

**ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΑΘΗΝΩΝ**



**ATHENS UNIVERSITY
OF ECONOMICS
AND BUSINESS**

**ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΔΙΠΛΩΜΑ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ
(MSc)
στα ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

“Evaluation of Neighbor Awareness Networking (NAN) for Emergency Response”

ΚΟΥΜΕΝΤΑΚΗΣ Ν. ΜΙΧΑΗΛ

MM4170007

ΑΘΗΝΑ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2019

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	3
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	5
ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΔΙΚΤΟΥ ΝΑΝ ΓΙΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΕΚΤΑΚΤΟΥ ΑΝΑΓΚΗΣ	6
ΜΟΝΤΕΛΑ ΚΙΝΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΑΝΘΡΩΠΩΝ ΣΤΟ ΧΩΡΟ	11
ΜΟΝΤΕΛΑ ΚΙΝΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΒΑΣΙΣΜΕΝΑ ΣΕ ΤΥΧΑΙΑ ΚΙΝΗΣΗ	12
RANDOM WAYPOINT MODEL	12
DISASTER SCENARIO MOBILITY MODEL	13
ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ	16
SUMO - TRACI	16
ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ	17
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ	18
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	19
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	20

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το NAN (Neighbor Awareness Networking) ενσωματώνει δυνατότητες που βελτιώνουν τις απευθείας επικοινωνίες, δίνοντας τη δυνατότητα στις συσκευές να ανταλλάσσουν πληροφορίες και υπηρεσίες χωρίς την ανάγκη ύπαρξης παραδοσιακής υποδομής δικτύου ή περίπλοκων διαδικασιών εγκατάστασης. Διαθέτει χαρακτηριστικά όπως γρήγορη ανακάλυψη συσκευών, σύνδεση και ανταλλαγή δεδομένων με άλλες συσκευές χωρίς την ανάγκη για παραδοσιακή υποδομή δικτύου, δημιουργώντας ανεξάρτητες συνδέσεις και εντάσσεται στα Mobile Ad-Hoc Networks (MANETs).

Αναφέρονται οι προκλήσεις που παρουσιάζονται και που καλούνται να αντιμετωπίσουν συσκευές που λειτουργούν σε καταστάσεις εκτάκτου ανάγκης υποστηρίζοντας εφαρμογές που θα επιχειρούν να προσφέρουν λύσεις. Θα αναλύσουμε κάποια βασικά χαρακτηριστικά του NAN, με περιορισμένη αναφορά γενικότερα σε MANETs, τα οποία τα διαφοροποιούν από τα σταθερά δίκτυα, όπως τοπολογίες που αλλάζουν δυναμικά μέσα στο χρόνο, ασύρματες ζεύξεις με περιορισμένη εμβέλεια και μεταβλητή χωρητικότητα, ενεργειακά περιορισμένη λειτουργία, διάφορες ασύρματες ευπάθειες που επιδρούν στην ασφάλεια κ.α.

Λόγω αυτών των χαρακτηριστικών και των περιορισμών, οι αρχιτεκτονικές που έχουν αναπτυχθεί όσον αφορά τα MANETs διαφοροποιούνται από αυτές που υλοποιούν παραδοσιακά σταθερά ή ασύρματα δίκτυα. Σε καταστάσεις εκτάκτου ανάγκης υπάρχουν συγκεκριμένες απαιτήσεις ανταλλαγής πληροφοριών που πρέπει να καλυφθούν από ένα δίκτυο για να υπάρξει όσο το δυνατόν καλύτερη απόκριση και αντιμετώπιση. Έτσι, στην επόμενη ενότητα αναλύονται αυτές οι απαιτήσεις και παρουσιάζεται η αρχιτεκτονική του NAN και ο τρόπος λειτουργίας του με σκοπό την συνολική αξιολόγησή του σχετικά με το πως μπορεί να λειτουργήσει για απόκριση και αντιμετώπιση εκτάκτων αναγκών.

Για το σχεδιασμό και βελτίωση των καταλλήλων πρωτοκόλλων και μεθόδων προώθησης της πληροφορίας, η κατανόηση και η κατάλληλη μοντελοποίηση της ανθρώπινης κινητικότητας στο χώρο είναι κρίσιμης σημασίας. Ένα μοντέλο κινητικότητας έχει σχεδιαστεί για να περιγράφει το μοτίβο κίνησης των χρηστών και τον τρόπο με τον οποίο αλλάζει η θέση τους, η ταχύτητα και η επιτάχυνση με την πάροδο του χρόνου. Καθώς τα μοτίβα κινητικότητας μπορούν να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στον προσδιορισμό της απόδοσης ενός πρωτοκόλλου, είναι επιθυμητό τα μοντέλα κινητικότητας να μιμούνται το μοτίβο κίνησης των συγκεκριμένων εφαρμογών στις οποίες αυτά τα πρωτόκολλα θα εφαρμοστούν. Διαφορετικά, οι παρατηρήσεις και τα συμπεράσματα που προκύπτουν από τις μελέτες προσομοίωσης μπορεί να είναι παραπλανητικά. Έτσι, για την αξιολόγηση του NAN σε απόκριση σε καταστάσεις εκτάκτων αναγκών, είναι απαραίτητο να επιλέξουμε το κατάλληλο υποκείμενο μοντέλο κινητικότητας.

Γίνεται περιορισμένη αναφορά στις γενικές κατηγορίες στις οποίες χωρίζονται τα μοντέλα κινητικότητας όπως τα Random Models στα οποία εντάσσεται το πολύ διαδομένο λόγω της απλότητάς του μοντέλο Random Waypoint, η κατηγορία μοντέλων κινητικότητας με χρονική εξάρτηση όπου η κίνηση ενός κόμβου έχει εξάρτηση από τις κινήσεις του που προηγήθηκαν με κυριότερο το μοντέλο Gauss-

Μαρκον, τα μοντέλα χωρικής εξάρτησης όπου κάποιοι κόμβοι κινούνται με συντονισμένο και εξαρτημένο μεταξύ τους τρόπο και τέλος τα μοντέλα με γεωγραφικούς περιορισμούς, όπου η κίνηση των κόμβων περιορίζεται από εμπόδια, κάτι που συμβαίνει σε καταστάσεις εκτάκτων αναγκών.

Στα πλαίσια σεναρίων καταστροφών παρουσιάζεται το μοντέλο Disaster area mobility όπου παρουσιάζεται πως χωροθετείται η γενική περιοχή από ομάδες αντιμετώπισης εκτάκτων αναγκών και πως διαχωρίζεται σε ζώνες με σκοπό την όσο το δυνατόν ακριβέστερη μοντελοποίηση κάθε ζώνης που θα οδηγήσει στην καλύτερη αξιολόγηση μέσω προσομοιώσεων.

Στην ενότητα με τις προσομοιώσεις που υλοποιήθηκαν θα αναφερθούμε στο open source εργαλείο προσομοίωσης κινητικότητας SUMO (Simulation of Urban Mobility), στη δυνατότητα μοντελοποίησης περιοχών του χάρτη, πως εντάσσονται κόμβοι σε αυτούς με τις απαραίτητες παραμέτρους κινητικότητάς τους καθώς και διαδρομές. Γίνεται αναφορά στο TraCI (Traffic Control Interface), ένα plugin που πλέον έχει ενταχθεί στο SUMO το οποίο μας παρέχει την απαραίτητη διασύνδεση μέσω του API του ώστε να έχουμε πρόσβαση κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης στους κόμβους της προσομοίωσης καθώς και να τροποποιούμε τις παραμέτρους τους δυναμικά. Θα παρουσιαστούν κάποιες προσομοιώσεις, καθώς και τα python scripts που χρησιμοποιήθηκαν σε σχέση με τα APIs του TraCI. Θα αναφερθούν προτάσεις για μελλοντική εργασία πάνω σε προσομοιώσεις σε NAN/MANETs χρησιμοποιώντας το SUMO.

Τέλος, αναφέρονται τα συμπεράσματα και η αξιολόγηση του NAN βάσει των χαρακτηριστικών του και το πως αναμένεται να λειτουργήσει σε καταστάσεις εκτάκτων αναγκών.

Η εργασία βασίστηκε σε διεθνή βιβλιογραφία σχετική με το NAN, τα MANETs και τα μοντέλα ανθρώπινης κινητικότητας καθώς και σε τεχνικές προδιαγραφές σχετικές με το NAN για την κάλυψη των χαρακτηριστικών του, της αρχιτεκτονικής του και του τρόπου λειτουργίας του.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το NAN (Neighbor Awareness Networking) ενσωματώνει δυνατότητες που βελτιώνουν τις απευθείας επικοινωνίες, δίνοντας την δυνατότητα στις συσκευές να ανταλλάσσουν πληροφορίες και υπηρεσίες χωρίς την ανάγκη ύπαρξης παραδοσιακής υποδομής δικτύου ή περίπλοκων διαδικασιών εγκατάστασης. Καθώς διαθέτει χαρακτηριστικά όπως γρήγορη ανακάλυψη, σύνδεση και ανταλλαγή δεδομένων με άλλες συσκευές χωρίς την ανάγκη για παραδοσιακή υποδομή δικτύου, εντάσσεται στα Mobile Ad-Hoc Networks, τα οποία εφεξής θα καλούμε MANETs.

Σε σενάρια εκτάκτου ανάγκης δεν μπορούμε να βασιζόμαστε σε οποιαδήποτε προεγκατεστημένη υποδομή καθώς αυτή κατά πάσα πιθανότητα θα έχει καταστραφεί ενώ ο διαμοιρασμός της πληροφορίας είναι κρίσιμης σημασίας και είναι αναγκαίο να γίνει το συντομότερο δυνατό. Η επίγνωση της κατάστασης από όλους όσους δρουν στην περιοχή είναι κρίσιμης σημασίας για μία αποτελεσματική αντιμετώπιση. Οι εμπλεκόμενοι πρέπει να λάβουν το συντομότερο δυνατό ακριβή πληροφόρηση για να έχουν την όσο δυνατόν καλύτερη απόκριση. Τα MANETs φαντάζουν ιδανικά από αυτή τη σκοπιά καθώς οι κινητοί κόμβοι μπορούν δυναμικά να διαμορφώσουν ένα δίκτυο χωρίς την ανάγκη ύπαρξης παραδοσιακής υποδομής ή κάποιας κεντρικής διαχείρισης. Ωστόσο, δεν έχουν επιτύχει ακόμα ευρεία εφαρμογή, αφού υπάρχουν πολλές προκλήσεις που δυσχεραίνουν την ένταξή τους σε αυτόν τον τομέα.

Η συνήθης πρακτική περιλαμβάνει τις πληροφορίες να καταφτάνουν με φωνητικά μηνύματα είτε διά ζώσης είτε μέσω ασυρμάτου και να διατηρούνται και να ενημερώνονται χειρόγραφες σημειώσεις, πίνακες, χάρτες, κάτι που μπορεί να οδηγήσει σε λάθη και καθυστερήσεις. Αυτά τα αρνητικά σημεία μπορούν να ελαχιστοποιηθούν με τη χρήση υπηρεσιών και εφαρμογών που θα βασίζονται σε υλοποίηση δικτύων NAN.

