



# ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

## ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

### Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών Επιστήμη και Τεχνολογία της Πληροφορικής και των Υπολογιστών

Ειδίκευση Δικτύων Επικοινωνιών και Κατανεμημένων Συστημάτων

#### ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Τεχνικές Δρομολόγησης και Διαχείρισης Πόρων στα Ευφυή Συστήματα  
Μεταφορών (Intelligent Transportation Systems - ITS)

*Παναγιώτης Η. Πράσιнос Α.Μ. 21013*

&

*Γεώργιος Α. Σωτήρχος Α.Μ. 21001*

Εισηγητής: *Βασίλειος Μάμαλης, Καθηγητής*

Αθήνα, Νοέμβριος 2023

## Ευφυή Συστήματα Μεταφορών

Ευφυή Συστήματα Μεταφορών

*ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ*

**Τεχνικές Δρομολόγησης και Διαχείρισης Πόρων στα Ευφυή Συστήματα Μεταφορών  
(Intelligent Transportation Systems - ITS)**

*Παναγιώτης Η. Πράσιнос Α.Μ. 21013*

*&*

*Γεώργιος Α. Σωτήρχος Α.Μ. 21001*

**Εισηγητής:**

*Βασίλειος Μάμαλης, Καθηγητής*

**Εξεταστική Επιτροπή:**

*Ιωάννα Καντζάβελου, Επ. Καθηγήτρια*

*Βασίλειος Μάμαλης, Καθηγητής*

*Αντώνης Μπόγρης, Καθηγητής*

**Ημερομηνία εξέτασης:**

*21/11/2023*

## Ευφυή Συστήματα Μεταφορών

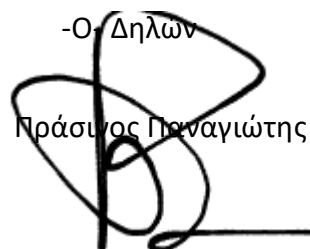
## ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Πράσιнос Παναγιώτης του Ηρακλή, με αριθμό μητρώου 21013 φοιτητής του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών Επιστήμη και τεχνολογία της πληροφορικής και των υπολογιστών του Τμήματος Μηχανικών πληροφορικής και υπολογιστών της Σχολής Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, δηλώνω ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της μεταπτυχιακής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της, είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

-Ο- Δηλών  
Πράσιнос Παναγιώτης



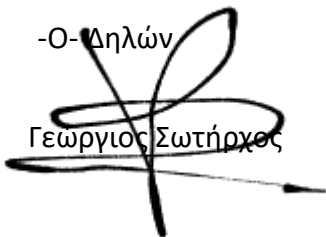
## ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Σωτήρχος Γεώργιος του Αρχοντέλη, με αριθμό μητρώου 21001 φοιτητής του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών Επιστήμη και τεχνολογία της πληροφορικής και των υπολογιστών του Τμήματος Μηχανικών πληροφορικής και υπολογιστών της Σχολής Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, δηλώνω ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της μεταπτυχιακής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της, είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

-Ο- Δηλών  
Γεώργιος Σωτήρχος



## Ευφυή Συστήματα Μεταφορών

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Θα θέλαμε να εκφράσουμε τις ευχαριστίες μας, πρωτίστως στον επιβλέποντα της εργασίας, καθηγητή κύριο Βασίλειο Μάμαλη, για τη δυνατότητα που μας έδωσε προκειμένου να ασχοληθούμε με το συγκεκριμένο αντικείμενο ώστε να ανακαλύψουμε το επιστημονικό ενδιαφέρον που παρουσιάζει όπως επίσης για την υποστήριξη και καθοδήγησή του.



## Πίνακας Περιεχομένων

Περίληψη.....	12
Abstract.....	13
Κεφάλαιο 1 .....	15
1.1 Εισαγωγή .....	15
Κεφάλαιο 2. Ευφυή Συστήματα Μεταφοράς.....	16
2.1 Ορισμός.....	16
2.2 Ιστορική αναδρομή.....	18
2.3 Κατηγοριοποίηση των ITS.....	22
2.3.1 Συστήματα εντός του οχήματος .....	25
2.3.2 Συστήματα αλλαγής οδικής συμπεριφοράς.....	27
2.4 Ο ρόλος των συστημάτων.....	32
2.5 Τύποι συστημάτων .....	34
2.6 Βασικές αρχές λειτουργίας.....	36
Κεφάλαιο 3. Αλγόριθμοι Clustering.....	38
3.1 Θέματα και προκλήσεις σε πακέτα WSN .....	40
3.2 Multihop ή Single hop επικοινωνία.....	40
Κεφάλαιο 4. VANET .....	41
4.1 Επισκόπηση VANET.....	41
4.2 Ομαδοποίηση (Clustering) στο VANET .....	42
4.3 VANET Clustering πολλαπλών αλμάτων.....	42
4.3.1 Ομαδοποίηση βασισμένη σε παραμέτρους.....	42
4.3.2 Επεκτασιμότητα και αξιοπιστία η οποία βασίζεται σε ομαδοποίηση πολλαπλών αλμάτων (multi-hop) .....	44
4.3.3 Cluster πολλαπλών κόμβων με βάση το QoS.....	46
4.3.4 Βελτιωμένο AODV.....	46
4.4 Προκλήσεις οι οποίες παρουσιάζονται από προηγούμενες μελέτες .....	48
4.5 Βασισμένες προβλέψεις αποτελεσματικής προσέγγισης ομάδων Multi-Hop με προσαρμοστικό ρελέ επιλογής κόμβου για VANET .....	49
4.6 Δρομολόγηση σε MANET.....	50
4.6.1 Πρωτόκολλα δρομολόγησης αντιδραστικών/κατ' απαίτηση.....	50
4.6.2 Πρωτόκολλα δρομολόγησης προληπτικά/βάσει πίνακα .....	51
4.7 Παραδείγματα εφαρμογής.....	61
4.7.1 Συνεργασία Όχημα με Όχημα (V2V).....	61
4.7.2 Συνεργασία Όχημα με Υποδομή (V2I) .....	63
4.7.3 Συνεργασία Όχημα με Μοτοσυκλέτα (V2M).....	65
4.8 Προηγμένα συστήματα Δημοσίων Αστικών Συγκοινωνιών .....	65

4.8.1 Συνύπαρξη τεχνολογιών V2V & V2I και στάδια εφαρμογής αυτών.....	66
Κεφάλαιο 5. Συστήματα διαχείρισης και ελέγχου της κυκλοφορίας.....	68
5.1 Διαχείριση της κυκλοφορίας (Traffic management) .....	68
5.2 Μετρήσεις των μεγεθών της κυκλοφορίας και συνολική διαχείριση.....	69
5.3 Δυναμικός Έλεγχος, συγχρονισμός και βελτιστοποίηση των φωτεινών σηματοδοτών .....	73
Κεφάλαιο 6. Τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται στα ITS .....	80
6.1 Δορυφόροι.....	80
6.2 Σύστημα GALILEO .....	80
6.3 G.P.S. (Global Positioning System: Παγκόσμιο Σύστημα Πλοήγησης) .....	81
6.4 Τι είναι το Σύστημα G.P.S. (Global Positioning System) .....	81
6.5 Online Maps (Online Χάρτες).....	82
6.7 Ασύρματη Τεχνολογία BLUETOOTH .....	83
6.8 BLUETOOTH Smart Energy.....	84
6.9 Ασύρματη Τεχνολογία ZigBee.....	84
6.10 Τεχνολογία 4G .....	85
6.11 Τεχνολογία L.T.E. (Long Term Evolution).....	87
6.12 Τεχνολογία 5G στα VANETs .....	88
Κεφάλαιο 7. Αλγόριθμοι μεγάλων δεδομένων και εφαρμογές σε ευφυή συστήματα μεταφορών / Βελτιστοποίηση ποιότητας υπηρεσίας σε ευφυές σύστημα μεταφορών με γνώμονα το IoT .....	90
7.1 Εισαγωγή .....	90
7.2 Σχετική εφαρμογή αλγορίθμου μεγάλων δεδομένων στο ITS.....	91
7.2.1 Πρόβλεψη .....	92
7.2.2 Αναγνώριση .....	92
7.2.3 Ανίχνευση .....	92
7.2.4 Ασφάλεια .....	94
7.2.5 Βελτιστοποίηση .....	94
Κεφάλαιο 8. Τεχνολογία Blockchain για Ευφυή Συστήματα Μεταφορών.....	98
Κεφάλαιο 9. ITS Simulation Software .....	103
9.1 Περιβάλλοντα προσομοίωσης.....	103
9.2 Πειραματική σύγκριση αλγορίθμων δρομολόγησης με χρήση προσομοιωτή .....	104
9.2.1 Τρόπος αξιολόγησης επιδόσεων των αλγορίθμων .....	104
9.2.2 Προσομοίωση .....	105
9.2.3 Αποτελέσματα .....	105
9.3 Συμπεράσματα Simulation .....	109
Βιβλιογραφία.....	110



## Περίληψη

Στην παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάζεται η σημαντική επίδραση που έχουν τα ευφυή συστήματα μεταφορών (Intelligent Transportation Systems - ITS), είτε αυτά τα οποία βρίσκονται ήδη σε εφαρμογή, είτε ακόμη σε ερευνητικό στάδιο, σε σύγχρονα οδικά δίκτυα καθώς και σε οικονομικοκοινωνικές και περιβαλλοντικές ωφέλειες, οι οποίες προκύπτουν από την εφαρμογή τους. Στην αρχή παραθέτονται διάφοροι ορισμοί των συστημάτων αυτών μέσα από τη χρήση βιβλιογραφικής ανασκόπησης, με μια σύντομη ιστορική αναδρομή. Με την παρουσίαση των βασικών τεχνολογιών τους και των κύριων προτύπων αλγορίθμων τους, μπορεί να γίνει πιο εύκολα κατανοητά η λειτουργία τους. Η ανάλυση των κατηγοριών αυτών μαζί με όλες τις υπόλοιπες οι οποίες παρουσιάζονται στην εργασία, προσδιορίζουν τον τρόπο με τον οποίο επιδρούν τα συστήματα στην οδηγική συμπεριφορά, στην αποτελεσματική διαχείριση της κυκλοφορίας και στην ασφάλεια των μετακινήσεων. Στη διπλωματική αυτή εργασία παρουσιάζονται διάφορες τεχνολογίες οι οποίες χρησιμοποιούνται για την υλοποίηση των συστημάτων αυτών, εφαρμογές τους, καθώς επίσης και ένα πρακτικό μέρος στο οποίο παρουσιάζονται προσομοιώσεις με τη χρήση του προσομοιωτή Dymom-0.3 το οποίο είναι μία έκδοση του DYMO πρωτοκόλλου σε περιβάλλον NS-2.35.

## **Abstract**

This thesis presents the significant impact that Intelligent Transportation Systems (ITS), whether those are already in place or still in the research stage, have on modern road networks as well as on economic, social and environmental benefits, the which result from their application. At the beginning, various definitions of these systems are listed through the use of a bibliographic review, with a brief historical review. By presenting their basic technologies and their main algorithm patterns, their operation can be more easily understood. The analysis of these categories together with all the others presented in the work, determine the way in which the systems affect driving behavior, effective traffic management and traffic safety. In this diploma thesis, various technologies are presented which are used for the implementation of these systems, their applications, as well as a practical part in which simulations are presented using the simulator Dymoum-0.3 version of DYMO protocol on NS-2.35.



## Κεφάλαιο 1

### 1.1 Εισαγωγή

Ο τομέας των μεταφορών τη σημερινή εποχή δέχεται προκλήσεις οι οποίες σχετίζονται σχεδόν με κάθε πτυχή της κοινωνίας και της οικονομίας, με ιδιαίτερη έμφαση να δίνεται στην αναγκαιότητα ανάπτυξης αποδοτικών μετακινήσεων. Για την ανάπτυξη ολοκληρωμένης διασύνδεσης μεταφορικών δικτύων απαιτείται η άρτια λειτουργία του μεταφορικού συστήματος, η πλήρης αξιοποίηση της δυναμικότητας των αξόνων, καθώς και η ανεμπόδιστη ροή μετακινήσεων.

Σε κάθε κοινωνία οι μεταφορές αποτελούν βασικό κεφάλαιο της οικονομίας τους καθώς από τον κλάδο των μεταφορών απορρέουν σημαντικά μακροοικονομικά στοιχεία για τον καθορισμό της οικονομικής πολιτικής μιας χώρας. Δεν αποτελεί άλλωστε τυχαίο γεγονός πως αρκετές χώρες αύξησαν το μεταφορικό τους έργο, στοχεύοντας στη συνολική τους ανάπτυξη σε εθνικό επίπεδο. Η εκπλήρωση της εξισορρόπησης των σύγχρονων αναγκών της βιωσιμότητας και της κινητικότητας αποτελούν μια βασική πρόκληση της πολιτικής των μεταφορών. Επιπλέον, η σύνδεση των υποδομών μέσω κόμβων και η παροχή ασφάλειας προς τους χρήστες των μεταφορών αποτελούν κύριους στόχους των μεταφορικών συστημάτων. Για την επίτευξη των ανωτέρω στόχων απαιτούνται επενδύσεις για σύγχρονα και ασφαλή μεταφορικά δίκτυα.

Στη σύγχρονη εποχή η χρήση και εφαρμογή νέων και «έξυπνων» τεχνολογικών εφαρμογών μπορεί να συμβάλλει σημαντικά στη βελτιστοποίηση της απόδοσης και της ασφάλειας των οδικών δικτύων περιορίζοντας την ανάγκη για νέες επενδύσεις. Η εφαρμογή αυτών των τεχνολογιών καθιστάται αναγκαία λόγω της συρρίκνωσης των διαθέσιμων κεφαλαίων και επενδύσεων, ενώ ταυτόχρονα αυξάνεται η ανάγκη για τον εκσυγχρονισμό των μεταφορικών δικτύων. Οι τεχνολογικές αυτές εφαρμογές είναι γνωστές ως ευφυή συστήματα μεταφορών (Intelligent Transport Systems, ITS) (Mathew, 2014).

## Κεφάλαιο 2. Ευφυή Συστήματα Μεταφοράς

### 2.1 Ορισμός

Ο όρος Ευφυή Συστήματα Μεταφοράς (ITS) αναφέρεται στα συστήματα στα οποία εφαρμόζονται Τεχνολογίες Πληροφοριών και Επικοινωνιών (Information Communication Technologies, ICT), και απευθύνονται στον τομέα των οδικών μεταφορών. Επίσης, αφορούν τους τομείς της κυκλοφορίας, της κινητικότητας, τους τρόπους μεταφοράς και της υποδομής των χρηστών. Στόχος των ITS αποτελεί η ανάπτυξη πρωτοπόρων υπηρεσιών αναφορικά με τους τρόπους μεταφοράς και της διαχείρισης της κυκλοφορίας (Lu, 2016).

Τα ITS συνδυάζουν τις τηλεπικοινωνίες, την πληροφορική και την τηλεματική, ώστε να παρέχουν σε πραγματικό χρόνο πληροφορίες σε όλους τους εμπλεκόμενους φορείς για τη μεταφορική διαδικασία. Εφαρμόζονται στα εναέρια, θαλάσσια, σιδηροδρομικά και οδικά δίκτυα ή σε συνδυασμό, βελτιώνοντας την ποιότητα και ασφάλεια τόσο στους διαχειριστές όσο και στους χρήστες των συστημάτων (Lu, 2016). Ως γενικός σκοπός εφαρμογής τους, θεωρείται η βελτίωση της λήψης των αποφάσεων σε πραγματικό χρόνο, η οποία πραγματοποιείται είτε από τους ελεγκτές του δικτύου μεταφορών, είτε από άλλους χρήστες. Παράλληλα, εξετάζονται όλα τα στοιχεία του συστήματος μεταφορών, τα οποία έχουν δυναμική αλληλεπίδραση, όπως ο χρήστης ή οδηγός, η υποδομή και το όχημα. Η άμεση ενημέρωση των εμπλεκόμενων συμβάλλει στην αποτελεσματική και ασφαλή μεταφορά τους στα δίκτυα.

Επιπρόσθετα, τα ITS προσφέρουν στους χρήστες-οδηγούς εξοικονόμηση χρόνου καθώς η μετακίνησή τους γίνεται γρήγορη και οικονομική ενώ είναι πιο φιλική προς το περιβάλλον. Ακόμη, παρέχεται έγκυρη και έγκαιρη πληροφόρηση σε πραγματικό χρόνο αναφορικά με συμβάντα στα οδικά δίκτυα αλλά και εξατομικευμένων πληροφοριών όπως η συντομότερη διαδρομή για ένα προορισμό, ο εκτιμώμενος χρόνος ταξιδιού μέσω ενσωματωμένων συστημάτων στο αυτοκίνητο ή smartphone, τα οποία επικοινωνούν με την πηγή πληροφόρησης μέσω διαδικτύου.



Με τη χρήση των ITS βελτιώνεται η κυκλοφορία στους δρόμους έχοντας ως αποτέλεσμα τη γρηγορότερη μετακίνηση των οδηγών τηρώντας τα όρια ταχύτητας, γεγονός εξαιρετικά σημαντικό καθώς μειώνονται οι συγκρούσεις. Επιπλέον, τα ITS επιτρέπουν την τιμολόγηση των δρόμων βάσει της ζήτησης που έχει ο καθένας με τις μετακινήσεις να γίνονται πιο αποδοτικές, μέσω της μείωσης των τροχαίων ατυχημάτων και την άμεση επαναφορά της κυκλοφορίας σε περίπτωση ενός ατυχήματος. Εξίσου σημαντική είναι η μείωση κατανάλωσης καυσίμων και εκπομπής ρύπων συμβάλλοντας στην ελαχιστοποίηση της ρύπανσης του περιβάλλοντος.

Ένα όχημα με ITS θεωρείται πλήρως εφοδιασμένο με εργαλεία σχεδιασμού πορείας, τα οποία είναι από τα πιο εξελιγμένα. Τα εργαλεία αυτά μπορούν να παρέχουν στον οδηγό βοήθεια σε περίπτωση που υπάρχει ανάγκη (E-Call), ενώ μπορούν να τον πληροφορήσουν σχετικά με τον προορισμό του και την κατάσταση του οδοστρώματος βάσει των καιρικών συνθηκών μέσα από πινακίδες μεταβλητών μηνυμάτων (Variable Message Signs V.M.S. και Portable Variable Message Signs P.V.M.S) (Maa et al., 2014). Επιπρόσθετα, υποστηρίζονται ειδικές ομάδες οδηγών οι οποίες αφορούν άτομα Αμεα, ηλικιωμένους και νέους.

Αποτελεί γεγονός πως τα ITS συμβάλλουν στη μείωση του κόστους συντήρησης και λειτουργίας των υποδομών καθώς προσφέρουν βελτίωση των υποδομών, έτσι ώστε να γίνονται όσο το δυνατόν μακροβιότερες. Σαφώς υπάρχει και μια βελτίωση των φορτίων και της μεταφοράς των προϊόντων. Μπορεί να υπάρξει σημαντική βελτίωση των επιπέδων ποιότητας ζωής και παραγωγικότητας μιας αστικής περιοχής, καθώς υπάρχει μείωση του χρόνου άφιξης των κατοίκων στον προορισμό τους με τη χρήση των μέσων μαζικής μεταφοράς.

Σύμφωνα με τους Abdulhai και Katann (Reinforcement Learning, 2003), η πραγματική ουσία των ITS βρίσκεται στον έλεγχο των δικτύων μεταφορών σε πραγματικό χρόνο. Συνεπώς, η παρακολούθηση, η αποκωδικοποίηση του σχηματισμού ελέγχου και η διάγνωση σε πραγματικό χρόνο θεωρούνται απαραίτητες έτσι ώστε να μπορέσουν να υλοποιηθούν τα ITS. Ο σχεδιασμός ανάπτυξης των ITS βρίσκεται σε δύο βασικούς άξονες. Αρχικά, στην ανάπτυξη τεχνολογιών για τη διαχείριση των εμπορευματικών μεταφορών σε αστικό επίπεδο, στην εφαρμογή της καινοτομίας για την ανάπτυξη των επιμέρους ITS

όπως η τηλεματική και οι ασύρματες τεχνολογίες, καθώς επίσης στην λειτουργία του δικτύου σε χρόνο τερματικών υποδομών και κόμβων όπου εφαρμόζονται καινοτόμες τεχνολογικές λύσεις με τη συνεργασία του ιδιωτικού και του δημόσιου τομέα.

