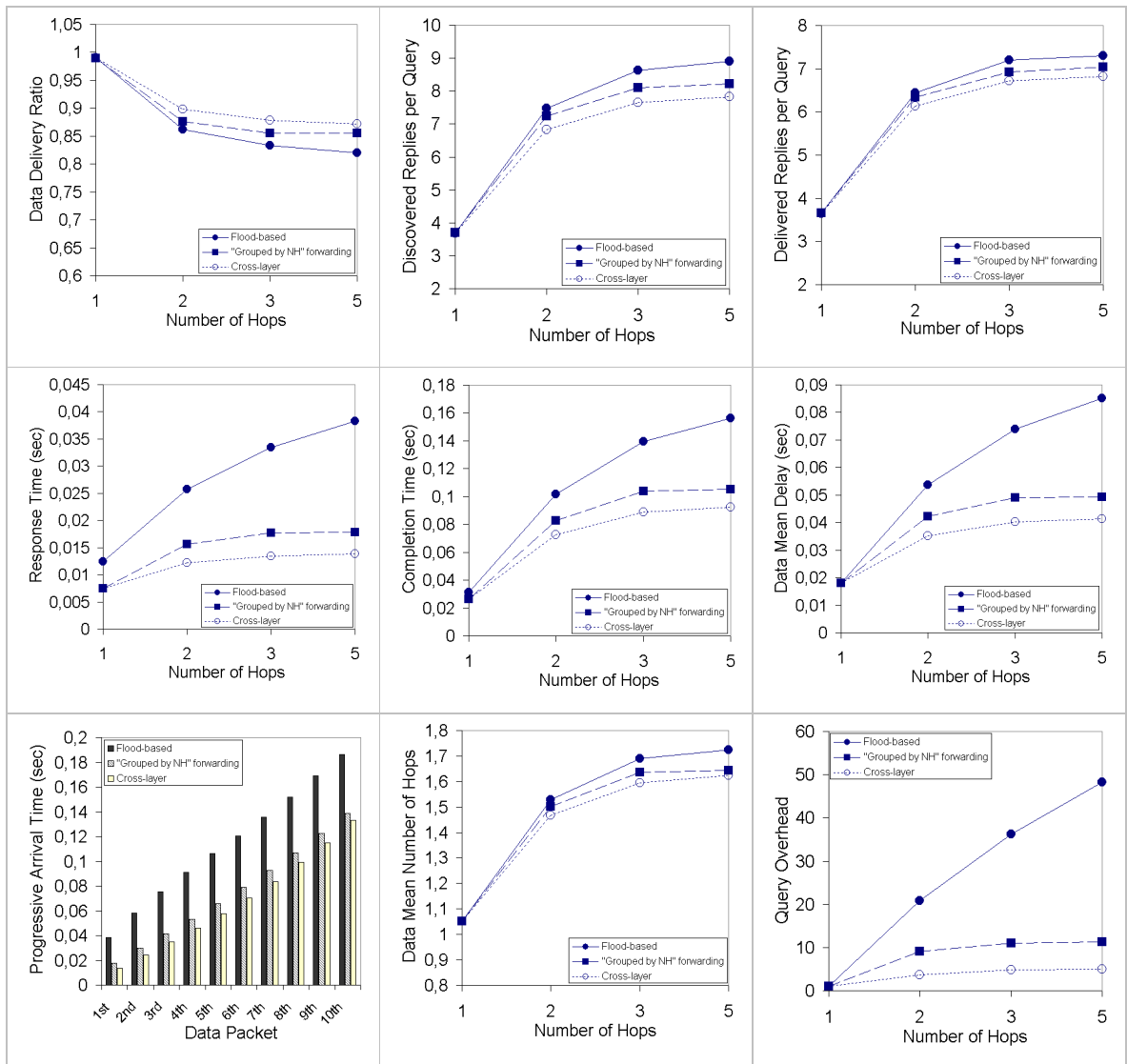
Σχήμα Π.25 Μεταβολή του Ρυθμού Δημιουργίας Ερωτήσεων Χρησιμοποιώντας το Random Direction Mobility Model σε Περιοχή Κίνησης $700 \times 700 \text{ m}^2$ (ad hoc)



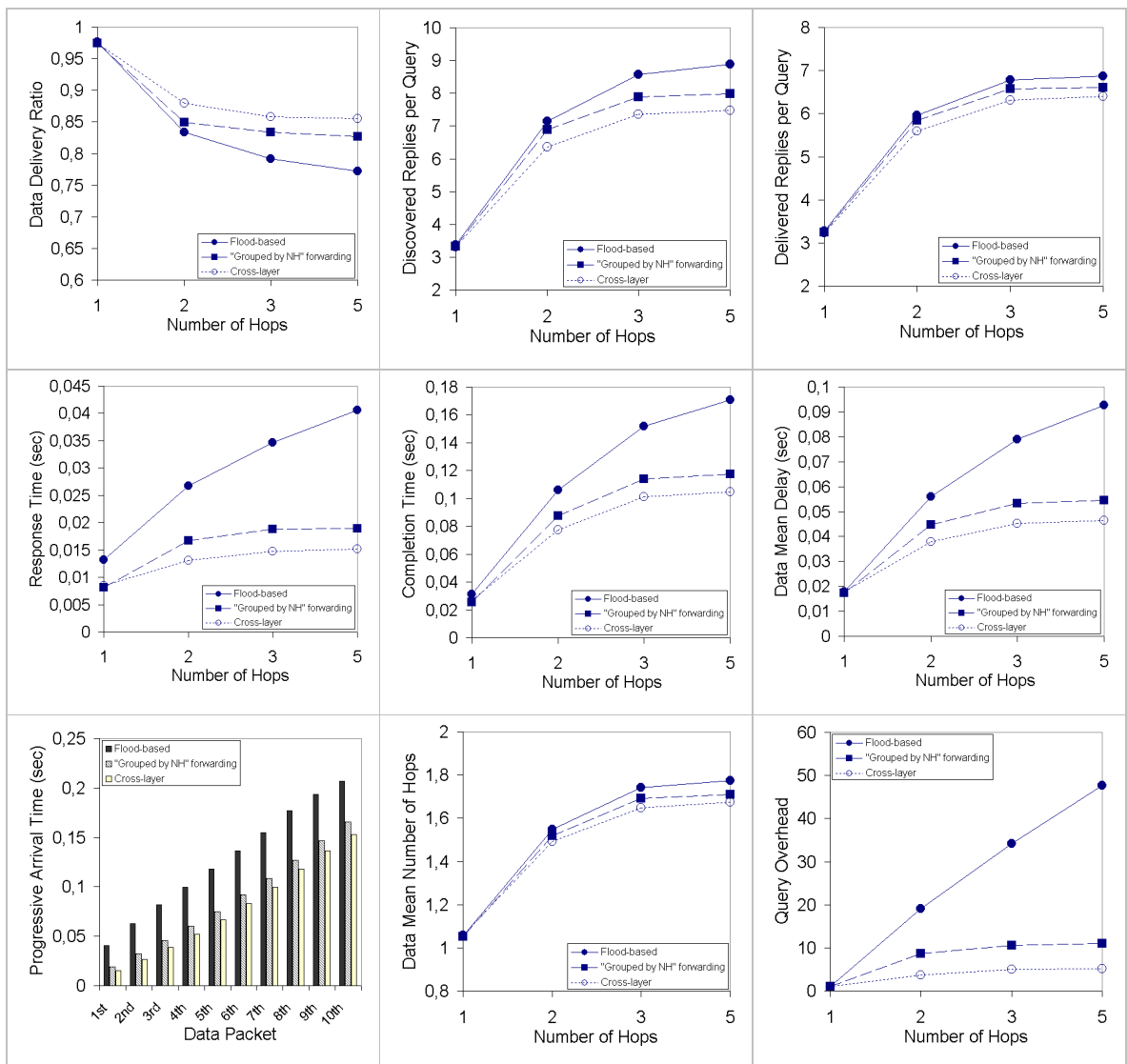
Σχήμα Π.26 Μεταβολή του Μέγιστου Αριθμού Αλμάτων Προώθησης μιας Ερώτησης Χρησιμοποιώντας το Manhattan Mobility Model σε Περιοχή Κίνησης 1500x300m² (ad hoc)



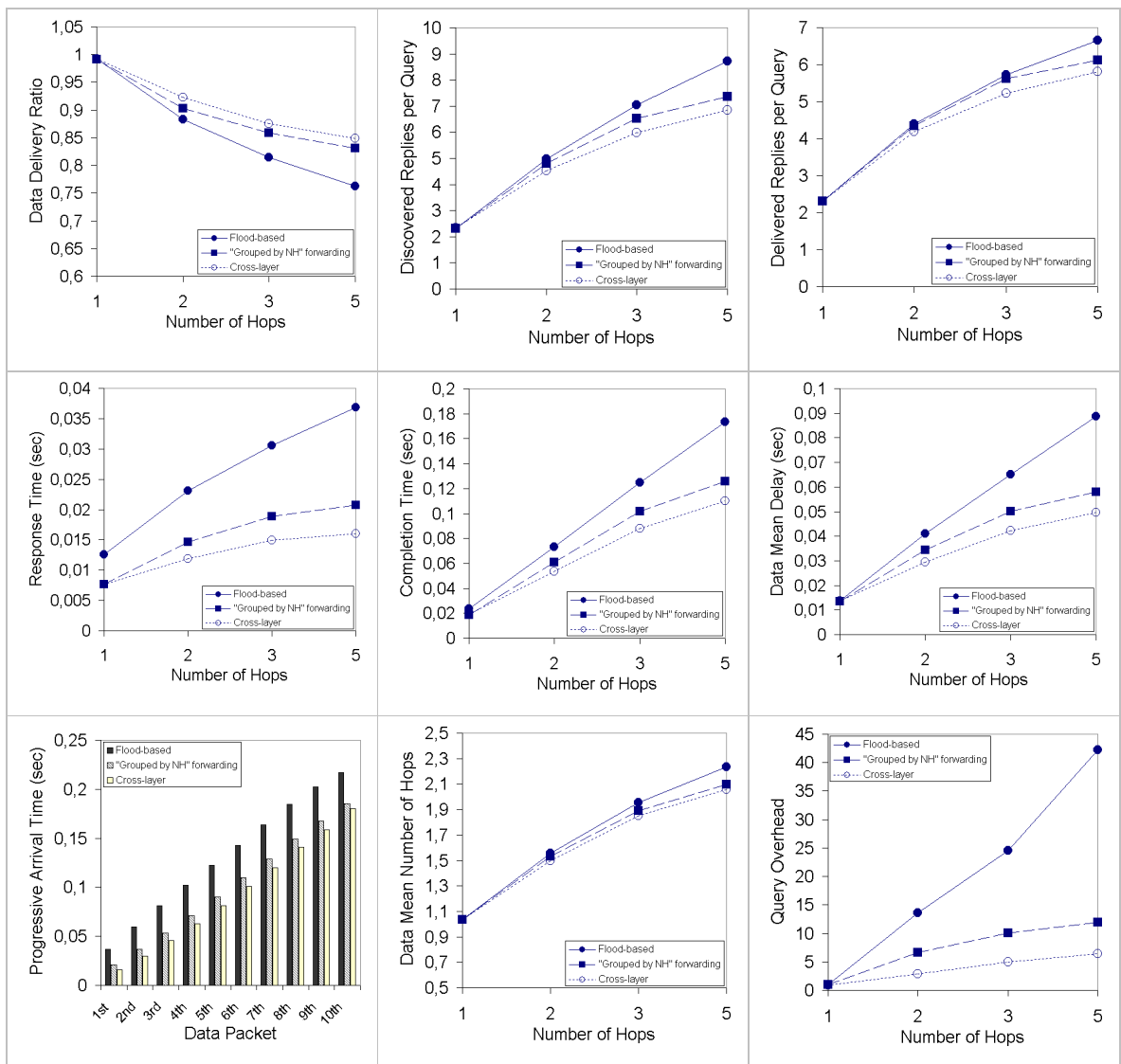
Σχήμα Π.27 Μεταβολή του Μέγιστου Αριθμού Αλμάτων Προώθησης μιας Ερώτησης Χρησιμοποιώντας το Random Direction Mobility Model σε Περιοχή Κίνησης $1500 \times 300 \text{m}^2$ (ad hoc)



Σχήμα Π.28 Μεταβολή του Μέγιστου Αριθμού Αλμάτων Προώθησης μιας Ερώτησης Χρησιμοποιώντας το Random Waypoint Mobility Model σε Περιοχή Κίνησης $700 \times 700 \text{m}^2$ (ad hoc)

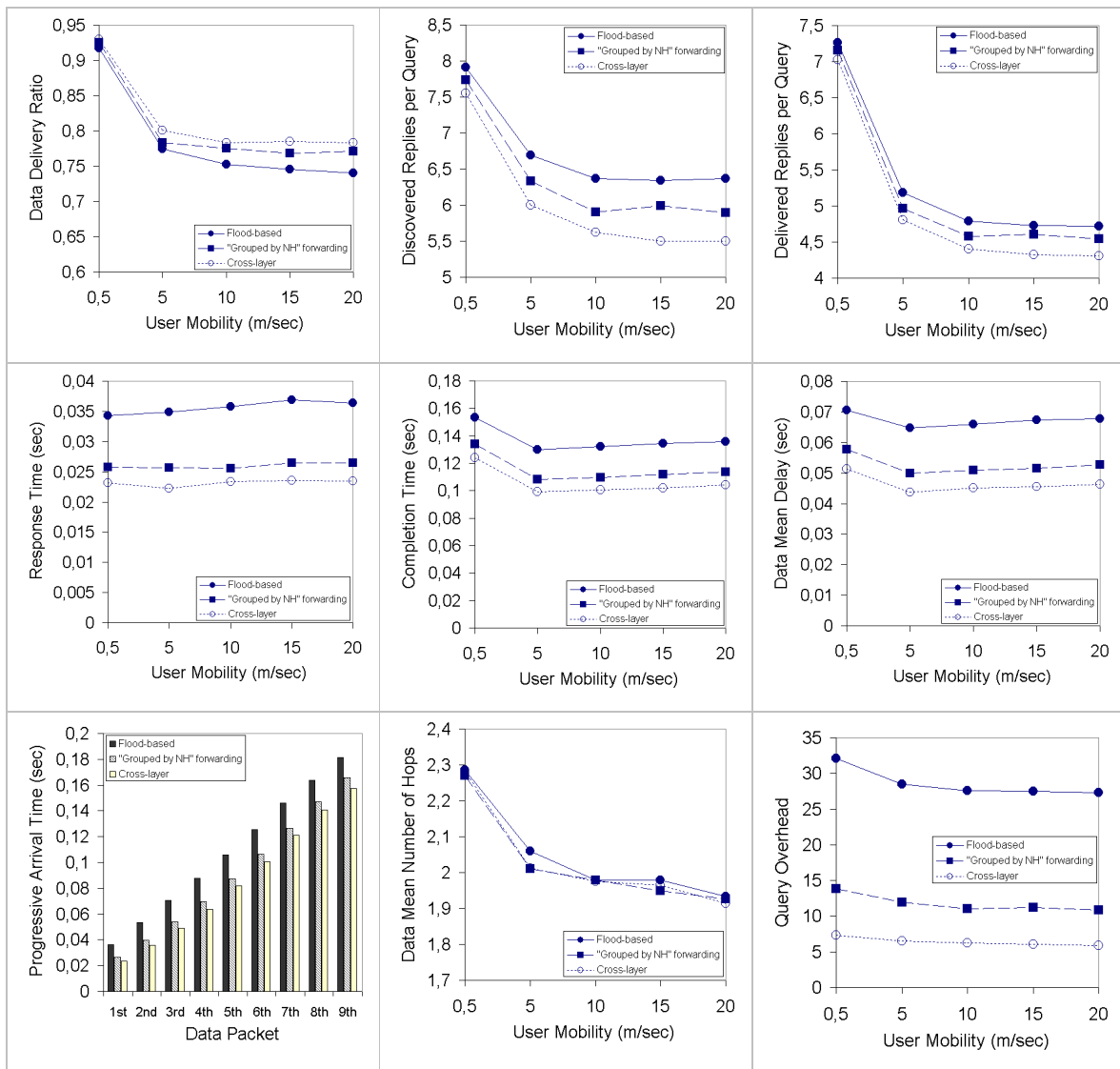


Σχήμα Π.29 Μεταβολή του Μέγιστου Αριθμού Αλμάτων Προώθησης μιας Ερώτησης Χρησιμοποιώντας το Manhattan Mobility Model σε Περιοχή Κίνησης $700 \times 700 \text{m}^2$ (ad hoc)