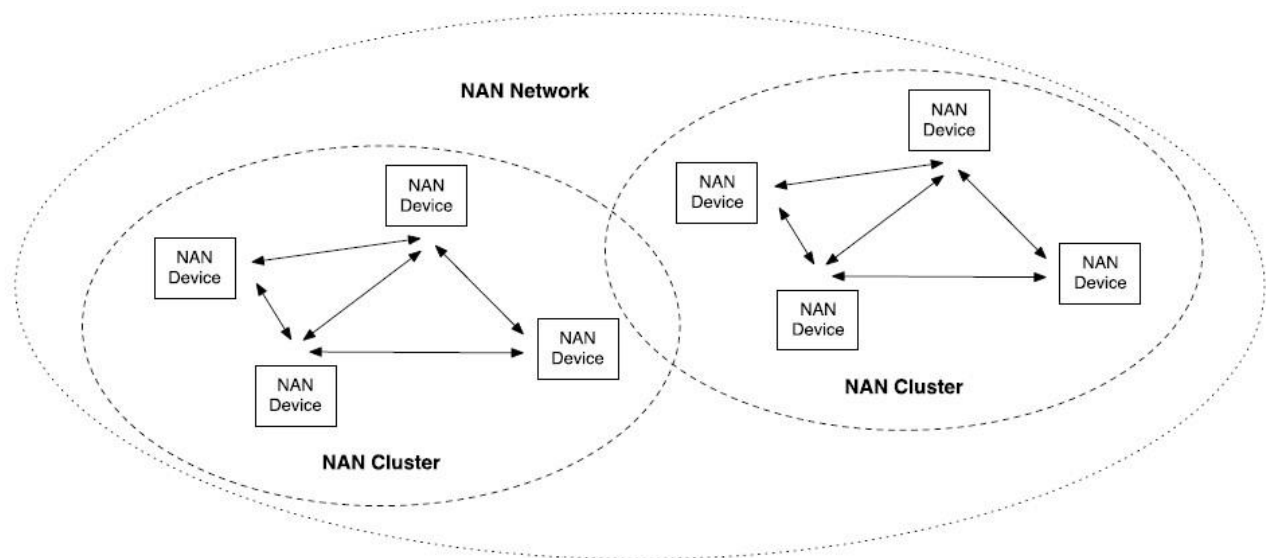
Η ύπαρξη δικτύων NAN/MANETs μπορούν να ενισχύσει σημαντικά την επιχειρησιακή ετοιμότητα αυτοματοποιώντας τις ενημερώσεις, βοηθώντας την παρακολούθηση της κατάστασης για αλλαγές και υποστηρίζοντας ανάληψη δράσης εγκαίρως ενώ, καθώς έχουμε ανθρώπινη κινητικότητα και οι διασώστες διασκορπίζονται σε μεγάλες εκτάσεις της περιοχής καταστροφής, τα δίκτυα NAN μπορούν να επιτρέψουν την ανταλλαγή δεδομένων σε όλη την περιοχή της καταστροφής.

Οι λύσεις που θα βασίζονται σε αυτές τις τεχνολογίες πρέπει να καλύπτουν ευρύτατο φάσμα περιπτώσεων. Σχετικά με τις καταστροφές, δεν μπορεί να προβλεφθεί ούτε το πότε, ούτε το πού, ούτε τι απαιτήσεις θα υπάρχουν ως προς τις επικοινωνίες για την απόκριση και αντιμετώπιση της καταστροφής. Σε επιχειρησιακό επίπεδο υπάρχει δυσκολία εφαρμογής και τήρησης τυποποιημένων διαδικασιών απόκρισης και αντιμετώπισης ειδικά σε μεγαλύτερης έκτασης καταστροφές. Οι δυνατότητες της όποιας εναπομένουσας υποδομής μετά την καταστροφή να εξυπηρετήσει την δικτυακή κίνηση θα εκμηδενιστούν, λόγω της ζήτησης από τους ανθρώπους που θα έχουν υποστεί την καταστροφή.

ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΔΙΚΤΟΥ NAN ΓΙΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΕΚΤΑΚΤΟΥ ΑΝΑΓΚΗΣ

Σε μία υλοποίηση NAN σε ένα σενάριο έκτακτης ανάγκης οι συσκευές/κόμβοι NAN μοιράζονται κοινές δικτυακές παραμέτρους που προσδιορίζουν τη χρονική διάρκεια των «παραθύρων» αναζήτησης, την περίοδο που μεσολαβεί μεταξύ δύο διαδοχικών παραθύρων, τα διαστήματα που μεσολαβούν μεταξύ σημάτων ελέγχου (beacon intervals), το κανάλι στο οποίο γίνεται η αναζήτηση. Στην ουσία αυτά τα χαρακτηριστικά είναι που διαφοροποιούν ένα δίκτυο NAN από ένα άλλο. Έτσι καθίσταται δυνατό στις συσκευές να «ανακαλύπτουν» την ύπαρξη άλλων συσκευών καθώς και υπηρεσιών/εφαρμογών ενώ το NAN λειτουργεί στο παρασκήνιο με έναν ενεργειακά αποδοτικό τρόπο.

Ένας κόμβος NAN θα προσπαθήσει να ανακαλύψει άλλους κοντινούς κόμβους και να ενταχθεί στην ομάδα που έχουν αυτοί σχηματίσει. Η ομάδα αυτή συγχρονίζει από κοινού στο ίδιο παράθυρο αναζήτησης και μοιράζεται το ίδιο NAN Cluster ID. Σε περίπτωση που ο κόμβος δεν ανιχνεύσει κάποιο cluster, μπορεί να ξεκινήσει ένα νέο. Σε περίπτωση που ανιχνεύσει παραπάνω από ένα cluster, η συσκευή προσχωρεί στο cluster με τη μεγαλύτερη βαθμολογία Cluster Grade¹.



Εικ.1 Δίκτυο NAN με 2 NAN Clusters, Wi-Fi Alliance (2017), Neighbor Awareness Networking Technical Specification version 2.0.

Μέσω της λειτουργίας του NAN, δημιουργούνται clusters συγχρονισμένων συσκευών, ακόμα και όταν δεν υπάρχει εμπιστοσύνη μεταξύ τους πέρα από το πρωτόκολλο NAN, το οποίο ορίζει αλγόριθμο επιλογής cluster που εξασφαλίζει πως οι συσκευές θα συγκλίνουν σε έναν κοινό cluster, αυξάνοντας τις ευκαιρίες να ανακαλύψουν ζητούμενες υπηρεσίες.

Έτσι, όταν μία συσκευή που συμμετέχει σε ένα cluster ανακαλύψει ένα νέο cluster με μεγαλύτερη βαθμολογία cluster (Cluster Grade) έχουμε συνένωση clusters. Τότε η συσκευή αφήνει το τρέχον cluster και προσχωρεί στο νέο. Όταν η συσκευή

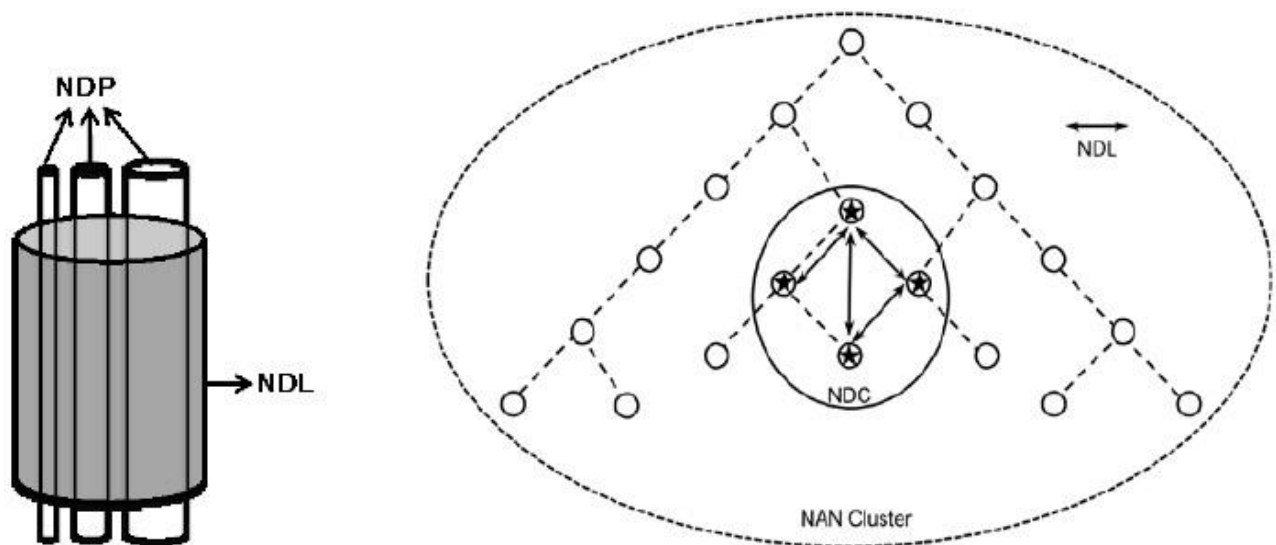
¹ $CG = 2^{64}A1 + A2$, με A1 ο βαθμός που επιλέγει να έχει ο Anchor Master και A2 η τιμή TSF (8-octet) του cluster) και υιοθετεί τις παραμέτρους του cluster όπως πληροφορία για τον Anchor Master και για την Λειτουργία Συγχρονισμού (Time Synchronization Function)

είχε ρόλο Master ή Non-Master Sync στέλνει σήματα συγχρονισμού που περιέχουν πληροφορία για το νέο cluster στο παράθυρο ανακάλυψης του παλιού cluster εκκινώντας τη διαδικασία συνένωσης των clusters.

Το μέγεθος ενός cluster μπορεί να οριστεί κατά περίπτωση υλοποίησης θέτοντας ένα μέγιστο επιτρεπόμενο όριο hop counts στον Anchor Master. Η συσκευή με ρόλο Anchor Master σε ένα cluster έχει την ευθύνη της διατήρησης του συγχρονισμού μεταξύ των NAN συσκευών ενώ συσκευές με ρόλο Master διαδίδουν σήματα συγχρονισμού και ανακάλυψης νέων συσκευών. Παρακάτω περιγράφονται οι ρόλοι που μπορούν να αναλάβουν οι NAN συσκευές.

Οι συσκευές της ομάδας συνεργάζονται για να συγχρονίσουν σε ένα κοινό χρονοπρογραμματισμό παραθύρου αναζήτησης (Discovery Window) υπηρεσιών. Εντός του παραθύρου αναζήτησης οι συσκευές του cluster ανταλλάσσουν service frames δημοσιοποιώντας ή αναζητώντας μία υπηρεσία.

Μέσα σε ένα NAN cluster οι κόμβοι μπορούν να επικοινωνούν εγκαθιδρύοντας λογικούς συνδέσμους μεταξύ τους (NAN Device Links, NDL) μέσω των οποίων εγκαθιδρύονται σύνδεσμοι δεδομένων (NAN Data Path, NDP) για κάθε εφαρμογή και υπηρεσία που θέλει να ανταλλάξει δεδομένα στα πλαίσια του publish/subscribe μοντέλου του NAN. Οι υπηρεσίες ταυτοποιούνται από το Service ID το οποίο είναι ένα hash του ονόματος της υπηρεσίας μήκους 6 bytes.