Βασικοί στόχοι των ευφυών συστημάτων μεταφορών αποτελούν η ενίσχυση της κινητικότητας των οχημάτων, η ταχύτερη ανταπόκριση σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης, η διευκόλυνση των αναγκών των χρηστών στα συστήματα μεταφοράς, η προστασία του περιβάλλοντος με τη μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης που προκαλείται από τις μεταφορές, η επίτευξη ικανοποιητικής ασφάλειας στις μεταφορές και η αποδοτικότητα των μεταφορών. Μέσα λοιπόν από τα συστήματα αυτά μπορεί να επιτευχθεί μείωση λειτουργικών εξόδων και μείωση του χρόνου ταξιδιού των χρηστών.

## **2.2 Ιστορική αναδρομή**

Τη δεκαετία του 1930 καταγράφονται οι πρώτες αναφορές σχετικά με τα ITS και εισήχθησαν στη ζωή των ανθρώπων μέσα στην πάροδο των ετών. Μετά το δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο και συγκεκριμένα τη δεκαετία του 1970 έγινε μια προσπάθεια για να συντονιστεί η ανάπτυξη των τεχνολογιών αυτών, η οποία εγκαταλήφθηκε γρήγορα εξαιτίας του συνολικού κόστους και του περιορισμού των γνώσεων. Την ίδια δεκαετία στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής ξεκίνησαν έρευνες για την ανάπτυξη συστημάτων ελέγχου της κυκλοφορίας και καθοδήγησης της κυκλοφορίας. Κατά τη δεκαετία του 1990 στην Ευρώπη καταγράφονται οι πρώτες εφαρμογές των συστημάτων.

Γενικά η ανάπτυξη των ITS διακρίνεται σε τρεις χρονικές φάσεις, την προετοιμασία η οποία διήρκησε από το 1930 ως το 1980, τη μελέτη σκοπιμότητας (1980 έως 1995) και την ανάπτυξη προϊόντων η οποία διαρκεί από το 1995 έως και σήμερα (NZ Transport, 2014).

### **Προετοιμασία (1930-1980)**

Αποτελεί την πρώτη περίοδο ανάπτυξης των ITS, όμως λόγω της έλλειψης τεχνογνωσίας η κατασκευή νέων οδών θεωρούνταν η μόνο λύση για τα προβλήματα συμφόρησης. Παραδείγματα των συστημάτων αποτελούν οι ηλεκτρικοί σηματοδότες κυκλοφορίας, με την πρώτη εφαρμογή τους να καταγράφεται στα τέλη της δεκαετίας του 1920.

Στην παγκόσμια έκθεση της Νέας Υόρκης το 1939 παρουσιάστηκε χωρίς όμως να αναπτυχθεί περαιτέρω η ιδέα των Automated Highway Systems (AHS), έως και τη δεκαετία του 60 όπου εμφανίστηκε και το πρώτο ηλεκτρικό σύστημα ελέγχου κυκλοφορίας στις ΗΠΑ. Την επόμενη δεκαετία έως και το 1970 αναπτύχθηκε πάλι στις ΗΠΑ το Electronic Route Guidance System (ERGS) που χρησίμευε για να παρέχει καθοδήγηση στις οδούς διπλής κατεύθυνσης. Στη Γερμανία και την Ιαπωνία κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1970 αναπτύχθηκαν τα Autofahrer Leit und Informationssystem (ALI) και Comprehensive Automobile Traffic Control System (CATCS) αντίστοιχα, τα οποία αποτέλεσαν και δυναμικά συστήματα καθοδήγησης που βασίζονται σε πραγματικές συνθήκες κυκλοφορίας. Η δεκαετία αυτή θεωρήθηκε σημαντική για τα ITS, καθώς εισήχθη η έναρξη της ανάπτυξης του Global Positioning System (GPS). Οι τεχνολογίες αυτές σήμερα αποτελούν κύρια χαρακτηριστικά των περισσότερων προϊόντων των συστημάτων, ενώ στην περίοδο αυτή δεν είχαν συσχετιστεί με τα ITS.

### **Μελέτη σκοπιμότητας (1980-1995)**

Η φάση αυτή χαρακτηρίστηκε από μια μεγάλη έκρηξη αναπτυξιακών προγραμμάτων τα οποία είχαν επιδοτηθεί τόσο από κυβερνήσεις όσο και από βιομηχανίες στην Ιαπωνία, τις ΗΠΑ και την Ευρώπη. Τα προγράμματα αυτά ήταν αποτελέσματα προηγούμενων βασικών τεχνολογιών και μελετών, όπου αναπτύχθηκαν τα συστήματα κατά τις προηγούμενες δεκαετίες.

Το όχημα δοκιμής VaMoRs (Versuchsfahreug für Autonome Mobilität und RechnerSehen) κατασκευάστηκε το 1980 στο Μόναχο, όπου χρησιμοποιήθηκε έχοντας ως στόχο τον έλεγχο της κίνησης σε μία από τις λωρίδες του αυτοκινητόδρομου να

πραγματοποιείται από τις 2 μπροστινές κάμερες. Ευρωπαϊκές κυβερνήσεις, πανεπιστήμια και εταιρείες από 19 χώρες, καθιέρωσαν το PROMETHEUS (Program for European Traffic with Efficiency and Unprecedented Safety) με βάση το οποίο αναπτύχθηκε πλήθως ευφυών συστημάτων κατά τη χρονική περίοδο 1987-1994.

Το δοκιμαστικό όχημα VITA II αναπτύχθηκε το 1990 υπό την ηγεσία της Daimler-Benz, στο οποίο ενσωματωνόταν 10 επεξεργαστές και 10 κάμερες έχοντας ως στόχο τη διατήρηση του οχήματος στο κέντρο της λωρίδας με την παράλληλη κράτηση ασφαλών αποστάσεων από το προπορευόμενο όχημα, τη διαδικασία να προσπεράσει άλλα αυτοκίνητα αποφεύγοντας τη σύγκρουση, καθώς επίσης και τις εναλλασσόμενες λωρίδες.

Στη συνέχεια αναπτύχθηκε το έργο ARGO Project το οποίο στόχευε στο να σχεδιαστούν, δοκιμαστούν και αναπτυχθούν καινοτόμες λύσεις για τα μελλοντικά οχήματα. Η Dedicated Road πραγματοποίησε μια μεταγενέστερη ανάπτυξη του προγράμματος από το DRIVE (Infrastructure for Vehicle in Europe) με σκοπό τη βελτίωση της διαχείρισης της κυκλοφορίας και της κίνησης. Το 1991 συστάθηκε ο οργανισμός συντονισμού ιδιωτικού και δημόσιου τομέα European Road Transport Telematics Implement Coordination Organization (ERTICO), ώστε να μπορέσει να παρέχει υποστήριξη για την πλήρη εφαρμογή και ενσωμάτωση του Europe's Transport Telematics Project.

Η ομάδα μελέτης Mobility 2000 στα τέλη της δεκαετίας του 80 στις ΗΠΑ έθεσε τα θεμέλια για να διαμορφωθούν τα Intelligent Vehicle Highway Systems (IVHS). Αποτελούνταν από ένα ιδιωτικό και δημόσιο φόρουμ, έτσι ώστε να ενοποιηθούν τα εθνικά συμφέροντα των ευφυών συστημάτων προωθώντας τη διεθνή συνεργασία στον τομέα τους. Το United States Department of Transportation (USDOT) το 1994 άλλαξε το όνομα του από USDOT σε ITS America (Intelligent Transportation Society of America). Το AHS (Automated Highway System) αποτελεί ένα σχέδιο κλειδί το οποίο πραγματοποιήθηκε από το NAHSC (National Automated Highway System Consortium), το πανεπιστήμιο της Καλιφόρνια και τη General Motors, καθώς και από άλλα ιδρύματα.

Τη δεκαετία του 1980 στην Ιαπωνία εφαρμόστηκε το RACS (Road Automobile Communication System) από το AMTICS (Advanced Mobile Traffic Information and Communication System) και από την εθνική αστυνομία. Το υπουργείο ταχυδρομείων και

τηλεπικοινωνιών τη δεκαετία του 90 εκπόνησε ερευνητικά έργα συνδυάζοντας με τον τρόπο αυτό τα δύο σχέδια AMTICS και RACS, δημιουργώντας το VICS (Vehicle Information and Communication System). Πρόκειται για τερματικό σύστημα με δυνατότητα εντοπισμού θέσης και εμφάνισης των συντεταγμένων του οχήματος επιτρέποντας την επικοινωνία με τους σταθμούς παροχής δεδομένων για να αποκτηθούν πληροφορίες των συνθηκών κυκλοφορίας.

Το υπουργείο δημοσίων έργων της Ιαπωνίας το 1996 σε συνεργασία με 21 μεγάλες εταιρείες όπως η Mitsubishi, η Honda, η Nissan και η Toyota, σχημάτισαν το Advanced Cruise-Assist Highway System Research Association, εξετάζοντας διάφορες εφαρμογές από πλήρως αυτοματοποιημένα οχήματα σε αυτοκινητόδρομους.

### **Ανάπτυξη Προϊόντων (1995–σήμερα)**

Τη δεκαετία του 1990 στην Ευρώπη χρηματοδοτήθηκαν από τον προϋπολογισμό του TEN- T (Trans-European Transport Network) τα Euro-Regional Projects βοηθώντας την εναρμόνιση και την πρόοδο της ανταλλαγής δεδομένων ανάμεσα στις ευρωπαϊκές οδικές αρχές, χρησιμοποιώντας μια ενιαία γλώσσα Radio Data System Traffic Message Channel. Το 2000 συγχωνεύτηκαν τα ευρωπαϊκά περιφερειακά σχέδια σε ένα ενιαίο έργο το EasyWay που πραγματοποιήθηκε από την Directorate General-Move. Στόχος του έργου αυτού αποτελεί ο συντονισμός της εξάπλωσης των ευφυών συστημάτων στους κύριους διευρωπαϊκούς οδικούς διαδρόμους το οποίο θα έχει ομαδοποιηθεί σε 8 ευρωπαϊκές περιοχές.

Οι οδικές εταιρείες και εθνικές οδικές αρχές δίνουν τις κατευθύνσεις από 22 κράτη μέλη, ενώ χρηματοδοτούνται από την Ευρωπαϊκή Ένωση μέσα από τον προϋπολογισμό του διευρωπαϊκού δικτύου μεταφορών. Η βελτίωση των συνθηκών της κυκλοφορίας στις μετακινήσεις εκτός και εντός των πόλεων, δημιούργησαν την ανάγκη για τα ITS έτσι ώστε να μπορούν να διαχειριστούν την εξοικονόμηση πόρων, την οδική υποδομή αλλά και την προστασία του περιβάλλοντος προς το συνολικό συμφέρον. Όσο περνούσαν τα χρόνια και με την ανάπτυξη της τεχνολογίας των τηλεπικοινωνιών εξαπλώθηκαν οι εφαρμογές των ευφυών συστημάτων μεταφοράς σε όλα τα μεταφορικά μέσα. Χρησιμοποιώντας τις δορυφορικές εφαρμογές GPS, την τεχνολογία της πληροφορικής και της τηλεματικής,

δημιουργήθηκε ένα μεγάλο πλήθος εφαρμογών.

Μέσα από τη χρήση του διαδικτύου, οι χρήστες είχαν τη δυνατότητα εντοπισμού και αναγνώρισης της θέσης των πτήσεων για τις οποίες ενδιαφέρονται οι πλοηγοί των πλοίων για τις θαλάσσιες μεταφορές τους. Με παρόμοιο τρόπο δημιουργήθηκαν εφαρμογές από τους παρόχους μέσω μαζικής μεταφοράς. Για παράδειγμα στην Ελλάδα ο ΟΣΕ και ο ΟΑΣΘ μπορούν να παρέχουν πληροφορίες στους χρήστες για το πού βρίσκεται ακριβώς ένα αστικό λεωφορείο ή ένας συρμός μέσα από διάφορες εφαρμογές. Αυτά αποτελούν και κάποια παραδείγματα μέσα στην ελληνική επικράτεια τα οποία δείχνουν μερικές εφαρμογές των ευφυών συστημάτων μεταφοράς μέσα από τις οποίες μπορούν να διευκολυνθούν οι πολίτες στην καθημερινή τους μετακίνηση.

## 2.3 Κατηγοριοποίηση των ITS

Τα ITS αποτελούν τα μέσα για να υλοποιηθούν συγκεκριμένες στρατηγικές οι οποίες έχουν στόχο να περιορίσουν τις εκπομπές ρύπων. Πιο συγκεκριμένα ο προσδιορισμός των στρατηγικών των μεταφορών:

- Στρατηγικές οι οποίες έχουν στόχο να τροποποιήσουν τη ζήτηση των μεταφορών : κάτι τέτοιο μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση ενός αριθμού διαφορετικών προσεγγίσεων, όπως είναι η ενθάρρυνση των ταξιδιωτών στη χρήση ήπιων τρόπων μεταφοράς ή οχημάτων χαμηλής ρύπανσης και η μείωση της συνολικής ζήτησης και για τη συνολική απόσταση του ταξιδιού αλλά και για την κινητικότητα. Μέσα από τα αποδοτικά logistics μπορούν να γίνουν και πιο αποτελεσματικές εμπορευματικές μεταφορές. Σε άλλες προσεγγίσεις περιλαμβάνονται τα σχέδια διοδίων ή η διατίμηση οδών ανάλογα με το πόσο μπορεί να ρυπαίνει ένα όχημα, έτσι ώστε είτε να αποθαρρυνθεί είτε να προωθηθεί το ταξίδι. Στις σχετικές στρατηγικές μπορούν να συμπεριληφθούν και τα συστήματα και υπηρεσίες πληροφόρησης, τα οποία έχουν σχεδιαστεί για την αύξηση της αποδοτικότητας, έτσι ώστε να υπάρχει άνεση των δημόσιων μεταφορών αναφορικά με τη διαχείριση του στόλου.
- Στρατηγικές προώθησης χρήσης του δικτύου έτσι ώστε να είναι πιο αποδοτικό ως προς το διοξείδιο του άνθρακα : Η επίτευξη του συγκεκριμένου στόχου μπορεί να γίνει μέσα από έναν

αριθμό τρόπων διαχείρισης και τις κυκλοφορίες των συστημάτων έλεγχο τα οποία έχουν επίδραση στη ροή της κυκλοφορίας. Όταν η εφαρμογές είναι πιο έξυπνες, ζόχι μόνο μπορούν να αυξήσουν τη διαχείριση μειώνοντας παράλληλα τη συμφόρηση, αλλά και ο σχεδιασμός τους γίνεται με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να προωθηθούν οι βέλτιστες ταχύτητες για την ενεργειακή αποδοτικότητα και να περιοριστούν ταυτόχρονα η συμπεριφορά του σταμάτα ξεκίνα, οι επιβραδύνσεις και οι επιταχύνσεις. Ένα τμήμα των στρατηγικών αυτών επίσης, αποτελεί και η παραχώρηση προτεραιότητας σε οχήματα ειδικού τύπου. Όταν γίνεται καλύτερη χρήση του δικτύου μπορεί να έχει θετική ανταπόκριση στην ώρα του ταξιδιού καθώς χρησιμοποιούνται εναλλακτικές διαδρομές και εξοικονομείται χρόνος στο να βρεθεί θέση στάθμευσης. Αναπτύσσοντας αισθήματα πληροφόρησης τα οποία κινούνται προς την κατεύθυνση αυτή και επιτελούν αυτούς τους σκοπούς.

- Στρατηγικές στις οποίες ενθαρρύνεται η βέλτιστη οδηγική συμπεριφορά : Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται πρωτοβουλίες όπως είναι εκστρατείες που έχουν στόχο τους οδηγούς, έτσι ώστε να προωθήσουν ένα τρόπο οδήγησης που να εκπέμπει χαμηλότερο διοξείδιο του άνθρακα. Η στρατηγική αυτή μπορεί να προωθηθεί μέσα από τη χρήση ενημερωτικών προγραμμάτων και από όργανα και συστήματα εντός του οχήματος. Όταν εφαρμόζονται αποτελεσματικές και ολοκληρωμένες στρατηγικές, τότε προϋποθέεται και η πολύπλευρη συνεργασία των συστημάτων με τέτοιο τρόπο ώστε να υπάρχει ταυτόχρονη επίτευξη και υλοποίηση των περισσότερων στόχων.

Η κατηγοριοποίηση των ευφυών συστημάτων μεταφορών από την ομάδα εργασίας για ασφαλή και καθαρή οδήγηση e-safety ICT γίνεται ως εξής :

- Συστήματα ώστε να αλλάξει η οδηγική συμπεριφορά και να υπάρχει οικολογική οδήγηση (Eco-driving support)
- Συστήματα για τη διατήρηση και τον έλεγχο της κυκλοφορίας (Eco-traffic Management)
- Συστήματα για την πληροφόρηση και την πλοήγηση (Eco-information and Guidance)
- Συστήματα για τη διαχείριση της πρόσβασης και της ζήτησης (Eco-demand and

Access Management)

- Συστήματα διαχείρισης του στόλου και Logistics (Eco-freight and logistics Management)

Στην κατηγοριοποίηση αυτή προσθέτονται και τα συστήματα ενίσχυσης της ασφάλειας από την ομάδα ADAS (Advanced Driver Assistance Systems) και EC-METI. Η ανάπτυξη των συστημάτων αυτών έγινε για να βελτιωθεί η οδική ασφάλεια και να βοηθηθεί ο οδηγός αλλά μπορεί να χρησιμοποιηθούν και για να έχουν θετικά αποτελέσματα ακόμα και στους τομείς των εκπομπών, τόσο έμμεσα όσο και άμεσα μέσα από τους περιορισμούς των ατυχημάτων. Η ομαδοποίηση των εφαρμογών των ευφυών συστημάτων μεταφορών μπορεί να γίνει σε τρεις μεγάλες κατηγορίες. Στα συστήματα διαχείρισης της κυκλοφορίας, σε θέματα τα οποία συμβάλλουν στην οικονομική και οικολογική οδήγηση και τα συστήματα βοήθειας και ασφάλειας του οδηγού. Σε κάθε κατηγορία περιλαμβάνονται τα καταστήματα τα οποία λειτουργούν αυτόνομα προωθώντας τη συνεργασία των υποδομών και του οχήματος. Τα ευφυή συστήματα μεταφορών είναι συστήματα τα οποία συμβάλλουν στο να επιτευχθούν οι στόχοι από διάφορες στρατηγικές για ασφαλέστερες, αποτελεσματικότερες και καθαρότερες μεταφορές. Από τη λειτουργία τους επηρεάζεται το συνολικότερο πλαίσιο των παραμέτρων των μεταφορών.