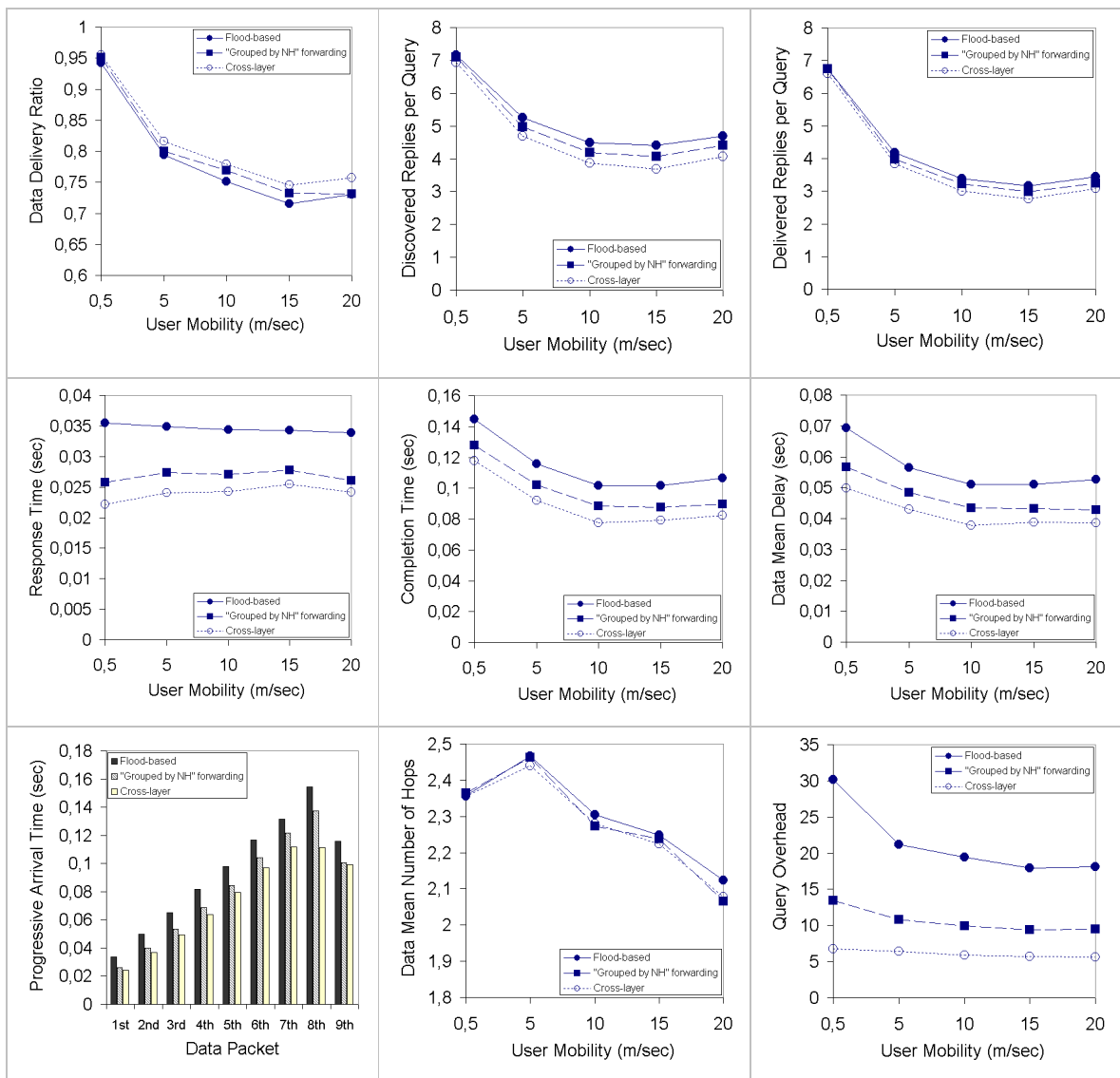


Σχήμα Π.30 Μεταβολή του Μέγιστου Αριθμού Αλμάτων Προώθησης μιας Ερώτησης Χρησιμοποιώντας το Random Direction Mobility Model σε Περιοχή Κίνησης $700 \times 700 \text{m}^2$ (ad hoc)

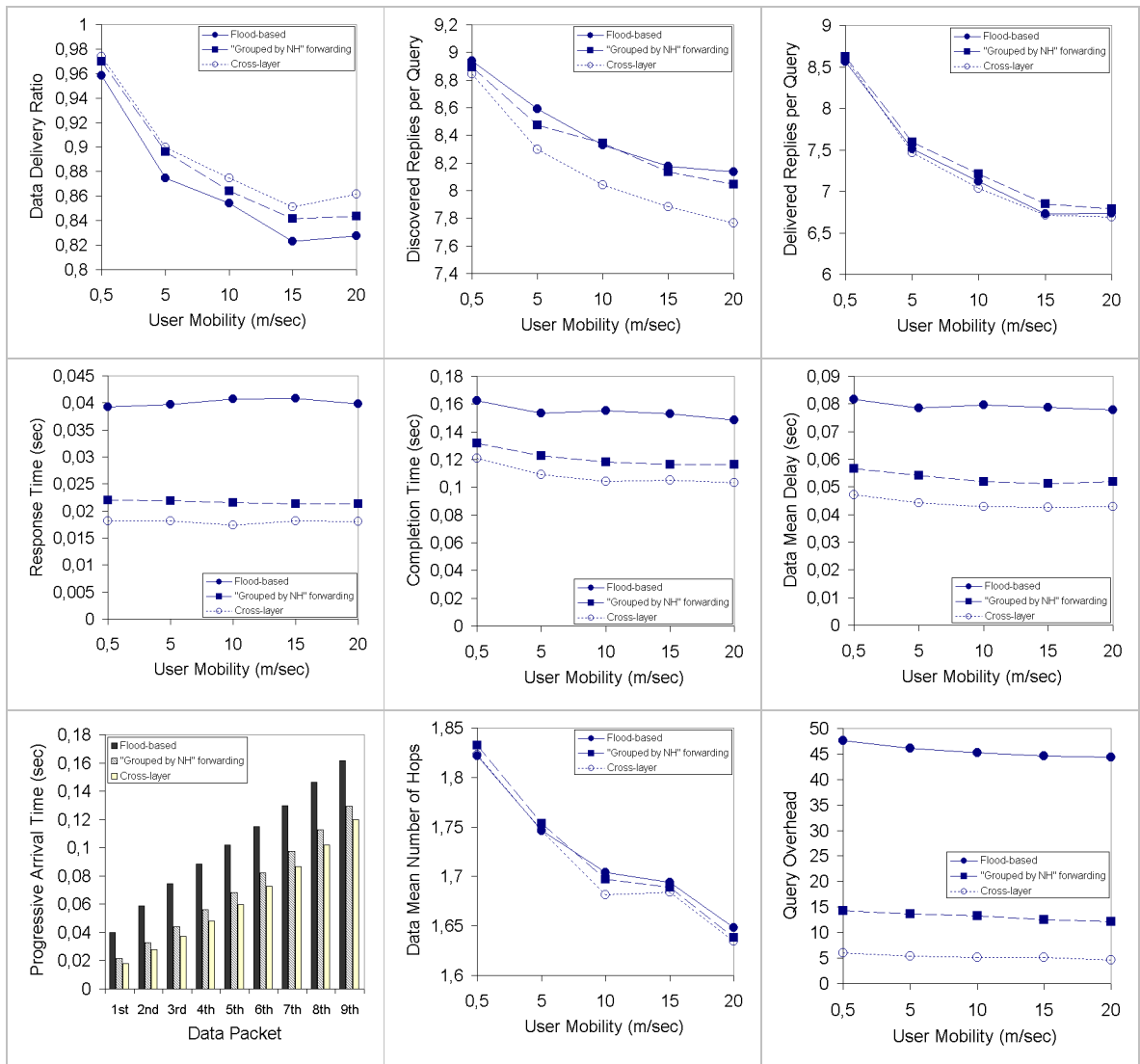
Mesh δίκτυα



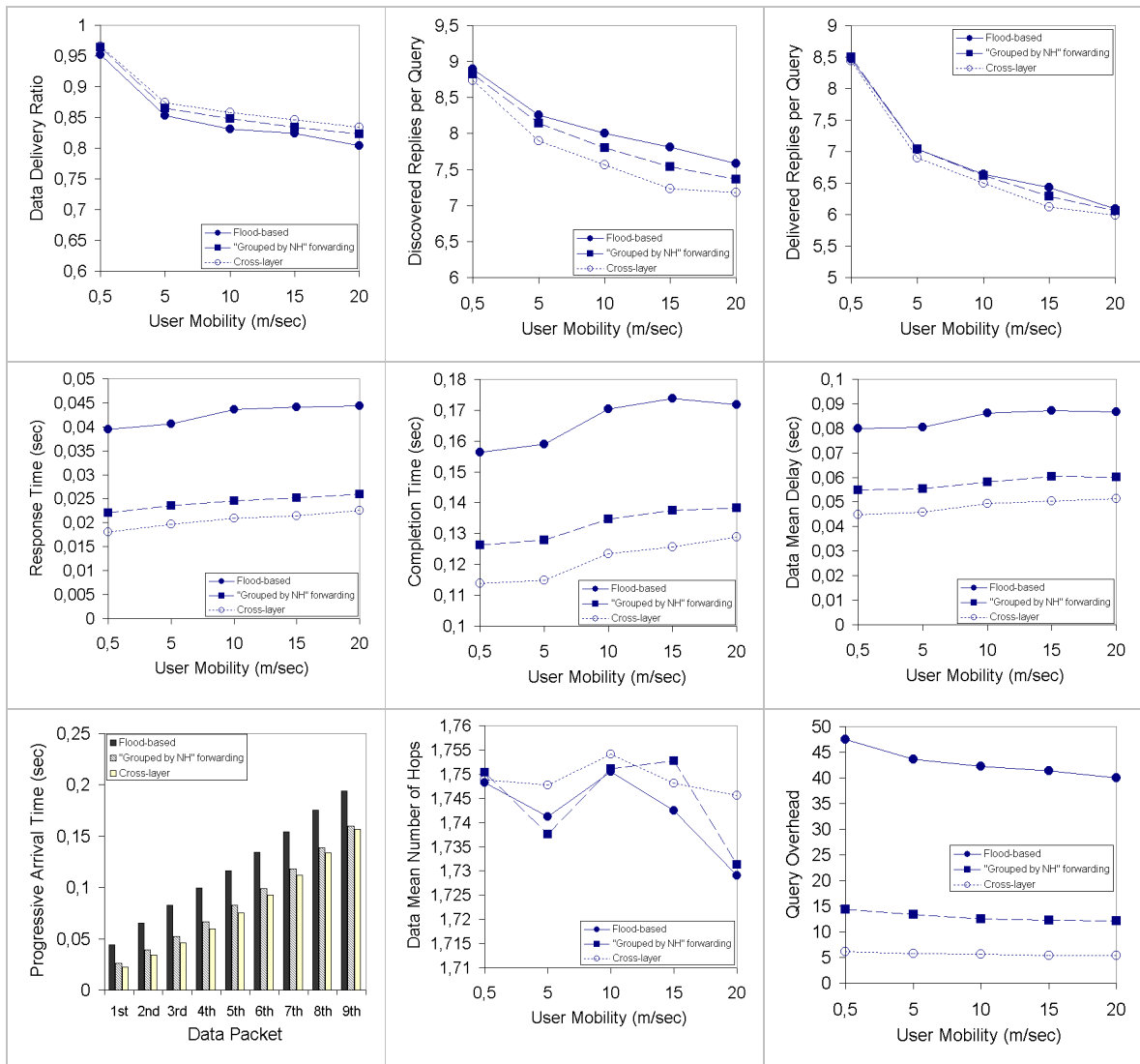
Σχήμα Π.31 Μεταβολή της Κινητικότητας των Κόμβων Χρησιμοποιώντας το Manhattan Mobility Model σε Περιοχή Κίνησης 1500x300 m² (mesh)



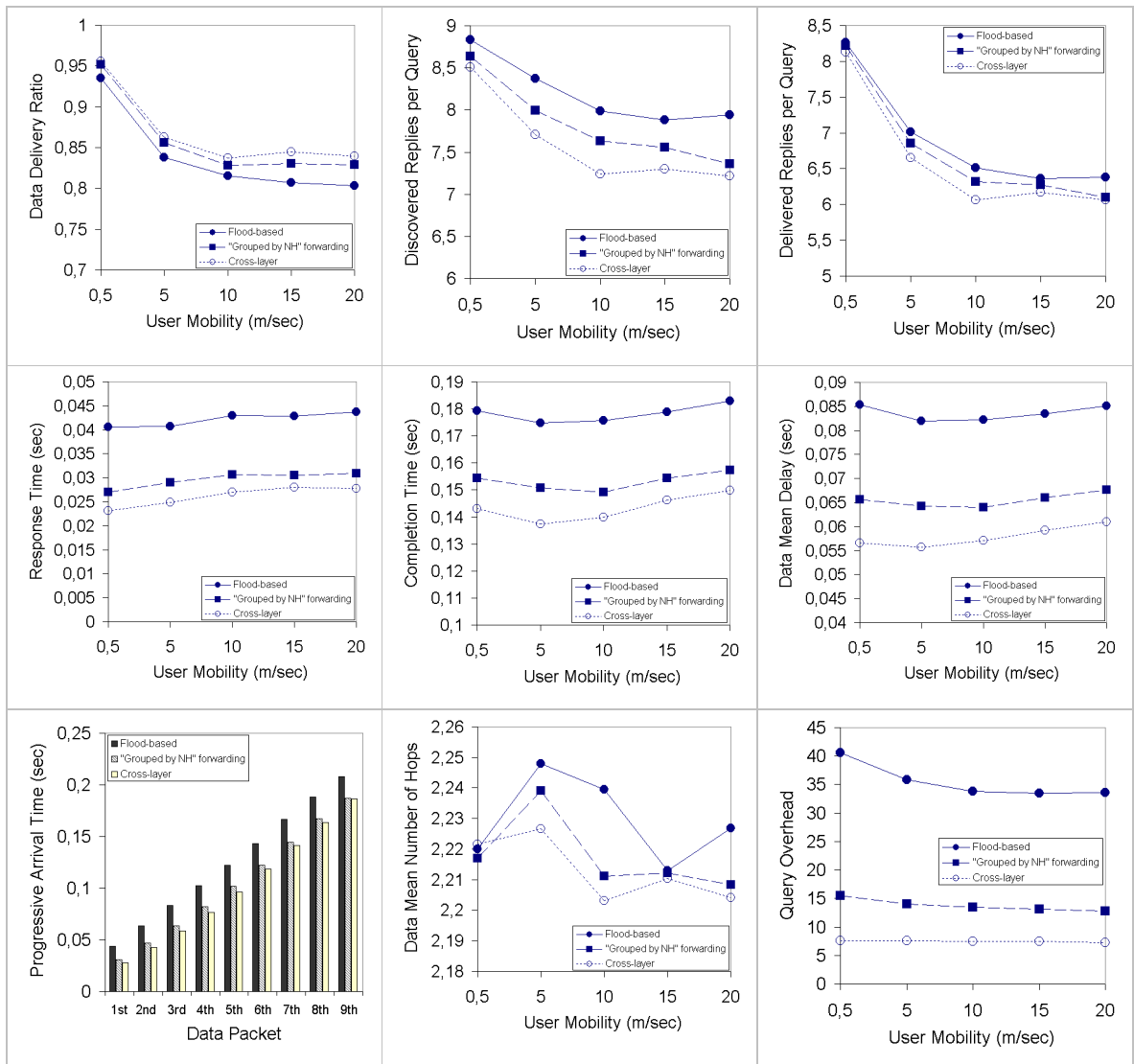
Σχήμα Π.32 Μεταβολή της Κινητικότητας των Κόμβων Χρησιμοποιώντας το Random Direction Mobility Model σε Περιοχή Κίνησης $1500 \times 300 \text{ m}^2$ (mesh)