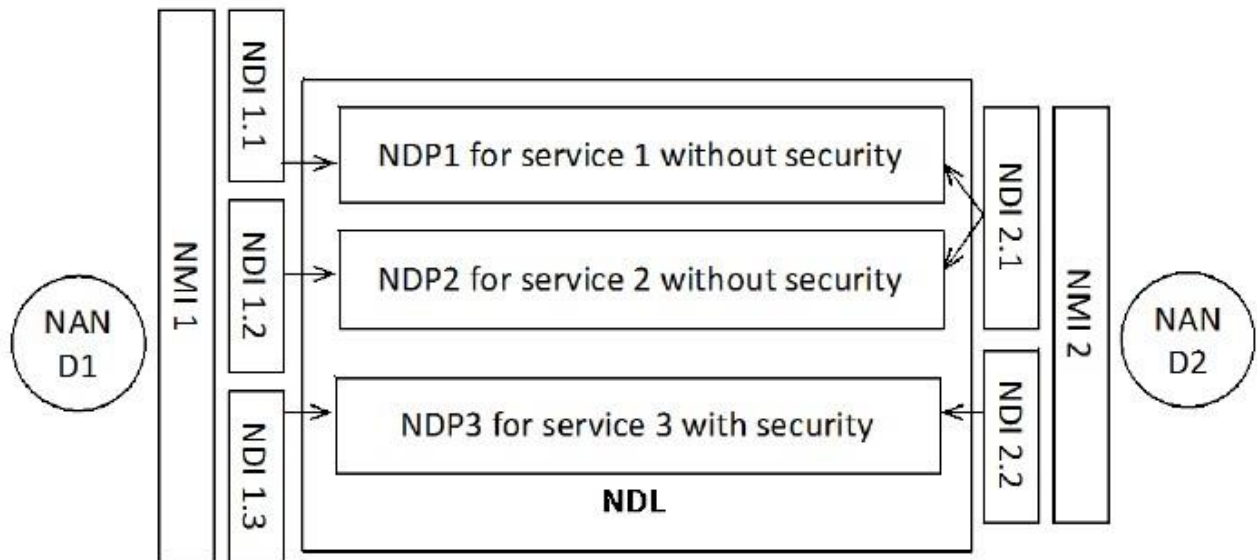


Εικ.2 Σχηματική απεικόνιση NAN Data Link, NAN Data Path και NAN Data Cluster, Wi-Fi Alliance (2017), Neighbor Awareness Networking Technical Specification version 2.0.

Σε καταστάσεις εκτάκτων αναγκών, για να αντιμετωπιστεί όσο το δυνατόν καλύτερα το πρόβλημα της απρόβλεπτης συνδεσιμότητας, οι υπερκείμενες εφαρμογές μπορούν να επωφεληθούν από τη λειτουργία ranging του NAN μέσω της οποίας υπολογίζεται η απόσταση μεταξύ δύο NAN συσκευών, χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο Fine Time Measurement (FTM), καθώς και να χρησιμοποιούν τα received, replied, data confirm και data termination events των λειτουργιών publish και subscribe. Έτσι θα μπορέσουν να υλοποιήσουν κάποια μορφή ευκαιριακής δικτύωσης στην οποία η κινητικότητα των κόμβων να επιτρέπει τη σύνδεση τμημάτων του δικτύου τα οποία σε αντίθετη περίπτωση θα ήταν αποκομμένα μεταξύ τους και στην οποία οι κόμβοι να μπορούν να αποθηκεύσουν και να μεταφέρουν πληροφορία

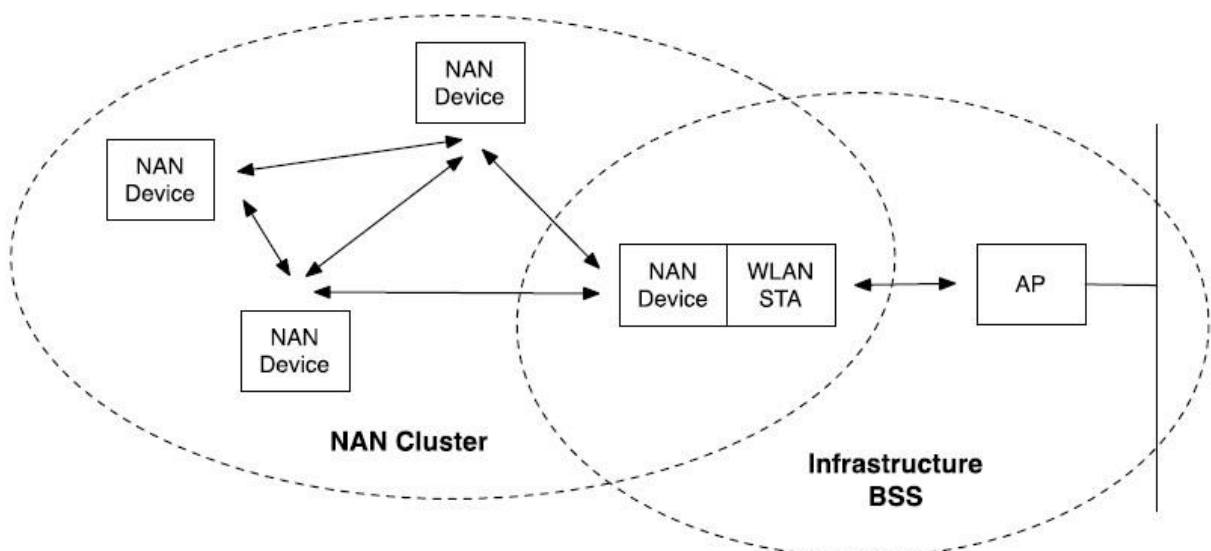
και να τη μεταδώσουν όταν βρεθούν εντός εμβέλειας με κάποιον άλλο κατάλληλο κόμβο, δηλαδή όταν βρεθεί ευκαιρία προώθησης της πληροφορίας.

Για όσο το δυνατόν ταχύτερη αποκατάσταση σύνδεσης, οι εφαρμογές μπορούν να κάνουν όσο το δυνατόν αποδοτικότερη χρήση της διευθυνσιοδότησης του NAN σχετικά με τις εφαρμογές υπηρεσίας, NAN Management Interface Address (NMI) και NAN Data Interface Addresses (NDIs) για να αποθηκεύουν sessions ανταλλαγής πληροφοριών με στόχο την ταχύτερη αποκατάσταση. Στο παρακάτω σχήμα βλέπουμε ένα παράδειγμα χρήσης πολλαπλών NDIs, μία για κάθε NDP για την καλύτερη διαχείριση εφαρμογών/υπηρεσιών με διαφορετικές απαιτήσεις ασφαλείας. Παρόμοια προσέγγιση μπορεί να ακολουθηθεί από οποιαδήποτε εφαρμογή/υπηρεσία κάνει χρήση του NAN.



Εικ.3 Υλοποίηση διευθυνσιοδότησης διαφορετικών υπηρεσιών/εφαρμογών που λειτουργούν ταυτόχρονα σε 2 NAN συσκευές, Wi-Fi Alliance (2017), Neighbor Awareness Networking Technical Specification version 2.0.

Παράλληλα, το NAN μπορεί να διαχειριστεί ταυτόχρονες συνδέσεις που τυχόν υπάρχουν σε υπάρχουσα υποδομή.



Εικ.4 NAN Συσκευή που συνδέεται ταυτόχρονα και σε σταθερή υποδομή, Wi-Fi Alliance (2017), Neighbor Awareness Networking Technical Specification version 2.0.

Γενικά, με μία αρχιτεκτονική και ανάπτυξη προσανατολισμένη στις εφαρμογές, με όσο το δυνατόν αφαίρεση πολυπλοκότητας, όπου ανάλογα με το εκάστοτε σενάριο της εφαρμογής απαλείφονται οι ανάλογοι περιορισμοί, με ρεαλιστικά μοντέλα προσομοίωσης και με δοκιμές σε περιβάλλοντα όπου θα εμπλέκονται και οι τελικοί χρήστες για να υπάρχει έγκαιρη ανατροφοδότηση, μπορούν να εντοπιστούν και να αντιμετωπιστούν πολλά από τα προβλήματα που θα προκύψουν.

Στόχος είναι η αξιόπιστη μετάδοση πληροφορίας με χρήση πρωτοκόλλων που μπορούν να υλοποιούν ευκαιριακή αναμετάδοση και ανοχή σε καθυστέρηση παράδοσης μηνυμάτων και μπορούν να εγγυηθούν παράδοση μηνυμάτων κρίσιμης σημασίας, ενώ αντιμετωπίζεται ανομοιογένεια ως προς το μέγεθος της δικτυακής κίνησης καθώς σε τμήματα του δικτύου υπάρχει συμφόρηση ενώ σε άλλα υπάρχει χαμηλή κίνηση (κάτι που μπορεί να αλλάζει πολύ γρήγορα), καθώς και τμήματα του δικτύου αποκόπτονται.

Όλα αυτά πρέπει να συμβαίνουν με ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης ενέργειας, κάτι που δεν είναι εύκολο, καθώς πέρα από τη μετάδοση μηνυμάτων, η αναζήτηση και ο συγχρονισμός είναι ενεργοβόρες διαδικασίες.

Σχετικά με την κατανάλωση ενέργειας, το Service Discovery Protocol (SDP) και το Attribute Protocol (ATT) που ορίζονται στις προδιαγραφές Low Energy Bluetooth (BLE) είναι πιο ενεργειακά αποδοτικά από το Wi-Fi NAN. Το BLE και το Wi-Fi NAN έχουν όμως διαφορετικά πεδία εφαρμογής και προσεγγίσεις: το BLE επιτρέπει σε συσκευές να ανακαλύψουν η μία την άλλη σε έναν περιορισμένο σχετικά χώρο όπως ένα δωμάτιο και να ανταλλάξουν μικρή ποσότητα δεδομένων, ενώ το NAN επιτρέπει την ανακάλυψη υπηρεσιών σε μία ευρύτερη περιοχή υποστηρίζοντας επικοινωνίες υψηλού ρυθμού δεδομένων.

Σχετικά με την ασφάλεια στα δίκτυα NAN, το NAN παρέχει αρκετές παραμέτρους ασφάλειας και οι υπερκείμενες εφαρμογές καλούνται πέρα από τη χρήση των δυνατοτήτων που τους παρέχει το NAN, να υποβοηθούν την ορθή λειτουργία του δικτύου σχετικά με θέματα ασφάλειας ακολουθώντας τις σχετικές βασικές οδηγίες του NAN. Για παράδειγμα, μία "κακόβουλη" συσκευή μπορεί να διαταράξει τη διαδικασία συγχρονισμού η οποία είναι ζωτικής σημασίας για τη λειτουργία του NAN στέλνοντας ειδικά σχεδιασμένα σήματα συγχρονισμού που μπορεί να περιέχουν λάθος πληροφορία σχετικά με το cluster. Σήματα συγχρονισμού μεταδίδονται από πολλές NAN συσκευές στο cluster οπότε η διαδικασία είναι αρκετά εύρωστη ώστε να αντιπαρέλθει μεμονωμένα κακόβουλα σήματα συγχρονισμού, παρόλα αυτά όμως η συνεχής μετάδοση τέτοιων σημάτων οδηγεί σε denial of service, οπότε εναπόκειται στην υπερκείμενη εφαρμογή η ανίχνευση κακόβουλων σημάτων συγχρονισμού.

Αναφέρθηκαν πιο πάνω κάποιοι ρόλοι συσκευών σε ένα NAN cluster, γίνεται παρακάτω μία σύντομη περιγραφή και επεξήγηση των ρόλων αυτών.

Οι βασικοί μηχανισμοί σε έναν NAN cluster είναι δύο, η ανακάλυψη υπαρχόντων clusters με όσο το δυνατόν μικρότερη κατανάλωση ενέργειας από συσκευές και ο συγχρονισμός των ρολογιών των συσκευών με στόχο την ευθυγράμμιση των παραθύρων ανακάλυψης (Discovery Windows) με σκοπό την ανταλλαγή πακέτων ανακάλυψης υπηρεσιών. Γι' αυτούς τους λόγους οι συσκευές ανταλλάσσουν σήματα Ανακάλυψης και Συγχρονισμού (Discovery and Synchronization Beacons).

Μία βασική ευθύνη του NAN πρωτοκόλλου είναι το να καταναίμει την εργασία δημιουργίας σημάτων στις συσκευές. Οι συσκευές "εκφράζουν" την προτίμησή τους να αναλάβουν αυτή την εργασία ανάλογα, π.χ., με το πόση μπαταρία απομένει ενώ διασφαλίζεται ένας δίκαιος τρόπος κατανομής σε συσκευές με τον ίδιο βαθμό προτίμησης.

Γι' αυτό το λόγο ορίζονται οι εξής 4 ρόλοι ή καταστάσεις στις οποίες μπορεί να μεταβεί μία συσκευή: Anchor Master, Master, Non-Master Sync or Non-Master Non-Sync.

