



Safety 'Vehicle to Everything' Communication Network

Εφαρμογές Τηλεπικοινωνιακών
Διατάξεων

Κουτσαμάνης Μιχαήλ ΑΕΜ:8843

Τζήκας Αλέξανδρος ΑΕΜ:8978

Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών
Υπολογιστών

Μάιος 2019

Περιεχόμενα

Περιγραφή του Δικτύου	3
Μαθηματική Ανάλυση Δικτύου	6
Υποθέσεις & Προδιαγραφές	6
Επιλογή Πρωτοκόλλου	7
Κάλυψη Χώρου Δικτύου	7
Αναγνώριση των Εναλλακτικών Σχεδίασης	8
Πειραματική Επιβεβαίωση Λειτουργίας Δικτύου (DEMO).....	8
Ψευδοκώδικας Κόμβων.....	10
Ψευδοκώδικας Φαναριού	10
Ψευδοκώδικας Αυτοκινήτων	11

Περιγραφή του Δικτύου



Το δίκτυο αισθητήρων του Safety 'Vehicle to Everything' Communication Network (SV2XN) ανήκει στην γενικότερη κατηγορία των συστημάτων επικοινωνίας μεταξύ οχημάτων και προσομοιώνει την γενική κατηγορία επικοινωνίας V2X (Vehicle to Everything), στην οποία τα οχήματα που κυκλοφορούν στους δρόμους επικοινωνούν με οχήματα, πεζούς, ποδηλάτες, φανάρια, λοιπούς σταθμούς επικοινωνίας κ.α. Οι σύγχρονες κοινωνίες θέτουν την διατήρηση της ζωής και την διευκόλυνσή της ως πρωταρχικό σκοπό. Για αυτό και τα τελευταία χρόνια έχει δοθεί αρκετή σημασία στην ασφάλεια των οδηγών και των πεζών. Αυτός είναι ο βασικός σκοπός της δημιουργίας έξυπνων δρόμων στους οποίους η μεταφορά δεν θα είναι επικίνδυνη, χρονοβόρα και δύσκολη. Σύμφωνα με τον παγκόσμιο οργανισμό υγείας 1.2 εκατομμύρια άνθρωποι πεθαίνουν σε τροχαία ατυχήματα και 50 εκατομμύρια τραυματίζονται. Γίνεται φανερό, λοιπόν, η σημασία ενός τέτοιου δικτύου επικοινωνίας, το οποίο θα εγγυάται την ασφάλεια αυτή.

Ένα τέτοιο δίκτυο θα χρησιμοποιεί επικοινωνία μικρής εμβέλειας με RF σήματα και μπορεί να περιέχει διάφορες κατηγορίες επικοινωνίας, όπως είναι το V2V (vehicle to vehicle), το V2P (vehicle to pedestrian), το V2I (vehicle to infrastructure) και άλλα.

Οι συγκεκριμένες κατηγορίες εξηγούνται παρακάτω:

- Vehicle to Vehicle: Στην επικοινωνία μεταξύ οχημάτων, κάθε ένα διαθέτει έναν πομποδέκτη και ένα σύστημα επεξεργασίας, τα οποία λειτουργούν σύμφωνα με ένα καθορισμένο πρότυπο και πρωτόκολλο επικοινωνίας. Όταν δύο οχήματα βρεθούν εντός κάποιας εμβέλειας και διαθέτουν το παραπάνω σύστημα, τότε ανταλλάσσουν χρήσιμες πληροφορίες. Μερικές από αυτές είναι η ταυτότητα του οχήματος, το όνομα του δρόμου στον οποίον κινείται, η ταχύτητά του, η επιτάχυνσή του, διάφορες κινήσεις που κάνει ο οδηγός, όπως το φρενάρισμα ή οι απότομες περιστροφές του τιμονιού. Παράλληλα, μία ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα προσθήκη στο σύστημα θα ήταν να ενημερώνουν τα αυτοκίνητα για τις προθέσεις των οδηγών πριν ακόμα τις πράξουν. Ένας από τους τρόπους για να το καταφέρουν αυτό είναι να επιλέγει ο οδηγός κάθε φορά έναν προορισμό και να ορίζεται μια διαδρομή που πρόκειται να ακολουθήσει. Έτσι, θα αποστέλλονται στα υπόλοιπα