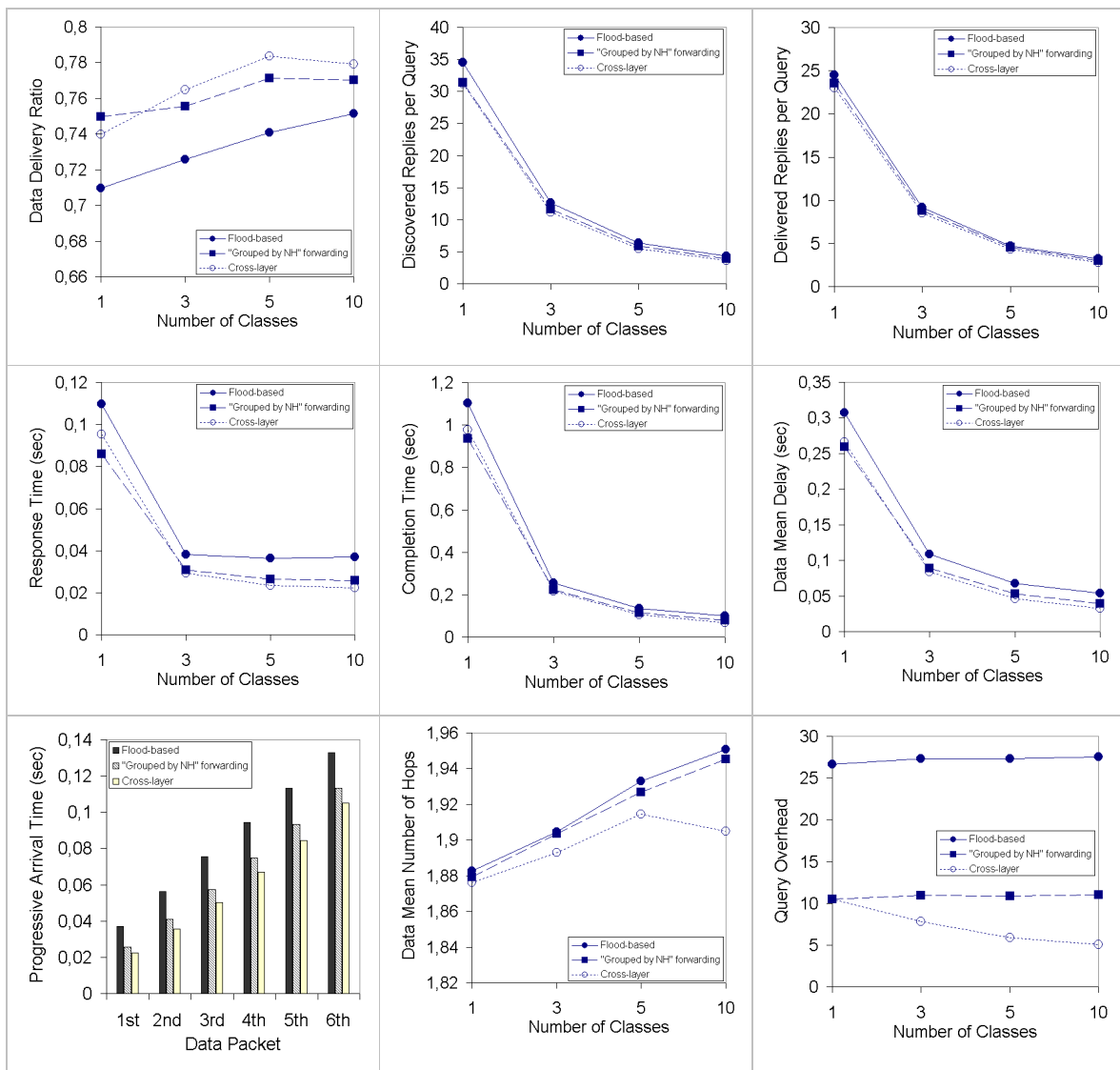
Σχήμα Π.33 Μεταβολή της Κινητικότητας των Κόμβων Χρησιμοποιώντας το Random Waypoint Mobility Model σε Περιοχή Κίνησης $700 \times 700 \text{ m}^2$ (mesh)



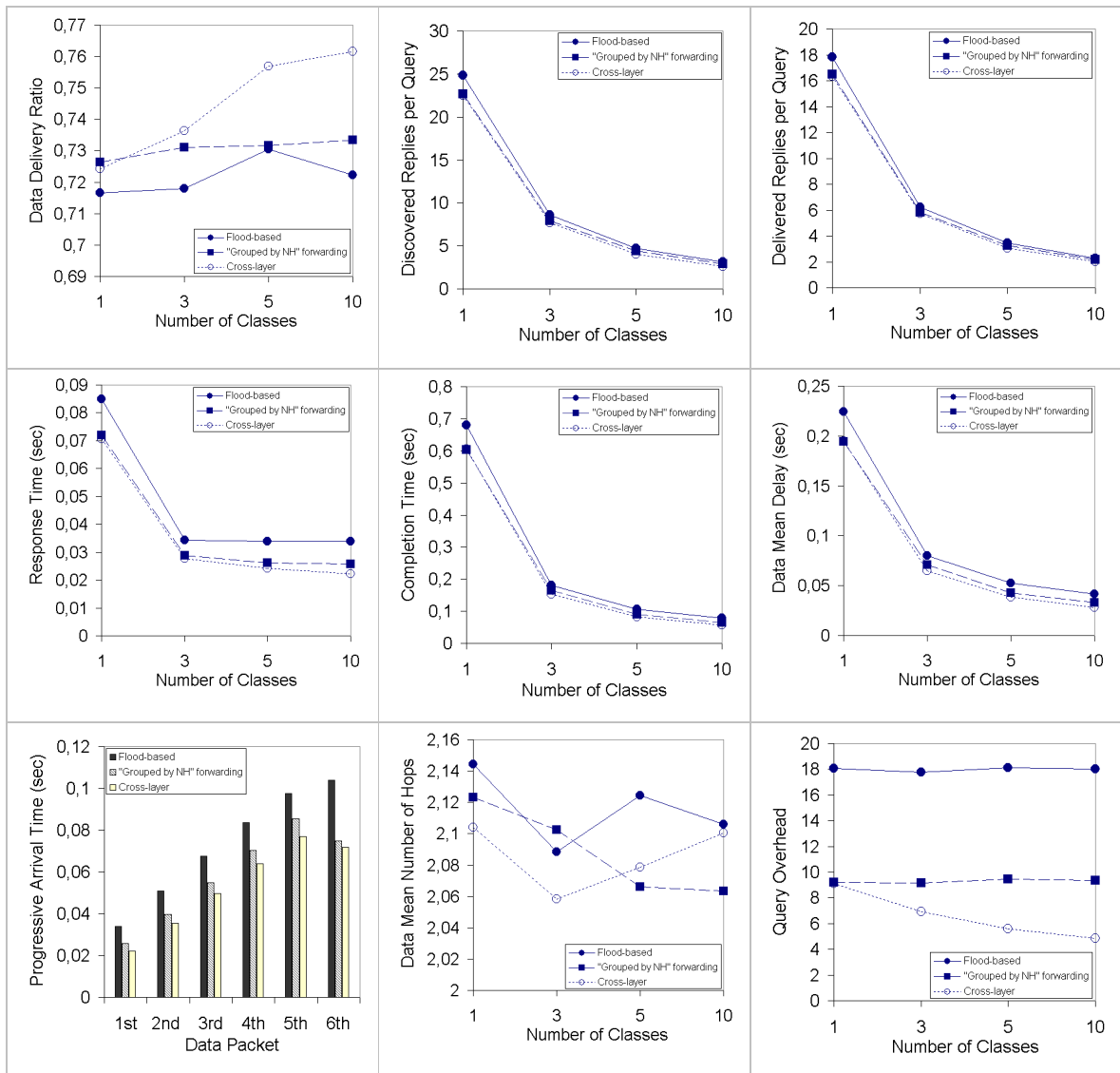
Σχήμα Π.34 Μεταβολή της Κινητικότητας των Κόμβων Χρησιμοποιώντας το Manhattan Mobility Model σε Περιοχή Κίνησης $700 \times 700 \text{ m}^2$ (mesh)



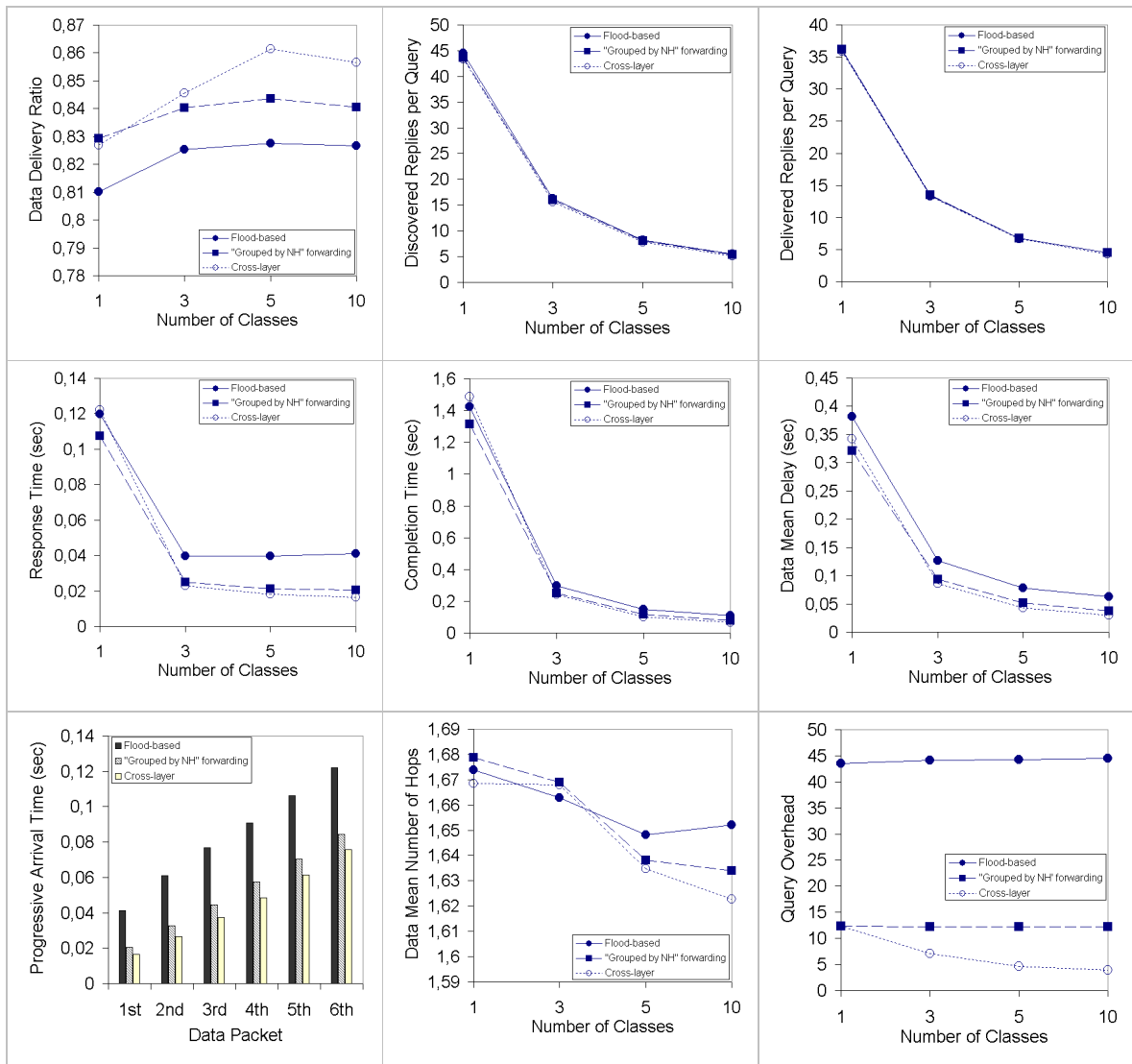
Σχήμα Π.35 Μεταβολή της Κινητικότητας των Κόμβων Χρησιμοποιώντας το Random Direction Mobility Model σε Περιοχή Κίνησης 700x700 m² (mesh)



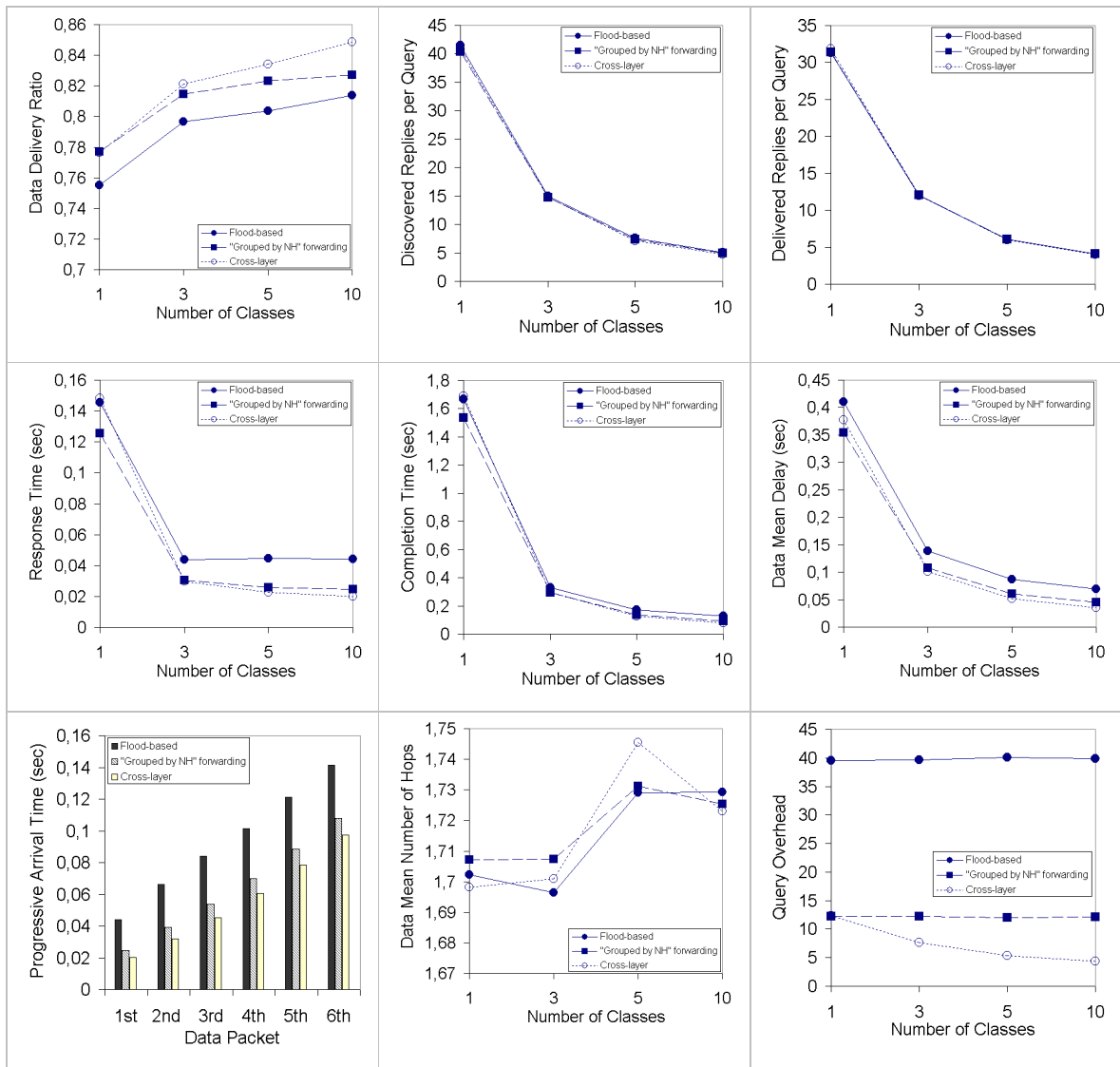
Σχήμα Π.36 Μεταβολή του Αριθμού των Κλάσεων Χρησιμοποιώντας το Manhattan Mobility Model σε Περιοχή Κίνησης 1500x300 m² (mesh)