Πιο συγκεκριμένα, μπορούν να επηρεάσουν επεμβαίνοντας στις κυκλοφοριακές συνθήκες, τη λειτουργία του οχήματος και την ανθρώπινη οδηγική συμπεριφορά. Το σύστημα το οποίο συγχρονίζει τα φανάρια για παράδειγμα, μπορεί να βελτιώσει την κυκλοφοριακή ροή αποτρέποντας να υπάρχει συμφόρηση. Τα συστήματα δυναμικής πλοήγησης και πληροφόρησης μπορούν να συμβάλουν στο να υπάρξει καλύτερος προγραμματισμός ενός ταξιδιού με τη βοήθεια εκτός από του οδηγού της ευρύτερης κυκλοφοριακής εξομάλυνσης. Τα συστήματα αλλαγής σχέσεων μετάδοσης έχουν τη δυνατότητα μεταβολής της ανθρώπινης συμπεριφοράς με τη μετατροπή της σε πιο ήρεμη από επιθετική. Γενικά τα είδη των ευφυών συστημάτων μεταφοράς διακρίνονται σε:



- συστήματα που βρίσκονται εντός του οχήματος
- συστήματα πληροφόρησης και πλοήγησης
- συστήματα ελέγχου και διαχείρισης της κυκλοφορίας

### 2.3.1 Συστήματα εντός του οχήματος

Στα συστήματα αυτά περιλαμβάνονται όλες οι εφαρμογές των ευφυών συστημάτων οι οποίες αποτελούν τμήμα από τον εξοπλισμό του οχήματος με τη συμβολή τους στο να αλλάξει η οδηγική συμπεριφορά και να υποβοηθηθεί ο οδηγός. Υπάρχει συμμετοχή του στην προσπάθεια να υιοθετηθεί ένας οικολογικός τρόπος οδήγησης, ο οποίος είναι βασισμένος σε μια βέλτιστη ενεργειακή διαχείριση του οχήματος, καθώς επίσης και στις παραμέτρους ενισχύοντας την ασφάλεια των οδικών μεταφορών. Παράλληλα με την προώθηση του οικονομικού και οικολογικού τρόπου οδήγησης μέσα από τη βέλτιστη ενεργειακή διαχείριση του οχήματος, τα συστήματα αυτά στοχεύουν στο να αλλάξουν την ανθρώπινη οδηγική συμπεριφορά και ονομάζονται συστήματα αλλαγής οδικής συμπεριφοράς ή οικολογικά συστήματα.

Τα συστήματα τα οποία είναι υπεύθυνα στο να βοηθήσουν έναν οδηγό να αποφύγει τα ατυχήματα, μεταβάλλουν την οδηγική συμπεριφορά ενισχύοντας την ενεργητική ασφάλεια του οχήματος σε κυκλοφοριακό επίπεδο και ονομάζονται εξελιγμένα συστήματα υιοθέτησης του οδηγού. Η εφαρμογή και των δύο αυτών συστημάτων βρίσκεται μέσα στο όχημα. Στην έννοια της οικολογικής οδήγησης μπορεί να περιέχεται και ένα σύνολο από ολοκληρωμένους κανόνες, οι οποίοι μπορούν να ακολουθηθούν από τον οδηγό ώστε να επιτευχθεί ο περιορισμός εκπομπών και κατανάλωσης καυσίμων. Κάποιοι γενικοί κανόνες της οικολογικής οδήγησης όπως περιγράφονται από την έκθεση της είναι οι παρακάτω:

- Όσο το δυνατόν συντομότερη αλλαγή σχέσης μετάδοσης και φρενάρισμα με σχέση μετάδοσης στο κιβώτιο

- Διατήρηση μη μεταβαλλόμενης ταχύτητας έχοντας τη μέγιστη δυνατή σχέση μετάδοσης στο κιβώτιο.
- Προσπάθεια αποφυγής δυσμενών κυκλοφοριακών συνθηκών.
- Στις σύντομες στάσεις να υπάρχει σβήσιμο του κινητήρα
- Η πίεση των ελαστικών να ελέγχεται συχνά
- Για να μπορέσει να αποφευχθεί η συμφόρηση να χρησιμοποιούνται εντός του οχήματος συσκευές δυναμικής καθοδήγησης και πλοήγησης.
- Προσπάθεια αποφυγής της υπερφόρτωσης του οχήματος.

Όλοι αυτοί οι κανόνες θεωρούνται γενικοί, ενώ μπορεί να εφαρμοστούν και να παρουσιάσουν ιδιαίτερα θετικές επιπτώσεις στο να εξοικονομηθούν καύσιμα. Εμπίπτουν επίσης στη στρατηγική για τη βέλτιστη οδηγική συμπεριφορά. Ανάλογα όμως με τα χαρακτηριστικά του κάθε οχήματος και τις ανάγκες του κάθε οδηγού, απαιτείται εξειδίκευση. Θεωρείται συνεπώς απαραίτητο να υιοθετηθούν συστήματα τα οποία θα μπορέσουν να βελτιστοποιήσουν ενεργειακά τους κανόνες αυτούς με την προσαρμογή τους στα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του οχήματος. Ένα σύστημα αλλαγής σχέσεων μετάδοσης για παράδειγμα, θα μπορέσει να υποδεικνύει αλλαγές με έναν διαφορετικό τρόπο για ένα βενζινοκίνητο όχημα συγκριτικά με ένα πετρελαιοκίνητο. Στην περίπτωση αυτή ο γενικός κανόνας της αλλαγής σχέσης μετάδοσης για τις χαμηλές στροφές οφείλει να εξειδικευθεί. Παράλληλα, τα συστήματα αυτά θα πρέπει να μπορούν να προσαρμοστούν στις ανάγκες και τους οδηγούς αλλά και όταν υπάρχει δυναμική αλλαγή των κυκλοφοριακών συνθηκών.

Η δυναμική πληροφόρηση, η διαρκής καθοδήγηση και η εκπαίδευση των οδηγών αποτελούν στόχο των συστημάτων. Αυτές οι υποδείξεις των συστημάτων κάποιες φορές είναι οπτικές και κάποιες φορές ηχητικές, ενώ εμφανίζονται στον πίνακα οργάνων του οχήματος με τη χρήση της διεπαφής ανθρώπου μηχανής (HMI). Τα συστήματα αυτά από τεχνολογική άποψη, μπορούν να εμπλέκουν διάφορα μέρη όπως είναι οι τεχνολογίες

καταγραφής δεδομένων, οι τεχνολογίες ασύρματης επικοινωνίας (GPRS), τα συστήματα εύρεσης θέσης (GPS), τους ψηφιακούς χάρτες, δεδομένα από το δίκτυο CAN BUS του οχήματος και αισθητήρες. Όλα αυτά τα συστήματα τα οποία επηρεάζουν την ανθρώπινη οδική συμπεριφορά, έχουν τη δυνατότητα λειτουργίας μέσα από το όχημα αλλά μπορούν να συμπληρωθούν και με κάποιες επεκτάσεις ενισχύοντας την επικοινωνία ανάμεσα στο δίκτυο και στο όχημα (vehicle to vehicle) καθώς επίσης και με τις διάφορες υποδομές (vehicle to Infrastructure).

### **2.3.2 Συστήματα αλλαγής οδηγικής συμπεριφοράς**

Τα κυριότερα από τα συστήματα αυτά είναι τα εξής :

Σύστημα το οποίο απενεργοποιεί τον κινητήρα (start-stop system) : μμ σύστημα αυτό του κινητήρα απενεργοποιείται στις στάσεις εξοικονομώντας καύσιμα και παρουσιάζει παρεμβατικό χαρακτήρα.

Σύστημα το οποίο παρακολουθεί την πίεση των ελαστικών (tire pressure monitoring) : το σύστημα αυτό εντοπίζεται μέσω αισθητήρα την απώλεια της πίεσης των ελαστικών, ενημερώνοντας τον οδηγό ότι είναι απαραίτητο να συμπληρωθεί. Το σύστημα παρουσιάζει προειδοποιητικό και πληροφοριακό χαρακτήρα.

Σύστημα αλλαγής σχέσεων μετάδοσης (gear shift indicator) : στο σύστημα αυτό υποδεικνύεται στον οδηγό πότε πρέπει να γίνει αλλαγή ταχύτητας σύμφωνα με την εξοικονόμηση ενέργειας. Η φιλοσοφία του συστήματος αυτού έχει στηριχθεί στη δυναμική χάραξη πολιτικής σχέσεων μετάδοσης, σύμφωνα με τις απαιτήσεις και τις συνθήκες του οδηγού έχοντας προσανατολισμό στην ενεργειακή αποδοτικότητα. Έτσι σημειώνεται ότι η καλλιέργεια του οικολογικού οδηγικού προτύπου είναι σχετιζόμενη και πέρα από τη βέλτιστη ενεργειακή διαχείριση του οχήματος, την πρόληψη πληροφορίας. Τα συστήματα πλοήγησης και πληροφόρησης τα οποία εγκαθίστανται εντός του οχήματος (eco information and navigation) είναι τα συστήματα τα οποία απαντούν σε αυτή ακριβώς την ανάγκη.

Εξελιγμένα συστήματα υποβοήθησης του οδηγού (Advanced Driver Assistance Systems) : Σε αυτή την κατηγορία των συστημάτων μέσα στο όχημα συμπεριλαμβάνονται και τα οχήματα τα οποία σχεδιάστηκαν στη βοήθεια του οδηγού με τη συμμετοχή στην προσπάθεια για ασφαλέστερη οδήγηση. Δεν έγινε σχεδιασμός των συστημάτων αυτών έχοντας γνώμονα την ενεργειακή αποδοτικότητα, αλλά έχοντας ως κύριο στόχο να ενισχυθεί η ασφάλεια στις οδικές μεταφορές. Τα συστήματα αυτά είναι περισσότερο γνωστά με το όνομα ADAS (Advanced Driver Assistance). Ακόμη και ανασχεδιασμός τους αποβλέπει στο να ενισχυθεί η ασφάλεια των οδικών μεταφορών όταν εφαρμοστούν, πρέπει είτε άμεσα είτε έμμεσα να οδηγήσει στο να περιοριστούν τα ατυχήματα και στην κατανάλωση ενέργειας. Τα συγκεκριμένα συστήματα μπορούν να αλληλεπιδράσουν με τους χρήστες υποβοηθώντας τους. Υπάρχει έμμεση και άμεση επίδραση στην οδηγική κυκλοφοριακή συμπεριφορά και το πρότυπο. Εάν για παράδειγμα ένα σύστημα προσαρμογής ταχύτητας δεν επιτρέπει να υπερβούν τα όρια κυκλοφορίας τα συστήματα τα οποία διατηρούν τη λωρίδα αποτρέπουν τις συχνές αλλαγές λωρίδων.

Ανάλογα με το χαρακτήρα παρουσιάζει αλληλεπίδραση τα συστήματα αυτά μπορούν να διακριθούν σε :

- Παρεμβατικά
- Προειδοποιητικά
- Πληροφοριακά

Στα συστήματα αυτά συμπεριλαμβάνονται και τα παρακάτω : σύστημα νυχτερινής όρασης (night vision) : σε αυτό το σύστημα υπάρχει υποβοήθηση της νυχτερινής όρασης μέσω μιας κάμερας υπερέυθρων. Η δυνατότητα αντίληψης της ύπαρξης αντικειμένων, οχημάτων και πεζών, αυξάνεται σε συνθήκες όπου υπάρχει περιορισμένη ορατότητα. Υπάρχουν μέσα σε επιπτώσεις στις εκπομπές περιορίζοντας ατυχήματα τα οποία προκαλούνται εξαιτίας της χαμηλής ορατότητας. Ο χαρακτήρας του συστήματος είναι προειδοποιητικός και πληροφοριακός.

Σύστημα διατήρησης της λωρίδας (Lane Keeping System) : στο σύστημα αυτό

εντοπίζονται τα όρια λωρίδας μέσα από μια κάμερα αναγνωρίζοντας τη σήμανση της. Ανιχνεύεται ταυτόχρονα η τάση του οδηγού αλλαγής λωρίδας και προειδοποιείται ώστε να πράξει το αντίθετο. Το παρεμβατικό σύστημα μπορεί να επηρεάσει την αλλαγή μέσα από τον έλεγχο του τιμονιού με τη διόρθωση της πορείας στα ορθά όρια. Υπάρχουν έμμεσες επιπτώσεις σε επίπεδο εκπομπών του συστήματος, αποτρέποντας ατυχήματα τα οποία οφείλονται στην αλλαγή της λωρίδας. Συμβάλλει παράλληλα και στο να διατηρηθεί η ομαλότητα της ροής με την αποφυγή συχνών αλλαγών λωρίδων.

Σύστημα έκτακτου φρεναρίσματος (Emergency Braking) : στο σύστημα αυτό εντοπίζονται τα εμπόδια και παρέχονται προειδοποιήσεις στην περίπτωση επικείμενης σύγκρουσης. Όταν θεωρεί το σύστημα ότι μια σύγκρουση είναι αναπόφευκτη, ενεργοποιούνται ακαριαία τα φρένα, ενώ θέτονται ταυτόχρονα τα μέτρα παθητικής ασφάλειας του οχήματος σε μια λειτουργία προέντασης ζώνης. Το να αναγνωριστούν τα εμπόδια, γίνεται μέσα από ένα σύστημα αισθητήρων αναγνωρίζοντας την απόσταση που υπάρχει από τα προπορευόμενα εμπόδια και οχήματα. Θεωρείται έμμεση η συμβολή του συστήματος στις εκπομπές μέσα από τον περιορισμό των ατυχημάτων, τα οποία οφείλονται στα απότομα φρεναρίσματα, ενώ το σύστημα θεωρείται και παρεμβατικό αλλά και προειδοποιητικό.

Σύστημα ελέγχου πορείας (Cruise Control) : στο σύστημα αυτό διατηρείται η ταχύτητα του οχήματος στο επίπεδο που έχει οριστεί από τον οδηγό μέσα από τον ηλεκτρονικό έλεγχο του γκαζιού. Παρουσιάζονται άμεσες επιπτώσεις στις εκπομπές από το σύστημα, καθώς διατηρείται σταθερή ταχύτητα του οχήματος με την αποτροπή επιτάχυνσης και επιβράδυνσης μέσα από τη χειροκίνητη λειτουργία. Το σύστημα αυτό τοποθετείται σε όλο και περισσότερα οχήματα από τους κατασκευαστές αυτοκινήτων. Με τον τρόπο αυτό εξασφαλίζεται μεγάλος βαθμός διεύθυνσης του συστήματος. Η εφαρμογή του συστήματος βρίσκεται κυρίως σε αυτοκινητόδρομους θεωρώντας δυνατή τη σταθερή διατήρηση της ταχύτητας με την προϋπόθεση να τηρηθούν οι κατάλληλες αποστάσεις ασφαλείας.

Προσαρμοζόμενο σύστημα ελέγχου πορείας (Adaptive Cruise Control) : το σύστημα αυτό αποτελεί μια εξέλιξη του συστήματος ελέγχου πορείας, με τον οδηγό να καθορίζει την ταχύτητα την οποία επιθυμεί να διατηρήσει. Στην περίπτωση που το

προπορευόμενο όχημα κινείται πιο αργά, τότε καθορίζεται από τον οδηγό η χρονική ή χωρική απόσταση που θέλει να έχει από το όχημα αυτό. Μέσα από αισθητήρες στο σύστημα, μπορεί να ανιχνεύσει τη χρονική απόσταση και ανάλογα με το τι διακυμάνσεις παρουσιάζει η ταχύτητα του προπορευόμενου οχήματος προσαρμόζει και την ταχύτητα του οχήματος. Η λειτουργία του συστήματος είναι να μετρήσει το χρονικό διάστημα από το όχημα το οποίο προηγείται, συγκρίνοντας με μια υπολογισμένη απόσταση που θεωρείται συνάρτηση του χρονικού διαστήματος ανάμεσα στην διαφορά της ταχύτητας ανάμεσα στα οχήματα και της ταχύτητας του οχήματος. Στην περίπτωση που το χρονικό ή χωρικό διάστημα θεωρείται πολύ μικρό, τότε το σύστημα επιβραδύνει το όχημα με τη χρήση μιας επιβράδυνσης  $2,5\text{m/sec}^2$ . Ως στόχο το σύστημα έχει να διατηρήσει την απόσταση ασφαλείας ενός συγκριτικά με το συμβατικό σύστημα ελέγχου πορείας αυξάνοντας το εύρος των οδικών συνθηκών όπου μπορεί να εφαρμοστεί. Στην περίπτωση που απαιτούνται μεγαλύτερες επιβραδύνσεις, τότε το σύστημα μπορεί να προειδοποιήσει τον οδηγό ηχητικά. Η εφαρμογή του γίνεται σε ταχύτητες μεγαλύτερες των 30 km/h, ενώ ξεκίνησαν να εμφανίζονται και συστήματα τα οποία βρίσκουν εφαρμογή και σε ακόμη χαμηλότερες ταχύτητες.

Τρένο οχημάτων (Platooning) : το σύστημα αυτό δημιουργεί μια τηλεματικά συγχρονισμένη κίνηση οχημάτων. Η σύνδεση των οχημάτων μεταξύ τους γίνεται μέσα από ένα σύστημα ελέγχου και αισθητήρων, δημιουργώντας μια ακολουθία από οχήματα τα οποία πορεύονται διατηρώντας ανάμεσα τους ίσες αποστάσεις και ακολουθώντας την ίδια ταχύτητα. Παρουσιάζει άμεση επίπτωση στις εκπομπές, καθώς διατηρείται σταθερή η ταχύτητα περιορίζοντας την επίδραση της αεροδυναμικής αντίστασης. Αυξάνεται επίσης και η διαθεσιμότητα του χώρου των οδών, με τη συμβολή στη δημιουργία μιας πιο ομαλής ροής. Το σύστημα παρουσιάζει παρεμβατικό χαρακτήρα.

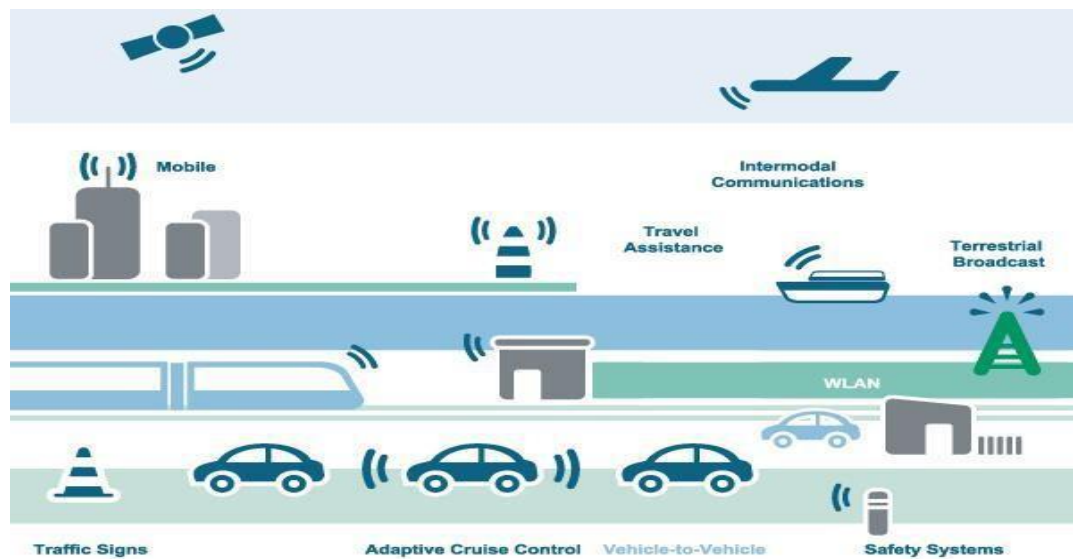
Έξυπνο σύστημα προσαρμογής ταχύτητας (Intelligent Speed Adaptation ISA) : Το σύστημα αυτό αναγκάζεται να συμβουλεύει τον οδηγό να διατηρηθεί ανάμεσα στα όρια ταχύτητας. Είναι βασισμένο στο σύστημα εύρεσης θέσης(GPS) και σε ένα χάρτη, ο οποίος περιλαμβάνει τα όρια κυκλοφορίας. Παρουσιάζει μεγάλη συμβολή στο να περιοριστεί η κατανάλωση, καθώς περιορίζει τις υψηλές ταχύτητες και θετικές επιταχύνσεις. Ο χαρακτήρας εκτός συστήματος είναι και παρεμβατικός, και προειδοποιητικός και πληροφοριακός.

Σύστημα παρακολούθησης της κατάστασης του οδηγού (Driver condition monitoring) : το σύστημα αυτό μπορεί να ελέγξει την κατάσταση του οδηγού, ενώ είναι βασισμένο στη λειτουργία αισθητήρα, ο οποίος ελέγχει την κίνηση των ματιών. Οι παράμετροι που εξετάζει είναι η απόσπαση της προσοχής, η απροσεξία και η υπνηλία. Η εφαρμογή του συστήματος βρίσκεται κυρίως σε εμπορευματικές μεταφορές, έχει όμως τη δυνατότητα διάδοσης και στο σύνολο των μεταφορών.