οχήματα η διαδρομή που πρόκειται να ακολουθήσει στα επόμενα μόνο μέτρα. Με αυτόν το τρόπο, δίνεται αρκετός χρόνος αντίδρασης στα υπόλοιπα οχήματα. Γενικότερα, κάθε όχημα μπορεί να στέλνει πληροφορίες για το τρέχον πλάνο του δρόμου, όπως τις κινήσεις αντικειμένων, πεζών, ποδηλάτων, αυτοκινήτων που δεν διαθέτουν τα εξής συστήματα κτλ. Εντελώς συμπληρωματικά, τα οχήματα μπορούν επίσης να ανταλλάσσουν πληροφορίες σχετικά με την φυσική κατάσταση του κάθε οδηγού, όπως είναι οι παλμοί του, η διαύγεια του, οι διαθέσεις του και άλλα.

- Vehicle to pedestrian: Η επικοινωνία μεταξύ οχημάτων και πεζών πραγματοποιείται μέσω του συστήματος των οχημάτων που περιγράφηκε παραπάνω και των smartphones ή smartwatch των πεζών. Έτσι, εάν κάποιος πεζός βρίσκεται σε επικίνδυνη θέση και κίνηση για την πορεία κάποιου αυτοκινήτου, ή εάν κάποιο αυτοκίνητο φύγει από την πορεία του, τότε έκαστος ειδοποιείται έτσι ώστε να προσέξει, να παραχωρήσει προτεραιότητα και να προσπαθήσει να αποφύγει γενικότερα την σύγκρουση. Σε αυτό συμβάλλουν όλα τα οχήματα που βρίσκονται στην περιοχή δίνοντας περισσότερες επιλογές στον πεζό και το συγκεκριμένο όχημα για πιθανούς ελιγμούς κτλ. Κάτι παρόμοιο μπορεί να ισχύσει και για ποδηλάτες και, γενικότερα, για όσους κινούνται με κάποιο μη συμβατικό όχημα στον δρόμο.
- Vehicle to Infrastructure: Παράλληλα με τους κινούμενους κόμβους του δικτύου, όπως είναι τα οχήματα, οι πεζοί και τα υπόλοιπα που έχουν περιγραφεί παραπάνω, μπορούν να υπάρχουν και σταθεροί σταθμοί (υποδομές), όπως είναι τα φανάρια, οι οποίοι δίνουν επιπλέον πληροφορίες στο δίκτυο. Μερικές από αυτές είναι αρκετά σημαντικές, όπως το χρώμα του φαναριού και άλλες δευτερεύουσες που σχετίζονται έμμεσα με την αποφυγή ατυχημάτων, όπως είναι η εξωτερική θερμοκρασία, η υγρασία του εδάφους, η συμφόρηση που έχει ο κάθε δρόμος της διασταύρωσης και γενικότερα διάφορες πληροφορίες που σχετίζονται με την κίνηση στο οδικό δίκτυο μια ευρύτερης περιοχής. Έτσι, οι οδηγοί θα ενημερώνονται αν υπάρχει κάποιο τροχαίο σε κάποια οδό ή αρκετή κίνηση και θα την αποφεύγουν.



Εικόνα: Απεικόνιση της γενικής μορφής ενός δικτύου 'Vehicle to Everything'