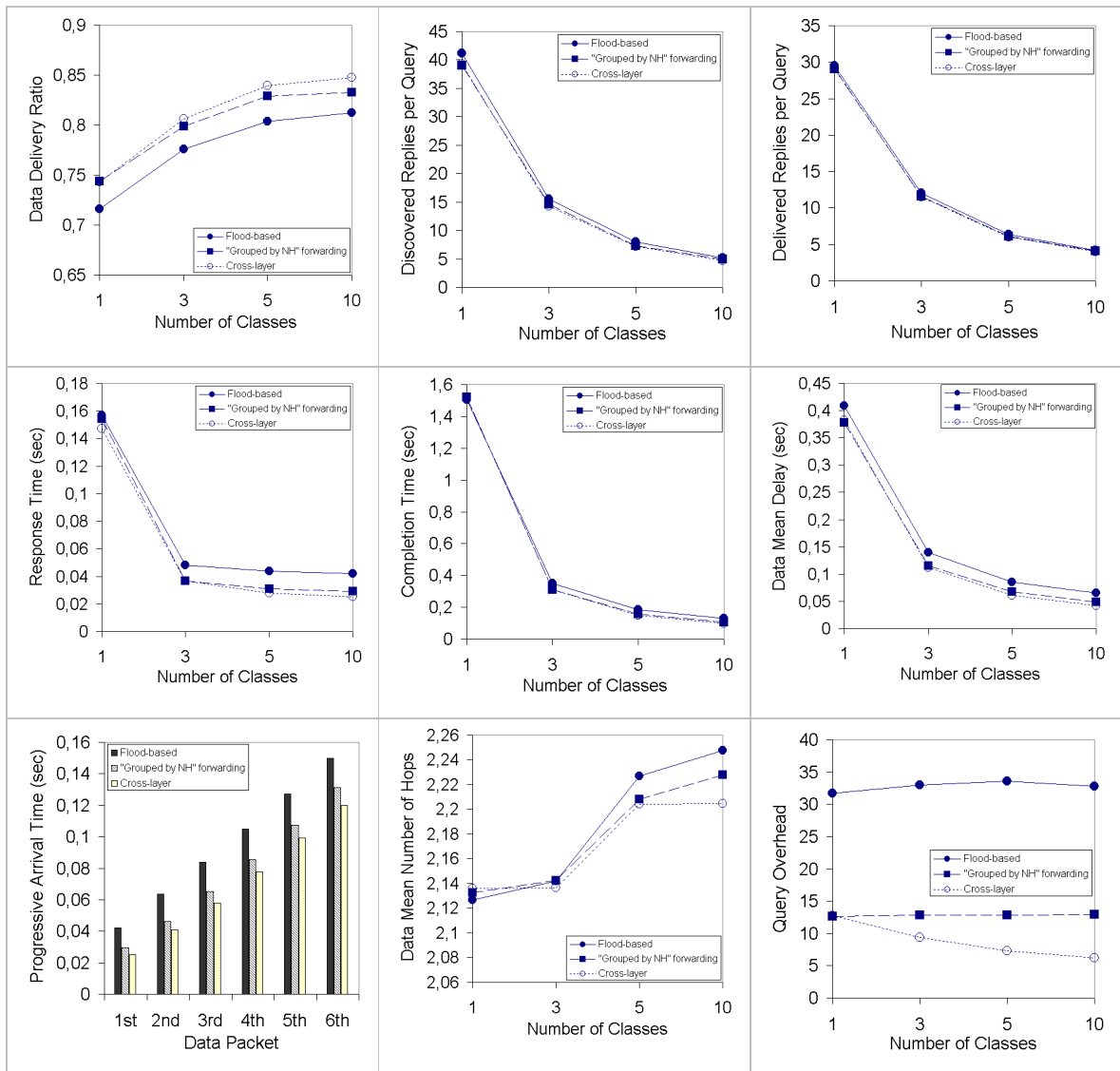
Σχήμα Π.37 Μεταβολή του Αριθμού των Κλάσεων Χρησιμοποιώντας το Random Direction Mobility Model σε Περιοχή Κίνησης 1500x300 m² (mesh)



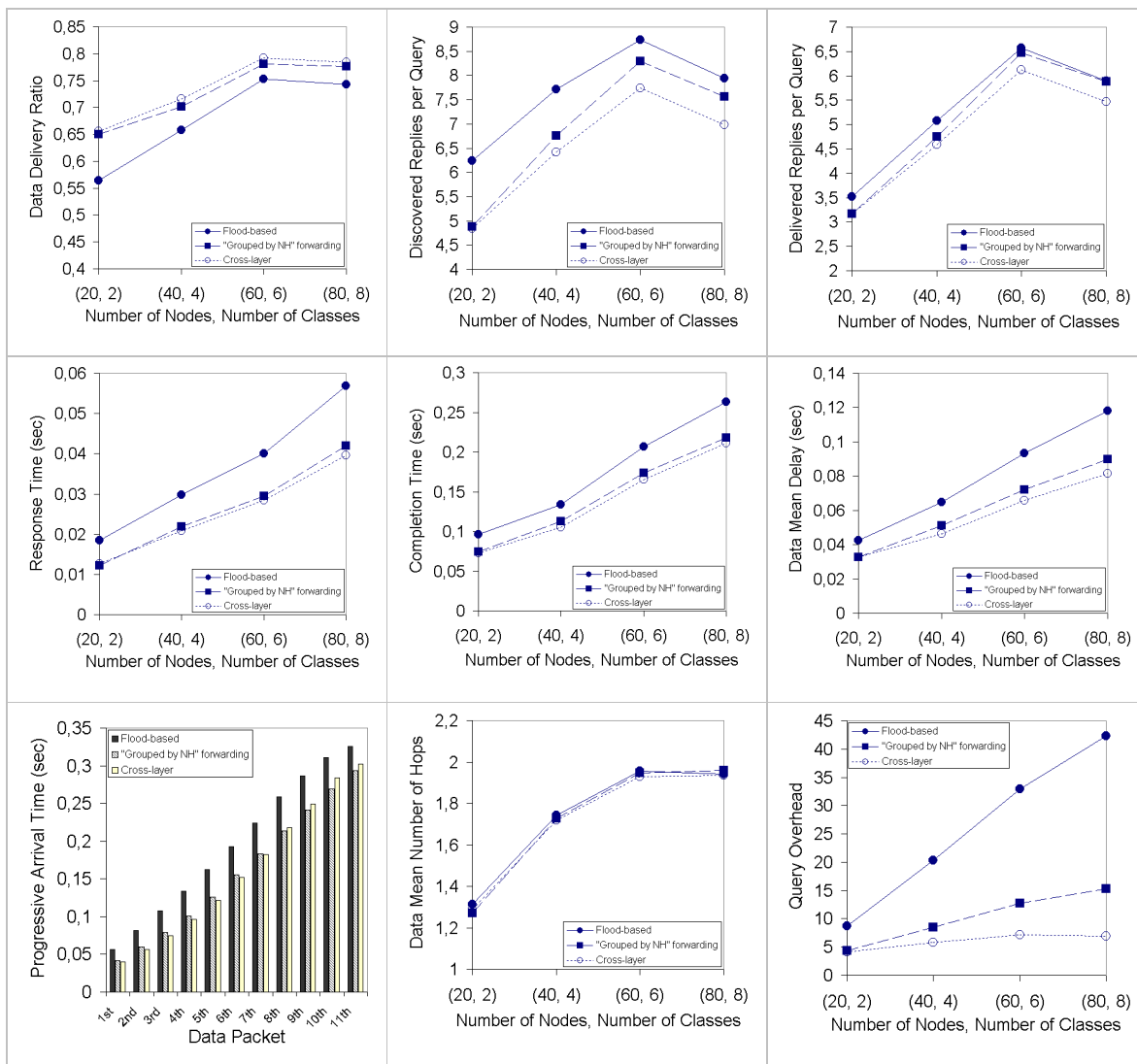
Σχήμα Π.38 Μεταβολή του Αριθμού των Κλάσεων Χρησιμοποιώντας το Random Waypoint Mobility Model σε Περιοχή Κίνησης 700x700 m² (mesh)



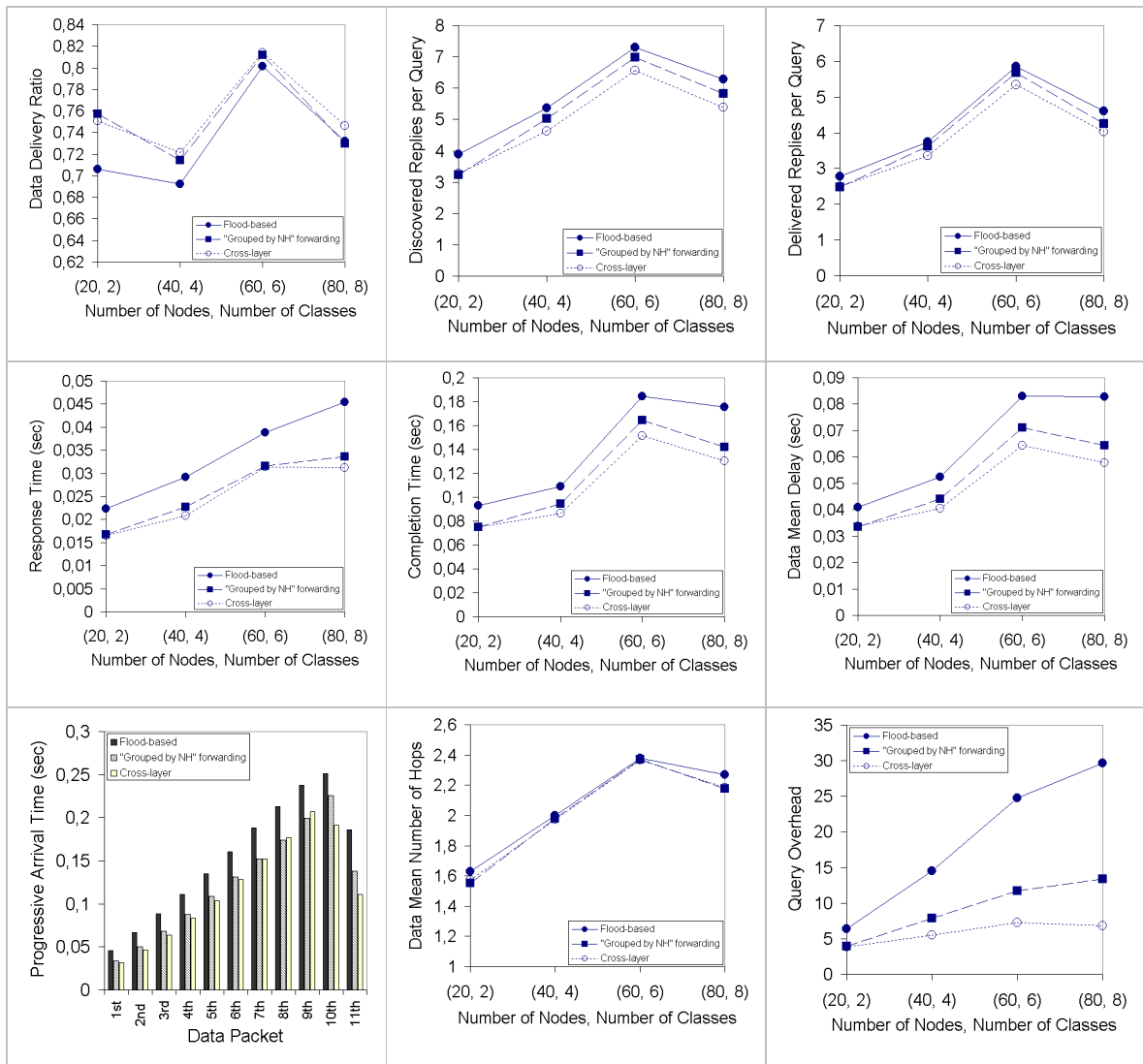
Σχήμα Π.39 Μεταβολή του Αριθμού των Κλάσεων Χρησιμοποιώντας το Manhattan Mobility Model σε Περιοχή Κίνησης 700x700 m² (mesh)



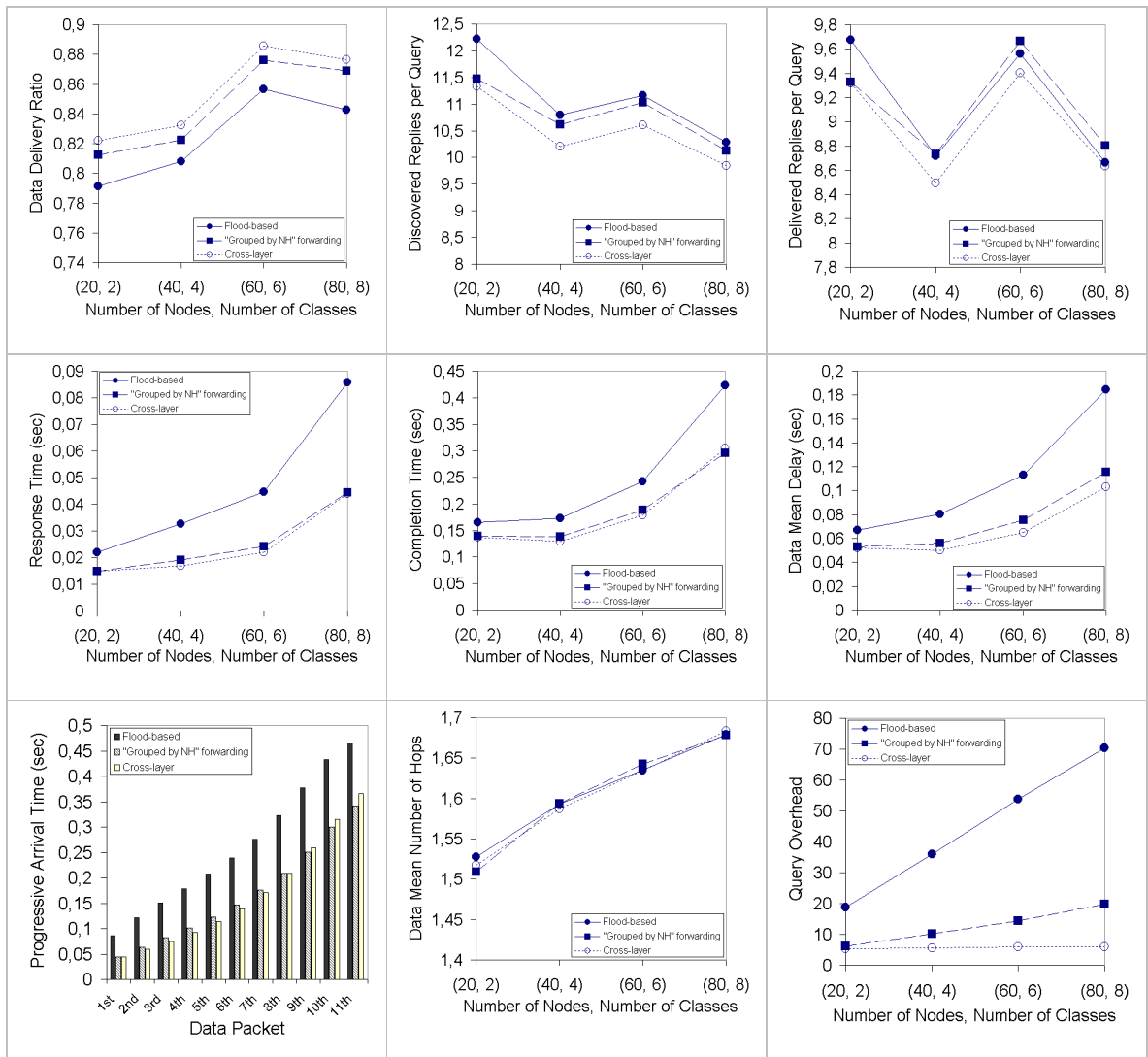
Σχήμα Π.40 Μεταβολή του Αριθμού των Κλάσεων Χρησιμοποιώντας το Random Direction Mobility Model σε Περιοχή Κίνησης 700x700 m² (mesh)



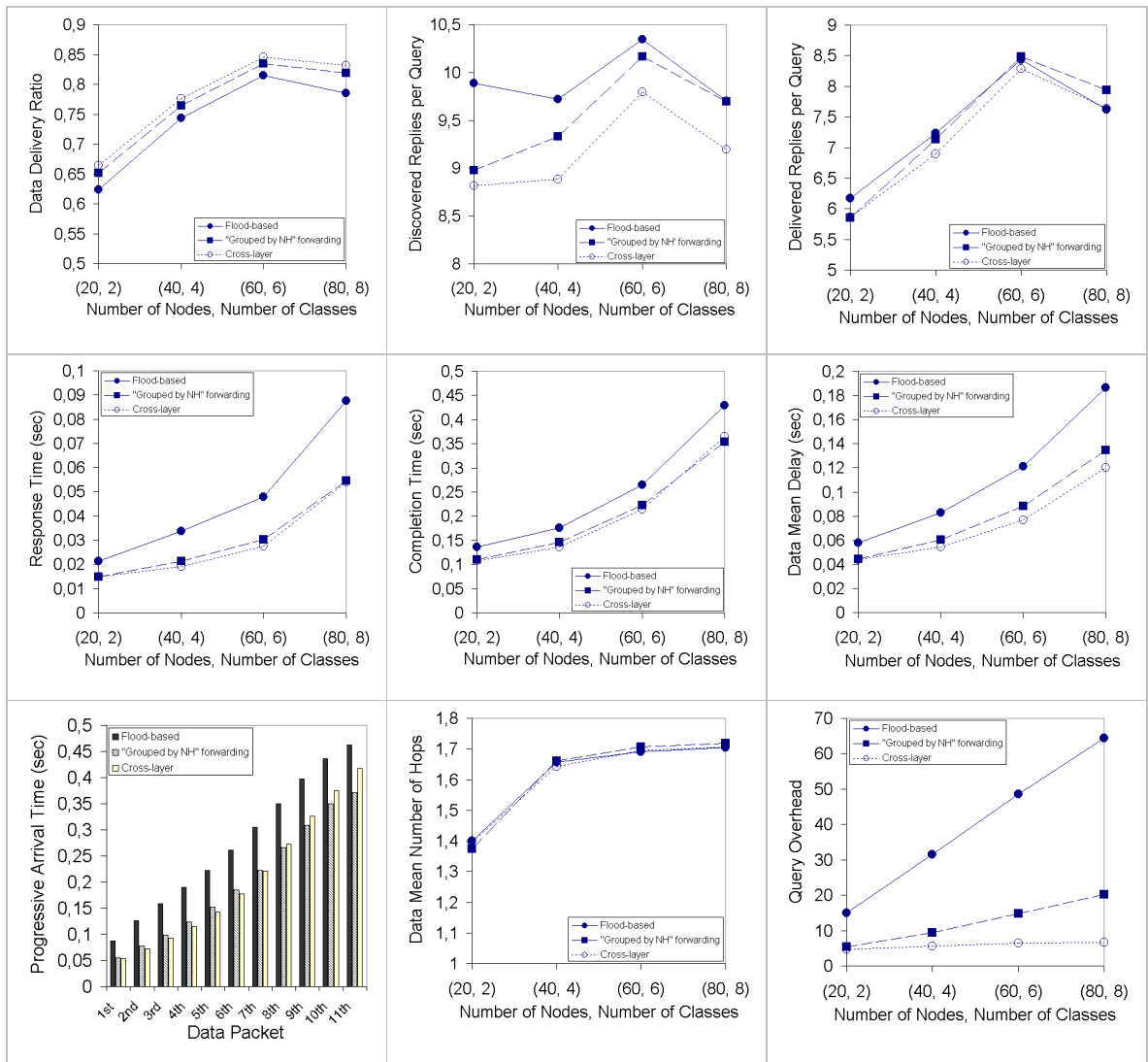
Σχήμα Π.41 Μεταβολή του Αριθμού των Κόμβων Χρησιμοποιώντας το Manhattan Mobility Model σε Περιοχή Κίνησης $1500 \times 300 \text{ m}^2$ (mesh)