Τα συστήματα ADAS είναι ενεργητικής ασφάλειας, ενώ μπορούν να διαδραματίσουν αρκετά σημαντικό ρόλο στο να εξαλειφθούν οι μεταφορές. Μόνο κάποια από αυτά έχουν τη δυνατότητα να θεωρηθούν αποτελεσματικά ενεργειακά σε άμεσο επίπεδο και αυτά είναι τα ISA, Platooning και ACC. Η συνεισφορά του στον περιοριστούν τα αέρια του θερμοκηπίου θεωρείται περισσότερο έμμεση, καθώς ενισχύουν την ασφάλεια των οδικών μεταφορών με τη συμβολή σε σημαντικό περιορισμό της συμφόρησης και των ατυχημάτων. Συγκριτικά με το συμβατικό CC, το ACC παρουσιάζει μεγαλύτερο εύρος εφαρμογής συμβάλλοντας στο να διατηρηθεί μια σταθερότερη ταχύτητα συγκριτικά με αυτή που μπορούν να διατηρήσουν οι οδηγοί, ενώ ταυτόχρονα μπορεί να επιβραδύνει και να επιταχύνει ομαλότερα από τους οδηγούς με τον περιορισμό της μεταβλητότητας της ταχύτητας. Η μέση ταχύτητα μπορεί να περιοριστεί και από τα 2 συστήματα, καθώς η διανομή της γίνεται στα σταθερότερα πλαίσια κοντά στα καθοριζόμενα όρια. Τα συστήματα θεωρούνται αποτελεσματικότερα σε συνθήκες ελεύθερης ροής παρά όταν υπάρχουν συνθήκες συμφόρησης.

Συνεργαζόμενα ευφυή Συστήματα Μεταφορών( C-ITS) : Τα συστήματα αυτά αποτελούν προηγούμενες εφαρμογές βασισμένες στο να αλληλοεπιδράσουν με ανθρώπους, υποδομές και τα οχήματα έχοντας στόχο να παραχθούν καινοτόμες υπηρεσίες σχετιζόμενες με διαφορετικούς τρόπους διαχείρισης και μεταφοράς της κυκλοφορίας, ενώ με αυτό τον τρόπο μπορούν να επιτρέψουν στους διάφορους χρήστες την καλύτερη ενημέρωση κάνοντας εξυπνότερη, πιο συντονισμένη και πιο ασφαλή χρήση των δικτύων μεταφοράς. Τα συστήματα αυτά συνεργάζονται μεταξύ τους μέσα από τεχνολογίες επικοινωνίας και πληροφόρησης οι οποίες εφαρμόζονται στον τομέα των οδικών μεταφορών συμπεριλαμβάνοντας τους χρήστες, οχήματα και τις υποδομές, τις διεπαφές με άλλους διαθέσιμους τρόπους μεταφοράς, στη διαχείριση της κινητικότητας και τη διαχείριση της κυκλοφορίας. Με τα συστήματα αυτά υπάρχει αύξηση της

αξιοπιστίας και της ποιότητας της πληροφορίας προσφερόμενη στους οδηγούς σχετικά με το άμεσο περιβάλλον τους, χρήστες του οδικού δικτύου και άλλα οχήματα. Εφαρμόζοντας τα τεχνολογικά αυτά συστήματα στην ουσία συμβάλλουν στο να μειωθεί η κίνηση στα οδικά δίκτυα και συνεπώς να βελτιωθούν οι χρόνοι μετακίνησης. Ένα τέτοιο επακόλουθο θα μπορούσε να είναι η μείωση της κατανάλωσης καυσίμων κίνησης (Jandritsis et al., 2017).



Εικόνα 1: Αντιπροσωπευτική απεικόνιση της λειτουργίας των Σ-ΕΣΜ.

## 2.4 Ο ρόλος των συστημάτων

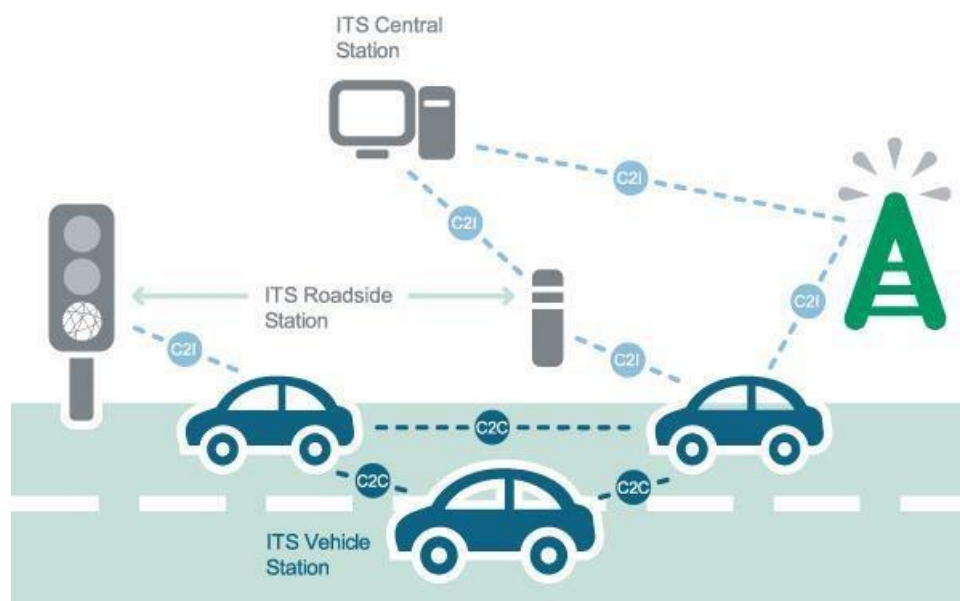
Η άρτια και αξιόπιστη εφαρμογή των συστημάτων μπορεί να βοηθήσει στο να υλοποιηθούν σημαντικοί αναπτυξιακοί στόχοι, όπως αποτελεί η βελτίωση της ποιότητας ζωής των πολιτών, η μείωση περιβαλλοντικών επιπτώσεων η οποία προκαλείται από μεταφορές και η προώθηση της βιώσιμης ανάπτυξης. Οι στόχοι αυτοί επιτυγχάνονται μέσα από :

- την αξιόπιστη, γρήγορη και εύκολη πληροφόρηση των χρηστών
- τη διαλειτουργικότητα των υφιστάμενων συστημάτων μεταφορών
- τη βέλτιστη αξιοποίηση που έχει υφιστάμενη χωρητικότητα των υποδομών



μεταφοράς και των δικτύων

- την υποστήριξη φιλικών και αποδοτικών περιβαλλοντικών επιλογών μεταφοράς
- τη διαχείριση της ζήτησης για τη μετακίνηση.



Εικόνα 2: Πως λειτουργούν τα Σ-ΕΣΜ.

Η εφαρμογή τους μπορεί να συνεισφέρει σημαντικά στην προστασία του περιβάλλοντος, την κινητικότητα και την ασφάλεια. Όσο πιο ενημερωμένη και έγκυρη γίνεται η πληροφόρηση των χρηστών, και όσο πιο προηγμένα είναι τα συστήματα εντοπισμού θέσης, διαχείρισης της κυκλοφορίας και δυναμικής δρομολόγησης, τόσο περισσότερο βελτιώνεται και η ροή της κυκλοφορίας, ενώ παράλληλα μειώνονται τα ποσοστά ατυχημάτων και οι εκπομπές ρύπων. Τα συστήματα αυτά λοιπόν μπορούν να προσφέρουν βελτιστοποίηση συστημάτων μεταφορών μέσα από την αύξηση του ποσοστού αποτελεσματικότητας από τις ήδη υπάρχουσες υποδομές, στοχεύοντας στην οικονομική ανάπτυξη, την αύξηση της ανταγωνιστικότητας και τη βιώσιμη ανάπτυξη.

Ένα μεγάλο πλεονέκτημα που παρουσιάζουν, είναι η χρήση των υπαρχουσών υποδομών χωρίς την απαίτηση μεγάλων επενδυτικών κεφαλαίων εγκατάστασης νέων υποδομών. Κάτι τέτοιο συμβαίνει, καθώς δίνεται μεγάλη έμφαση στη διαλειτουργικότητα που παρουσιάζουν τα μεταφορικά θέματα, παρέχοντας έξυπνα συνεργαζόμενα

συστήματα για την εξυπηρέτηση μεταφορικού έργου και όχι για να δημιουργηθούν νέες δαπανηρές υποδομές. Αν λοιπόν, γίνουν κάποιες επενδύσεις στην κατεύθυνση των συστημάτων αυτών, τότε εξοικονομούνται οικονομικοί πόροι άμεσα μέσα από την ανακούφιση του δικτύου μεταφορών και την αναβάθμιση των υπαρχουσών υποδομών. Μειώνεται επίσης και έμμεσα το περιβαλλοντικό αποτύπωμα διοξειδίου του άνθρακα (Τουλούκη, 2017).

## 2.5 Τύποι συστημάτων

Τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούν τεχνολογικά μέσα προσφέροντας τη δυνατότητα σε οχήματα μοτοσικλέτες και αυτοκίνητα της επικοινωνίας με άλλα οχήματα με τη χρήση συστημάτων σηματοδότησης, αλλά και με υποδομές παρά την οδό. Τα συστήματα αυτά επίσης είναι γνωστά με τις ονομασίες όχημα με υποδομή, όχημα με μοτοσικλέτα, όχημα με όχημα και αντιστρόφως.

### Όχημα-με-Υποδομή

Όχημα με υποδομή ονομάζεται η τεχνολογία στην οποία τα οχήματα λαμβάνουν πληροφορίες από την υποδομή της οδού στην οποία κινούνται (V2I or V2X). Η σύνδεση των φαναριών γίνεται με μία μονάδα παρά την οδό (RSU), όπου μέσα από αυτή τη σύνδεση μπορεί το φανάρι να μεταδώσει πληροφορίες στα κοντινά οχήματα. Σε αυτό περιλαμβάνονται και πληροφορίες σχετικά με το χρονοδιάγραμμα φάσεων του κάθε φαναριού και με την τοπολογία της διασταύρωσης. Όσο τα οχήματα πλησιάζουν στη διασταύρωση, μπορούν να λάβουν τις πληροφορίες αυτές υπολογίζοντας με τον τρόπο αυτό τη βέλτιστη ταχύτητα προσέγγισης. Με την ταχύτητα αυτή μπορεί να βελτιωθεί η ενεργειακή αποδοτικότητα του οχήματος βάσει της κατανάλωσης των καυσίμων, ενώ ταυτόχρονα να γίνει αποφυγή ακόμη και να ακινητοποιηθεί το ίδιο βασικά συστατικά. Ως ένα βασικό σύστημα V2I θα πρέπει να περιλαμβάνει τα ακόλουθα μέρη :

- Κανάλι ασφαλούς επικοινωνίας
- παρά την οδό εξοπλισμός η μονάδα (RSU ή RSE)

- και εντός του οχήματος εξοπλισμός ή μονάδα(OBU ή OBE), (Holfender, 2014)

### Όχημα-με-Όχημα

Η καθιέρωση της συνεργασίας των οχημάτων μέσα από τα τεχνολογικά συστήματα έγινε με το συμβολισμό όχημα με όχημα (V2V). Αφορά μια τεχνολογία μοτοσυκλετών και αυτοκινήτων, η οποία σχεδιάστηκε ώστε να επιτραπεί στα οχήματα να μιλάει το ένα στο άλλο. Από τη στιγμή που κάποια οχήματα είναι εντός εμβέλειας ραδιοεπικοινωνίας, τότε αυτά συνδέονται αυτόματα δημιουργώντας ένα δίκτυο ad hoc, με όλους τους σταθμούς των ευφυών συστημάτων μεταφορών να είναι γνώστες των θέσεων, τις κατευθύνσεις των άλλων σταθμών και της ταχύτητας, ενώ μπορούν να παρέχουν πληροφορίες και προειδοποιήσεις. Καθώς περιορίζεται μόνο σε μερικές εκατοντάδες μέτρα το εύρος μιας ενιαίας σύνδεσης ασύρματου LAN, κάθε ένα από τα οχήματα αποτελεί επίσης και ένα δρομολογητή στον οποίο επιτρέπεται η αποστολή μηνυμάτων μέσα από πολλαπλά -hop με μακρύτερα οχήματα, όπως είναι τρόλεϊ και λεωφορεία καθώς επίσης και τους σταθμούς των ευφυών συστημάτων. Με βάση τη θέση των οχημάτων, ο αλγόριθμος δρομολόγησης μπορεί να χειριστεί γρήγορες αλλαγές στην τοπολογία του ad hoc δικτύου.

Κάποιες αυτοκινητοβιομηχανίες πηγές όπως είναι η General Motors έχοντας σε προχωρημένο στάδιο ανάπτυξης την τεχνολογία όχημα με όχημα (V2V), στην οποία καταδείχθηκε το σύστημα το 2006 με τη χρήση οχημάτων Cadillac. Κάποιες άλλες αυτοκινητοβιομηχανίες οι οποίες εργάζονται πάνω στις τεχνολογίες V2V, είναι η κοινοπραξία Car2Car, η Volvo, η Audi, η Honda, η Daimler, η Toyota και η BMW. Πέρα από τις αυτοκινητοβιομηχανίες υπάρχουν προοδευτικά βήματα στην κατεύθυνση των C-ITS ενώ πραγματοποιήθηκαν ήδη από διάφορες διεθνείς οργανισμούς, όπως η Google και διεθνή ερευνητικά κέντρα. Αυτά τα συστήματα είναι επίσης γνωστά και ως VANET (Vehicular ad hoc Networks). Αφορούν μια παραλλαγή του MANET (Mobile ad hoc network), δίνοντας έμφαση στον κόμβο οχημάτων. Σε μια δημοσίευση του 2001 αναφέρθηκε ότι τα δίκτυα ad hoc έχουν τη δυνατότητα διαμόρφωσης από τα αυτοκίνητα, καθώς τα δίκτυα αυτά μπορούν να βοηθήσουν να ξεπεραστούν τυφλά σημεία, να αποφευχθούν ατυχήματα και πολλά άλλα. Με την πάροδο των ετών υπήρξαν σημαντικά σχέδια και έρευνες στον τομέα αυτό, με την τεχνολογία αυτή να βρίσκει εφαρμογή σε μια μεγάλη και ευρεία γκάμα προβλημάτων τα οποία εμπλέκουν την επιβολή των επιταγών

του νόμου έως και την ασφάλεια στην πλοήγηση.

## 2.6 Βασικές αρχές λειτουργίας

Στο σύστημα που αφορά την πλευρά του οχήματος, αναφέρεται και η τεχνολογία OBU. Πρόκειται πρακτικά για μια συσκευή η οποία χρησιμοποιείται για να επικοινωνήσουν τα οχήματα με άλλα οχήματα (V2V), ενώ η χρήση της ίδιας συσκευής γίνεται και για τη διεπαφή της υποδομής με το όχημα. Ένα ραδιοφωνικός πομποδέκτης συνήθως DSRC, ένας επεξεργαστής εφαρμογών και ένα σύστημα GPS, αποτελούν τα εξοπλιστικά συστήματα OBU. Τα συστήματα αυτά μπορούν να διαβάσουν τακτικά μηνύματα κατάστασης σε άλλες OBU, υποστηρίζοντας παράλληλα εφαρμογές ασφάλειας ανάμεσα στα οχήματα. Μπορούν να πέσουν κατά διαστήματα συγκεντρώνοντας στοιχεία υποστηρίζοντας δημόσια τις εφαρμογές. Μπορούν να επίσης να αποθηκεύσουν πολλά στιγμιότυπα των δεδομένων, ανάλογα με τις δυνατότητες επικοινωνίας και τη μνήμη την οποία διαθέτουν. Έπειτα από κάποιο χρονικό διάστημα γίνεται αντικατάσταση των παλαιότερων δεδομένων από νέα.

Με τον τρόπο αυτό τα OBU μπορούν να συγκεντρώσουν δεδομένα θέσης και στιγμιότυπα του οχήματος αποστέλλοντάς τα στην παρά την οδό μονάδα (RSU). Στη συνέχεια γίνεται διακομιδή της πληροφορίας αυτής σε όλους τους συνεργαζόμενους χρήστες της οδού τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Η τοποθέτηση των συστημάτων RSU μπορεί να γίνει σε πολλές τοποθεσίες όπως είναι διασταυρώσεις και ανισόπεδοι κόμβοι ή ακόμη και πρατήρια καυσίμων με την παροχή διασύνδεσης στα οχήματα μέσα στην εμβέλειά τους. Αποτελείται από μια μονάδα GPS, έναν επεξεργαστή εφαρμογών και έναν ράδιο πομποδέκτη, ο οποίος τυπικά είναι είτε DSRC ή WAVE τα οποία συνδέονται με το δίκτυο επικοινωνιών V2I. Μεταφέρονται συνδέσεις με το δίκτυο αυτό των επικοινωνιών να μπορεί να στείλει προσωπικά δεδομένα από και προς τα κέντρα διαχείρισης της κυκλοφορίας.

Μπορεί επίσης να διαχειριστεί η RSU την ιεράρχηση των μηνυμάτων, η οποία έρχεται από και προς το όχημα. Σαφώς υπάρχει ιεράρχηση και στην πληροφορία την οποία λαμβάνει οδηγός με τέτοιο τρόπο, ώστε να αποφευχθεί η σύγχυση και να είναι

βοηθητική ή πληροφόρηση. Προτεραιότητα παρουσιάζουν τα μηνύματα τα οποία αφορούν στην ασφάλεια των χρηστών της οδού, ενώ μηνύματα τα οποία σχετίζονται με διάφορες εφαρμογές του ιδιωτικού και δημόσιου τομέα παρουσιάζουν χαμηλότερη προτεραιότητα και τα μηνύματα ψυχαγωγίας ακόμη χαμηλότερη.



Εικόνα 3: Παράδειγμα συνεργασίας οχημάτων με την υποδομή της οδού (V2I)

### Κεφάλαιο 3. Αλγόριθμοι Clustering

Ένα Ασύρματο δίκτυο αισθητήρων (Wireless Sensor Network) WSN αποτελείται από ικανότητα και υπολογιστική επικοινωνία καθώς και κόμβους με ανίχνευση, οι οποίοι συνδέονται σύμφωνα με μια τοπολογία και με ένα sink με τον εξωτερικό κόσμο. Το δίκτυο μπορεί να παρακολουθεί τα φαινόμενα και τις δραστηριότητες τα οποία δεν μπορούν να παρακολουθούν εύκολα από ανθρώπους, όπως είναι η παρακολούθηση του περιβάλλοντος για ένα μεγάλο χρονικό διάστημα, μια χημική παρακολούθηση ή η τοποθεσία κάποια πυρηνικού ατυχήματος. Κάποια από τα γενικά χαρακτηριστικά των δικτύων αυτών (Haenggi, 2005) αποτελεί μια συνεχώς μεταβαλλόμενη τοπολογία, εξαιτίας του προγραμματισμού των κόμβων στο δίκτυο σε καταστάσεις διαφορετικές, όπως είναι η περιορισμένη ενέργεια του κόμβου (Akyildiz et al., 2002), το περιορισμένο εύρος ζώνης, η multi hop επικοινωνία, η διαχείριση του αυτόνομου ευφυούς δικτύου, η πυκνή ανάπτυξη του δικτύου και καταστάσεις αφύπνισης ή ύπνου, καθώς και νεκροί κόμβοι στο δίκτυο.

Καθώς υπάρχει μικρή εμβέλεια επικοινωνίας και παράλληλα με το γεγονός ότι η ενέργεια που καταναλώνεται δεν αναλογεί με τα τετράγωνα της απόστασης της επικοινωνίας multi hop, αντί να υπάρχει άμεση επικοινωνία μπορεί να εξοικονομηθεί ενέργεια. Σε ένα τέτοιο δίκτυο κάθε κόμβος κάνει προσπάθεια εκτέλεσης υπολογισμών σαν τοπικά δεδομένα, ενώ τα δεδομένα τα οποία προωθούνται συμπυκνώνονται, καθώς ο υπολογισμός τους θεωρείται λιγότερο δαπανηρός από το αν μεταδοθούν τα δεδομένα στο WSN. Εάν για παράδειγμα υπολογιστεί ότι η διάμεσος του δείγματος των δεδομένων στον κόμβο θεωρείται πολύ αποδοτική σε σχέση με τη μετάδοση των δειγμάτων δεδομένων, μπορεί να υπολογιστεί η διάμεσος στο sink. Τα δίκτυα αυτά είναι επικεντρωμένα στα δεδομένα, καθώς είναι τεράστια σε αριθμό στον κόσμο, δεν μπορούν να θεωρηθεί αποτελεσματικά στο να δώσουν έναν μοναδικό αριθμό αναγνώρισης (ID) στους κόμβους του αισθητήρα.