Αυτό το σύστημα επικοινωνίας έχει μερικά μεγάλα πλεονεκτήματα που του δίνουν την δυνατότητα να είναι άμεσα εφαρμόσιμο και, αν κάποιος συνυπολογίσει την σημασία του, αναγκαίο. Το πρώτο μεγάλο πλεονέκτημα του είναι ότι τα χαρακτηριστικά της επικοινωνίας βασίζονται στα συστήματα των οχημάτων και όχι σε κάποια κεντρική δικτύωση, η οποία θα περιέχει αναμεταδότες, κεραίες κτλ. Έτσι, είναι ανεξάρτητο από την πολιτική βούληση κρατών και είναι ελεύθερο να αναπτυχθεί και να εξελιχθεί μέσα από την παγκόσμια αγορά της αυτοκινητοβιομηχανίας. Το δεύτερο μεγάλο πλεονέκτημα είναι το ότι δεν εξαρτάται από την εκάστοτε τεχνολογία που συνοδεύει το όχημα. Θα αναφέρουμε χαρακτηριστικά μερικά παραδείγματα. Στην πιο απλοϊκή περίπτωση στην οποία τα οχήματα δεν διαθέτουν κάποιο μέσο για την λήψη αποφάσεων, το σύστημα αυτό θα λειτουργεί απλά προειδοποιώντας τους οδηγούς για επικείμενες συγκρούσεις και με άλλες πληροφορίες οι οποίες έχουν περιγραφεί παραπάνω μέσω μηνυμάτων. Στην περίπτωση στην οποία τα αυτοκίνητα διαθέτουν μερική δυνατότητα λήψης αποφάσεως θα λειτουργεί επίσης συμπληρωματικά παρέχοντας ορισμένες πληροφορίες. Ωστόσο, σε περίπτωση κατά την οποία μπορεί να αποφευχθεί κάποιο ατύχημα, τότε οι πληροφορίες μπορούν να χρησιμεύουν στην λήψη μερικών αποφάσεων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αυτού αποτελεί το σύστημα αυτόματου φρεναρίσματος. Στην πιο εξελιγμένη μορφή της τεχνολογίας στα οχήματα, που είναι τα αυτοδηγούμενα, οι πληροφορίες του δικτύου αξιοποιούνται ως παράμετροι για την λήψη των αποφάσεων από τα οχήματα. Τέλος, παρόλο που θα πρέπει να υπάρχει ένα ενοποιημένο πρωτόκολλο επικοινωνίας και ένα πρότυπο με βάση το οποίο θα γίνονται οι κωδικοποιήσεις των μηνυμάτων, οι πληροφορίες οι οποίες θα μεταφέρονται μπορούν να μην είναι καθολικά κοινές. Δηλαδή, μπορεί κάποιο όχημα να στέλνει πληροφορίες για την κατάσταση του οδηγού, αλλά το όχημα που δέχεται την πληροφορία να μην έχει το ίδιο μοντέλο του συστήματος. Τότε, σε αυτήν την περίπτωση απλά το δεύτερο όχημα θα αγνοεί την παραπάνω πληροφορία και οι αποφάσεις των οδηγών ή των μηχανών δεν θα επηρεάζονται από αυτήν την πληροφορία.

Τα μειονεκτήματα της ιδέας είναι πως για την λειτουργία του δικτύου θα πρέπει να καθοριστούν από μεγάλους οργανισμούς πρωτόκολλα επικοινωνίας, συχνότητες λειτουργίας, πρότυπα με βάση τα οποία θα γίνεται η ανάγνωση των διαφόρων πληροφοριών κτλ. Παράλληλα, ένα μεγάλο πρόβλημα του συστήματος που δεν λύνεται εύκολα είναι η ασφάλεια του δικτύου και των προσωπικών δεδομένων που διακινούνται σε αυτό. Συγκεκριμένα, όσον αφορά την ασφάλεια του δικτύου, ο κίνδυνός υφίσταται όταν υπάρχει ένα κακόβουλο λογισμικό το οποίο επικοινωνεί με τους κόμβους του δικτύου και τους αποστέλλει ψευδή στοιχεία με αποτέλεσμα ακόμα και την πρόκληση ατυχημάτων. Το θετικό το οποίο περιορίζει μερικώς αυτό το φαινόμενο είναι ότι για να μπορέσει κάποιος να δημιουργήσει πρόβλημα σε κάποιο συγκεκριμένο όχημα θα πρέπει να ακολουθεί την διαδρομή του λόγω της επικοινωνίας μικρής εμβέλειας. Από τον συγκεκριμένο τρόπο λειτουργίας του δικτύου (short range), περιορίζονται και οι δυνατότητες υποκλοπής διαφόρων προσωπικών δεδομένων. Για παράδειγμα κάποιος που βρίσκεται στον Καναδά δεν μπορεί να υποκλέψει και να δημιουργήσει προβλήματα σε κάποιον που βρίσκεται στο Λονδίνο. Με κατάλληλο νομικό πλαίσιο και κατάλληλη οχύρωση του δικτύου θα μπορεί να υπάρχει ασφάλεια σε αυτό.