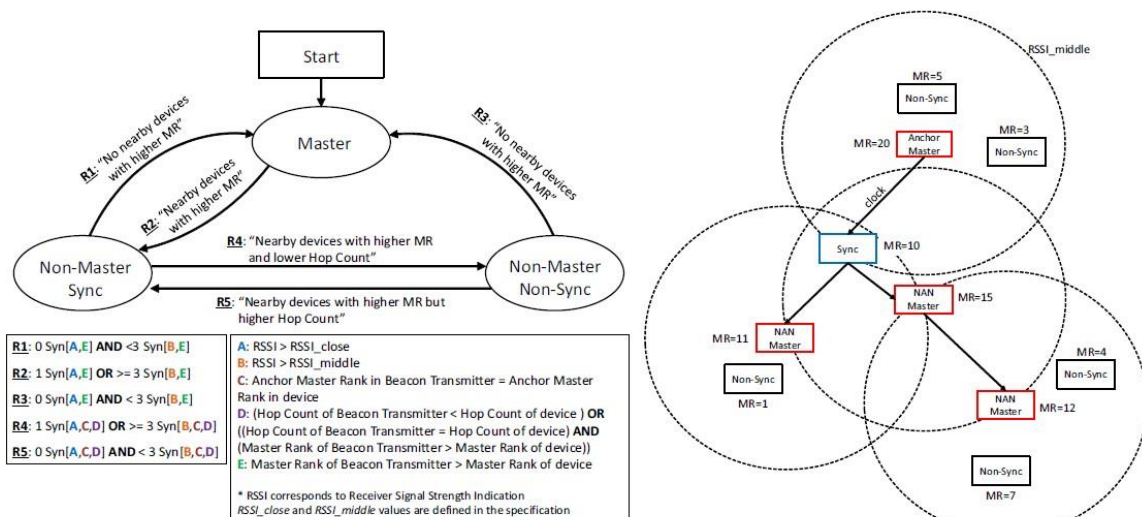
Ως Anchor Master επιλέγεται η συσκευή Master με τη μεγαλύτερη βαθμολογία και η βασική της ευθύνη είναι η διατήρηση του συγχρονισμού, ώστε όλες οι συσκευές ακολουθούν τον χρονισμό αυτής. Μέσω των διαδικασιών του πρωτοκόλλου NAN ένα cluster συγκλίνει στο να έχει ένα μόνο Anchor Master.

Συσκευές με τον ρόλο Master διαδίδουν πληροφορία συγχρονισμού και ανακάλυψης.

Συσκευές σε ρόλο Non-Master Sync μεταδίδουν σήματα συγχρονισμού αλλά όχι ανακάλυψης.

Οι συσκευές Non-Master Non-Sync δεν μεταδίδουν σήματα και δεν χρειάζεται να είναι ενεργές σε όλη τη διάρκεια του παραθύρου ανακάλυψης επωφελούμενες από μεγαλύτερη οικονομία στην ενέργεια.

Στην ουσία, με τη χρήση των καταστάσεων NAN οι συσκευές μοιράζονται με δίκαιο τρόπο την επιβάρυνση των διαδικασιών συγχρονισμού, ανακάλυψης με τη χρήση σημάτων (beacons) αναθέτοντας πιο πολύ σχετικό φορτίο σε συσκευές με μεγαλύτερες τιμές Master Preference.



Εικ.5 Διάγραμμα μετάβασης καταστάσεων NAN συσκευής και απεικόνιση NAN συσκευών με τις καταστάσεις τους και τις τιμές Master Rank σε συγκεκριμένη τοπολογία, Enabling always on service discovery: Wifi neighbor awareness networking, Wireless Communications, IEEE.

ΜΟΝΤΕΛΑ ΚΙΝΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΑΝΘΡΩΠΩΝ ΣΤΟ ΧΩΡΟ

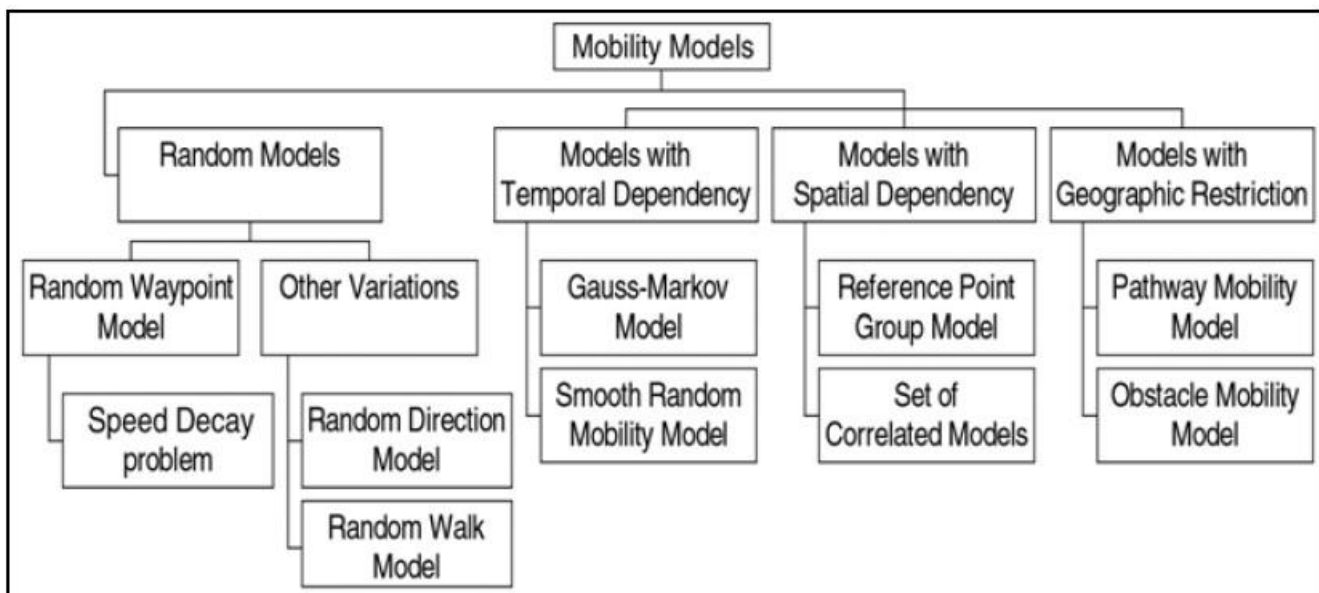
Η κατανόηση και η κατάλληλη μοντελοποίηση της ανθρώπινης κινητικότητας στο χώρο είναι κρίσιμης σημασίας τόσο για την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τους περιορισμούς στην επικοινωνία όσο και για το σχεδιασμό και βελτίωση των καταλλήλων πρωτοκόλλων και στρατηγικών προώθησης της πληροφορίας.

Παράμετροι όπως ο χρόνος στον οποίο δύο συσκευές είναι εντός εμβέλειας των ασύρματων πομποδεκτών τους (contact time), ο χρόνος μεταξύ δύο διαδοχικών επαφών για κάποια συσκευή (inter-contact time) καθώς και άλλοι, εξετάζονται και αξιολογούνται ανάλογα βάσει της επίδρασης που έχουν στο ανάλογο πρωτόκολλο δικτύωσης.

Το μοντέλο κινητικότητας έχει σχεδιαστεί για να περιγράφει το μοτίβο κίνησης των χρηστών και τον τρόπο με τον οποίο αλλάζει η θέση τους, η ταχύτητα και η επιτάχυνση με την πάροδο του χρόνου. Καθώς τα μοτίβα κινητικότητας μπορούν να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στον προσδιορισμό της απόδοσης ενός πρωτοκόλλου, είναι επιθυμητό τα μοντέλα κινητικότητας να μιμούνται το μοτίβο κίνησης, με έναν λογικό τρόπο, των συγκεκριμένων εφαρμογών στις οποίες αυτά τα πρωτόκολλα θα εφαρμοστούν. Διαφορετικά, οι παρατηρήσεις και τα συμπεράσματα που προκύπτουν από τις μελέτες προσομοίωσης μπορεί να είναι παραπλανητικά. Έτσι, κατά την αξιολόγηση των πρωτοκόλλων MANET, είναι απαραίτητο να επιλέξουμε το κατάλληλο υποκείμενο μοντέλο κινητικότητας.

Στα MANET ειδικότερα, για να μοντελοποιήσουμε και να αναλύσουμε τα μοντέλα κινητικότητας, μας ενδιαφέρει περισσότερο η κίνηση των επιμέρους κόμβων σε μικροσκοπικό επίπεδο, συμπεριλαμβανομένης της θέσης και της ταχύτητας των κόμβων σε σχέση με άλλους κόμβους, επειδή αυτοί οι παράγοντες καθορίζουν άμεσα πότε οι σύνδεσμοι σχηματίζονται και σπάζουν (δηλαδή πότε δύο κόμβοι βρίσκονται εντός εμβέλειας των ασύρματων συσκευών τους και πότε βγαίνουν εκτός εμβέλειας) μιας και η επικοινωνία είναι απευθείας (peer-to-peer).

Τα μοντέλα κινητικότητας ανθρώπων στο χώρο συνοψίζονται στις εξής γενικές κατηγορίες:



Από τα Random Models θα εξετάσουμε το Random Waypoint Model το οποίο λόγω της απλότητάς του χρησιμοποιείται ευρύτατα στις προσομοιώσεις. Παρόλα αυτά, δεν καλύπτει περιπτώσεις που τα NANs/MANETs χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές που έχουμε πιο περίπλοκα μοτίβα κινητικότητας, όπως και στην περίπτωση καταστάσεων εκτάκτου ανάγκης. Παρόλα αυτά, επειδή μοντελοποιεί με επιτυχία κάποια συγκεκριμένα τμήματα των ζωνών στις οποίες χωρίζεται μία πληγείσα περιοχή το εξετάζουμε.

Στην επόμενη κατηγορία μοντέλων (Temporal Dependency), η κίνηση ενός κόμβου έχει εξάρτηση από τις κινήσεις του που προηγήθηκαν, το ιστορικό κινήσεών του. Αυτή η κατηγορία μοντέλων αναφέρεται σαν Μοντέλα κινητικότητας με χρονική εξάρτηση με αντιπροσωπευτικό το Gauss-Markov model. Σε κάποια σενάρια κινητικότητας κάποιοι κόμβοι κινούνται με συντονισμένο και εξαρτημένο μεταξύ τους τρόπο. Τέτοια μοντέλα αναφέρονται σαν μοντέλα χωρικής εξάρτησης (Spatial Dependency). Τέλος, έχουμε τα μοντέλα με γεωγραφικούς περιορισμούς (Geographic Restriction), όπου η κίνηση των κόμβων περιορίζεται από εμπόδια όπως δρόμους και κτίρια.

Το Disaster area mobility model παρουσιάζεται πιο αναλυτικά, καθώς μοντελοποιεί με τον πιο ρεαλιστικό τρόπο κινητικότητα κόμβων σε σενάρια εκτάκτων καταστάσεων. Η γενική περιοχή του περιστατικού διαχωρίζεται σε ζώνες και γίνεται μοντελοποίηση κάθε ζώνης καθώς και της κινητικότητας ανάμεσα στις ζώνες.