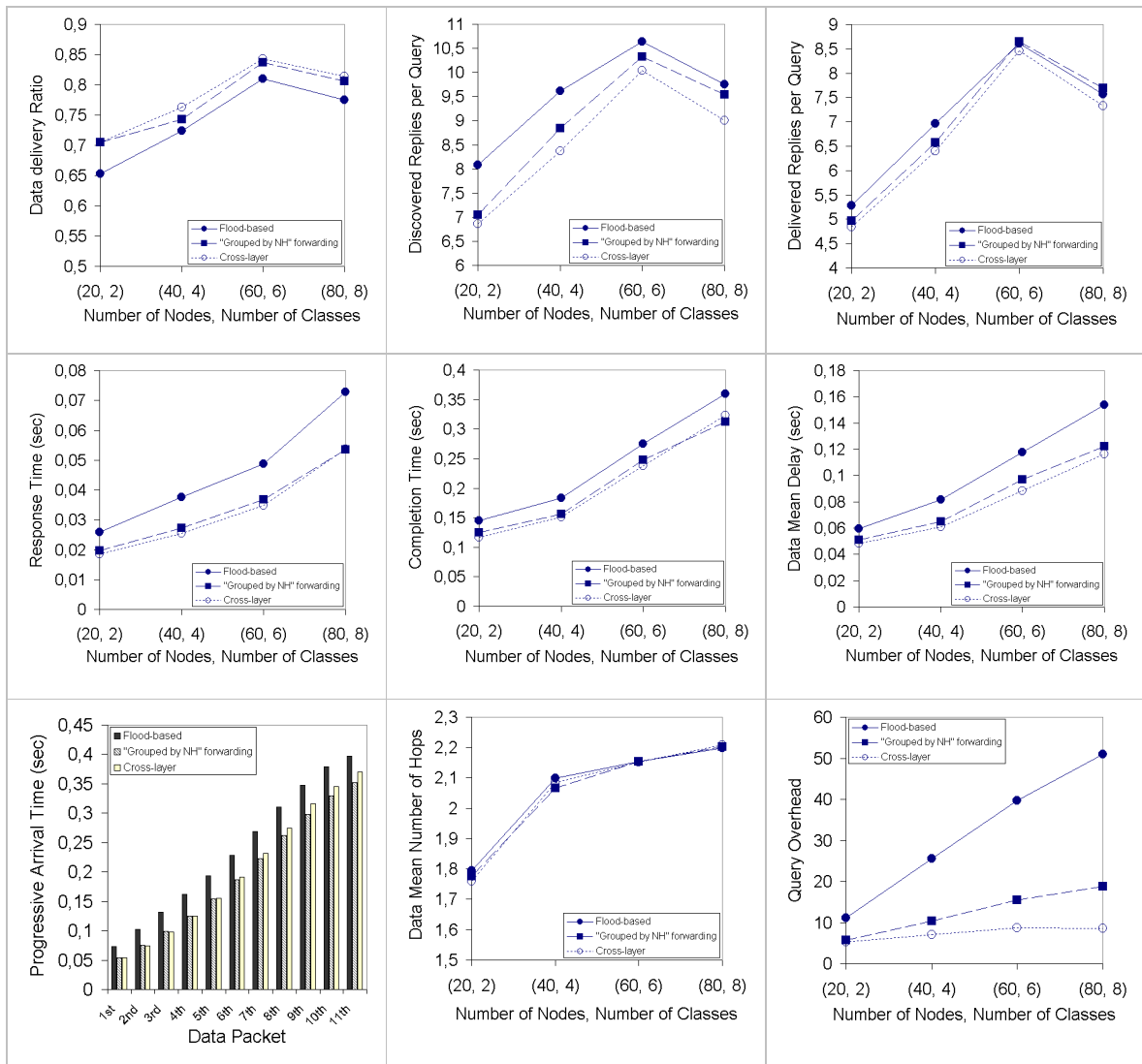
Σχήμα Π.42 Μεταβολή του Αριθμού των Κόμβων Χρησιμοποιώντας το Random Direction Mobility Model σε Περιοχή Κίνησης 1500x300 m² (mesh)



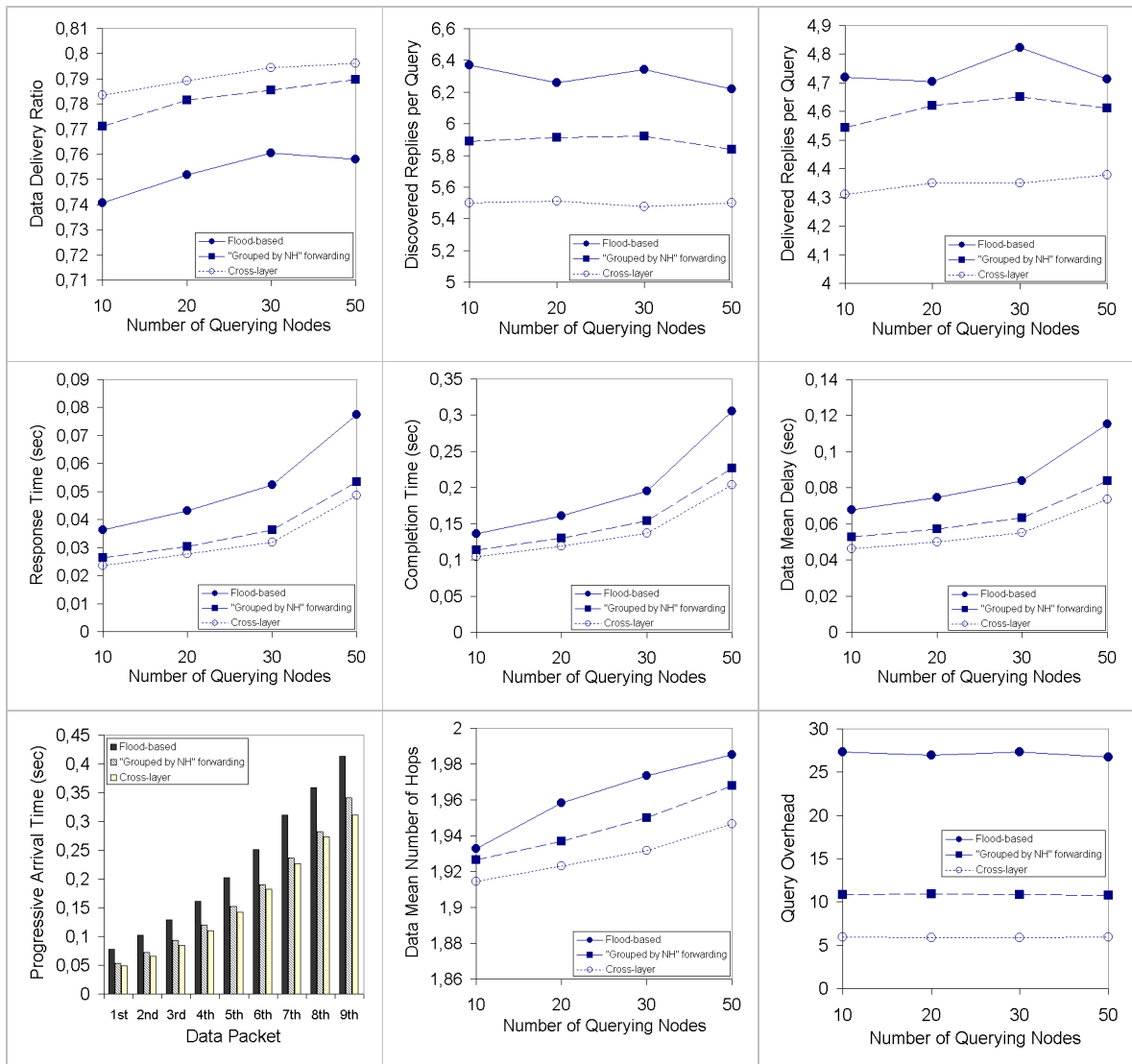
Σχήμα Π.43 Μεταβολή του Αριθμού των Κόμβων Χρησιμοποιώντας το Random Waypoint Mobility Model σε Περιοχή Κίνησης $700 \times 700 \text{ m}^2$ (mesh)



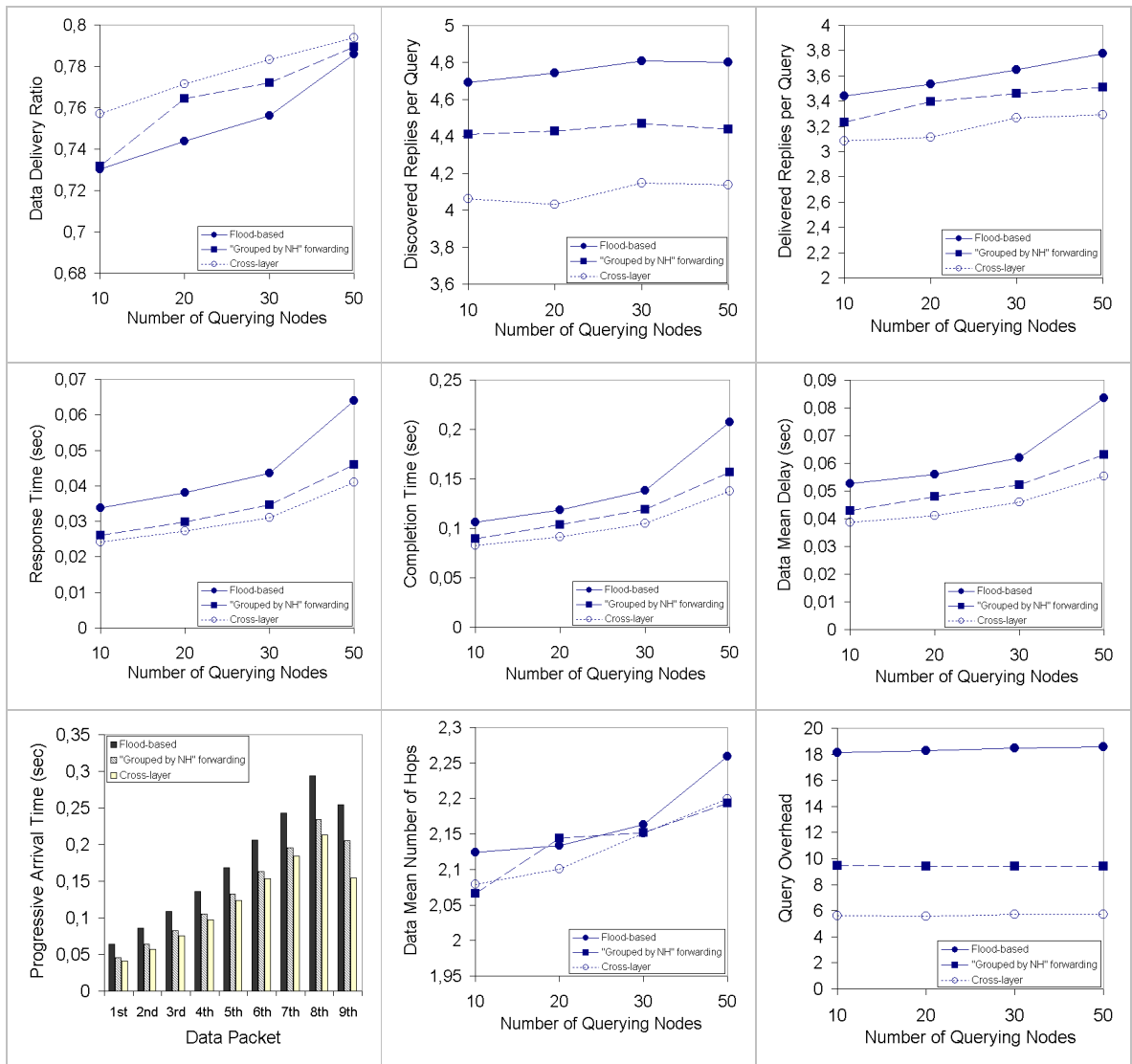
Σχήμα Π.44 Μεταβολή του Αριθμού των Κόμβων Χρησιμοποιώντας το Manhattan Mobility Model σε Περιοχή Κίνησης 700x700 m² (mesh)



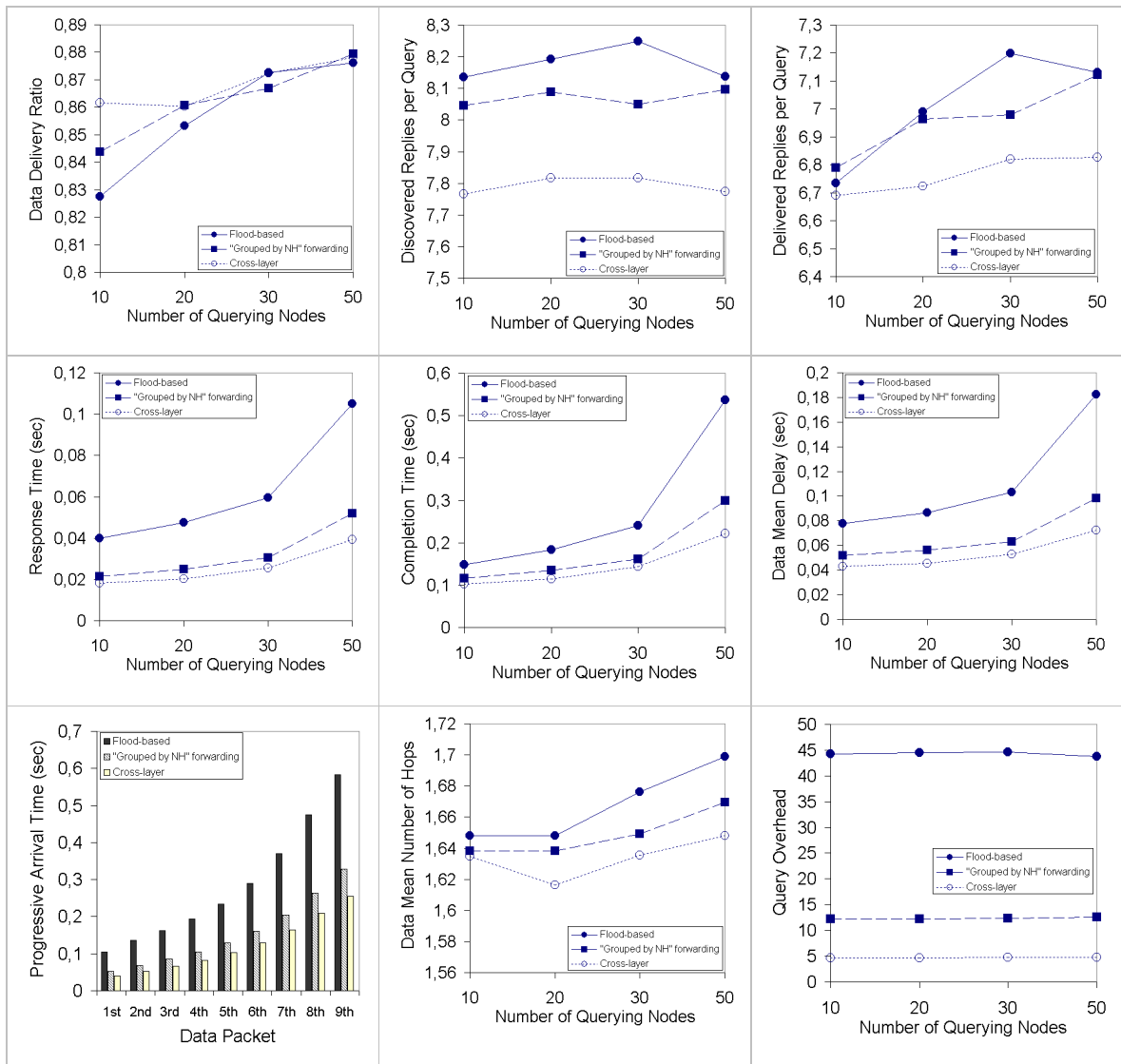
Σχήμα Π.45 Μεταβολή του Αριθμού των Κόμβων Χρησιμοποιώντας το Random Direction Mobility Model σε Περιοχή Κίνησης 700x700 m² (mesh)