Συνοψίζοντας, βασικός στόχος του SV2XN είναι η δημιουργία έξυπνων οδικών δικτύων μέσω της ανάπτυξης της επικοινωνίας μεταξύ σταθερών και κινούμενων κόμβων. Αυτό

αποσκοπεί στην αύξηση της ασφάλειας και στην διευκόλυνση της κυκλοφορίας. Βασικά προβλήματα αποτελούν η μεγάλη τηλεπικοινωνιακή κίνηση (ύπαρξη πολλών κόμβων που παράγουν πακέτα με μεγάλο ρυθμό λόγω της ζωτικότητας και μεταβλητότητας των δεδομένων) και η εμβέλεια έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η αποδοτικότητα της μεταδιδόμενης πληροφορίας.

Μαθηματική Ανάλυση Δικτύου

Υποθέσεις & Προδιαγραφές

1. Σύμφωνα με τον κώδικα που δημιουργήθηκε για το demo κάθε κόμβος του δικτύου στέλνει πακέτα της μορφής 'ID _ a _ b _ c _ '. Με άλλα λόγια strings των 20 (κατά μέσο όρο) χαρακτήρων. Αυτό μεταφράζεται σε μήκος 20 bytes ανά πακέτο ή 160 bits ανά πακέτο.
2. Λόγω της κρισιμότητας των πακέτων και λαμβάνοντας υπ όψιν τον χρόνο αντίδρασης του ανθρώπου στο περιεχόμενο του μηνύματος (γύρω στα 0.2ms) κρίνεται απαραίτητη η αποστολή 10 πακέτων ανά sec από τους κινούμενους κόμβους και 5 πακέτων ανά sec από τους σταθερούς κόμβους. Επομένως:

$$\lambda_{car} = 10 \frac{\text{packets}}{\text{sec}}$$

$$\lambda_{light} = 5 \frac{\text{packets}}{\text{sec}}$$

$$L_{\text{packet}} = 160 \text{ bits}$$

3. Θεωρούμε ότι η διάρκεια ενός πακέτου είναι $\tau=1\text{ms}$. Αυτό οδηγεί σε απαραίτητο ρυθμό μετάδοσης $B=160\text{kbps}$. Σημειώνεται ότι ο ρυθμός αυτός είναι επιτεύξιμος για ένα σύστημα ασύρματων επικοινωνιών. Απλά θα πρέπει να καθοριστεί σωστά η χρησιμοποιούμενη διαμόρφωση.
4. Λόγω της αναγκαιότητας επικοινωνίας κάθε κόμβου με κάθε άλλον στο δίκτυο και με στόχο την εξοικονόμηση πόρων, δεν είναι δυνατή η χρήση περισσότερων του ενός καναλιού.
5. Η εμβέλεια του δικτύου θα είναι τέτοια ώστε να επικοινωνούν κινούμενοι κόμβοι που κυκλοφορούν στον ίδιο δρόμο (δηλαδή προς το ίδιο φανάρι) και στους κάθετους δρόμους αυτών. Μια εμβέλεια 50m προς κάθε κατεύθυνση (μπροστά, πίσω, δεξιά και αριστερά) για κάθε κόμβο (στατικό και κινούμενο) είναι αρκετή για να αυξήσει δραστικά την ασφάλεια της κίνησης και την αποδοτικότητα επικοινωνίας διαμέσω του δικτύου. Παρατηρείται ότι η μέγιστη πυκνότητα κόμβων εμφανίζεται στον κύκλο ακτίνας 50m, εάν είναι σταυροδρόμι 4 δρόμων (με κέντρο τους 4 κόμβους φαναριών). Θεωρούμε 2 λωρίδες ανά δρόμο και ότι κάθε κόμβος κατά μέσο όρο (αυτοκίνητα, λεωφορεία, φορτηγά, δίκυκλα) καλύπτουν ένα μήκος 7m. Επομένως έχουμε:

$$4 \cdot 14 = 56 \text{ κινούμενοι κόμβοι}$$

4 φανάρια

Σημείωση: Κάθε κινούμενος κόμβος γνωρίζει τον δρόμο στον οποίο κινείται και άρα την πληροφορία του φαναριού που τον ενδιαφέρει άμεσα.