ΜΟΝΤΕΛΑ ΚΙΝΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΒΑΣΙΣΜΕΝΑ ΣΕ ΤΥΧΑΙΑ ΚΙΝΗΣΗ

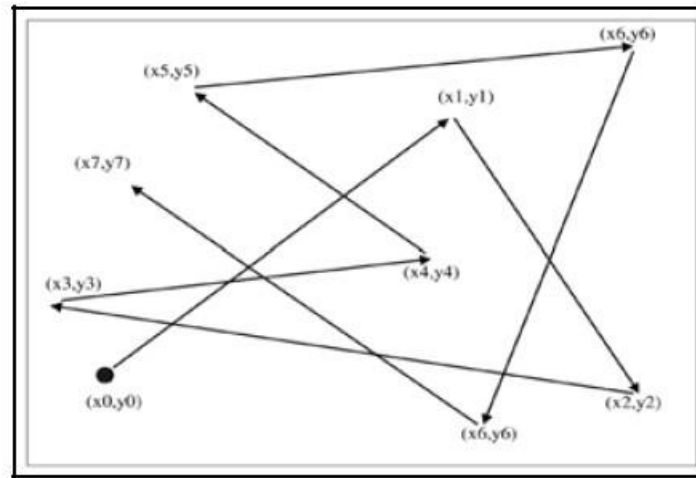
Στα μοντέλα κινητικότητας βασισμένα σε τυχαία κίνηση, οι κινητοί κόμβοι κινούνται τυχαία και χωρίς περιορισμούς. Πιο συγκεκριμένα, ο προορισμός, η ταχύτητα και η κατεύθυνση επιλέγονται τυχαία και ανεξάρτητα από τους υπόλοιπους κόμβους. Αυτού του είδους τα μοντέλα έχουν χρησιμοποιηθεί κατά κόρον σε προσομοιώσεις.

RANDOM WAYPOINT MODEL

Το Random Waypoint Model είχε αρχικά προταθεί από τους Johnson και Maltz. Στον πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο δικτυακό προσομοιωτή, τον ns-2, η υλοποίηση του συγκεκριμένου μοντέλου είναι η ακόλουθη:

Στην αρχή της προσομοίωσης κάθε κόμβος επιλέγει τυχαία ένα σημείο σαν προορισμό στον χώρο που εξετάζεται. Στη συνέχεια κινείται προς αυτόν τον προορισμό με σταθερή ταχύτητα επιλεγμένη τυχαία ομοιόμορφα από το εύρος $[0, V_{max}]$, όπου η παράμετρος V_{max} είναι η μέγιστη επιτρεπόμενη ταχύτητα κάθε κόμβου. Δεν υπάρχει εξάρτηση μεταξύ των κόμβων ως προς την επιλογή ταχύτητας και κατεύθυνσης. Όταν ένας κόμβος φτάσει στον προορισμό του τότε σταματάει για ένα προκαθορισμένο χρονικό διάστημα T_{pause} . Στην περίπτωση που έχει επιλεγθεί $T_{pause} =$

0 τότε έχουμε διαρκή κίνηση. Κατόπιν, επιλέγεται τυχαία κάποιος άλλος προορισμός και ξεκινάει η κίνηση προς αυτόν. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται συνεχώς μέχρι το τέλος της προσομοίωσης (Fan Bai, 2004).

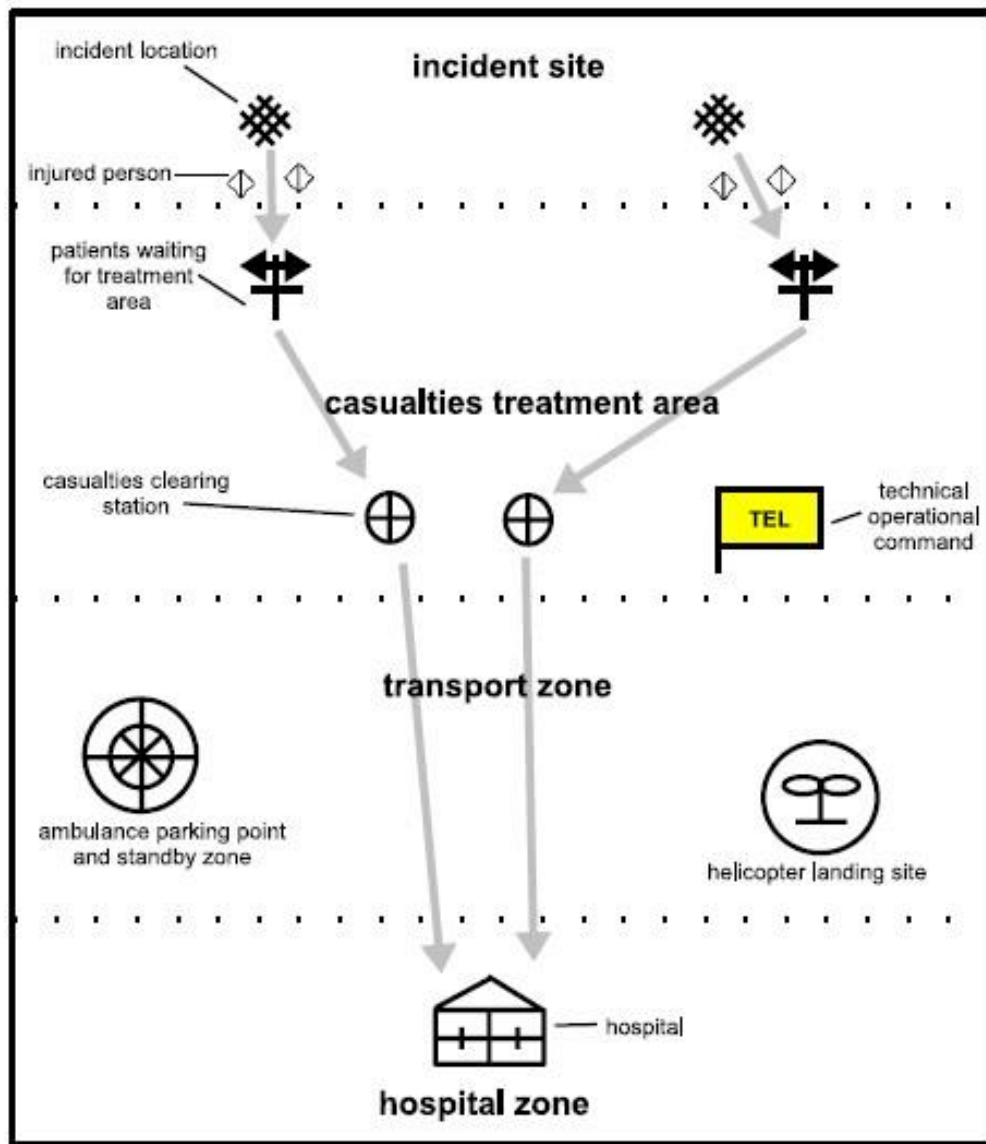


Εικ.7 Κινητικότητα κόμβου στο Random Waypoint Model, A Survey of Mobility Models, in Wireless Adhoc Networks, University of Southern California.

Στο Random Waypoint Model οι παράμετροι V_{max} και T_{pause} είναι οι δύο βασικές παράμετροι που καθορίζουν την κινητική συμπεριφορά των κόμβων. Όταν το V_{max} είναι μικρό και ο χρόνος παύσης T_{pause} είναι μεγάλος, η τοπολογία του MANET γίνεται σχετικά σταθερή. Αντίθετα, όταν οι κόμβοι μπορούν να κινηθούν γρήγορα, δηλαδή το V_{max} είναι μεγάλο, και ο χρόνος παύσης T_{pause} είναι μικρός τότε η τοπολογία μπορεί να γίνει πολύ δυναμική. Δοκιμάζοντας διάφορες τιμές, ειδικά για την παράμετρο V_{max} , μπορούμε να δημιουργήσουμε πολλά σενάρια κινητικότητας. Αναλύοντας περαιτέρω, υποθέτοντας διαρκή κίνηση, δηλαδή $T_{pause} = 0$, με το δεδομένο πως έχουμε ομοιόμορφη κατανομή ταχυτήτων κόμβων μέσα στο εύρος $[0, V_{max}]$, συμπεραίνουμε εύκολα πως η μέση ταχύτητα των κόμβων είναι $0,5 * V_{max}$. Γενικά βέβαια δεν θα πρέπει να αγνοούμε την παράμετρο T_{pause} . Επιπρόσθετα, αυτό που καθορίζει πότε δημιουργείται και πότε σπάει μία σύνδεση μεταξύ δύο κόμβων είναι η σχετική ταχύτητα του ενός με τον άλλο και όχι η ταχύτητα που έχει ο καθένας. Υπό αυτό το πρίσμα συμπεραίνουμε πως η μέση ταχύτητα των κόμβων δεν βοηθάει ιδιαίτερα.

DISASTER SCENARIO MOBILITY MODEL

Σε αυτό το μοντέλο γίνεται διαχωρισμός της πληγείσας περιοχής από τις ομάδες αντιμετώπισης εκτάκτων αναγκών που έχουν αποκριθεί στην καταστροφή σύμφωνα με το παρακάτω σχήμα (Aschenbruck, 2009).



Εικ.8 Διαχωρισμός της πληγείσας περιοχής σε ζώνες, Modeling mobility in disaster area scenarios, Performance Evaluation, Elsevier.

Οι ομάδες αντιμετώπισης δεν κινούνται τυχαία, η επιλογή προορισμού δεν γίνεται στην τύχη ενώ κάποια σημεία έχουν πολύ περισσότερες πιθανότητες να επιλεγούν σαν προορισμοί έναντι άλλων. Κάθε ομάδα τυπικά κινείται σε μία περιοχή (π.χ. πυροσβέστες στην περιοχή του περιστατικού, νοσηλευτές στη ζώνη πρώτων βοηθειών) και μένει σχετικά κοντά σε αυτή την περιοχή εκτός από τους μεταφορείς, ετερογενείς κινητικότητα βάσει ζώνης. Οι ζώνες επιλέγονται όπου δεν υπάρχουν εμπόδια ενώ στο περιστατικό πολλές φορές τα μεγάλα εμπόδια απομακρύνονται ενώ μικρότερα εμπόδια έχουν μικρή επίδραση στην κινητικότητα. Τα εμπόδια κυρίως επηρεάζουν τους μεταφορείς οι οποίοι επιλέγουν τις συντομότερες διαδρομές αποφεύγοντας τα εμπόδια, κόμβοι εισέρχονται και εξέρχονται από το δίκτυο σε συγκεκριμένες περιοχές ενώ έχουμε και group mobility.

Στο κέντρο διοίκησης και στη ζώνη παροχής πρώτων βοηθειών, οι κόμβοι κινούνται σύμφωνα με το Random Waypoint μοντέλο εντός των ζωνών τους (ένας κόμβος λαμβάνει μία οδηγία, πηγαίνει σε ένα σημείο εντός της ζώνης, κάνει κάποια εργασία για κάποια συγκεκριμένη ώρα, μετά λαμβάνει την επόμενη οδηγία κ.ο.κ.). Υπάρχει μία τάση συγκέντρωσης των κόμβων στο κέντρο της ζώνης κάτι που έχουμε

και στο RWP. Στη ζώνη του περιστατικού έχουμε πολλούς κόμβους που μεταφέρονται από τη μία ζώνη στην επόμενη ακολουθώντας ένα κύκλο π.χ. ένας διασώστης που μεταφέρει κάποιον τραυματία στην περιοχή πρώτων βοηθειών.

Τα οχήματα εισέρχονται στην περιοχή, μένουν στατικά περιμένοντας οδηγίες και εξέρχονται της περιοχής όπως π.χ. ασθενοφόρα που εισέρχονται στην περιοχή στάθμευσης και μόλις πάρουν κάποιον τραυματία αναχωρούν για το νοσοκομείο.

Σύμφωνα με το Disaster scenario mobility model υπάρχουν μεγάλες απώλειες πακέτων από και προς το κέντρο διοίκησης λόγω των ζωνών όπου υπάρχει ανομοιογενής κινητικότητα.