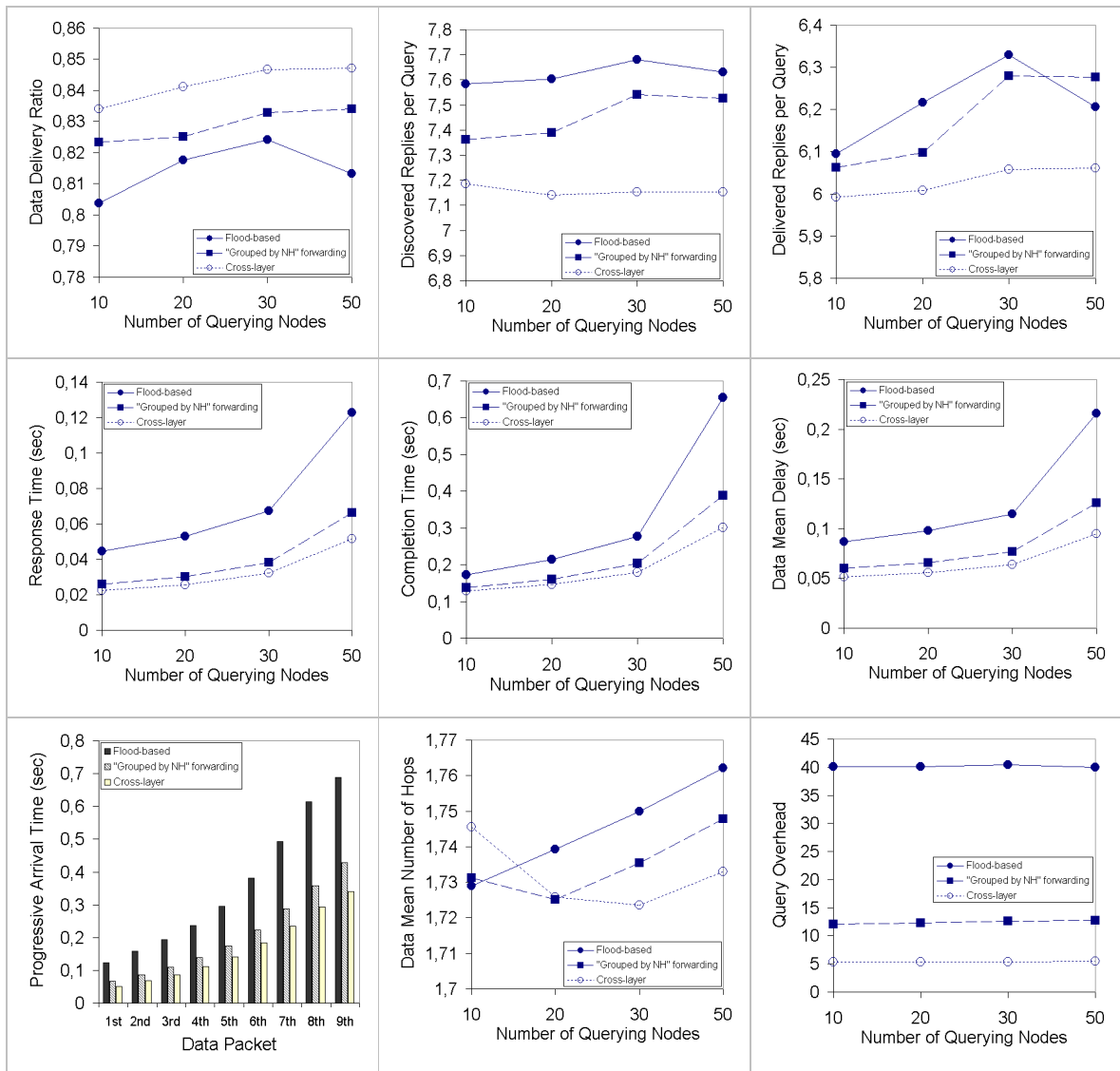
Σχήμα Π.46 Μεταβολή του Αριθμού των Ερωτώντων Κόμβων Χρησιμοποιώντας το Manhattan Mobility Model σε Περιοχή Κίνησης 1500x300 m² (mesh)



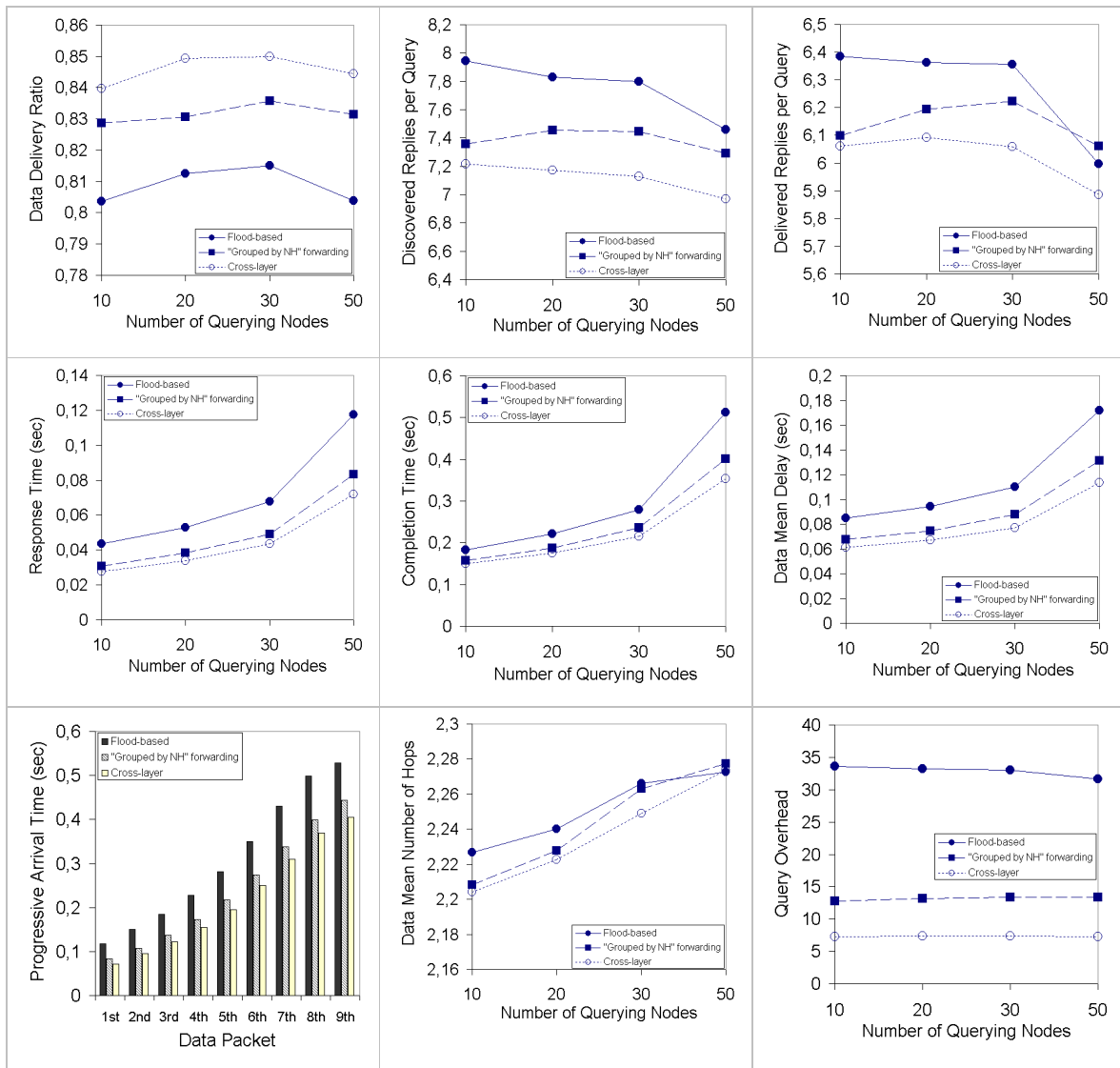
Σχήμα Π.47 Μεταβολή του Αριθμού των Ερωτώντων Κόμβων Χρησιμοποιώντας το Random Direction Mobility Model σε Περιοχή Κίνησης $1500 \times 300 \text{ m}^2$ (mesh)



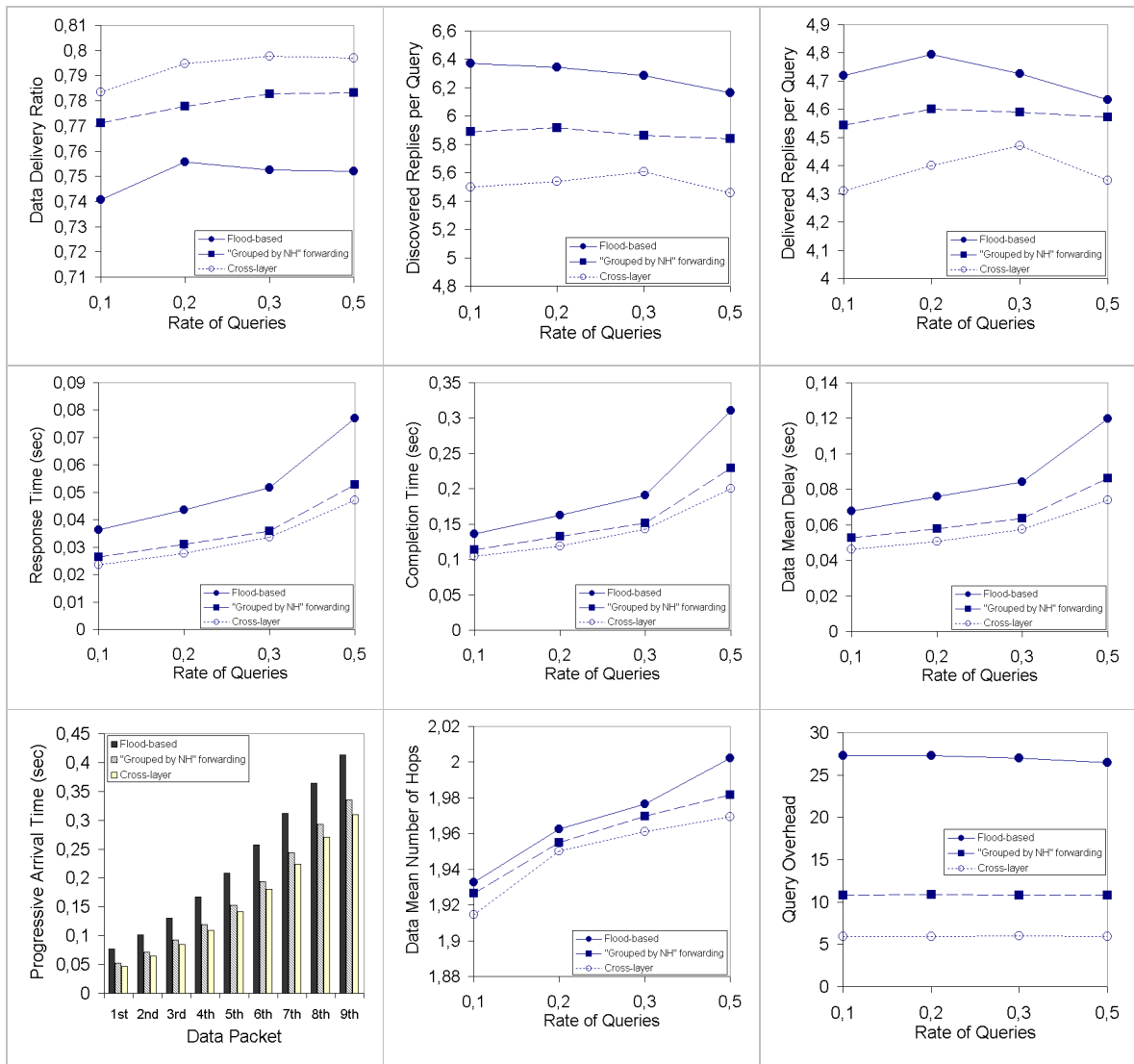
Σχήμα Π.48 Μεταβολή του Αριθμού των Ερωτώντων Κόμβων Χρησιμοποιώντας το Random Waypoint Mobility Model σε Περιοχή Κίνησης $700 \times 700 \text{ m}^2$ (mesh)



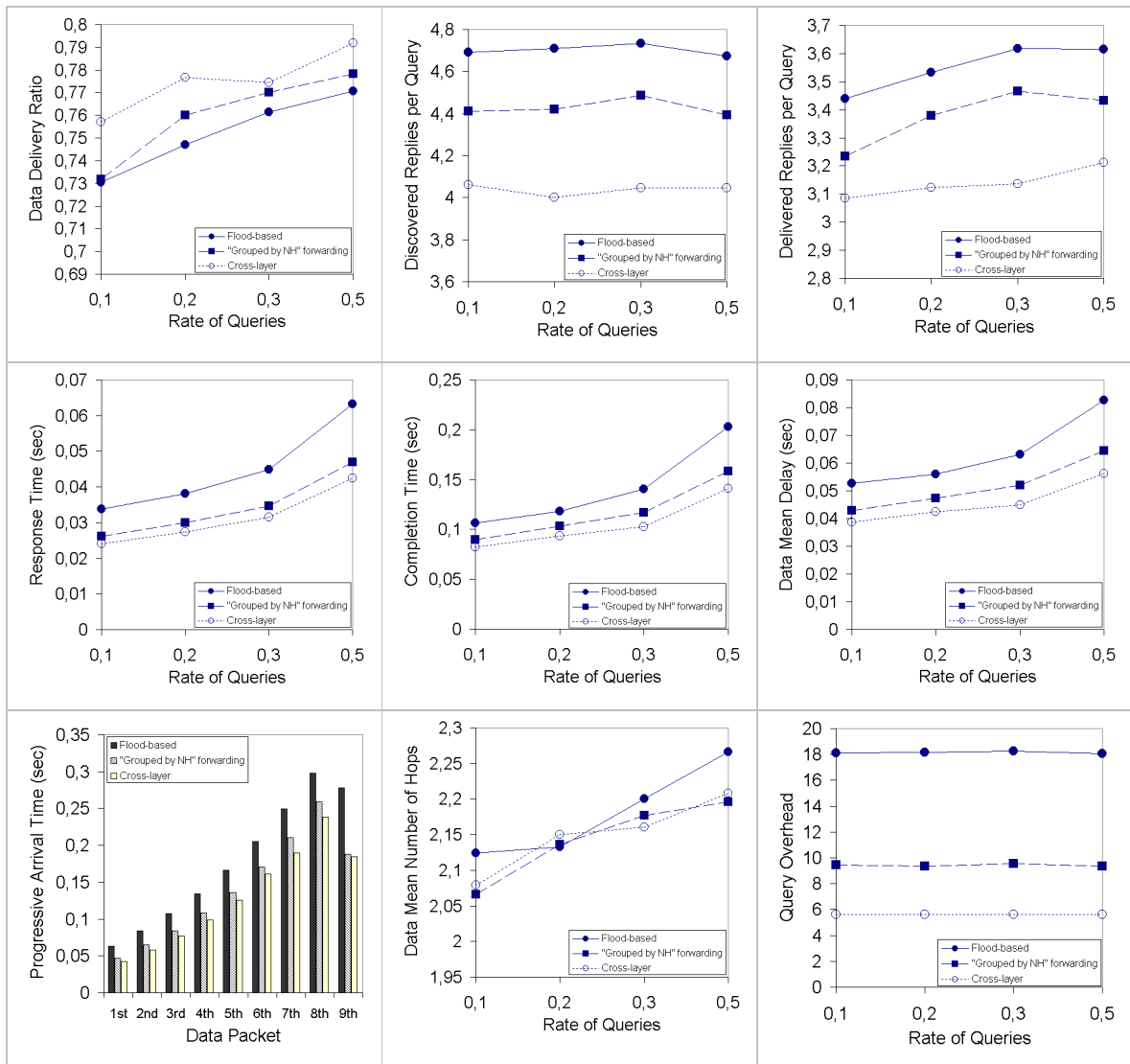
Σχήμα Π.49 Μεταβολή του Αριθμού των Ερωτώντων Κόμβων Χρησιμοποιώντας το Manhattan Mobility Model σε Περιοχή Κίνησης 700x700 m² (mesh)