6. Στον χώρο αυτό ο μέγιστος χρόνος διάδοσης (καθυστέρηση διάδοσης) είναι:

$$t_{\text{delay,max}} = \frac{50}{c} = 1.667 \cdot 10^{-7} \text{s} \Rightarrow \text{θεωρώ } t_{\text{delay,max}} = 10^{-6} \text{s}$$

Επιλογή Πρωτοκόλλου

Ο συνολικός αριθμός πακέτων στην μονάδα του χρόνου είναι:

$$r = 56 \cdot 10 + 4 \cdot 5 = 580 \left[\frac{\text{packets}}{s} \right]$$

Άρα η συνολική κίνηση είναι:

$$S = r\tau = 0.580 \text{ erlangs}$$

Εφόσον $S > 0.184$, το πρωτόκολλο ALOHA δεν είναι βιώσιμη επιλογή για την πραγματική υλοποίηση του συστήματος. Από τον παρακάτω πίνακα βλέπουμε ότι την συγκεκριμένη τιμή του S (για $\alpha=0.001$) καλύπτουν τα πρωτόκολλα 0.1-Persistent CSMA, Nonpersistent CSMA, 0.03-Persistent CSMA, Slotted Persistent CSMA, Perfect Scheduling, αφού την καλύπτουν για $\alpha=0.01$).

TABLE I
CAPACITY C FOR THE VARIOUS PROTOCOLS CONSIDERED ($\alpha = 0.01$)

Protocol	Capacity C
Pure ALOHA	0.184
Slotted ALOHA	0.368
1-Persistent CSMA	0.529
Slotted 1-Persistent CSMA	0.531
0.1-Persistent CSMA	0.791
Nonpersistent CSMA	0.815
0.03-Persistent CSMA	0.827
Slotted Nonpersistent CSMA	0.857
Perfect Scheduling	1.000

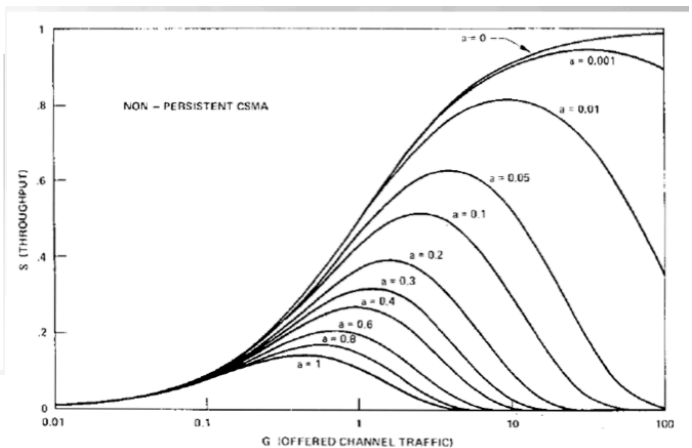


Fig. 3. Throughput in nonpersistent CSMA.

Επιλέγουμε το Nonpersistent CSMA. Ισχύει ότι $\alpha = \frac{t_{\text{delay,max}}}{\tau} = 10^{-3}$ και θεωρώντας $X=10\text{ms}$:

$$P_{\text{correct transmission}} = 0.42$$

$$D = 15\text{ms}$$

Κάλυψη Χώρου Δικτύου

Επιθυμείται κάλυψη του χειρότερου χρήστη για το 95% του χρόνου. Άρα (θεωρώντας $\sigma=10\text{dB}$):

$$\text{erf}\left(\frac{\gamma}{\sigma\sqrt{2}}\right) = 2 \cdot 0.95 - 1 \Rightarrow \frac{\gamma}{\sigma\sqrt{2}} = 1.156 \Rightarrow \gamma = 1.644\sigma = 16.44\text{dB}$$

και:

$$P_{\text{min}} = -130\text{dBm} + 10\log_{10}(B) = -77.95$$

θα πρέπει στον πιο απομακρυσμένο δέκτη (απόσταση $r_{\text{max}} = 50\text{m}$) να εξασφαλιστεί ισχύς λήψης:

$$-77.95 + 16.44 = -61.5\text{dBm}$$

Με βάση την σχέση:

$$\frac{P_{r_0}}{P_{r_{max}}} = \frac{r_{max}}{r_0}$$

μπορεί να βρεθεί η ισχύς σε οποιαδήποτε θέση εντός της εμβέλειας του δικτύου.