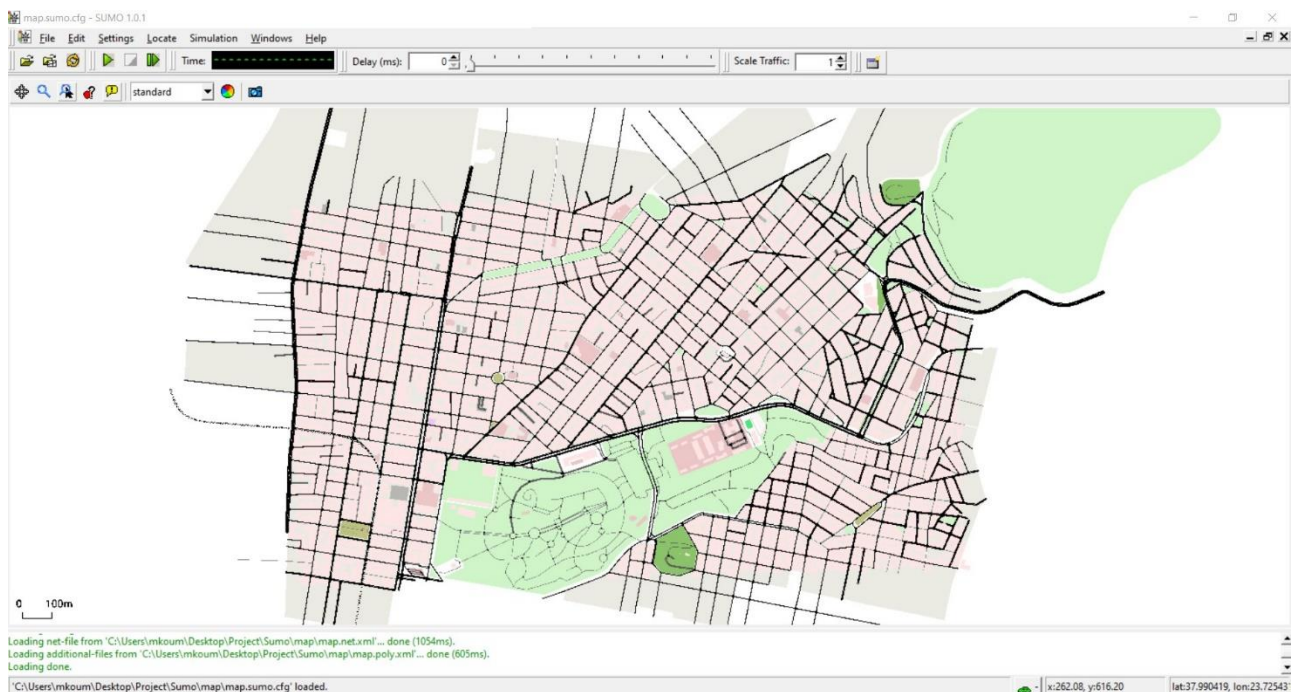
Το Disaster area mobility model είναι ένα μοντέλο που αξίζει να αξιοποιηθεί, καθώς μοντελοποιεί με τον πιο ρεαλιστικό τρόπο κινητικότητα κόμβων σε σενάρια εκτάκτων καταστάσεων. Λόγω του διαχωρισμού σε ζώνες και της μοντελοποίησης κάθε ζώνης καθώς και της κινητικότητας ανάμεσα στις ζώνες μπορεί να μελετηθούν οι σχηματισμοί και οι διασπάσεις ομάδων κόμβων σε κάθε ζώνη καθώς και το ποσοστό εμπιστοσύνης μεταφοράς μηνυμάτων από κόμβους μίας ζώνης (π.χ. κέντρο διοίκησης σε κόμβους άλλης ζώνης).

ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

SUMO - TRACI

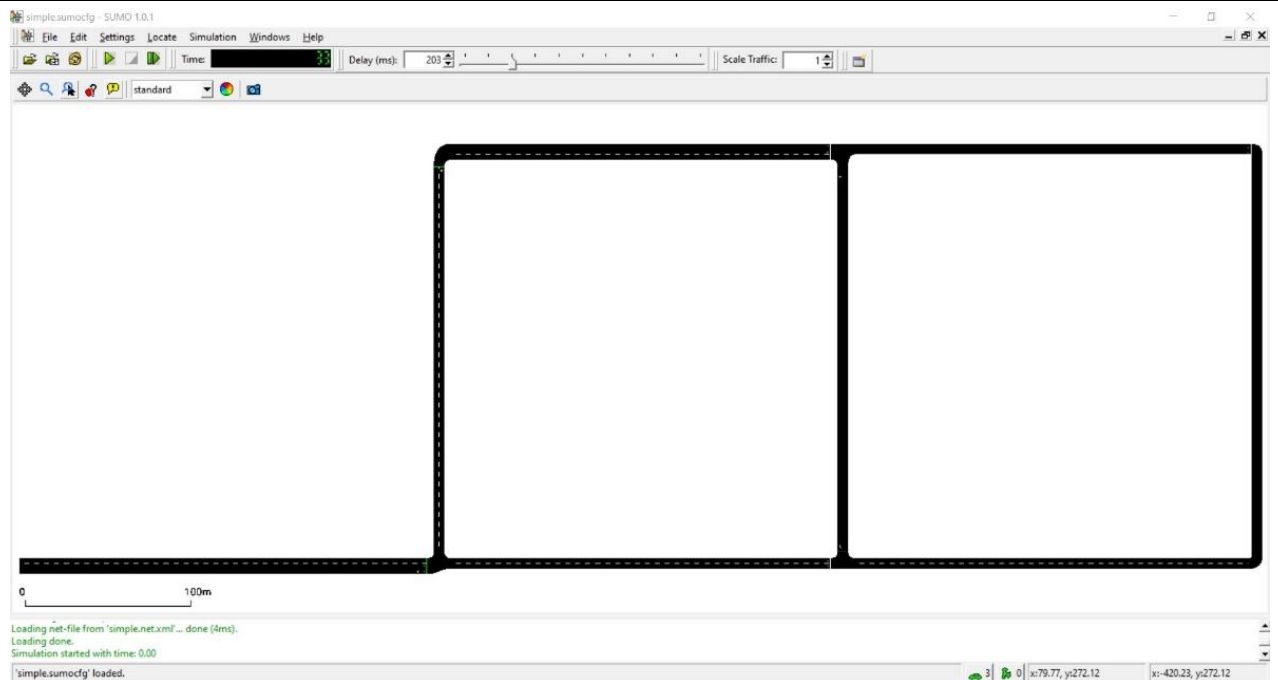
Το SUMO (Simulation of Urban Mobility) είναι ένα open source εργαλείο προσομοίωσης κινητικότητας με δυνατότητα μοντελοποίησης περιοχών του χάρτη, ένταξης κόμβων στην περιοχή προσομοίωσης με παραμέτρους κινητικότητας καθώς και διαδρομές. Το TraCI (Traffic Control Interface) είναι ένα plugin που έχει ενταχθεί στο SUMO το οποίο μας παρέχει την απαραίτητη διασύνδεση μέσω του API του ώστε να έχουμε πρόσβαση κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης στους κόμβους της προσομοίωσης καθώς και να τροποποιούμε τις παραμέτρους τους δυναμικά.

Παρακάτω βλέπουμε τη μοντελοποίηση μίας περιοχής του χάρτη της Αθήνας περί του πεδίου του Άρεως στην περιοχή που βρίσκονται τα κτίρια του ΟΠΑ.

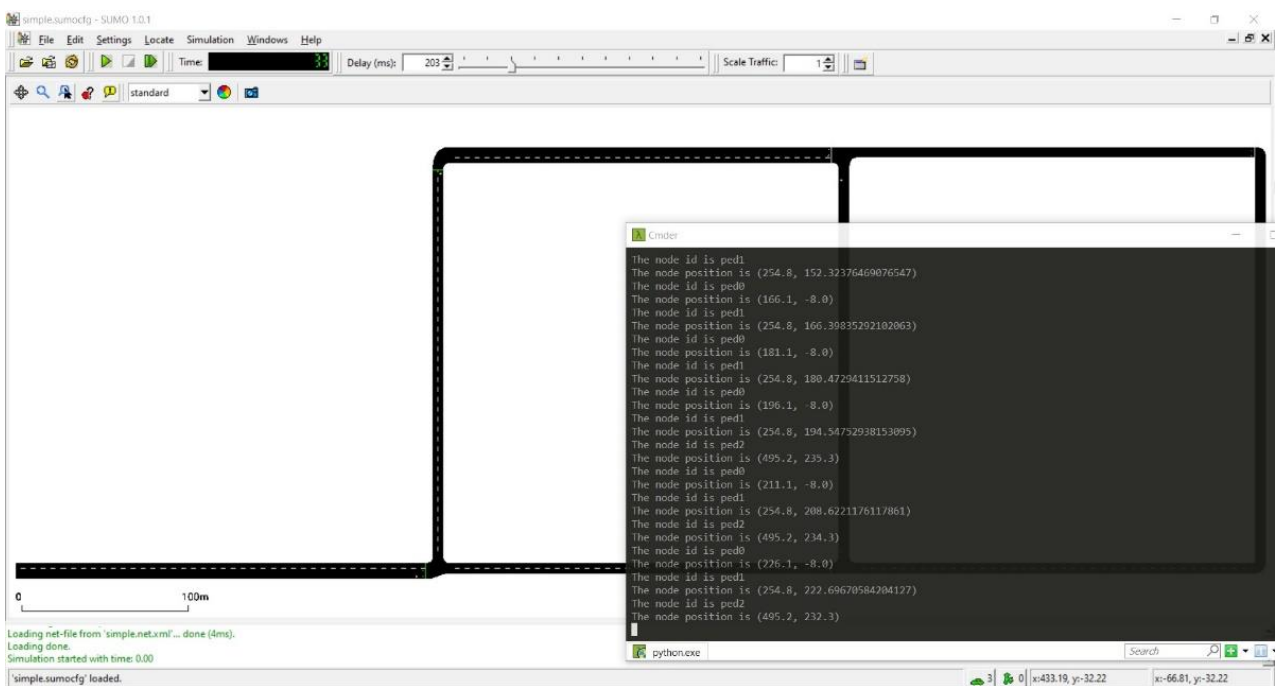


Εικ.9 Μοντελοποίηση περιοχής της Αθήνας στο SUMO.

Παρακάτω βλέπουμε μία μοντελοποίηση διαδρομών και κόμβων και output προσομοίωσης στην κονσόλα όπου δείχνονται οι συντεταγμένες των κόμβων ανά χρονική στιγμή που διαρκεί η προσομοίωση. Στο παράρτημα παρατίθεται ο python πηγαίος κώδικας με το script εκκίνησης και διαχείρισης της προσομοίωσης καθώς και τα xml configuration αρχεία της προσομοίωσης.



Εικ.10 Μοντελοποίηση διαδρομών και κόμβων στο SUMO.



Εικ.11 Προσομοίωση στο SUMO/TraCI.

ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ

Πειράματα που μπορεί να γίνουν στο μέλλον μπορούν να περιλαμβάνουν υλοποίηση τμήματος ή και όλου του σεναρίου κινητικότητας disaster mobility με χρήση του SUMO-TraCI με κατάλληλη διαμόρφωση και εισαγωγή των ζωνών μίας πληγείσας περιοχής, εισαγωγή και μοντελοποίηση κινητικότητας κόμβων ανάλογα με την ζώνη και εξαγωγή τιμών σχετικά με παραμέτρους αναφορικά με κόμβους για σχηματισμό NAN clusters και συνδέσεις – αποσυνδέσεις μεταξύ κόμβων.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ

Η εκάστοτε υλοποίηση του NAN, οι υποστηρικτικές υπηρεσίες και οι εφαρμογές καλούνται στα πλαίσια του NAN να διαχειριστούν:

- Ζητήματα ασφάλειας.