Οι κόμβοι αυτοί συνήθως αναφέρονται ως μια γκάμα δεδομένων ή ως ένας τύπος με τους οποίους ασχολούνται (Al – Karaki & Kamal, 2004). Τα δίκτυα αυτά θεωρούνται εξαιρετικά για τη συγκεκριμένη εφαρμογή με τέτοιο τρόπο, ώστε η λειτουργία της

αρχιτεκτονικής του πρωτοκόλλου να είναι διαφορετική από εφαρμογή σε εφαρμογή. Ο αλγόριθμος δρομολόγησης μπορεί να θεωρηθεί καλός για κάποιες περιοδικές παρακολούθησεις, ενώ μπορεί να μην έχει αποδώσει εκεί που απαιτείται συνεχής ανίχνευση δεδομένων όπως αναφέρθηκε από τους (Akyildiz et al., 2002). Το WNS μπορεί να είναι σε θέση παρακολούθησης ενός ευρέος φάσματος εφαρμογών, οι οποίες περιλαμβάνουν το μέγεθος και την κατεύθυνση των αντικειμένων, την ταχύτητα, τη μηχανική καταπόνηση, την παρουσία αντικειμένων, το είδος του εδάφους, τις συνθήκες του κεραυνού, την πίεση, την υγρασία και τη θερμοκρασία. Κάποιες τυπικές εφαρμογές μπορούν να συμπεριλάβουν την παρακολούθηση και επιτήρηση του χώρου (Haenggi, 2005) από περιβαλλοντική, γεωργική και στρατιωτική σκοπιά.

Ένα παράδειγμα αποτελεί η μελέτη των ερευνητών στο κολέγιο του Ατλαντικού στο μπαρ χάρμπορ και στο UC Berkeley, οι οποίοι ανέπτυξαν αισθητήρες στο Great Duck Island στο Maine. Τα δίκτυα αυτά παρακολουθούν τα μικροκλίματα γύρω και μέσα από λαγούμια και φωλιές τα οποία χρησιμοποιούνται από το Leach's Storm Petrel. Στόχο αποτελεί η ανάπτυξη ενός κιτ παρακολούθησης οικότοπου, το οποίο μπορεί να επιτρέψει σε ερευνητές παγκοσμίως την ενασχόληση με μια ανασταλτική και μη παρεμβατική παρακολούθηση της ευαίσθητης άγριας ζωής καθώς και ενδιαιτημάτων (Szewczyk et al., 2002). Στις εφαρμογές της μηχανικής περιλαμβάνεται και η συντήρηση μεγάλων βιομηχανικών μονάδων, η ρύθμιση σύγχρονων κτιρίων ως προς την υγρασία, τη θερμοκρασία, ή την παρακολούθηση αστικών δομών κ.λπ. Σε κάποιες άλλες εφαρμογές περιλαμβάνεται η ανίχνευση πλημμυρών, δασικών πυρκαγιών κ.λπ. (Bonnet et al., 2000).

### 3.1 Θέματα και προκλήσεις σε πακέτα WSN

Παρόλο που υπάρχουν πολυάριθμα πλεονεκτήματα και τεράστιες δυνατότητες, καθώς και μια συγκεκριμένη τοπική υπολογιστική, η αποτυχία στην επικοινωνία ενός μέρους του δικτύου, δεν θα επηρεάσει τη λειτουργία άλλου μέρους του δικτύου, καθώς υπάρχει μεγαλύτερη περιοχή κάλυψης ακραίες παρακολούθησης της περιβάλλουσας περιοχής με τα δίκτυα WSN να θέτουν πολλές προκλήσεις για την ερευνητική κοινότητα. Ο τομέας αυτός συνοψίζει εν συντομία κάποιες από τις κύριες προκλήσεις, οι οποίες μπορούν να αντιμετωπιστούν όταν ομαδοποιείται το ασύρματο δίκτυο αισθητήρων.

### 3.2 Multihop ή Single hop επικοινωνία

Οι χρήσεις δικτύου για μοντέλα επικοινωνίας με τον ασύρματο αισθητήρα μπορούν να είναι είτε single hop είτε multi hop. Όσον αφορά την κατανάλωση ενέργειας στα ασύρματα συστήματα θεωρείται άμεσα ανάλογη με το τετράγωνο της απόστασης, ενώ η επικοινωνία θεωρείται ακριβής από πλευράς της κατανάλωσης ενέργειας. Οι περισσότεροι αλγόριθμοι δρομολόγησης κάνουν χρήση του μοντέλου επικοινωνίας multi hop, καθώς θεωρείται περισσότερο ενεργειακά αποδοτικό αναφορικά με την κατανάλωση ενέργειας. Ωστόσο, στην επικοινωνία αυτή, οι κόμβοι οι οποίοι θεωρούνται πιο κοντά στην κεφαλή των συμπλέγματος αντιμετωπίζουν και την περισσότερη κίνηση, δημιουργώντας με τον τρόπο αυτό πολλά κενά στην κεφαλή του συμπλέγματος, όταν η ενέργεια αυτή ξεκινά να τελειώνει. Οι αλγόριθμοι που είναι βασισμένοι στην ομαδοποίηση, πιστεύεται ότι θεωρούνται οι πιο αποτελεσματικοί αλγόριθμοι δρομολόγησης για τα δίκτυα WSN.

Η βασική αρχή της αποτελεσματικότητας τους είναι ότι λειτουργεί ο κανόνας του διαίρει και βασίλευε. Όταν η ομαδοποίηση γίνεται κατά μήκος, μειώνεται και η κατανάλωση ενέργειας, ενώ ταυτόχρονα μπορεί να βελτιωθεί η αξιοποίηση του εύρους ζώνης μειώνοντας τις συγκρούσεις. Επί του παρόντος για την ενεργειακή απόδοση, στα δίκτυα αυτά η οποία προκύπτει από την επιλογή συμπλέγματος κεφαλών, η απόσταση που υπάρχει ανάμεσα στα clusters header με το μέγεθός του cluster και την επικοινωνία inter and intra cluster, η σταθερή και ανοδική φάση, η οργάνωση του δικτύου σε σύνολο



το είδος του περιβάλλοντος που πρόκειται να αναπτυχθεί, αποτελούν τους κύριους παράγοντες οι οποίοι πρέπει να ληφθούν υπόψη ώστε να επινοηθεί μια αποτελεσματική δρομολόγηση η οποία είναι βασισμένη σε συμπλέγματα αλγορίθμων.

## **Κεφάλαιο 4. VANET**

### **4.1 Επισκόπηση VANET**

Οι εφαρμογές των VANET στην επικοινωνία από όχημα σε όχημα στον πραγματικό κόσμο, είναι αρκετά μεγάλες σε αριθμό. Μπορούν να δώσουν αποτελεσματικές και έξυπνες λύσεις για εφαρμογές σε στρατιωτικές βάσεις (Masur et al., 2014). Κάποια από τα κύρια ερευνητικά ζητήματα στις εφαρμογές αυτές, αποτελούν ο αυξημένος αριθμός τροχαίων ατυχημάτων εξαιτίας τις ελλείψεις έλεγχος συμφόρησης και τις υψηλότερες δυναμικές κινητικότητας. Στη βιβλιογραφία και σε διάφορα κοινωνικά μέσα, τα οποία είναι βασισμένα στο διαδίκτυο και στα οχήματα δικτύου στοχεύουν στο να παρέχουν λύσεις στην έξυπνη κινητικότητα για τις έξυπνες πόλεις (Ning et al., 2017; Hu et al., 2015). Ένα βασικό μειονέκτημα των Vehicular Ad-hoc Networks (VANETs) αποτελούν και τα ζητήματα επικάλυψης δικτύου. Σχεδιάστηκε με ένα πίνακα δρομολόγησης ένα νέο αξιόπιστο πρωτόκολλο δρομολόγησης (Saleh et al., 2014). Ενώ η εφαρμογή VANET παρουσιάζει ένα αρκετά γεωγραφικά μεταβαλλόμενο δίκτυο, η τεράστια δυναμική κινητικότητα και εύρος και η αποτελεσματική δρομολόγηση συνεχίζουν να αποτελούν ένα απαραίτητο κριτήριο για τα περιβάλλοντα των εφαρμογών αυτών.

Παρακάτω παρουσιάζονται πληροφορίες οι οποίες είναι βασισμένες σε δρομολόγηση και στρατηγικές μετάδοσης με βάση. Οι υποενότητες επίσης βρίσκονται στις στρατηγικές μετάδοσης και είναι η πολλαπλή εκπομπή, η απλή μετάδοση και unicast. Οι πληροφορίες δρομολόγησης είναι βασισμένες στη θέση με βάση και στην τοπολογία. Αναφορικά με την οδική ασφάλεια των συνδεδεμένων δικτύων προχώρησαν αρκετές έρευνες. Πρωταρχικούς παράγοντες της έρευνας αποτελεί η ανίχνευση συμφόρησης, ο εντοπισμός τοποθεσίας, η αποφυγή συμφόρησης και ούτω καθεξής (Billa et al., 2017;Uhlemann, 2016).

## 4.2 Ομαδοποίηση (Clustering) στο VANET

Η ομαδοποίηση αποτελεί μια από τις σημαντικότερες ταξινομήσεις στα ενεργειακά αποδοτικά δίκτυα ad hoc οχημάτων (VANETs). Η ταξινόμηση της ομαδοποίησης γίνεται ανάλογα με την κινητικότητα, την πυκνότητα και την τοποθεσία του οχήματος. Ο υπολογισμός της απόδοσης των μεθόδων αυτών, γίνεται με όρους κινητικότητας και γεωγραφικής θέσης του οχήματος, ταχύτητα του οχήματος, επιβάρυνσης και χειρισμού δεδομένων (Bali et al., 2014; Alani et al., 2019). Ένα από τα κύρια ερευνητικά συστήματα στα αστικά VANET αποτελεί και η βελτίωση της αξιοπιστίας και επεκτασιμότητας. Οι βασικές ιδέες του έργου που παρουσιάζονται είναι η διάδοση πληροφοριών και η χαρτογράφηση του ατυχήματος, η ομαδοποίηση των οχημάτων και η ανίχνευση της συμφόρησης (Cooper et al., 2017). Στις μέρες μας έχει αναπτυχθεί σε μεγάλο βαθμό η έρευνα για την επικοινωνία μεταξύ των οχημάτων. Συνεπώς, για να μπορέσει να προσδιοριστεί η καταλληλότερη πορεία χρησιμοποιείται και η ομαδοποίηση των προτύπων. Σύμφωνα με την βιβλιογραφική ανασκόπηση που πραγματοποιήθηκε παρουσιάζεται παρακάτω η επισκόπηση σχετικά με τα διάφορα πρωτόκολλα ομαδοποίησης.

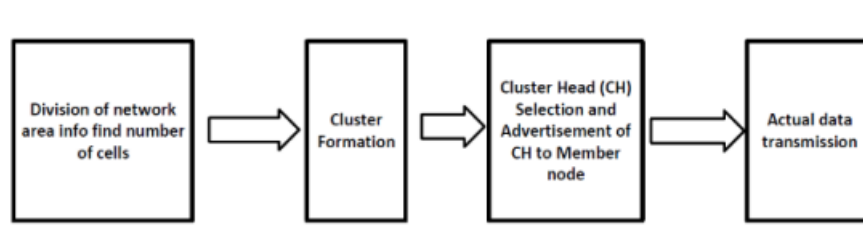
## 4.3 VANET Clustering πολλαπλών αλμάτων

### 4.3.1 Ομαδοποίηση βασισμένη σε παραμέτρους

Cluster πολλαπλών αλμάτων το οποία βασίζει την ενέργεια στα ετερογενή δίκτυα πολλαπλών κόμβων, τα οποία αποτελούν κρίσιμα μειονεκτήματα αναφορικά με την ενεργειακή απόδοση σε περίπλοκα σενάρια στην πλευρά του δρόμου (Hong et al., 2016). Για να μπορέσει να ξεπεραστεί αυτός ο αλγόριθμος ελέγχου τοπολογίας δέντρων ομαδοποίησης, προτείνεται να αυξηθεί η ενεργειακή απόδοση της εξισορρόπησης του φορτίου και του δικτύου. Κύριες μετρήσεις αποτελούν ο σύνδεσμος ρυθμού απώλειας και ποιότητας πακέτων. Σύμφωνα με αυτό, ο παράγοντας απόσταση και το κόστος

συνάρτησης, θεωρούνται ότι εκλέγουν τον Cluster Header. Ο Cluster Header επιλέγεται από τον θυγατρικό κόμβο λαμβάνοντας υπόψιν την υπολειπόμενη ενέργεια, την ποιότητα σύνδεσης και την απόσταση. Ορισμένοι κόμβοι αναμετάδοσης επιλέγονται επίσης, ενώ δηλώνονται ως Cluster Headers χωρίς συστάδες βοηθώντας παράλληλα στην επικοινωνία multi-hop, ώστε να μπορέσει να μειωθεί το φορτίο του Cluster Headers.

Με τον τρόπο αυτό η συγκεκριμένη διαδικασία μπορεί να αυξήσει τη διάρκεια ζωής του δικτύου. Η εφαρμογή της έννοιας αυτής μπορεί να γίνει σε πολλά σενάρια και αναλύεται η απόδοση. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα παρατείνεται η διάρκεια ζωής με τον καλύτερο τρόπο συγκριτικά με προηγούμενες μεθόδους. Ένα από τα κύρια μειονεκτήματα στο δίκτυο πολλαπλών κόμβων αποτελεί και η παραγωγή υψηλής καθυστέρησης η οποία μπορεί να μειώσει την επεκτασιμότητα του δικτύου. Παρακάτω περιγράφονται διάφοροι αλγόριθμοι και πρωτόκολλα 3 κατηγοριών, της υβριδικής, ήταν ενήμερες και συγκεντρωτικής (Sirsikar and Wankhede, 2015). Υποενότητες αποτελούν μια περιοχή του δικτύου ομοιογενών κόμβων, ενός ακίνητου BS και κόμβων, την επικοινωνία 2 βημάτων intra-cluster και την επικοινωνία multi-hop inter-cluster.



Εικόνα : Επιλογή δυναμικής κεφαλής συμπλέγματος πολλαπλών βημάτων

Για να μπορέσει να βελτιωθεί η ενεργειακή απόδοση και να μειωθεί η ενεργειακή κατανάλωση, ξεκινάει η έννοια της ομαδοποίησης (Zhang et al., 2006). Γενικότερα ο κόμβος κεφαλής συμπλέγματος μπορεί να καταναλώσει περισσότερη ενέργεια η οποία οδηγεί στο να αυξηθεί η συνολική κατανάλωση ενέργειας του δικτύου. Για να μπορέσει να ξεπεραστεί το μειονέκτημα αυτό ώστε να επιτευχθεί καλύτερη επεκτασιμότητα, εισάγεται ένα νέο μοντέλο αλγορίθμου ομαδοποίησης, το οποίο αποτελεί ο σχηματισμός συστάδων πολλαπλών αλμάτων βασισμένος στην ψηφοφορία χωρίς σύγκρουση. Τα σημεία αυτά συλλέγουν τις πληροφορίες από τους κόμβους στην κεφαλή του συμπλέγματος, ενώ μειώνεται και η κατανάλωση ενέργειας της κεφαλής του Cluster.

### 4.3.2 Επεκτασιμότητα και αξιοπιστία η οποία βασίζεται σε ομαδοποίηση πολλαπλών αλμάτων (multi-hop)

Στο δίκτυο VANET διευθετούνται αρχικά κάποια αρχιτεκτονικά μοντέλα με τη μέθοδο ομαδοποίησης να χρησιμοποιείται κυρίως για να ιεραρχηθεί η αρχιτεκτονική του δικτύου με τη χρήση ομαδοποίησης κόμβων (Zhang et al., 2019). Σε κάποιες προηγούμενες μελέτες συζητήθηκε το μοντέλο κινητικότητας για την ψηφοφορία CH. Το φάσμα για τη γρήγορη επικοινωνία είναι ευρύ για την πραγματοποίηση κινήσεων, οι οποίες μειώνουν την αξιοπιστία του δικτύου. Η αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού γίνεται με την εισαγωγή του αλγορίθμου PMC, δηλαδή της παθητικής ομαδοποίησης πολλαπλών βημάτων. Ο αλγόριθμος αυτός μπορεί να παρέχει προεπιλεγμένη σταθερότητα και κάλυψη στο σύμπλεγμα, οδηγώντας στο να διατηρηθεί η αξιοπιστία του συμπλέγματος. Η επιλογή του γείτονα βάσει προτεραιότητας αποτελεί την κύρια υποενότητα του παθητικού αλγορίθμου ομαδοποίησης πολλαπλών δειγμάτων.

Ο καταναμημένος αλγόριθμος ομαδοποίησης πολλαπλών βημάτων (DMCNF) αποτελεί μια αναδυόμενη ιδέα της τεχνολογίας VANET έχοντας κύριες μετρήσεις εισαγωγής την κατεύθυνση, τη θέση και την ταχύτητα (Dawande et al., 2016). Στον αλγόριθμο αυτό γίνεται χρήση μιας επιλογής γείτονα hop όπου αναμένεται η αναγνώριση κατά τη διάρκεια της επικοινωνίας αυξάνοντας την αβεβαιότητα και την καθυστέρηση στο δίκτυο. Για να αντιμετωπιστεί το θέμα αυτό γίνεται διερεύνηση ενός νέου πρωτοκόλλου του Enhanced DMCNF. Στο σημείο αυτό, η επικοινωνία ανάμεσα στο σταθερό σύμπλεγμα και το RSU και του σταθερού συμπλέγματος τα οποία χειρίζονται από το νέο όχημα, μειώνει γενικά τα έξοδα του συμπλέγματος. Καθώς υπάρχουν γενικά προβλήματα συμφόρησης και ελέγχου του δικτύου αυτού, συζητείται ένα νέο μοντέλο και συγκεκριμένα τα βέλτιστα προσαρμοστικά δεδομένα πρωτοκόλλου διάδοσης (OADDP) (Dwivedy et al. 2019).

Συγκεκριμένα οι 2 κύριες υποενότητες είναι ο αλγόριθμος ελέγχου μείωσης γενικών εξόδων και η βέλτιστη ομαδοποίηση. Για τη βέλτιστη ομαδοποίηση γίνεται χρήση του αλγορίθμου βελτιστοποίησης whale (WOA), ενώ για τον έλεγχο ο οποίος βασίζεται στην πρόβλεψη μείωσης των γενικών εξόδων γίνεται χρήση αλγορίθμου κατασκευής

(PDM). Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης η οποία πραγματοποιείται, συγκρίνονται με τα προηγούμενα προσαρμοστικά πρωτόκολλα διάδοσης δεδομένων με την απόδοση να δείχνει ότι απέδωσε καλά η προτεινόμενη μέθοδος σε σχετικά με την αποτελεσματικότητα διάδοσης δεδομένων και το ποσοστό επιτυχίας. Συγκεντρώθηκαν οι εμπορικές αξίες και οι δυνατότητες εφαρμογής δίνοντας τεράστια προσοχή στο VANET. Οι κύριες προκλήσεις του δικτύου αυτού, οφείλονται στη δυνατότητα γρήγορης κίνησης μειώνοντας με αυτό τον τρόπο την αξιοπιστία του δικτύου (Liu et al., 2018). Για να επιτευχθεί η πιθανότητα μετάδοσης νέων δεδομένων γίνεται πρόταση ενός συστήματος διάδοσης.