Αναγνώριση των Εναλλακτικών Σχεδίασης

Η επίδοση του συστήματος (πιθανότητα επιτυχημένης εκπομπής, μέση καθυστέρηση κτλ) εξαρτάται από το επιλεγόμενο πρωτόκολλο επικοινωνίας. Με επιλογή άλλου πρωτοκόλλου, με δυνατότητα εξυπηρέτησης της κίνησης, θα προκύψουν διαφορετικές τιμές από τις παραπάνω. Είναι βέβαιο σημαντικό να τονιστεί ότι είναι αρκετά περιοριστική ως προς την εμβέλεια του δικτύου η απαίτηση για $S < 1$. Τα συστήματα που βρίσκονται υπό εξέλιξη σήμερα είναι πιο περίπλοκα και επιτυγχάνουν τον στόχο τους εισάγοντας και διάφορες άλλες τεχνολογίες, όπως φαίνεται παρακάτω.

Topic	DSRC 802.11p	C-V2X Rel. 14 / 15
Goal	Direct real-time safety communication between vehicles to road users and vehicles to infrastructure	
Deployment	Since 2017. Mass market in 2019	C-V2X Rel. 14 deployment in China from late 2020
Cellular connectivity	Hybrid model. Can be used with any cellular network (4G / 5G) for non-safety services	Hybrid model. Can be used with any cellular network (4G / 5G) for non-safety services Cellular operators can optionally apply theoretical complicated real-time control for higher network utilization
Communication technology	OFDM with CSMA, self managed Offers robust communication in dense and dynamic environment. Has no dependency in GPS signal	SC-FDM with semi-persistent sensing, self managed with theoretical ability for centralized management over cellular Optimized for long communication range
Security	Public Key Cryptography and Infrastructure Lack of V2X isolation from non-safety domain would create a cybersecurity risk	
Infrastructure investment	Dedicated camera and traffic light based infrastructure can enhance safety	
Roadmap	802.11bd: backward compatible and interoperable upgrade to 802.11p	C-V2X Rel. 16: based on 5G NR. Operates in a different channel than Rel. 14 / 15

Εικόνα: Υπό Εξέλιξη Δίκτυα 'Vehicle to Everything'

Πειραματική Επιβεβαίωση Λειτουργίας Δικτύου (DEMO)

Παραπάνω αναλύσαμε ένα ευρύ δίκτυο που περιλαμβάνει αρκετές δυνατότητες. Ωστόσο, στα πλαίσια του εργαστηρίου και με το υλικό που είχαμε στην διάθεση μας ήταν αδύνατο να το υλοποιήσουμε πλήρως. Έτσι, στην δική μας υλοποίηση στο δίκτυο λαμβάνουν μέρος δυο οχήματα και ένας φωτεινός σηματοδότης (φανάρι) που έχει τον ρόλο σταθερού σταθμού. Το φανάρι διαθέτει δυο LED (ένα πράσινο και ένα κόκκινο), έναν αισθητήρα μέτρησης απόστασης ultrasonic και έναν αισθητήρα υγρασίας. Κάθε όχημα διαθέτει έναν αισθητήρα ultrasonic, ένα επιταχυνσιόμετρο και δύο LED (ένα πράσινο και ένα κόκκινο). Τα δύο LED του φαναριού προσομοιώνουν την λειτουργία του, μένοντας αναμμένα για 10 δευτερόλεπτα και 7 δευτερόλεπτα αντίστοιχα το κόκκινο και το πράσινο. Ο αισθητήρας υγρασίας παρέχει στο δίκτυο πληροφορίες για την υγρασία του οδοστρώματος (με στόχο την ενημέρωση των οδηγών για ολισθηρό οδόστρωμα), ενώ ο ultrasonic ελέγχει την απόσταση αντικειμένων από το φανάρι.