Το NAN παρέχει αρκετές παραμέτρους ασφάλειας κυρίως σε ανώτερα στρώματα της αρχιτεκτονικής (π.χ. η Publish λειτουργία του Service Interface της NAN Discovery Engine και οι Data request/response λειτουργίες της NAN Data Engine). Όμως οι διαδικασίες «ανακάλυψης» νέων κόμβων καθώς και οι υλοποιήσεις του NAN στα πλαίσια απόκρισης σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης είναι από τη φύση τους «ανοιχτές» οπότε για απαιτήσεις τήρησης εμπιστευτικότητας, ακεραιότητας και διαθεσιμότητας που το NAN από μόνο του δεν τις καλύπτει, καλούνται οι υπερκείμενες εφαρμογές να κάνουν τη σχετική υλοποίηση και διαχείριση.

- Ποιότητα υπηρεσίας

Μέσα από τις προσομοιώσεις του Disaster Area Mobility Model είδαμε ζητήματα όπως δυσκολίες στην επικοινωνία του κέντρου ελέγχου με τους υπόλοιπους κόμβους του δικτύου. Μέσα από περισσότερες δοκιμές, ελέγχους και αξιολόγηση λειτουργίας σε πραγματικές συνθήκες θα πρέπει εξασφαλίζεται όσο το δυνατόν αξιόπιστη λειτουργία και ποιότητα υπηρεσιών σε κρίσιμα τμήματα των επιχειρήσεων, δεσμεύοντας π.χ. πόρους της όποιας υπάρχουσας υποδομής έχει απομείνει και εκμεταλλευόμενοι με τον αποδοτικότερο τρόπο τις δυνατότητες QoS του Service Interface και της Data Engine του NAN.

- Προσομοίωση πρωτοκόλλων

Είναι απαραίτητη η περαιτέρω ανάλυση και μοντελοποίηση της δυναμικής του σχηματισμού NAN clusters σε ρεαλιστικά σενάρια εκτάκτων καταστάσεων.

Εν κατακλείδι, το NAN έχει χαρακτηριστικά τα οποία μπορεί να εκμεταλλευτούν εφαρμογές με εν δυνάμει εντυπωσιακά αποτελέσματα στην απόκριση και αντιμετώπιση καταστάσεων εκτάκτου ανάγκης και μπροστά στα οφέλη που μπορούν να προκύψουν ειδικά σε ανθρώπινες ζωές, οι επενδύσεις σε υποστηρικτικές υπηρεσίες και εφαρμογές που θα το χρησιμοποιούν κρίνονται δικαιολογημένες και άξιες ενίσχυσης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Daniel Camps-Mur, Eduard Garcia-Villegas, Elena Lopez-Aguilera, Paulo Loureiro, Paul Lambert, Ali Rais (2005), *Enabling always on service discovery: Wifi neighbor awareness networking*, Wireless Communications, IEEE.

Wi-Fi Alliance (2017), *Neighbor Awareness Networking Technical Specification version 2.0*.

Fan Bai, Ahmed Helmi (2004), *A Survey of Mobility Models*, in *Wireless Adhoc Networks*, University of Southern California.

Imrich Chlamtac, Marco Conti, Jennifer Liu (2003), *Mobile ad hoc networking: imperatives and challenges*, Ad Hoc Networks, Elsevier.

Nils Aschenbruck, Elmar Gerhards-Padilla, Peter Martini (2009), *Modeling mobility in disaster area scenarios*, Performance Evaluation, Elsevier.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Python script εκκίνησης και διαχείρισης της προσομοίωσης

simple_runner.py

```
import traci

sumoBinary = r"C:\Program Files (x86)\Eclipse\Sumo\bin\sumo-gui.exe"
traci.start([sumoBinary, "-c", "simple.sumocfg"])
step = 0
while step < 1000:
    traci.simulationStep()
    personList = traci.person.getIDList()
    vehicleList = traci.vehicle.getIDList()
    for per in personList:
        print("The person id is %s" % per)
        print("The person position is %s" % (per, str(traci.person.getPosition(per))))

    for veh in vehicleList:
        print("The node id is %s" % veh)
        print("The node position is %s" % (str(traci.vehicle.getPosition(veh))))

    step += 1

traci.close()
```

Xml configuration αρχεία της προσομοίωσης

simple.edg.xml

```
<edges>
<edge from="n1" to="n2" id="1to2" type="3L15" />
<edge from="n2" to="n3" id="2to3" type="2L15" />
<edge from="n3" to="n4" id="3to4" type="3L15" />
<edge from="n4" to="n5" id="4to5" type="2L15" />
<edge from="n2" to="n5" id="2to5" type="2L15" />
<edge from="n4" to="n6" id="4to6" type="2L15" />
<edge from="n5" to="n7" id="5to7" type="2L15" />
<edge from="n6" to="n7" id="6to7" type="2L15" />
</edges>
```

simple.nod.xml

```
<nodes>
<node id="n1" x="-500" y="0" type="priority" />
<node id="n2" x="-250" y="0" type="traffic_light" />
<node id="n3" x="-250" y="250" type="traffic_light" />
<node id="n4" x="0" y="250" />
<node id="n5" x="0" y="0" />
<node id="n6" x="250" y="250" />
<node id="n7" x="250" y="0" />
</nodes>
```

simple.rou.xml

```
<routes>
<vType guiShape="pedestrian" accel="1.0" decel="5.0" id="pedestrian" type="pedestrian"
length="1" maxSpeed="15" sigma="0.0" />

<route id="route0" edges="1to2 2to5 5to7" />
<vehicle depart="10" id="ped0" route="route0" type="pedestrian" />
<route id="route1" edges="2to3 3to4 4to6" />
<vehicle depart="10" id="ped1" route="route1" type="pedestrian" />
<route id="route2" edges="4to5 5to7" />
<vehicle depart="30" id="ped2" route="route2" type="pedestrian" />
</routes>
```

simple.type.xml

```
<types>
<type id="2L15" class="pedestrian" priority="2" numLanes="2" speed="15" />
<type id="3L15" class="pedestrian" priority="3" numLanes="3" speed="15" />
</types>
```

simple.net.xml

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
```

```
<!-- generated on 12/26/18 11:50:23 by Eclipse SUMO netconvert Version 1.0.1
```

```
<configuration xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
xsi:noNamespaceSchemaLocation="http://sumo.dlr.de/xsd/netconvertConfiguration.xsd">
```

```
  <input>
    <node-files value="simple.nod.xml"/>
    <edge-files value="simple.edg.xml"/>
    <type-files value="simple.type.xml"/>
  </input>
```

```
  <output>
    <output-file value="simple.net.xml"/>
  </output>
```

```
</configuration>
```

```
-->
```

```
<net version="1.0" junctionCornerDetail="5" limitTurnSpeed="5.50" xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-
instance" xsi:noNamespaceSchemaLocation="http://sumo.dlr.de/xsd/net_file.xsd">
```

```
  <location netOffset="500.00,0.00" convBoundary="0.00,0.00,750.00,250.00" origBoundary="-
500.00,0.00,250.00,250.00" projParameter="!"/>
```

```
  <type id="2L15" priority="2" numLanes="2" speed="15.00"/>
  <type id="3L15" priority="3" numLanes="3" speed="15.00"/>
```

```
  <edge id=":n2_0" function="internal">
    <lane id=":n2_0_0" index="0" speed="15.00" length="14.86" shape="246.00,-8.00 250.32,-7.50 253.20,-6.40
256.08,-5.30 260.40,-4.80"/>
    <lane id=":n2_0_1" index="1" speed="15.00" length="14.86" shape="246.00,-4.80 250.32,-4.30 253.20,-3.20
256.08,-2.10 260.40,-1.60"/>
  </edge>
  <edge id=":n2_2" function="internal">
```

```
<lane id=":n2_2_0" index="0" speed="8.00" length="14.19" shape="246.00,-4.80 249.85,-4.25 252.60,-2.60
254.25,0.15 254.80,4.00"/>
</edge>
<edge id=":n2_3" function="internal">
  <lane id=":n2_3_0" index="0" speed="6.51" length="9.03" shape="246.00,-1.60 248.45,-1.25 250.20,-0.20
251.25,1.55 251.60,4.00"/>
</edge>
<edge id=":n3_0" function="internal">
  <lane id=":n3_0_0" index="0" speed="6.51" length="9.03" shape="254.80,236.40 255.15,238.85 256.20,240.60
257.95,241.65 260.40,242.00"/>
</edge>
<edge id=":n3_1" function="internal">
  <lane id=":n3_1_0" index="0" speed="7.33" length="11.73" shape="254.80,236.40 255.15,240.25 256.20,243.00
257.95,244.65 260.40,245.20"/>
</edge>
<edge id=":n3_2" function="internal">
  <lane id=":n3_2_0" index="0" speed="8.67" length="16.85" shape="251.60,236.40 252.15,241.65 253.80,245.40
256.55,247.65 260.40,248.40"/>
</edge>
<edge id=":n4_0" function="internal">
  <lane id=":n4_0_0" index="0" speed="6.51" length="9.03" shape="489.60,242.00 492.05,241.65 493.80,240.60
494.85,238.85 495.20,236.40"/>
</edge>
<edge id=":n4_1" function="internal">
  <lane id=":n4_1_0" index="0" speed="8.00" length="14.19" shape="489.60,245.20 493.45,244.65 496.20,243.00
497.85,240.25 498.40,236.40"/>
</edge>
<edge id=":n4_2" function="internal">
  <lane id=":n4_2_0" index="0" speed="15.00" length="14.40" shape="489.60,245.20 504.00,245.20"/>
  <lane id=":n4_2_1" index="1" speed="15.00" length="14.40" shape="489.60,248.40 504.00,248.40"/>
</edge>
<edge id=":n5_0" function="internal">
  <lane id=":n5_0_0" index="0" speed="8.00" length="4.06" shape="495.20,4.00 495.75,0.15 495.84,0.00"/>
</edge>
<edge id=":n5_1" function="internal">
  <lane id=":n5_1_0" index="0" speed="6.51" length="4.28" shape="498.40,4.00 498.75,1.55 499.68,0.00"/>
</edge>
<edge id=":n5_4" function="internal">
  <lane id=":n5_4_0" index="0" speed="8.00" length="10.13" shape="495.84,0.00 497.40,-2.60 500.15,-4.25 504.00,-
4.80"/>
</edge>
<edge id=":n5_5" function="internal">
  <lane id=":n5_5_0" index="0" speed="6.51" length="4.75" shape="499.68,0.00 499.80,-0.20 501.55,-1.25 504.00,-
1.60"/>
</edge>
<edge id=":n5_2" function="internal">
  <lane id=":n5_2_0" index="0" speed="15.00" length="14.40" shape="489.60,-4.80 504.00,-4.80"/>
  <lane id=":n5_2_1" index="1" speed="15.00" length="14.40" shape="489.60,-1.60 504.00,-1.60"/>
</edge>
<edge id=":n6_0" function="internal">
  <lane id=":n6_0_0" index="0" speed="3.90" length="2.58" shape="743.60,245.20 744.30,245.10 744.80,244.80
745.10,244.30 745.20,243.60"/>
</edge>
<edge id=":n6_1" function="internal">
  <lane id=":n6_1_0" index="0" speed="6.08" length="7.74" shape="743.60,248.40 745.70,248.10 747.20,247.20
748.10,245.70 748.40,243.60"/>
</edge>
```