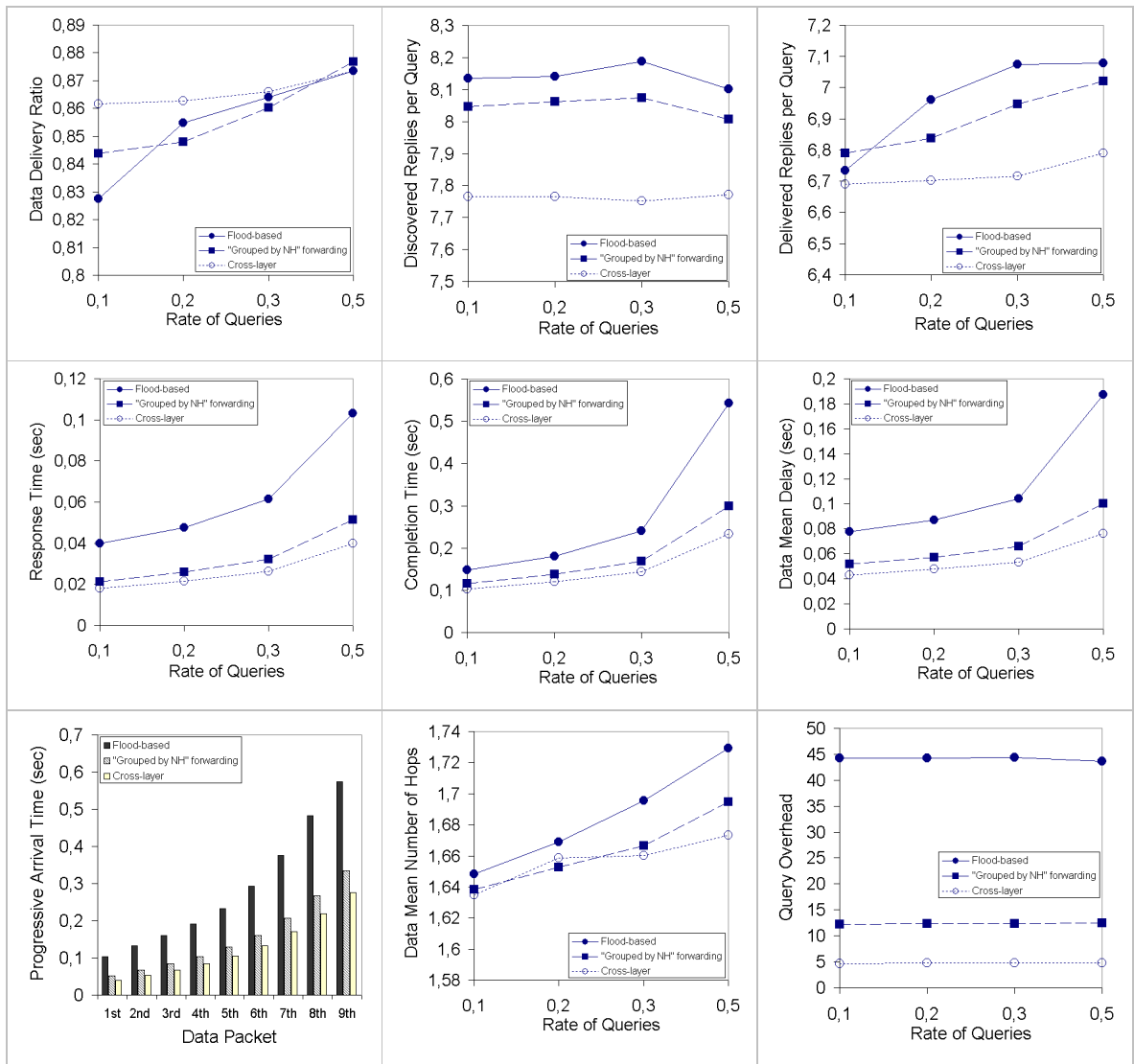
Σχήμα 11.50 Μεταβολή του Αριθμού των Ερωτώντων Κόμβων Χρησιμοποιώντας το Random Direction Mobility Model σε Περιοχή Κίνησης 700x700 m² (mesh)



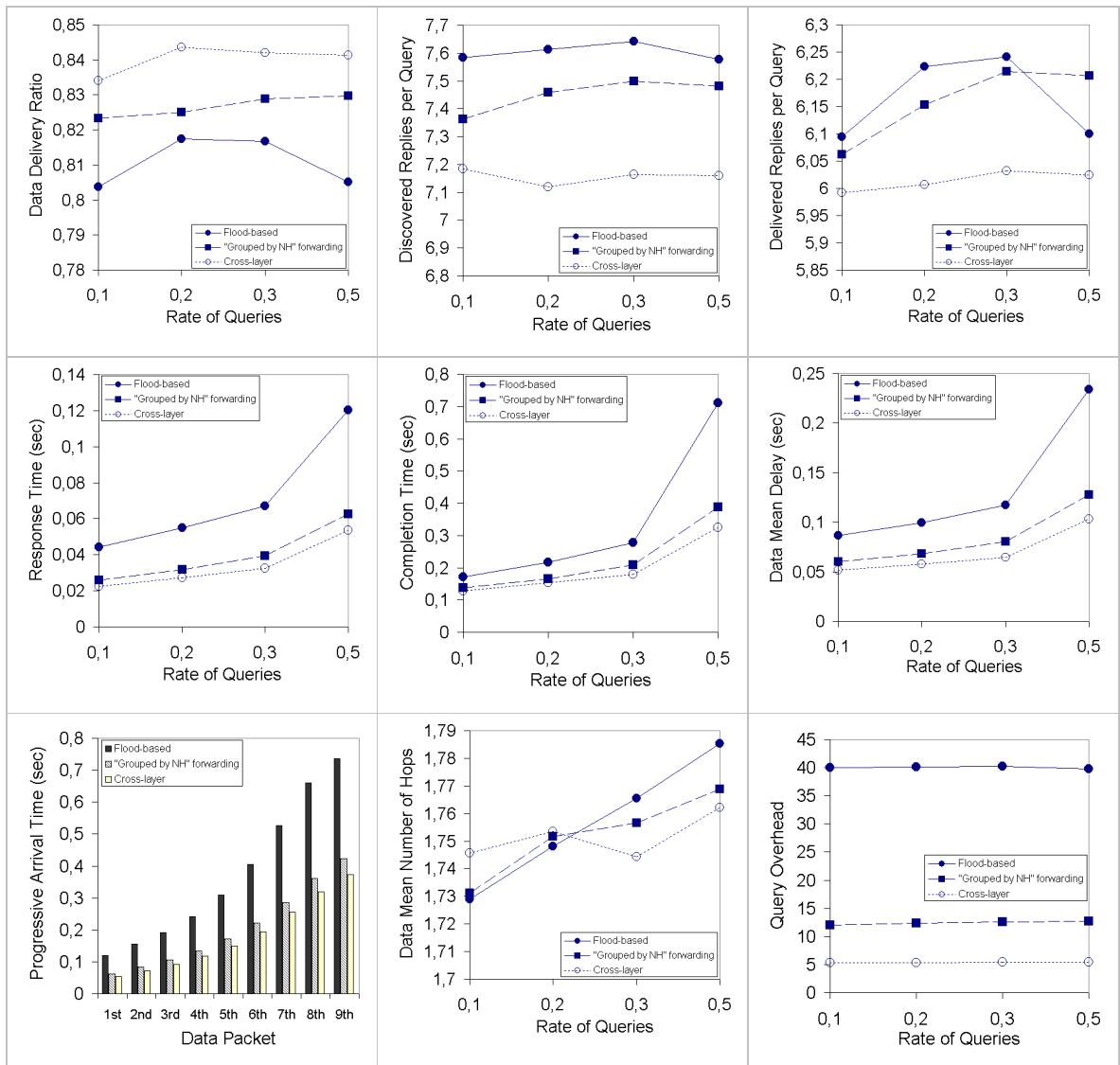
Σχήμα Π.51 Μεταβολή του Ρυθμού Δημιουργίας Ερωτήσεων Χρησιμοποιώντας το Manhattan Mobility Model σε Περιοχή Κίνησης 1500x300 m² (mesh)



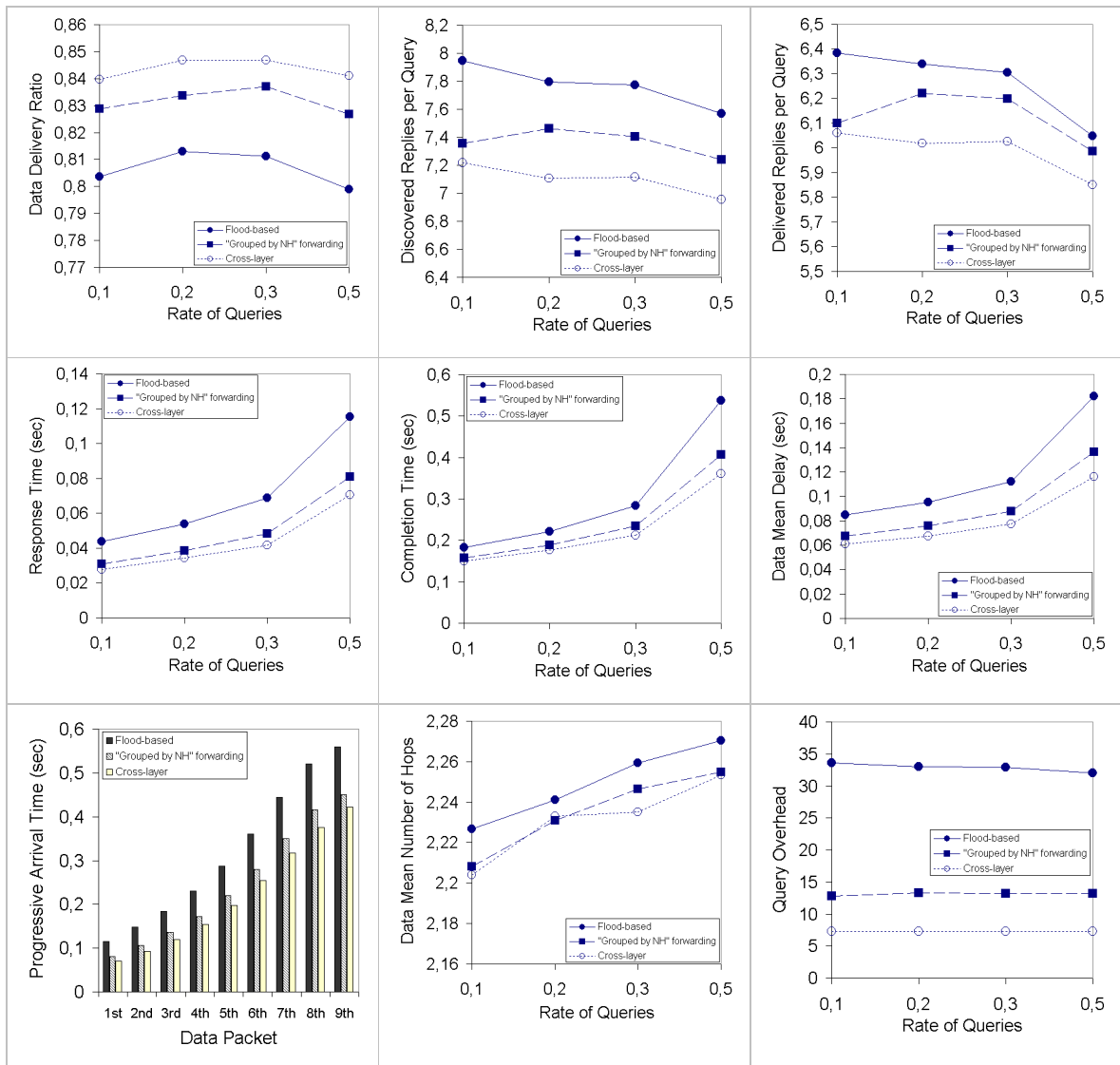
Σχήμα Π.52 Μεταβολή του Ρυθμού Δημιουργίας Ερωτήσεων Χρησιμοποιώντας το Random Direction Mobility Model σε Περιοχή Κίνησης 1500x300 m² (mesh)



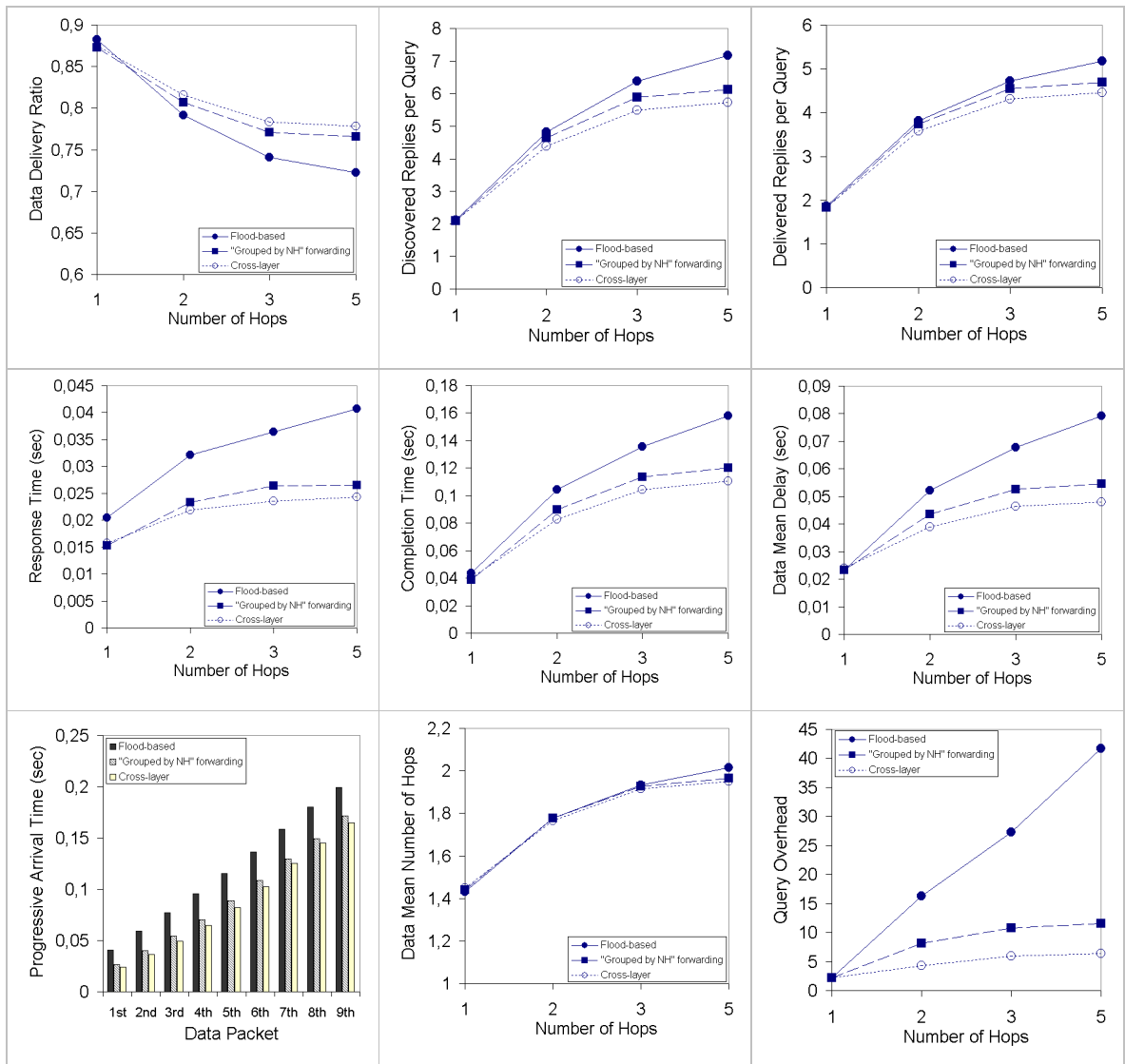
Σχήμα Π.53 Μεταβολή του Ρυθμού Δημιουργίας Ερωτήσεων Χρησιμοποιώντας το Random Waypoint Mobility Model σε Περιοχή Κίνησης 700x700 m² (mesh)