Η διάρκεια της σωστής μεταφοράς παρέχεται στο όχημα ώστε να μπορέσουν να ανταλλαχθούν πληροφορίες στο σύμπλεγμα. Η κατανομή δεδομένων ανάμεσα στο χειρισμό των οχημάτων, γίνεται χρησιμοποιώντας την έννοια της πιθανολογικής προώθησης. Το αποτέλεσμα που προκύπτει από την προσομοίωση της έννοιας, δείχνει ότι η αναλογία των πληροφοριών κάλυψης και της παράδοσης μηνυμάτων βελτιώθηκε, ενώ συγκριτικά με τα προηγούμενα έργα μειώθηκε και η καθυστέρηση. Εφικτό παράγοντα από τα μέγιστα της τεχνολογίας αυτής αποτελεί και η λειτουργία στη θεωρία ομαδοποίησης (Oubabas et al., 2018). Καθώς υπάρχει υψηλή κινητικότητα, το δίκτυο θεωρείται πιο δύσκολο πραγματοποιώντας έτσι συχνές αποσυνδέσεις κάτι που οδηγεί στο να μειωθεί η συνολική ποιότητα υπηρεσιών. Η αντιμετώπιση του ζητήματος αυτού γίνεται εισάγοντας την υβριδική προσέγγιση, εκλέγοντας ένα αξιόπιστο CH και συνδυάζοντας τον παράγοντα της εμπιστοσύνης και της σταθερότητας να αποτελούν το βασικό σχέδιο.

Ο διαχωρισμός στο μοντέλο αυτό από τα προγενέστερα έργα, γίνεται με την εισαγωγή νεότερων παραμέτρων ως μέτρηση δηλαδή στατικών λειτουργιών εμπιστοσύνης και αναφορών συμβάντων. Στην ομαδοποίηση, ο έλεγχος της αύξησης της κυκλοφορίας του δικτύου γίνεται με την εισαγωγή της προσέγγισης χρονοδιακόπτη. Ως το τελικό αποτέλεσμα η σταθερότητα του συμπλέγματος θεωρείται βελτιωμένη συγκριτικά με τις προηγούμενες μεθόδους. Η αστάθεια στα συστήματα αυτά θεωρείται αυξημένη, καθώς υπάρχουν ταχέως κινούμενους χαρακτήρες κινητών κόμβων. Η ομαδοποίηση μπορεί να χαρακτηριστεί ως η καθολική λύση έτσι ώστε να γίνει καλύτερη αξιοποίηση του ζητήματος (Fahad et al., 2018). Στα προηγούμενα έργα που έχουν παρουσιαστεί ως τώρα

εμφανίζεται ένας τεράστιος αριθμός CH όποιος χαλάει την απόδοση. Για να μπορέσει να επιλυθεί η δυσκολία αυτή, ενσωματώθηκε μια βελτιστοποίηση στον αλγόριθμο ομαδοποίησης. Γίνεται χρήση της φυσικής κυνηγετικής συμπεριφοράς για να μπορέσουν να δημιουργηθούν αποδοτικές συστάδες, οι οποίες οδηγούν στη λήψη βελτιστοποιημένων αριθμών συμπλεγμάτων. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης παρουσιάζουν ποιότητα επικοινωνίας και αξιόπιστη παράδοση σε αναλογία με τις πληροφορίες στο VANET.

### **4.3.3 Cluster πολλαπλών κόμβων με βάση το QoS**

Ως προς την ποιότητα των υπηρεσιών σε οχήματα τα οποία είναι βασισμένα στην επικοινωνία ομαδοποίησης πολλαπλών βημάτων, προτείνονται διάφορες έρευνες (Jamgekar, 2017)). Ένας από τους βασικούς παράγοντες των ερευνών αποτελεί η κυτταρική τεχνολογία, η ανάκτηση δρομολόγησης, οι βασισμένοι αλγόριθμοι βελτιστοποίησης και οι πίνακες υψηλής κινητικότητας, η μείωση γενικών εξόδων επικοινωνίας, η κατασκευή σταθερών συμπλεγμάτων, τα δίκτυα με μειωμένη καθυστέρηση και το ευρύ φάσμα επικοινωνίας. Τα αποτελέσματα που υπολογίζονται συνδέονται με πολλές παράμετρους, όπως ο αριθμός των επιλογών Cluster Headers, η αναλογία παράδοσης μηνυμάτων, οι καθυστερήσεις του δικτύου, ο ρυθμός ανίχνευσης συγκρούσεων και η εύρυθμη κινητικότητα των οχημάτων.

### **4.3.4 Βελτιωμένο AODV**

Το κατά πόσο θα υπάρχει αιχμή στο πρωτόκολλο, εξαρτάται από κάποια κύρια κριτήρια όπως αποτελεί και η ελάχιστη διαδρομή καθυστέρησης στο να επιλεγεί η διαδρομή. Το να επιλεγεί η διαδρομή δεν εξαρτάται μόνο από τους κόμβους και το μέγεθος της διαδρομής του φορτίου, αλλά αποτελεί και το πιο σημαντικό σε απαιτήσεις σε πραγματικό χρόνο και τη δρομολόγηση σε περίπτωση μετάδοσης στο δίκτυο σχετικά με την ποσότητα των πληροφοριών. Η περίπτωση μεγαλύτερης διαμονής της διαδρομής, αποτελεί και το κύριο εμπόδιο στο πρωτόκολλο αυτό. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε καθυστερήσεις και ακόμη και στο να χαθούν δεδομένα δημιουργώντας αρκετά κρίσιμα προβλήματα. Κάποια ζητήματα σειράς στο πρωτόκολλο δρομολόγησης αυτό, θεωρείται

και η χρονική καθυστέρηση η οποία είναι βασισμένη στο διαδίκτυο. Η χρήση του πρωτοκόλλου γίνεται για τη συμφόρηση με τον αλγόριθμο τυχαίας επιλογής και της κυκλοφορίας, σύμφωνα πάντα με τις αρχές της ADM, όπου γίνεται και η κατανομή σε διαφορετικά μονοπάτια.

Στην περίπτωση συνεργασίας των πρωτοκόλλων, ελαχιστοποιείται η δικτυακή συμφόρηση και η λανθάνουσα κατάσταση δικτύου, ενώ ενισχύεται το QOS δικτύου. Για να μεταδοθούν τα περιορισμένα δεδομένα από τους κόμβους των φύλλων (LLN) στον δρομολογητή οριοθέτησης, χρησιμοποιείται η προληπτική βάση RPL η οποία αποτελεί και το πρωτόκολλο δρομολόγησης σε επίπεδο δικτύου (Anamaloundi et al., 2019). Το ασύρματο ή το συμβατικό ενσύρματο δίκτυο πλαισιώνεται μεταδίδοντας τα δεδομένα της εφαρμογής, ενώ τα μη περιορισμένα δίκτυα χρησιμοποιούνται για να μεταδοθούν τα δεδομένα από το LLN του δρομολογητή (LBR) στον προορισμό. Η φύση των ασύρματων δικτύων παρουσιάζει μια ευελιξία η οποία χρησιμοποιείται για να μεταδοθούν τα δεδομένα εφαρμογής από το LBR σε δίκτυο χωρίς περιορισμούς. Η σύνδεση των δικτύων γίνεται μέσα από γνωστικά ραδιοδίκτυα με τα αποτελέσματα της υλοποίησης να αποκαλύπτουν ότι το προβλεπόμενο γνωστικό πρωτόκολλο AODV με κατευθυντικές κεραίες παρουσιάζει πολύ πλούσια αποτελέσματα συγκριτικά με τα συμβατικά δομημένα ασύρματα δίκτυα.

Το δίκτυο παρουσιάζεται χωρίς υποδομή ενώ είναι MANET και συντομεύεται ως Mobile ad hoc δίκτυο παρουσιάζοντας τη δυνατότητα να διαμορφώνεται μόνο του. Η γεωγραφική του δομή αλλάζει δυναμικά. Η επικοινωνία των ασύρματων κινητών κόμβων μεταξύ τους, πραγματοποιείται χωρίς να υπάρχει κεντρικός κόμβος. Δεν υπάρχει κεντρική διαχείριση του δικτύου, ενώ τα πρωτόκολλα δρομολόγησης MANET διαφοροποιήθηκαν με τη χρήση διαφόρων αντιδραστικών, υβριδικών και προληπτικών πρωτοκόλλων δρομολόγησης (Li et al., 2018). Γίνεται σύγκριση ανάμεσα στις μετρήσεις των παραστάσεων και στα πρωτόκολλα δρομολόγησης με τα πρωτόκολλα AODV και DSDV να αποτελούν παραμέτρους των γενικών εξόδων QOS, την καθυστέρηση λήξης, την απόδοση, την αναλογία παράδοσης πακέτων και τα γενικά έξοδα. Αποδεικνύεται από τις μετρήσεις ότι το AODV είναι καλύτερο από το DSDV. Οι μετρήσεις αυτές οφείλονται στην απόδοση που είχε η καθυστέρηση από άκρο σε άκρο, όπου θεωρείται λιγότερο το πρωτόκολλο προληπτικής δρομολόγησης συγκριτικά με το πρωτόκολλο AODV.

Όλα αυτά τα μειονεκτήματα μπορούν να ξεπεραστούν με τη βελτίωση του πρωτοκόλλου AODV. Η εργασία των ερευνητών έγινε με συνέπεια εμπλουτίζοντας τις σταθερές διαδρομές στις περιοχές κινητικότητας όπου υπήρχε υψηλή συμφόρηση κάτι το οποίο οδήγησε σε μια καινοτομία για να δημιουργηθεί ένα νέο πρωτόκολλο αντιδραστικής δρομολόγησης (Mu, 2017). Σε αυτή τη νέα δρομολόγηση τα πρωτόκολλα τόσο το Ad-hoc On-demand Distance Vector (AODV) όσο και το Mobility and Direction Aware AODV (MDA-AODV) κάνουν χρήση των πρωτοκόλλων της προηγούμενης δρομολόγησης. Τα πρωτόκολλα πλέον μετονομάζονται σε Mobility Aware και Διπλής φάσης Ad-hoc με τη χρήση διανύσματος απόστασης προσαρμοστικών μηνυμάτων (MA-DP-AODV-AHM). Υπήρξε βελτίωση αρκετών πρωτοκόλλων προκειμένου να αυξηθεί η εκτέλεση. Τα πρωτόκολλα αυτά είναι τα DSR, TORA, ABR και AODV. Για την παροχή της βέλτιστης διαδρομής από την πηγή προς τον προορισμό το B-AODV βασισμένο στη συντομότερη διαδρομή είναι κάτι το οποίο προτείνεται προς χρήση. Για να μπορέσει να βελτιωθεί το QoS του δικτύου, αναπτύχθηκαν νέα μοντέλα όπως είναι το πρωτόκολλο AODV με βάση την ενέργεια (EN AODV) και το QAODV (QoS-AODV), (RA-AODV). Για να μπορέσουν να προστατευθούν τα πρωτόκολλα δρομολόγησης από επίθεση μαύρης τρύπας γίνεται ενίσχυση του πρωτοκόλλου AODV με πολλούς τρόπους (Bar et al., 2013).

#### **4.4 Προκλήσεις οι οποίες παρουσιάζονται από προηγούμενες μελέτες**

- Όλοι οι σύνδεσμοι είναι βραχύβιοι και συνεπώς η χωρητικότητα των συνδέσμων αποτελεί συνάρτηση του χρόνου.
- Επιβάλλονται περιορισμοί συνεχής μετάδοσης πακέτων στην πρόσβαση του ασύρματου καναλιού.
- Καθίσταται δύσκολη η ακριβής εκτίμηση της ώρας άφιξης των πακέτων από τα συνδυαστικά μοτίβα ασύρματου και ενσύρματου.
- Ένα από τα βασικά ζητήματα της αποτελεσματικής διάδοσης δεδομένων στο VANET αποτελεί και το πρόβλημα της βέλτιστης διαδρομής.
- Η διατήρηση και δημιουργία σταθερών συστάδων αποτελεί ένα από τα μεγάλα



ζητήματα προκλήσεων VANET.

- Οι παλιότερες μέθοδοι εστίαζαν μόνο στο άλμα ομαδοποίησης, ενώ στη μέθοδο αυτή η επικοινωνία ανάμεσα στα μέλη του συμπλέγματος και την κεφαλή του συμπλέγματος γίνεται με απόσταση ένα hop περισσότερο. Μειώνεται με αυτό τον τρόπο η κάλυψη της περιοχής ενώ αυξάνεται παράλληλα ο αριθμός των κεφαλών συστάδων. Η συνολική απόδοση του δικτύου επηρεάζεται αυξάνοντας την επικάλυψη ανάμεσα στις συστάδες.
- Δεν λαμβάνονται υπόψη από αρκετά προτεινόμενα μοντέλα τα χαρακτηριστικά κινητικότητας, η περιορισμένη κατεύθυνση οδήγησης της VANET και η δυναμική τοπολογία ενώ δεν θεωρούνται ενεργειακά προβλήματα.
- Οι προηγούμενες μέθοδοι ομαδοποίησης οι οποίες ήταν βασισμένες στην κινητικότητα, είχαν τη βάση τους στη μετάδοση μηνυμάτων ελέγχου, κάτι το οποίο είχε ως αποτέλεσμα να υπερφορτωθεί το δίκτυο οδηγώντας στην αύξηση του ρυθμού συγκρούσεων του δικτύου.

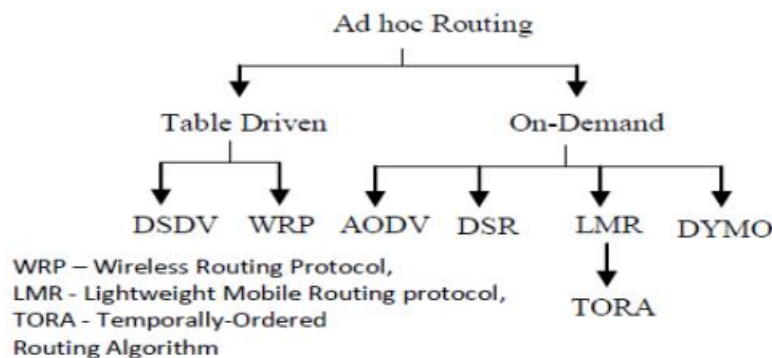
#### **4.5 Βασισμένες προβλέψεις αποτελεσματικής προσέγγισης ομάδων Multi-Hop με προσαρμοστικό ρελέ επιλογής κόμβου για VANET**

Γίνεται εξαγωγή μιας νέας μεθόδου ομαδοποίησης πολλαπλών βημάτων, συγκριτικά με προηγούμενες μεθόδους ομαδοποίησης, οι οποίες βασίζονταν σε επικοινωνία ομαδοποίησης hop. Η κύρια ιδέα της προτεινόμενης μεθόδου είναι η αύξηση της περιοχής κάλυψης των συμπλέγματος, με τη μείωση των γενικών εξόδων ελέγχου, αύξηση της αποτελεσματικότητας και της ενέργειας, μείωση του αριθμού των συμπλεγμάτων στο δίκτυο και αύξηση της περιοχής κάλυψης του συμπλέγματος κεφαλής. Η αποδοτική ομαδοποίηση είναι βασισμένη στο μοντέλο το οποίο ενσωματώνεται στην αύξηση της σταθερότητας του συμπλέγματος για VANET, κάνοντας χρήση ελάχιστου κόστους ομαδοποίησης. Η εισαγωγή του βελτιωμένο πρωτόκολλο AODV έγινε για να βελτιωθεί η κινητικότητα των οχημάτων ενώ αποτελεί ένα σταθερό μοντέλο για μια ταχεία

μεταβαλλόμενη τοπολογία δικτύου. Το πρωτόκολλο αυτό μπορεί να αυξήσει τη σταθερότητα σύνδεσης του δικτύου.

## 4.6 Δρομολόγηση σε MANET

Ο διαχωρισμός των πρωτοκόλλων δρομολόγησης Mobile ad-hoc networks (MANETs) μπορεί να γίνει σε 2 κατηγορίες στα πρωτόκολλα δρομολόγησης βασισμένα στον πίνακα ή προληπτικά (Kuladinithi et al., 2015), με τους κόμβους να ανταλλάζουν μεταξύ τους περιοδικές πληροφορίες δρομολόγησης προσπαθώντας να διατηρήσουν ενημερωμένες τις πληροφορίες (Allard et al., 2002), και στα πρωτόκολλα δρομολόγησης κατ' απαίτηση ή αντιδραστικά (Belding Royer et al., 2004), με τους κόμβους να προσπαθούν να βρουν μια διαδρομή προς ένα προορισμό μόνο όταν πραγματικά απαιτείται η επικοινωνία. Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται μια σύντομη ταξινόμηση της δρομολόγησης πρωτοκόλλων Ad-hoc.



Εικόνα : Ταξινόμηση Πρωτοκόλλων Δρομολόγησης στο MANET

### 4.6.1 Πρωτόκολλα δρομολόγησης αντιδραστικών/κατ' απαίτηση

Τα πρωτόκολλα αυτά κάνουν χρήση 2 διαφορετικών λειτουργιών, της διατήρησης και της εύρεσης των διαδρομών με τη χρήση της λειτουργίας διαδικασίας ανακάλυψης της διαδρομής και τη λειτουργία να συντηρηθεί η διαδρομή. Στο πρωτόκολλο αυτό γίνεται απόκτηση κατ' απαίτηση των πληροφοριών δρομολόγησης, κάτι που αποτελεί και τη λειτουργία εντοπισμού διαδρομής. Η συντήρηση της διαδρομής από την άλλη μεριά, αποτελεί τη διαδικασία απόκρισης στις αλλαγές της τοπολογίας, οι οποίες συμβαίνουν

μετά τη δημιουργία της αρχικής διαδρομής. Κάποια παραδείγματα τέτοιων πρωτοκόλλων είναι τα DSR, AODV και DYMO. Στα κύρια πλεονεκτήματα συγκαταλέγεται η ελαχιστοποίηση των ελέγχων κυκλοφορίας στο δίκτυο, αλλά καθώς υπάρχει κόστος μεγάλης καθυστέρησης της εγκατάστασης, δεν μπορεί να θεωρηθεί το σχήμα αυτό κατάλληλο για την δρομολόγηση στην κίνηση στους δρόμους σε πραγματικό χρόνο. Ακόμη ένα μειονέκτημα του συστήματος αποτελεί το μέγεθος του μηνύματος το οποίο αυξάνεται, καθώς σε όλη τη διαδρομή οι πληροφορίες βρίσκονται στο μήνυμα και έτσι ο κόμβος αποστολής οφείλει να ανακαλύψει μια διαδρομή προς τον προορισμό με την αρχική καθυστέρηση πριν γίνει ανταλλαγή των δεδομένων ανάμεσα στους 2 κόμβους η οποία μπορεί να διαρκέσει πολύ.

#### **4.6.2 Πρωτόκολλα δρομολόγησης προληπτικά/βάσει πίνακα**

Στα πρωτόκολλα δρομολόγησης διατηρείται συνεχώς η ενημέρωση της δρομολόγησης. Ένας κόμβος συνήθως περιέχει ένα πίνακα με τις πληροφορίες για τον τρόπο πρόσβασης σε κάθε άλλο κόμβο, με τον αλγόριθμο να προσπαθεί να διατηρήσει ενημερωμένο τον πίνακα αυτό. Στην περίπτωση που γίνουν αλλαγές στην τοπολογία διαδίδονται παντού στο δίκτυο.

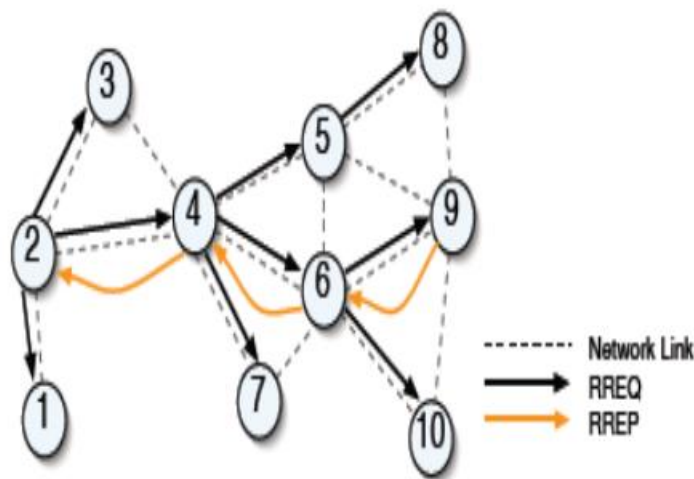
##### **4.6.2.1 Πρωτόκολλο δρομολόγησης AODV**

Το πρωτόκολλο δρομολόγησης (AODV) είναι ένα αντιδραστικό πρωτόκολλο με το διάνυσμα της απόστασης να είναι κατά παραγγελία (Perkins et al., 2004).