```

<edge id="1to2" from="n1" to="n2" priority="3" type="3L15">
  <lane id="1to2_0" index="0" speed="15.00" length="246.00" shape="0.00,-8.00 246.00,-8.00"/>
  <lane id="1to2_1" index="1" speed="15.00" length="246.00" shape="0.00,-4.80 246.00,-4.80"/>
  <lane id="1to2_2" index="2" speed="15.00" length="246.00" shape="0.00,-1.60 246.00,-1.60"/>
</edge>
<edge id="2to3" from="n2" to="n3" priority="2" type="2L15">
  <lane id="2to3_0" index="0" speed="15.00" length="232.40" shape="254.80,4.00 254.80,236.40"/>
  <lane id="2to3_1" index="1" speed="15.00" length="232.40" shape="251.60,4.00 251.60,236.40"/>
</edge>
<edge id="2to5" from="n2" to="n5" priority="2" type="2L15">
  <lane id="2to5_0" index="0" speed="15.00" length="229.20" shape="260.40,-4.80 489.60,-4.80"/>
  <lane id="2to5_1" index="1" speed="15.00" length="229.20" shape="260.40,-1.60 489.60,-1.60"/>
</edge>
<edge id="3to4" from="n3" to="n4" priority="3" type="3L15">
  <lane id="3to4_0" index="0" speed="15.00" length="229.20" shape="260.40,242.00 489.60,242.00"/>
  <lane id="3to4_1" index="1" speed="15.00" length="229.20" shape="260.40,245.20 489.60,245.20"/>
  <lane id="3to4_2" index="2" speed="15.00" length="229.20" shape="260.40,248.40 489.60,248.40"/>
</edge>
<edge id="4to5" from="n4" to="n5" priority="2" type="2L15">
  <lane id="4to5_0" index="0" speed="15.00" length="232.40" shape="495.20,236.40 495.20,4.00"/>
  <lane id="4to5_1" index="1" speed="15.00" length="232.40" shape="498.40,236.40 498.40,4.00"/>
</edge>
<edge id="4to6" from="n4" to="n6" priority="2" type="2L15">
  <lane id="4to6_0" index="0" speed="15.00" length="239.60" shape="504.00,245.20 743.60,245.20"/>
  <lane id="4to6_1" index="1" speed="15.00" length="239.60" shape="504.00,248.40 743.60,248.40"/>
</edge>
<edge id="5to7" from="n5" to="n7" priority="2" type="2L15">
  <lane id="5to7_0" index="0" speed="15.00" length="238.10" shape="504.00,-4.80 742.10,-4.80"/>
  <lane id="5to7_1" index="1" speed="15.00" length="238.10" shape="504.00,-1.60 742.10,-1.60"/>
</edge>
<edge id="6to7" from="n6" to="n7" priority="2" type="2L15">
  <lane id="6to7_0" index="0" speed="15.00" length="242.10" shape="745.20,243.60 745.20,1.50"/>
  <lane id="6to7_1" index="1" speed="15.00" length="242.10" shape="748.40,243.60 748.40,1.50"/>
</edge>

<tlLogic id="n2" type="static" programID="0" offset="0">
  <phase duration="82" state="GGGG"/>
  <phase duration="3" state="yyyy"/>
  <phase duration="5" state="rrrr"/>
</tlLogic>
<tlLogic id="n3" type="static" programID="0" offset="0">
  <phase duration="82" state="GGG"/>
  <phase duration="3" state="yyy"/>
  <phase duration="5" state="rrr"/>
</tlLogic>

<junction id="n1" type="dead_end" x="0.00" y="0.00" inclLanes="" intLanes="" shape="0.00,0.00 0.00,-9.60"/>
<junction id="n2" type="traffic_light" x="250.00" y="0.00" inclLanes="1to2_0 1to2_1 1to2_2" intLanes=":n2_0_0
:n2_0_1 :n2_2_0 :n2_3_0" shape="250.00,4.00 256.40,4.00 256.84,1.78 257.40,1.00 258.18,0.44 259.18,0.11
260.40,0.00 260.40,-6.40 257.28,-6.64 255.03,-7.23 251.37,-8.77 249.12,-9.36 246.00,-9.60 246.00,0.00 248.22,0.44
249.00,1.00 249.56,1.78 249.89,2.78">
  <request index="0" response="0000" foes="0000" cont="0"/>
  <request index="1" response="0000" foes="0000" cont="0"/>
  <request index="2" response="0000" foes="0000" cont="0"/>
  <request index="3" response="0000" foes="0000" cont="0"/>
</junction>

```

```
<junction id="n3" type="traffic_light" x="250.00" y="250.00" inclanes="2to3_0 2to3_1" intlanes=":n3_0_0 :n3_1_0
:n3_2_0" shape="260.40,250.00 260.40,240.40 258.18,239.96 257.40,239.40 256.84,238.62 256.51,237.62
256.40,236.40 250.00,236.40 250.29,240.56 251.16,243.96 252.60,246.60 254.62,248.49 257.22,249.62">
  <request index="0" response="000" foes="000" cont="0"/>
  <request index="1" response="000" foes="000" cont="0"/>
  <request index="2" response="000" foes="000" cont="0"/>
</junction>
<junction id="n4" type="priority" x="500.00" y="250.00" inclanes="3to4_0 3to4_1 3to4_2" intlanes=":n4_0_0
:n4_1_0 :n4_2_0 :n4_2_1" shape="504.00,250.00 504.00,243.60 501.78,242.80 501.00,241.80 500.44,240.40
500.11,238.60 500.00,236.40 493.60,236.40 493.16,238.62 492.60,239.40 491.82,239.96 490.82,240.29 489.60,240.40
489.60,250.00">
  <request index="0" response="0000" foes="0000" cont="0"/>
  <request index="1" response="0000" foes="0000" cont="0"/>
  <request index="2" response="0000" foes="0000" cont="0"/>
  <request index="3" response="0000" foes="0000" cont="0"/>
</junction>
<junction id="n5" type="priority" x="500.00" y="0.00" inclanes="4to5_0 4to5_1 2to5_0 2to5_1" intlanes=":n5_4_0
:n5_5_0 :n5_2_0 :n5_2_1" shape="493.60,4.00 500.00,4.00 500.44,1.78 501.00,1.00 501.78,0.44 502.78,0.11
504.00,0.00 504.00,-6.40 489.60,-6.40 489.60,0.00 491.82,0.44 492.60,1.00 493.16,1.78 493.49,2.78">
  <request index="0" response="1100" foes="1100" cont="1"/>
  <request index="1" response="1100" foes="1100" cont="1"/>
  <request index="2" response="0000" foes="0011" cont="0"/>
  <request index="3" response="0000" foes="0011" cont="0"/>
</junction>
<junction id="n6" type="priority" x="750.00" y="250.00" inclanes="4to6_0 4to6_1" intlanes=":n6_0_0 :n6_1_0"
shape="750.00,243.60 743.60,243.60 743.60,250.00 747.16,249.29 748.40,248.40 749.29,247.16 749.82,245.56">
  <request index="0" response="00" foes="00" cont="0"/>
  <request index="1" response="00" foes="00" cont="0"/>
</junction>
<junction id="n7" type="dead_end" x="750.00" y="0.00" inclanes="6to7_0 6to7_1 5to7_0 5to7_1" intlanes=""
shape="743.60,1.50 750.00,1.50 749.78,-0.91 749.12,-2.89 748.02,-4.42 746.49,-5.52 744.51,-6.18 742.10,-6.40
742.10,0.00 742.93,0.17 743.23,0.38 743.43,0.67 743.56,1.04"/>

<junction id=":n5_4_0" type="internal" x="495.84" y="0.00" inclanes=":n5_0_0 2to5_0 2to5_1" intlanes=":n5_2_0
:n5_2_1"/>
<junction id=":n5_5_0" type="internal" x="499.68" y="0.00" inclanes=":n5_1_0 2to5_0 2to5_1" intlanes=":n5_2_0
:n5_2_1"/>

<connection from="1to2" to="2to5" fromLane="0" toLane="0" via=":n2_0_0" tl="n2" linkIndex="0" dir="s"
state="O"/>
<connection from="1to2" to="2to5" fromLane="1" toLane="1" via=":n2_0_1" tl="n2" linkIndex="1" dir="s"
state="O"/>
<connection from="1to2" to="2to3" fromLane="1" toLane="0" via=":n2_2_0" tl="n2" linkIndex="2" dir="l"
state="O"/>
<connection from="1to2" to="2to3" fromLane="2" toLane="1" via=":n2_3_0" tl="n2" linkIndex="3" dir="l"
state="O"/>
<connection from="2to3" to="3to4" fromLane="0" toLane="0" via=":n3_0_0" tl="n3" linkIndex="0" dir="r"
state="O"/>
<connection from="2to3" to="3to4" fromLane="0" toLane="1" via=":n3_1_0" tl="n3" linkIndex="1" dir="r"
state="O"/>
<connection from="2to3" to="3to4" fromLane="1" toLane="2" via=":n3_2_0" tl="n3" linkIndex="2" dir="r"
state="O"/>
<connection from="2to5" to="5to7" fromLane="0" toLane="0" via=":n5_2_0" dir="s" state="M"/>
<connection from="2to5" to="5to7" fromLane="1" toLane="1" via=":n5_2_1" dir="s" state="M"/>
<connection from="3to4" to="4to5" fromLane="0" toLane="0" via=":n4_0_0" dir="r" state="M"/>
<connection from="3to4" to="4to5" fromLane="1" toLane="1" via=":n4_1_0" dir="r" state="M"/>
<connection from="3to4" to="4to6" fromLane="1" toLane="0" via=":n4_2_0" dir="s" state="M"/>
<connection from="3to4" to="4to6" fromLane="2" toLane="1" via=":n4_2_1" dir="s" state="M"/>
```



```
<connection from="4to5" to="5to7" fromLane="0" toLane="0" via=":n5_0_0" dir="l" state="m"/>
<connection from="4to5" to="5to7" fromLane="1" toLane="1" via=":n5_1_0" dir="l" state="m"/>
<connection from="4to6" to="6to7" fromLane="0" toLane="0" via=":n6_0_0" dir="r" state="M"/>
<connection from="4to6" to="6to7" fromLane="1" toLane="1" via=":n6_1_0" dir="r" state="M"/>

<connection from=":n2_0" to="2to5" fromLane="0" toLane="0" dir="s" state="M"/>
<connection from=":n2_0" to="2to5" fromLane="1" toLane="1" dir="s" state="M"/>
<connection from=":n2_2" to="2to3" fromLane="0" toLane="0" dir="l" state="M"/>
<connection from=":n2_3" to="2to3" fromLane="0" toLane="1" dir="l" state="M"/>
<connection from=":n3_0" to="3to4" fromLane="0" toLane="0" dir="r" state="M"/>
<connection from=":n3_1" to="3to4" fromLane="0" toLane="1" dir="r" state="M"/>
<connection from=":n3_2" to="3to4" fromLane="0" toLane="2" dir="r" state="M"/>
<connection from=":n4_0" to="4to5" fromLane="0" toLane="0" dir="r" state="M"/>
<connection from=":n4_1" to="4to5" fromLane="0" toLane="1" dir="r" state="M"/>
<connection from=":n4_2" to="4to6" fromLane="0" toLane="0" dir="s" state="M"/>
<connection from=":n4_2" to="4to6" fromLane="1" toLane="1" dir="s" state="M"/>
<connection from=":n5_0" to="5to7" fromLane="0" toLane="0" via=":n5_4_0" dir="l" state="m"/>
<connection from=":n5_4" to="5to7" fromLane="0" toLane="0" dir="l" state="M"/>
<connection from=":n5_1" to="5to7" fromLane="0" toLane="1" via=":n5_5_0" dir="l" state="m"/>
<connection from=":n5_5" to="5to7" fromLane="0" toLane="1" dir="l" state="M"/>
<connection from=":n5_2" to="5to7" fromLane="0" toLane="0" dir="s" state="M"/>
<connection from=":n5_2" to="5to7" fromLane="1" toLane="1" dir="s" state="M"/>
<connection from=":n6_0" to="6to7" fromLane="0" toLane="0" dir="r" state="M"/>
<connection from=":n6_1" to="6to7" fromLane="0" toLane="1" dir="r" state="M"/>
```

```
</net>
```

simple.sumocfg

```
<configuration>
<input>
<net-file value="simple.net.xml" />
<route-files value="simple.rou.xml" />
</input>
<time>
<begin value="0" />
<end value="300" />
</time>
</configuration>
```