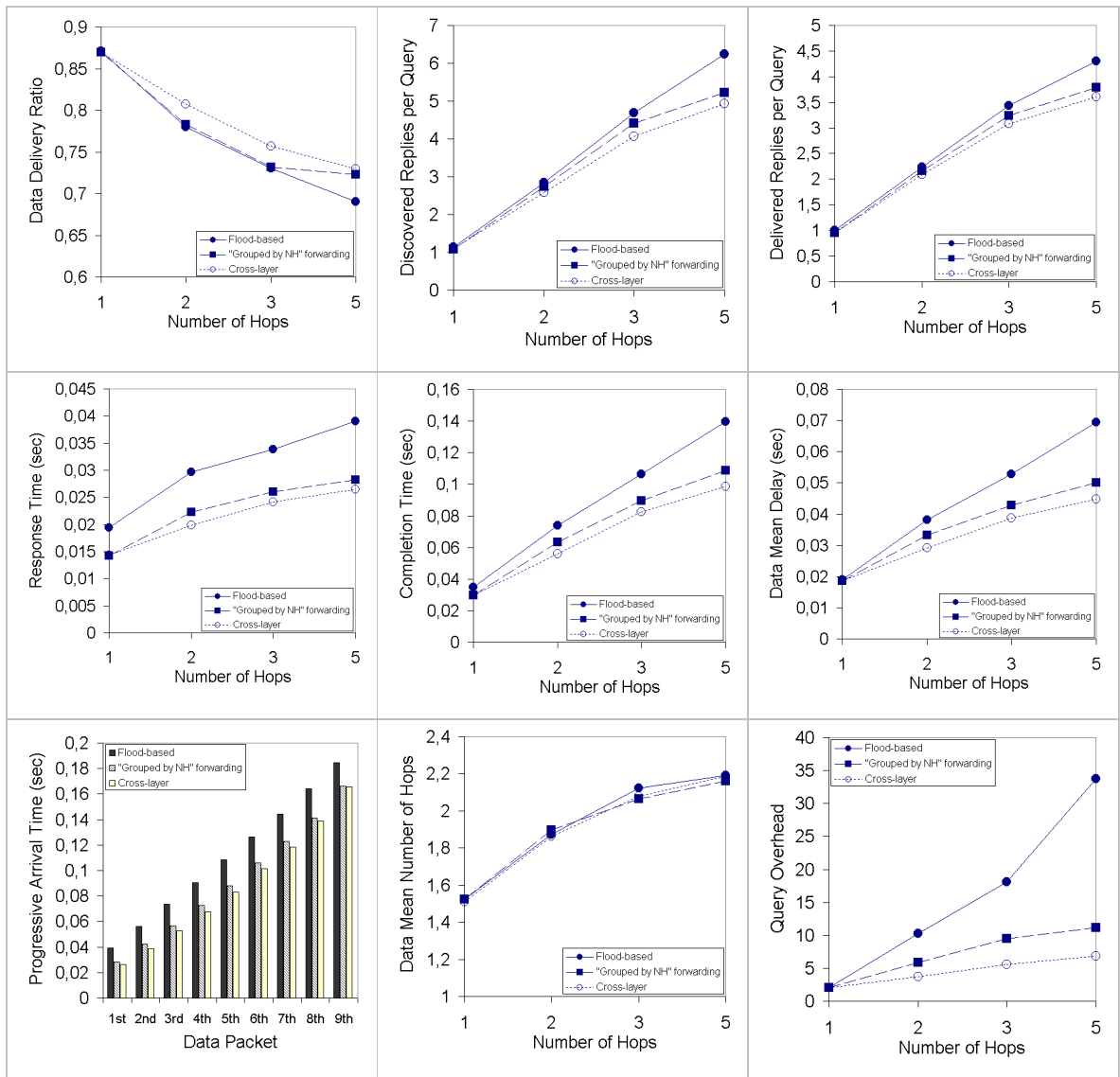
Σχήμα Π.54 Μεταβολή του Ρυθμού Δημιουργίας Ερωτήσεων Χρησιμοποιώντας το Manhattan Mobility Model σε Περιοχή Κίνησης 700x700 m² (mesh)



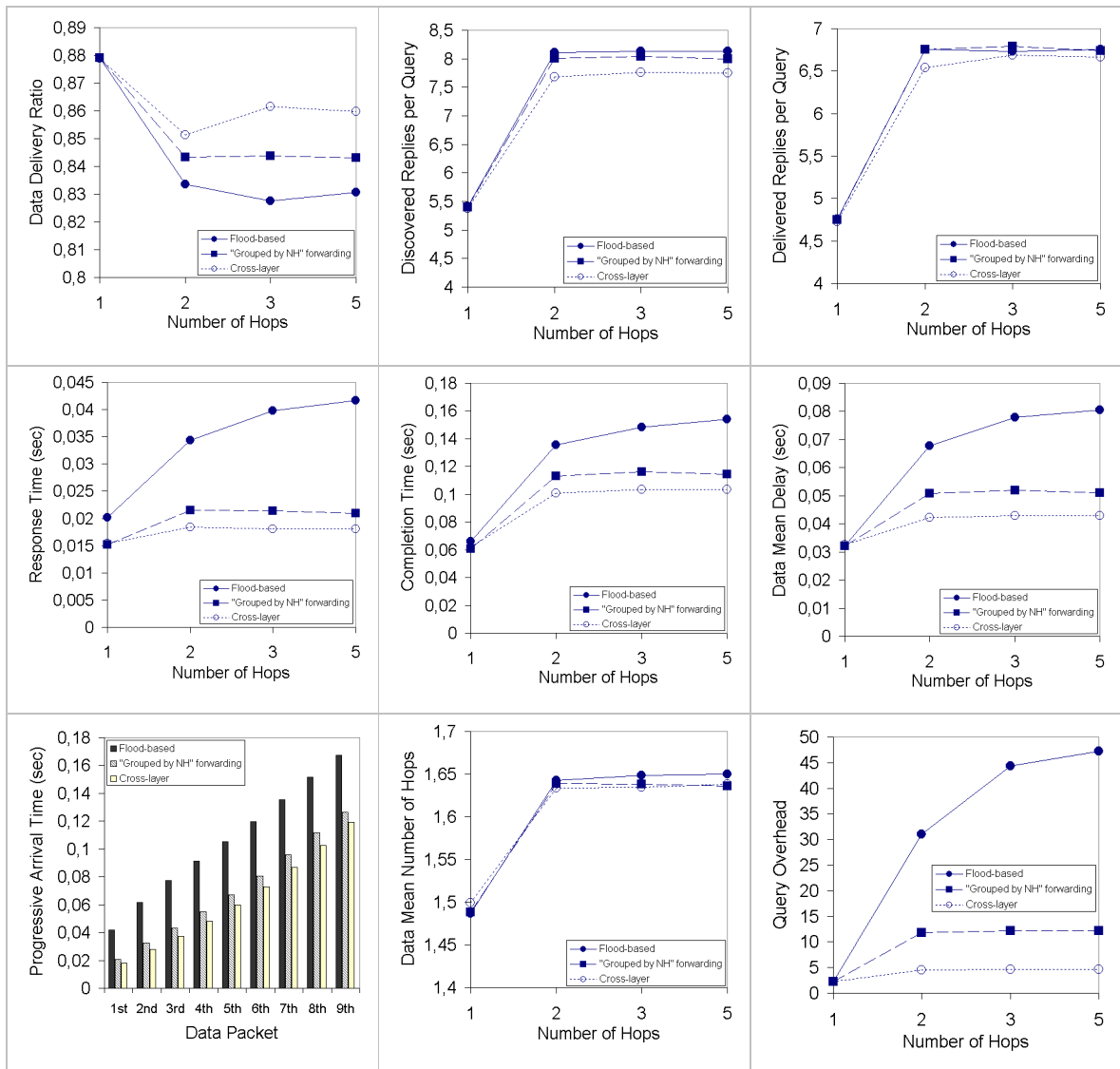
Σχήμα Π.55 Μεταβολή του Ρυθμού Δημιουργίας Ερωτήσεων Χρησιμοποιώντας το Random Direction Mobility Model σε Περιοχή Κίνησης 700x700 m² (mesh)



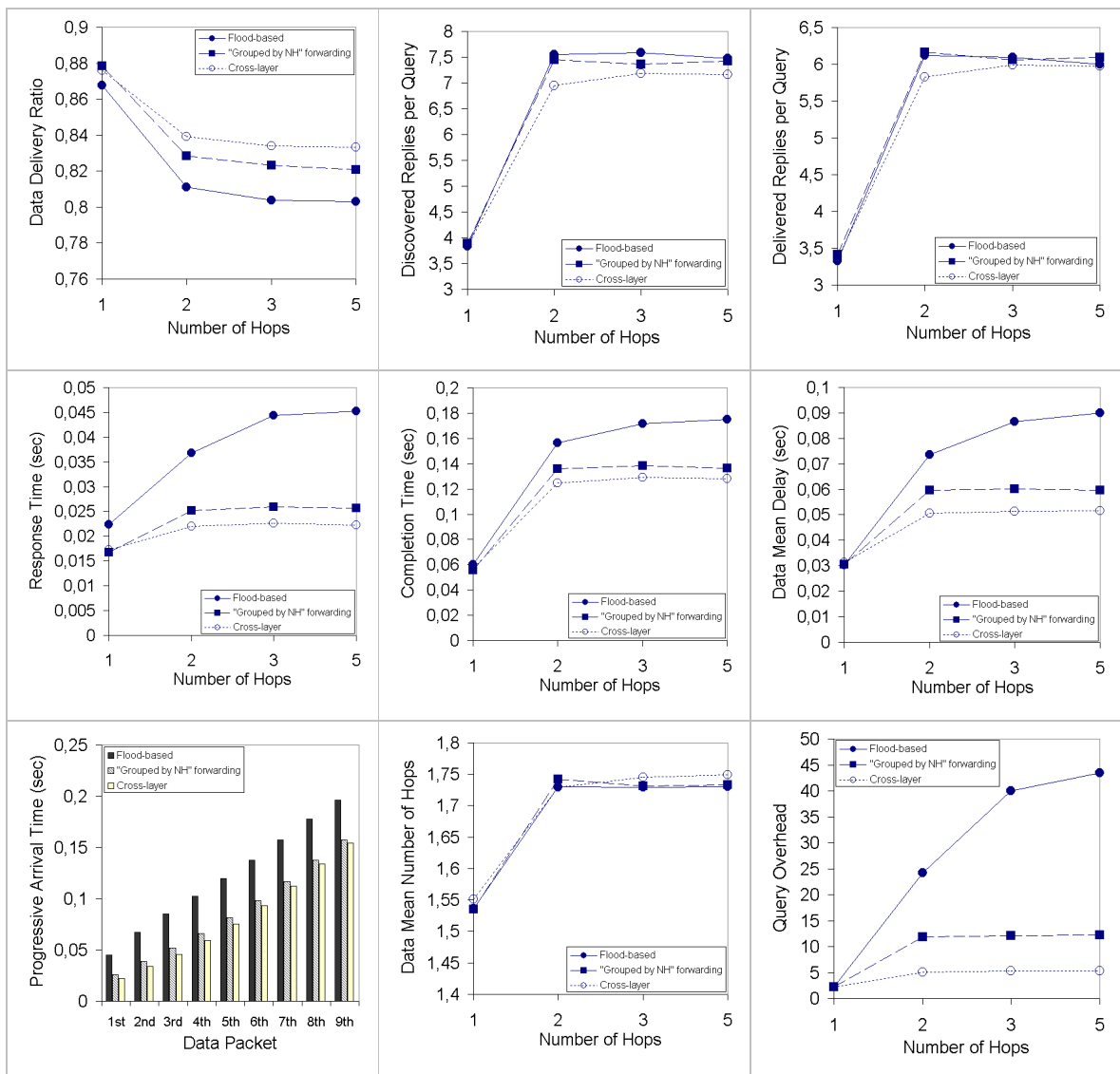
Σχήμα Π.56 Μεταβολή του Μέγιστου Αριθμού Αλμάτων Προώθησης μιας Ερώτησης Χρησιμοποιώντας το Manhattan Mobility Model σε Περιοχή Κίνησης 1500x300 m² (mesh)



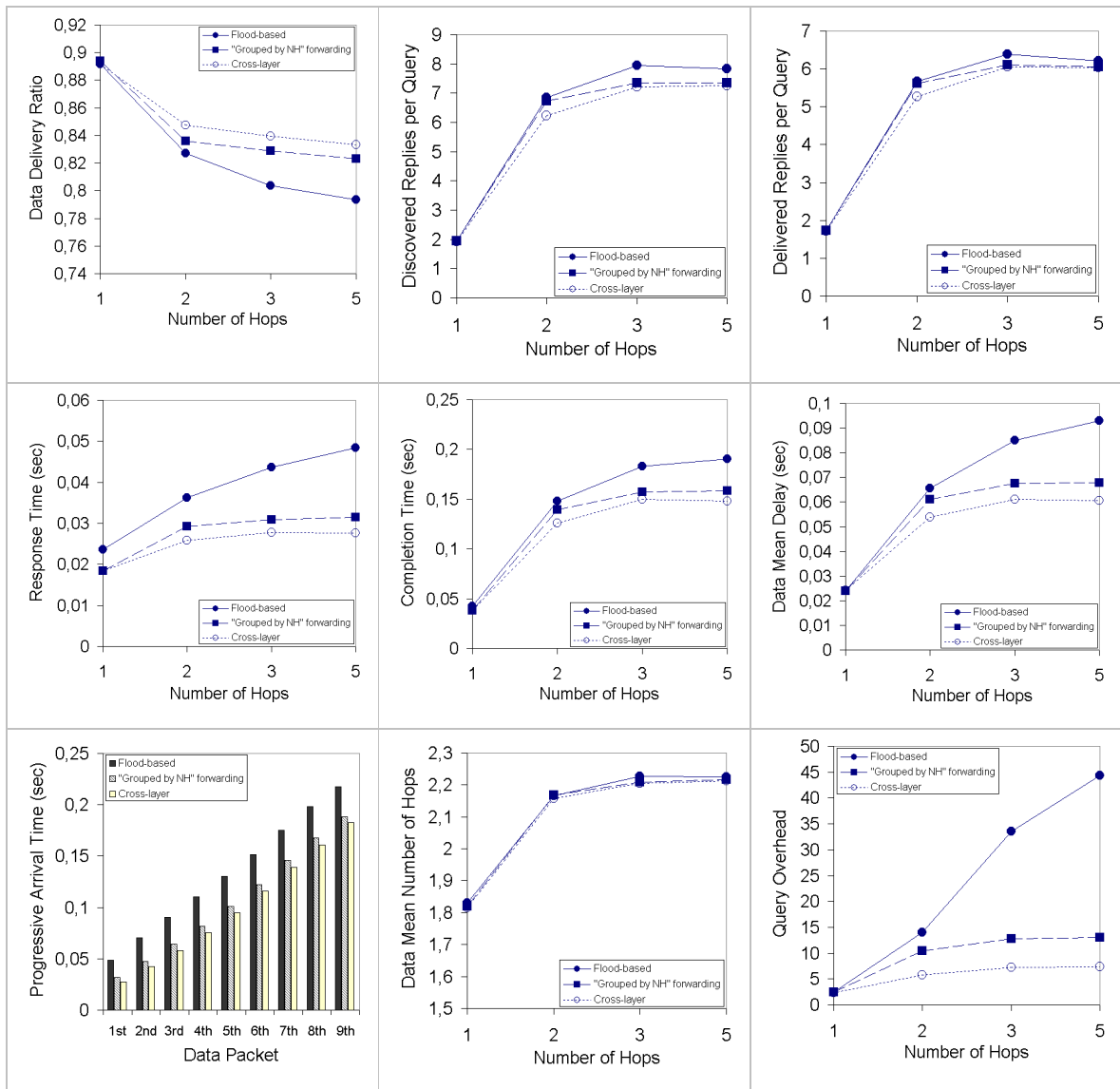
Σχήμα Π.57 Μεταβολή του Μέγιστου Αριθμού Αλμάτων Προώθησης μιας Ερώτησης Χρησιμοποιώντας το Random Direction Mobility Model σε Περιοχή Κίνησης $1500 \times 300 \text{ m}^2$ (mesh)



Σχήμα Π.58 Μεταβολή του Μέγιστου Αριθμού Αλμάτων Προώθησης μιας Ερώτησης Χρησιμοποιώντας το Random Waypoint Mobility Model σε Περιοχή Κίνησης $700 \times 700 \text{ m}^2$ (mesh)



Σχήμα Π.59 Μεταβολή του Μέγιστου Αριθμού Αλμάτων Προώθησης μιας Ερώτησης Χρησιμοποιώντας το Manhattan Mobility Model σε Περιοχή Κίνησης $700 \times 700 \text{ m}^2$ (mesh)



Σχήμα Π.60 Μεταβολή του Μέγιστου Αριθμού Αλμάτων Προώθησης μιας Ερώτησης Χρησιμοποιώντας το Random Direction Mobility Model σε Περιοχή Κίνησης $700 \times 700 \text{ m}^2$ (mesh)

ΣΥΝΤΟΜΟ ΒΙΟΓΡΑΦΙΚΟ

Η Ευθυμία Ρόβα γεννήθηκε το έτος 1982 και μεγάλωσε στην πόλη της Θεσσαλονίκης. Το έτος 2000 εισήχθη στο τμήμα Πληροφορικής των Θετικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων. Το έτος 2004 αποφοίτησε από την εν λόγω σχολή, ενώ την ίδια χρονιά ξεκίνησε τις σπουδές της στο Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών του ίδιου τμήματος.