###### **4.6.2.1.1 Ανακάλυψη διαδρομής**

Στην περίπτωση που ένας κόμβος S επιθυμεί να επικοινωνήσει με έναν κόμβο T, γίνεται εκκίνηση του μηνύματος RREQ με τη συμπερίληψη του τελευταίου γνωστού αριθμού ακολουθίας για το T και ένα μοναδικό αναγνωριστικό RREQ το οποίο διατηρείται στον καθένα κόμβο, ενώ αυξάνεται οπότε υπάρχει αποστολή ενός RREQ. Το μήνυμα κατακλύζεται σε όλο το δίκτυο με ελεγχόμενο τρόπο. Κάθε κόμβος προωθεί το RREQ δημιουργώντας μια αντίστροφη διαδρομή για τον εαυτό του πίσω στο S, με τη χρήση της

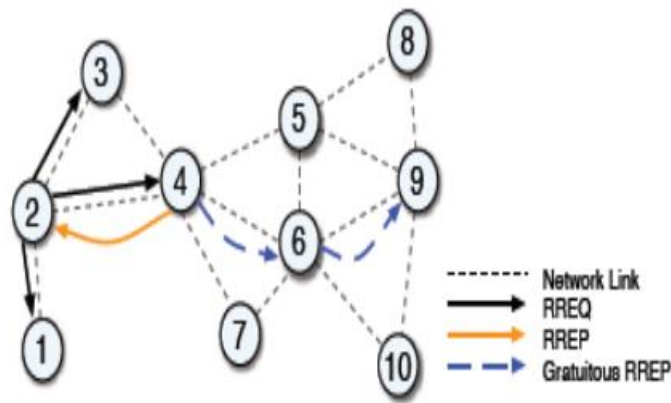
διεύθυνσης του προηγούμενου hop ως την επόμενη καταχώρηση hop για τους κόμβους που προέρχονται από το RREQ. Όταν το RREQ φτάσει στον κόμβο με διαδρομή προς το T, ένα RREP το οποίο περιέχει τον αριθμό, μεταπηδά στο T αποτελώντας τον αριθμό σειράς για τη διαδρομή αυτή πίσω στην αντίστροφη διαδρομή. Η απάντηση πρέπει να γίνει από έναν ενδιάμεσο κόμβο μόνο αν υπάρχει μια νέα διαδρομή, δηλαδή τον αριθμό σειράς καθώς το T είναι μεγαλύτερο ή ίσο με την ακολουθία προορισμού του αριθμού του RREQ, καθώς οι απαντήσεις αποστέλλονται στην αντίστροφη διαδρομή. Η ανακάλυψη διαδρομής απεικονίζεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα : Ανακάλυψη διαδρομής στο AODV. Ο κόμβος 2 θέλει να επικοινωνήσει με τον κόμβο 9. Κάθε κόμβος που προωθεί το RREQ δημιουργεί μια αντίστροφη διαδρομή προς τον κόμβο 2 που χρησιμοποιείται κατά την επιστροφή του RREP.

*Bisoyi, S.K., Sahu, S., & Raman, C.V. (2010). Performance analysis of Dynamic MANET On-demand (DYMO) Routing protocol.*

Σε περίπτωση που ένας ενδιάμεσος κόμβος έχει μια διαδρομή σε ένα προορισμό ο οποίος είναι ζητούμενο στέλνοντας πίσω ένα RREP, πρέπει να απορρίψει το RREQ. Επιπρόσθετα, έχει τη δυνατότητα αποστολής ενός δωρεάν RREP στον κόμβο προορισμού στον οποίο εμπεριέχεται η διεύθυνση και η ακολουθία του αριθμού για τον κόμβο που είναι προερχόμενος από το RREQ. Η αδικαιολόγητη αποστολή των RREP γίνεται για το μετριασμό οποιασδήποτε ανακάλυψης διαδρομής ξεκίνησε από τον κόμβο προορισμού.



Εικόνα : Δημιουργία ενός RREP από έναν ενδιαμέσο κόμβο. Κόμβος 4 έχει μια διαδρομή στον κόμβο 9 και στέλνει ένα RREP στον κόμβο 2 και ένα δωρεάν RREP στον κόμβο 9.

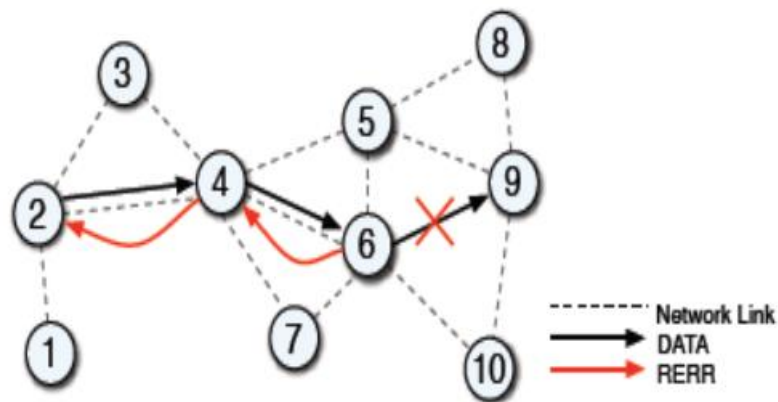
#### 4.6.2.1.2 Συντήρηση διαδρομής

Η στήριξη διαδρομής αποτελεί διαδικασία απόκρισης στις αλλαγές της τοπολογίας. Για να μπορέσουν να διατηρηθούν τα μονοπάτια οι κόμβοι κάνουν συνεχείς προσπάθειες ανίχνευσης των αποτυχιών σύνδεσης. Για να μπορέσει να γίνει αυτό, οι κόμβοι ακούν μηνύματα RREQ και RREP. Επίσης, κάθε κόμβος κάνει προσπάθεια αποστολή ενός μηνύματος κάθε  $n$  δευτερόλεπτα. Σε περίπτωση που δεν γίνει αποστολή κανενός RREQ ή RREP κατά τη διάρκεια της περιόδου αυτής, αποστέλλεται ένα μήνυμα Hello για να υποδείξει ότι ο κόμβος είναι ακόμη παρών. Εναλλακτικά, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένας μηχανισμός επιπέδου σύνδεσης για να εντοπιστούν αστοχίες συνδέσμων. Όταν γίνεται η ανίχνευση ενός συνδυασμού από τον κόμβο, τότε ή λαμβάνει ή σπάει ένα πακέτο δεδομένων το οποίο δεν έχει διαδρομή, καθώς δημιουργεί και στέλνει ένα πακέτο σφάλματος διαδρομής (RERR), ενημερώνοντας τους υπόλοιπους κόμβους για το σφάλμα. Στο RERR περιέχεται μια λίστα με τους μη προσβάσιμους προορισμούς. Στην περίπτωση που γίνει διακοπή κάποιου συνδέσμου, τότε προσθέτεται στον κόμβο ένας μη προσβάσιμος γείτονας στη λίστα.

Εάν ένας κόμβος λάβει το πακέτο για το οποίο δεν υπάρχει διαδρομή, τότε προσθέτεται ένας μη προσβάσιμος προορισμός στη λίστα. Και στις 2 αυτές περιπτώσεις οι καταχωρήσεις του πίνακα δρομολόγησης οι οποίες κάνουν χρήση της διαδρομής μέσα από το μη προσβάσιμο προορισμό, προστίθενται στη λίστα. Οι ύλες θα θεωρείται ότι

έχουν κλαδευτεί με τους προορισμούς οι οποίοι έχουν κενές πρόδρομες λίστες, δηλαδή προορισμοί οι οποίοι επί του παρόντος δεν είναι γείτονες, και τότε αφαιρούνται. Το μήνυμα RERR μπορεί να είναι είτε unicast στην περίπτωση που υπάρχει μόνο ένας παραλήπτης, είτε να μεταδίδεται σε όλους τους γείτονες οι οποίοι έχουν μια διαδρομή προς τη δημιουργούμενη λίστα προορισμών. Το συγκεκριμένο σύνολο από γείτονες λαμβάνεται από τις πρόδρομες λίστες του πίνακα καταχώρησης δρομολόγησης, για τους προορισμούς οι οποίοι περιλαμβάνονται στη λίστα RERR. Όταν ένας κόμβος λαμβάνει ένα RERR, γίνεται σύγκριση των προορισμών οι οποίοι βρέθηκαν στο RERR με τον πίνακα τοπικής δρομολόγησης και κάποιες εγγραφές που ίσως έχουν τον πομπό του RERR ως επόμενο hop, παραμένοντας στη λίστα με τους απρόσιτους κόμβους.

Στη συνέχεια, το RERR μπορεί μόνο να μεταδοθεί ή να γίνει εκπομπή του, όπως περιγράφεται προηγουμένως. Ως πρόθεση αναφέρεται η ενημέρωση όλων των κόμβων με τη χρήση ενός συνδέσμου στην περίπτωση αποτυχίας. Εάν για παράδειγμα στην παρακάτω εικόνα ένας σύνδεσμος ανάμεσα στον κόμβο 6 και τον κόμβο 9 έσπασε, τότε ο κόμβος 6 λαμβάνει ένα πακέτο δεδομένων για τον κόμβο 9. Στην περίπτωση αυτή ο κόμβος 6 θα δημιουργήσει ένα μήνυμα RERR, το οποίο διαδίδεται προς τα πίσω στον κόμβο 2.



Εικόνα : Δημιουργία μηνυμάτων RERR. Η σύνδεση μεταξύ του κόμβου 6 και ο κόμβος 9 έχει σπάσει και ο κόμβος 6 δημιουργεί ένα RERR.

Kumar, A. , Shwe, H. , Wong, K. and Chong, P. (2017) Location-Based Routing Protocols for Wireless Sensor Networks: A Survey. *Wireless Sensor Network*, 9, 25-72.

Για να μπορέσει να βρεθεί μια νέα διαδρομή ο κόμβος της πηγής μπορεί να ξεκινήσει ανακαλύπτοντας τις διαδρομές για τον απρόσωπο προορισμό ή για το κόμβο ο οποίος είναι υπέρ της για τη διακοπή, ο οποίος μπορεί τοπικά να προσπαθήσει να επιδιορθώσει τη διαδρομή και στις 2 περιπτώσεις με την αποστολή ενός RREQ και με τον αριθμό σειράς τον προορισμό να αυξάνεται κατά ένα.

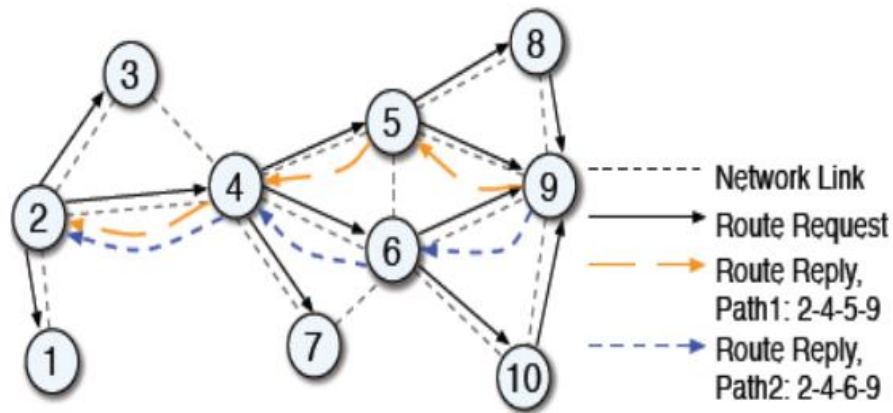
#### **4.6.2.1.3 Δυναμική δρομολόγηση πηγών (DSR)**

Το πρωτόκολλο Dynamic Source Routing (DSR) (Johnson et al., 2003) αποτελεί ένα εξαιρετικά αντιδραστικό, αποτελεσματικό και απλό πρωτόκολλο δρομολόγησης, το οποίο σχεδιάστηκε ειδικά για να χρησιμοποιηθεί σε multi-hop ασύρματα ad-hoc δίκτυα. Το πρωτόκολλο δυναμικής δρομολόγησης πηγών (DSR) επιτρέπει σε οποιονδήποτε κεντρικό υπολογιστή να ανακαλύψει δυναμικά μια διαδρομή πηγής σε οποιονδήποτε προορισμό μέσα στο δίκτυο. Ένα οποιοδήποτε πακέτο μπορεί να μετακινηθεί μέσω του δικτύου με τη χρήση μιας διαδρομής η οποία προκαθορίζεται από τον κόμβο πηγής. Οι πληροφορίες της διαδρομής οι οποίες χρησιμοποιούνται κατά τη διάρκεια της δρομολόγησης τοποθετούνται μέσα στο πακέτο αυτό.

#### **4.6.2.1.4 Βασική Ανακάλυψη Διαδρομών**

Στην παρακάτω εικόνα απεικονίζεται ο μηχανισμός ανακάλυψης διαδρομής. Εδώ περιέχεται ένα πακέτο δεδομένων για αποστολή στον κόμβο 9 ο οποίος πλημμυρίζει ένα RREQ στο δίκτυο. Το πακέτο RREQ περιέχει το μοναδικό αναγνωριστικό αιτήματος το οποίο δημιουργείται από τον κόμβο πηγής, ενώ έχει εγγραφεί με τις διευθύνσεις από όλους τους ενδιάμεσους κόμβους. Κάθε κόμβος ο οποίος λαμβάνει το RREQ, μπορεί να κάνει αναμετάδοση του πακέτου στην περίπτωση που ακόμη πως δεν αποτελεί στόχο και δεν έχει προηγουμένως προωθήσει το πακέτο, ενώ δεν μπορεί να βρει τη δική του διεύθυνση η οποία αναγράφεται στο αρχείο διαδρομής. Η χρήση του αναγνωριστικού αιτήματος του RREQ γίνεται για τον έλεγχο για πακέτα που έχουν ήδη προωθηθεί, όπως για παράδειγμα τα διπλότυπα RREQ. Τέλος, ο κόμβος προσαρτά τη διεύθυνσή του στην

εγγραφή διαδρομής του πακέτου.



Εικόνα : Η διαδικασία ανακάλυψης διαδρομής για DSR. Ο κόμβος 2 είναι ο εκκινήτης και ο κόμβος 9 είναι ο στόχος.

Kumar, A. , Shwe, H. , Wong, K. and Chong, P. (2017) Location-Based Routing Protocols for Wireless Sensor Networks: A Survey. *Wireless Sensor Network*, 9, 25-72.

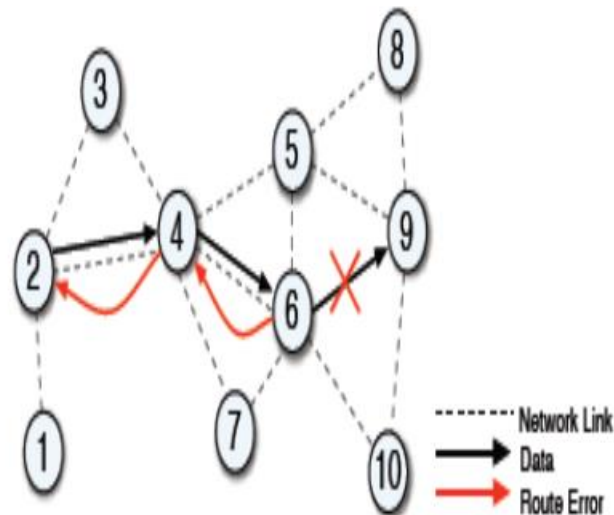
Το RREQ μπορεί να φτάσει στον κόμβο 9 μέσα από διαφορετικές διαδρομές, ενώ στη συνέχεια επιστρέφει μια απάντηση διαδρομής (RREP) στον κόμβο 2, με τον εμπνευστή της ανακάλυψης της διαδρομής να περιέχει τη διαδρομή καταγεγραμμένη. Μόλις ο κόμβος 2 κάνει λήψη του αποσπελλόμενου RREP από τον κόμβο 9, τότε η διαδρομή αποθηκεύεται στη μνήμη cache της διαδρομής για να χρησιμοποιηθεί σε επόμενες αποστολές. Η επιστροφή του RREP μπορεί να γίνει με διάφορους τρόπους οι οποίοι φαίνονται στην παραπάνω εικόνα.



#### 4.6.2.1.5 Συντήρηση διαδρομής

Κάθε κόμβος από τον οποίο μεταδίδεται κάποιο πακέτο, θεωρείται υπεύθυνος για να διασφαλίσει ότι το πακέτο θα ληφθεί από τον επόμενο γείτονα hop. Κάτι τέτοιο μπορεί να πραγματοποιηθεί με 3 τρόπους :

Μπορεί είτε να αναγνωρίσει ανά hop, είτε με παθητικές επιβεβαιώσεις ή με μια σημαία η οποία ορίστηκε σε ένα στοιχείο ελέγχου πακέτου DSR, η οποία θα ζητά ρητή επιβεβαίωση του επόμενου hop. Αφού ανιχνευθεί η διακοπή της σύνδεσης καθώς προωθείται ένα πακέτο, τότε γίνεται αποστολή του πακέτου σφάλματος RRER στον κόμβο από όπου προέρχεται το πακέτο, δηλώνοντας το σύνδεσμο που τη στιγμή εκείνη είναι κατεστραμμένος. Για παράδειγμα, στην παρακάτω εικόνα ο κόμβος 9 μετακινήθηκε έξω από το εύρος μετάδοσης του κόμβου 6 και έτσι δεν είναι σε θέση παράδοσης του πακέτου δεδομένων στον κόμβο 9.



Εικόνα : Συντήρηση διαδρομής. Ο κόμβος 9 δεν είναι προσβάσιμος από τον κόμβο 6 πλέον και ένα RERR επιστρέφεται στον κόμβο 2.

Kumar, A. , Shwe, H. , Wong, K. and Chong, P. (2017) Location-Based Routing Protocols for Wireless Sensor Networks: A Survey. *Wireless Sensor Network*, **9**, 25-72.

Στη συνέχεια, γίνεται επιστροφή στον κόμβο 4 του RERR από τον κόμβο 6, ενώ σε αντάλλαγμα διαδίδεται στον κόμβο 2 τον αρχικό αποστολέα, ο οποίος και αφαιρεί τη διαδρομή από την προσωρινή μνήμη της διαδρομής. Στη συνέχεια μπορεί να γίνει χρήση μιας άλλης προσωρινής διαδρομής, όπως για παράδειγμα η διαδρομή 2-4-5-9 η οποία έγινε γνωστή από προηγούμενη ανακάλυψη διαδρομής ή να εκτελεστεί η ανακάλυψη μιας νέας διαδρομής για τον κόμβο 9.