Από την άλλη, ο σκοπός των δυο LED των κινούμενων κόμβων είναι η οπτικοποίηση της κατάστασης του αυτοκινήτου. Όταν δηλαδή ανάβει το πράσινο LED σημαίνει πως το όχημα μπορεί να κινηθεί, ενώ όταν ανάβει το κόκκινο LED σημαίνει πως το όχημα πρέπει να σταματήσει την πορεία του. Η κίνηση των οχημάτων ρυθμίζεται ανάλογα με το χρώμα του φαναριού και με τις υπόλοιπες συνθήκες που επικρατούν στον δρόμο, όπως εξηγείται αναλυτικά στο βίντεο της εργασίας. Στο demo μας τα αυτοκίνητα τοποθετήθηκαν σε κοινό δρόμο το ένα πίσω από το άλλο. Όταν το πρώτο όχημα έχει μπροστά του κάποιο εμπόδιο τότε πέραν αυτού λαμβάνει εντολή να σταματήσει και το πίσω όχημα. Επίσης όταν το πρώτο όχημα χάνει τον έλεγχο και αποκτά μεγάλες μεταβολές στην επιτάχυνση κατά τον άξονα τον κάθετο στην κίνησή του, τότε το πίσω όχημα λαμβάνει την εντολή να σταματήσει. Όταν το δεύτερο όχημα πλησιάζει το πρώτο όχημα και η απόστασή τους μειώνεται κάτω από ένα όριο, τότε το πίσω όχημα πρέπει να σταματήσει την πορεία του. Η μέτρηση της απόστασης από το προπορευόμενο όχημα ή αντικείμενο γενικότερα γίνεται με την βοήθεια του ultrasonic, ενώ οι μεταβολές στην επιτάχυνση στον κάθετο στην κίνηση άξονα μετρούνται με την βοήθεια του επιταχυνσιόμετρου. Έτσι, στην υλοποίησή μας το φανάρι μόνο στέλνει πακέτα πληροφορίας προς όλους και τα οχήματα λαμβάνουν και στέλνουν ταυτόχρονα από και προς όλους.

Τονίζεται ότι στα πλαίσια του demo εφαρμόστηκε το πρωτόκολλο ALOHA λόγω του μικρού μεγέθους του δικτύου και άρα της τηλεπικοινωνιακής κίνησης.

Επίσης, έγινε ξεκάθαρο με την ολοκλήρωση του demo ότι ένα τέτοιο σύστημα είναι υλοποιήσιμο και μπορεί να λειτουργήσει με μικρές τιμές καθυστέρησης στις αντιδράσεις κόμβων που λαμβάνουν μηνύματα. Με την εφαρμογή ενός καλύτερου πρωτοκόλλου τα αποτελέσματα θα ήταν ακόμα καλύτερα.

Ψευδοκώδικας Κόμβων

Ψευδοκώδικας Φαναριού

loop

for 2 times (try to send packet twice in every loop)

flag_ALOHA_SUCCESS = 0

color is red

while flag_ALOHA_SUCCESS == 0

get distance from ultrasonic

hum_value = map(from 300-1023 to 100-0) //get the humidity value

{for 10 sec in the execution of the loop: color is red

then for 7 sec in execution of loop: color is green}

send("ID" id "d" distance "c" color "h" hum_value)

if packet has not been sent

print("sendtoWait failed")

else

print("sendtwait Successful")

flag_ALOHA_SUCCESS =1

end_if

if flag_SLOHA_SUCCESS ==0

delay from 0 to 400 ms randomly

end_if

end_while

end_for

end_loop

Ψευδοκώδικας Αυτοκινήτων

```
//loop

loop

get initial_time

get current_time

give a number randomly to timeReceive from 1sec to 2sec (be a receiver for that time)

while current_time-initial_time<=timeReceive

    //be a receiver

    if you are a receiver

        separate the incoming string to substrings*

        id = first_String

        dist = second_String

        if id>=1 //if it is a car

            acc_x = third_String

            acc_y = fourth_String

            if id>=1 && (dist<=8 || acc_x-0.55>=0.07) || sonarResult<8

                turn on red light (car must stop)

            else

                turn on green light (car can move)

            end_if

        end_if

    if id==0 // if it is a traffic light

        color = third_String

        hum = forth_String

        if color==1

            turn on red light (car must stop)

        else

            turn on green light (car can move)
```

```
        end_if
        if hum>20
            print("Warning")
        end_if
    end_if
end_if

// Now becomes a transmitter

for counter=0:max_counter (try to send for 'max_counter' times)

    give acceleration in x-axis to x2

    give acceleration in y-axis to y2

    send("ID" id "d" sonarResult "x" x2 "y" y2)

    if is not sent

        print("sendtoWait failed")

    else

        print("sendtwait Successful")

    end_if

end_for

end_loop
```