#### 4.6.2.2 Το πρωτόκολλο δρομολόγησης DYMO

Η δρομολόγηση Dynamic MANET On-demand DYMO αποτελεί ένα πρωτόκολλο το οποίο προτάθηκε πρόσφατα και ορίζεται επί του παρόντος στο IETF Internet-Draft (Charkers and Perkins, 2006). Βρίσκεται στην έκτη αναθεώρησή του, ενώ αποτελεί ακόμη εργασία σε εξέλιξη. Θεωρείται διάδοχος του πρωτοκόλλου δρομολόγησης AODV (Charles et al., 2004), ενώ λειτουργεί παρόμοια με αυτό. Δεν προσθέτονται επιπλέον χαρακτηριστικά ούτε επεκτείνεται το πρωτόκολλο AODV, μπορεί όμως να απλοποιηθεί με την παράλληλη διατήρηση του βασικού τρόπου λειτουργίας. Όπως συμβαίνει και με όλα τα πρωτόκολλα δρομολόγησης reactive ad hoc, το DYMO αποτελείται από δύο λειτουργίες πρωτοκόλλων : την συντήρηση και την ανακάλυψη της διαδρομής. Πρώτα γίνεται ανακάλυψη τις διαδρομής κατ' απαίτηση στην περίπτωση που ένας κόμβος χρειάζεται να στείλει ανά πακέτα σε ένα προορισμό από τη στιγμή που αυτή δεν βρίσκεται στον πίνακα δρομολόγησης του. Τότε πλημμυρίζεται στο δίκτυο ένα μήνυμα αίτησης διαδρομής με τη χρήση εκπομπής και στην περίπτωση που το πακέτο φτάσει στον προορισμό του, τότε αποστέλλεται ένα μήνυμα απάντησης στο οποίο περιέχεται η συσσωρευμένη διαδρομή που ανακαλύφθηκε. Μια καταχώρηση στον πίνακα δρομολόγησης αποτελείται από τα ακόλουθα πεδία :

- Διεύθυνση προορισμού
- Αριθμός ακολουθίας
- Καταμέτρηση αναπήδησης,
- Επόμενη διεύθυνση Hop

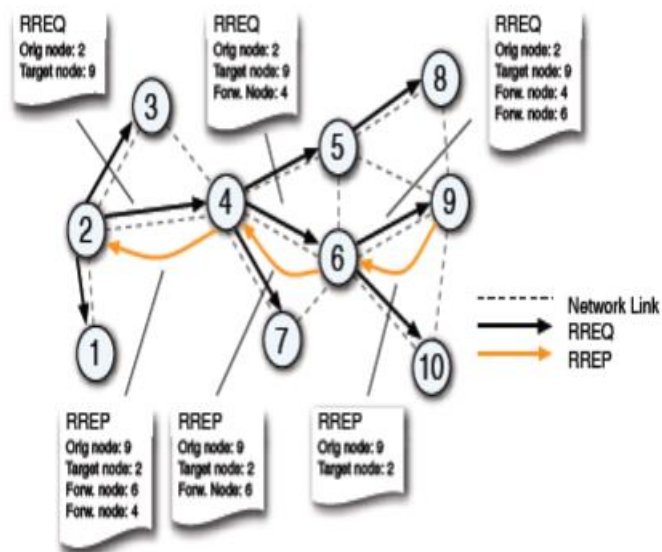
- Επόμενη Διασύνδεση Hop
- Πύλη
- Πρόθεμα
- Έγκυρο χρονικό όριο
- Διαγραφή χρονικού ορίου
- Ανακάλυψη διαδρομής

Όταν ένας κόμβος S επιθυμεί να επικοινωνήσει με έναν κόμβο T, τότε γίνεται εκκίνηση ενός μηνύματος RREQ. Το μήνυμα RREQ και το μήνυμα RREP, είναι γνωστά και ως μηνύματα δρομολόγησης (RM). Ο αριθμός σειράς που διατηρεί ο κόμβος αυξάνεται πριν την προσθήκη στο RREQ. Στην παρακάτω εικόνα γίνεται η εικονογράφηση της διαδικασίας ανακάλυψης διαδρομής. Ο κόμβος 2 παρακάτω επιθυμεί να επικοινωνήσει με τον κόμβο 9 και με αυτό τον τρόπο ο κόμβος 2 αποτελεί το S, δηλαδή την πηγή ενώ ο κόμβος 9 είναι το T, δηλαδή ο προορισμός. Ο κόμβος 2 στο μήνυμα RREQ, περιλαμβάνει τη δική του διεύθυνση και τον αύξοντα αριθμό του, ο οποίος αυξάνεται πριν προστεθεί στο RREQ. Τέλος, γίνεται καταμέτρηση για τον δημιουργό ενώ προστίθεται με την τιμή 1. Εν συνεχεία γίνεται προσθήκη πληροφοριών σχετικά με τον προορισμό στόχο 9. Ένα από τα πιο σημαντικά μέρη αποτελεί διεύθυνση του στόχου. Στην περίπτωση που ο αρχικός κόμβος γνωρίζει τον αριθμό αναπήδησης και τον αριθμό σειράς για το στόχο, τότε περιλαμβάνονται και οι τιμές αυτές.

Το μήνυμα μπορεί να πλημμυρίσει με τη χρήση εκπομπής με ελεγχόμενο τρόπο σε όλο το δίκτυο, δηλαδή ένας κόμβος θα προωθήσει μόνο ένα RREQ και αυτό στην περίπτωση που δεν το έχει κάνει από πριν. Για να ανιχνευθεί αυτό χρησιμοποιείται ο αριθμός σειράς. Από κάθε κόμβο προωθείται ένα RREQ το οποίο έχει τη δυνατότητα προσθήκης της δικής του διεύθυνσης, πληροφορίες πύλης, προθέματος και αύξοντα αριθμού στο RREQ, παρόμοια με του κόμβου δημιουργού. Καθώς αποστέλλεται το RREQ, ο κόμβος προέλευσης αναμένει τη λήψη ενός μηνύματος RREP από τον στόχο. Εάν δεν

υπάρχει RREP το οποίο λήφθηκε εντός του χρόνου αναμονής RREQ, τότε μπορεί ο κόσμος να προσπαθήσει και πάλι να ανακαλύψει μια διαδρομή με την έκδοση ενός άλλου RREQ. Ο χρόνος αναμονής στο RREQ αποτελεί μια σταθερά η οποία είναι ορισμένη στο DYMO ως προδιαγραφή, ενώ η προεπιλεγμένη τιμή του 1000 χιλιοστά του δευτερολέπτου.

Στην παρακάτω εικόνα οι κόμβοι 4 και 6 κάνουν προσάρτηση πληροφοριών στο RREQ όταν διαδίδουν το RREQ από τον κόμβο 2. Μόλις ένας κόμβος λάβει ένα RREQ, επεξεργάζεται τις σχετικές πληροφορίες και τις διευθύνσεις οι οποίες βρίσκονται στο μήνυμα. Στη συνέχεια ως απάντηση στο RREQ, δημιουργείται ένα μήνυμα RREP η οποία περιέχει πληροφορίες για τον κόμβο 9 όπως για παράδειγμα την πύλη πληροφοριών, το πρόθεμα, τον αριθμό σειράς και τη διεύθυνση, ενώ το μήνυμα RREP αποστέλλεται μαζί με την αντίστροφη διαδρομή χρησιμοποιώντας unicast. Έχοντας ως δεδομένο ότι οι απαντήσεις αποστέλλονται στην αντίστροφη διαδρομή, δεν υποστηρίζονται ασύμμετρες συνδέσεις από το DYMO. Η επεξεργασία των πακέτων γίνεται προωθώντας κόμβους με το RREP να είναι πανομοιότυπο με την επεξεργασία που εκτελούν οι κόμβοι προώθησης ενός RREQ, δηλαδή με τις πληροφορίες οι οποίες βρέθηκαν στο RREP και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να δημιουργηθούν δρομολόγια προς τα εμπρός των κόμβων οι οποίοι πρόσθεσαν το μπλοκ διευθύνσεων τους στο RREP.



Εικόνα : Η διαδικασία ανακάλυψης διαδρομής DYMO. Ο κόμβος 2 θέλει επικοινωνούν με τον κόμβο 9. Κάθε κόμβος που προωθεί το RREQ δημιουργεί ένα αντίστροφη διαδρομή προς 2 που χρησιμοποιείται κατά την επιστροφή του RREP. Κατά την

αποστολή πίσω το RREP, οι κόμβοι στην αντίστροφη διαδρομή δημιουργούν διαδρομές προς τον κόμβο 9.

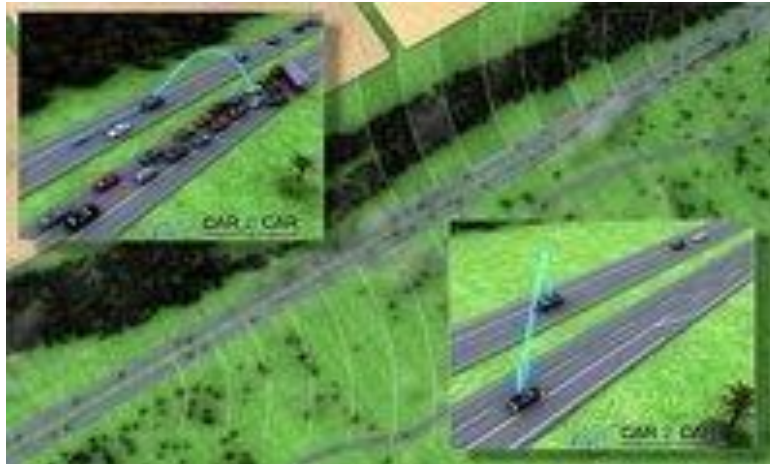
Kumar, A. , Shwe, H. , Wong, K. and Chong, P. (2017) Location-Based Routing Protocols for Wireless Sensor Networks: A Survey. *Wireless Sensor Network*, **9**, 25-72.

## 4.7 Παραδείγματα εφαρμογής

Στη σημερινή εποχή υπάρχει συνεχόμενη εξέλιξη της τεχνολογίας ενώ οφείλουμε να την κατανοήσουμε και να την ακολουθούμε, καθώς έτσι διευκολύνεται η καθημερινότητα μας. Παρακάτω εμφανίζονται κάποια παραδείγματα τα οποία μπορούν να βοηθήσουν στην κατανόηση του φάσματος των εφαρμογών όπου μπορούν να έχουν τα συνεργαζόμενα ευφυή συστήματα μεταφορών. Με τον τρόπο αυτό, μπορεί να γίνει αντιληπτή η συμβολή και η σημασία των συστημάτων αυτών ενώ στη συνέχεια παρατίθενται τα παραδείγματα στις οποίες μπορούν να λειτουργήσουν ως βοηθός για τους οδηγούς των οχημάτων. Ο διαχωρισμός των παραδειγμάτων γίνεται ανάλογα με το είδος της πραγματοποιούμενης συνεργασίας είτε δηλαδή Όχημα-με-Υποδομή (V2I) είτε Όχημα-με-Όχημα (V2V) (Gonzavez and Bauza, 2013).

### 4.7.1 Συνεργασία Όχημα με Όχημα (V2V)

Στην περίπτωση που υπάρχει αυξημένος φόρτος σε μια οδό, η συνεργασία μεταξύ οχημάτων θα βοηθήσει να ενημερωθούν οι οδηγοί για τη βέλτιστη διαδρομή την οποία μπορούν να ακολουθήσουν ώστε να φτάσουν στον προορισμό τους με λιγότερη κατανάλωση καυσίμων και λιγότερο χρόνο. Όταν ένα όχημα αναγκαστεί να σταματήσει ή να επιβραδύνει εξαιτίας ενός κόκκινου φωτεινό σηματοδότη η ενέργεια αυτή ακολουθείται από μια επιτάχυνση του οχήματος έχοντας στόχο την εκκίνηση μόλις σηματοδότης δείξει την πράσινη ένδειξη. Αυτό λοιπόν σημαίνει ότι με την επιτάχυνση αυτή, πόσο μάλλον όταν είναι και απότομη, αυξάνεται η κατανάλωση των καυσίμων και συνεπώς αυξάνονται και οι ρύποι στην ατμόσφαιρα.



Εικόνα: Αριστερά παράδειγμα συνεργασίας V2V για την ενημέρωση για την κυκλοφοριακή συμφόρηση στη συνέχεια του δρόμου. Δεξιά παράδειγμα V2V με ασθενοφόρο και V2I συνεργασίας με φωτεινό σηματοδότη. [Vehicular Ad Hoc Network, VANET \(source: http://car-to- ..](http://car-to-..)

Σε κάποιες περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης οφείλουν οι οδηγοί να δώσουν προτεραιότητα στα οχήματα έκτακτης ανάγκης όπως είναι τα πυροσβεστικά οχήματα, τα περιπολικά και τα ασθενοφόρα. Οι οδηγοί όμως στην πραγματικότητα, μπορεί μεν να είναι πρόθυμοι παραχώρησης προτεραιότητας στα οχήματα αυτά, Αλλά ο ήχος της σειρήνας δεν μπορεί πάντα να δώσει πληροφορίες σχετικά με το πού ακριβώς βρίσκεται το όχημα και προς τα πού κατευθύνεται ώστε να υπάρχει και η σωστή αντίδραση. Σε περίπτωση ασφάλειας της ζωής κάθε δευτερόλεπτο είναι κρίσιμο και έτσι με τα ευφυή συστήματα μεταφορών μπορεί να κερδηθεί πολύτιμος χρόνος. Όταν υπάρχει επίσης συνεργασία ανάμεσα στα οχήματα τα οποία βρίσκονται στην ίδια οδό, μπορεί να είναι ευεργετικό όταν για παράδειγμα υπάρχει ένα απότομο φρενάρισμα από κάποιο όχημα, και το ακολουθούμενο όχημα ενημερωθεί άμεσα έτσι ώστε να μπορέσει ο οδηγός να αντιδράσει άμεσα αποφεύγοντας τη σύγκρουση με το μπροστινό όχημα.

Στην περίπτωση που υπάρχουν διασταυρώσεις παρατηρείται αυξημένη επικινδυνότητα προσκρούσεων εξαιτίας της παραβίασης προτεραιότητας. Όταν ένα όχημα θελήσει να διασχίσει μια διασταύρωση μπορεί να ενημερωθεί αν κάποιο άλλο όχημα κινείται στην ίδια κατεύθυνση με αυξημένη ταχύτητα, έτσι ώστε να προλαμβάνεται

η πιθανότητα σύγκρουσης των οχημάτων. Στα οχήματα υπάρχει το σύστημα ESP (Electronic Stabilization Program), όπου μπορεί να γίνει η ανίχνευση της ολισθηρότητας του οδοστρώματος εάν δεν έχει εντολή να ενεργοποιηθούν τα συστήματα επένδυσης του οχήματος όπως είναι τα traction control και anti-lock brake systems ABS.

Το όχημα θα έχει τη δυνατότητα μετάβασης στις πληροφορίες αυτές στα υπόλοιπα οχήματα της οδού σε κοντινό της περιβάλλον. Ανάλογα λοιπόν με την τεχνολογία που είναι περασμένη σε κάθε όχημα, η πληροφορία αυτή μπορεί να μεταφραστεί από την αντίστοιχη αυτόματη αντίδραση του οχήματος ή απλά να υπάρχει ενημέρωση του οδηγού έτσι ώστε να προσαρμόζεται η οδηγική του συμπεριφορά. Οι οδηγοί των αστικών κέντρων αντιμετωπίζουν ένα μεγάλο πρόβλημα το οποίο αποτελεί οι θέσεις στάθμευσης. Με τη συνεργασία ανάμεσα στα οχήματα θα υπάρχει δυνατότητα των οχημάτων τα οποία βρίσκονται σε κοντινή απόσταση της ανταλλαγής των πληροφοριών για πιθανές ελεύθερες θέσεις στάθμευσης, έχοντας ως δεδομένο ότι ο χρόνος για να βρεθεί μια τέτοια θέση μπορεί να αυξήσει το συνολικό χρόνο μέσα στο όχημα κατά περίπου 25%. Το 30 περίπου τοις 100 των οχημάτων τα οποία κινούνται στο οδικό δίκτυο των αστικών πόλεων, έχουν ως στόχο την αναζήτηση θέσης στάθμευσης.

#### **4.7.2 Συνεργασία Όχημα με Υποδομή (V2I)**

Υπάρχει δυνατότητα προειδοποίησης των οδηγών για τους κινδύνους σε επικείμενο οδικό τμήμα σε κάποιες περιπτώσεις δρόμων οι οποίοι έχουν μειωμένη ορατότητα εξαιτίας αλληπάλληλων στροφών ή ακόμα και σε δρόμους οι οποίες έχουν αρκετές διαφορές στην υψομετρία όπως είναι κορυφές λόφων. Σε αυτές τις περιπτώσεις οι κίνδυνοι δεν είναι ορατοί έτσι μπορούν να προκληθούν πολλά ατυχήματα, καθώς ο χρόνος αντίδρασης οποίος δίνεται στον οδηγό δεν είναι αρκετός. Η συνεργασία του οχήματος με υποδομή μπορεί να βοηθήσει στο να εξαλειφθούν τέτοιου τύπου ατυχήματα μέσα από την έγκαιρη πληροφόρηση των οδηγών. Ακόμη και αν υπάρχουν κακές καιρικές συνθήκες τότε μπορεί να ειδοποιηθεί ο οδηγός για την κατάσταση του οδοστρώματος αν για παράδειγμα είναι ολισθηρό εξαιτίας βροχής ή πάγου. Σε κάποιες περιοχές που μπορεί να γίνονται έργα καθώς ακόμα και μέσα σε μια προσωρινή συντήρηση του οδοστρώματος αυξάνεται επίσης το ποσοστό επικινδυνότητας.

Κάτι τέτοιο μπορεί να συμβεί καθώς υπάρχουν αρκετά νεκρά σημεία με την αναγνώριση των εμποδίων από τους οδηγούς να είναι πολλές φορές αδύνατη. Καθώς υπάρχουν αρκετά συχνά αναγγελίες έργων επί του δρόμου, πολλές φορές αυτές είτε αγνοούνται από τους οδηγούς και τις αντιλαμβάνονται πολύ αργά. Όταν υπάρχει συνεργασία οχήματος με υποδομή, τότε ο οδηγός μπορεί να ενημερωθεί έγκαιρα έτσι ώστε να υπάρχει αρκετός χρόνος να αντιδράσει. Η επικοινωνία αυτή μπορεί να ενισχύσει να ενσωματωθεί η τοπική διαχείριση της κυκλοφορίας μέσα στα συστήματα του οχήματος, βελτιώνοντας έτσι την αποτελεσματικότητα της κυκλοφορίας και την ασφάλεια, για βοηθώντας στην προστασία του περιβάλλοντος. Η συνεργασία οχήματος με υποδομή μπορεί να αποτελέσει ένα μέσο ώστε να περιοριστούν κάποιες παραβατικές συμπεριφορές από την πλευρά των οδηγών, αφού όταν για παράδειγμα κάποιος παραβεί την ένδειξη του κόκκινου σηματοδότη τότε υπάρχει άμεση ενημέρωση του κέντρου διαχείρισης και ελέγχου της κυκλοφορίας.

Πολύ σημαντική θεωρείται και η μείωση των εκτός ορίων ταχύτητας κυκλοφορίας αφού πλέον οι οδηγοί πληροφορούνται για τα όρια αυτά σε κάθε σημείο το οδικό δίκτυο που βρίσκονται. Αυτά μπορούν να συμβάλλουν ουσιαστικά και σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης, όπως για παράδειγμα αν υπάρχει ένα όχημα το οποίο βρίσκεται ακινητοποιημένο στο δρόμο οι οδηγοί ενημερώνονται άμεσα για το συμβάν. Η αποτελεσματικότητα της εφαρμογής ιδίως στα αστικά δίκτυα μεγάλων αστικών κέντρων με τους κυκλοφοριακούς φόρτους να είναι μειωμένη καλύπτει ουσιαστικά ένα κενό συστήματος όχημα με όχημα, καθώς η πληροφορία εξαιτίας των μικρών φορτίων δεν μπορεί να ενημερωθεί ικανοποιητικά σε πραγματικό χρόνο. Αρκετά από τα ατυχήματα μπορεί να συμβούν σε διαβάσεις πεζών και η συνεργασία των οχημάτων με την υποδομή προσφέρει ένα καλύτερο διαμοιρασμό ανάμεσα στο χρόνο του πράσινου φαναριού ανάλογα με τον κυκλοφοριακό φόρτο, ώστε να μην υπάρχει παραβίαση των πεζών των ενδείξεων των φωτεινών σηματοδοτών. Η κύρια λειτουργία τους όμως είναι η ενημέρωση των πεζών στην περίπτωση που ένα όχημα μπορεί να προσεγγίσει μια διάβαση πεζών με πολύ μεγάλη ταχύτητα. Η εφαρμογή αυτή θα μπορούσε να εφαρμοστεί επιτυχώς σε σχολικές διαβάσεις.



### 4.7.3 Συνεργασία Όχημα με Μοτοσυκλέτα (V2M)

Η εφαρμογή των συνεργαζόμενων γραφείων συστημάτων μπορεί να διαδραματίσει και αρκετά μεγάλο ρόλο στην ασφάλεια των μοτοσικλετιστών. Μπορεί μεν να θεωρούνται πιο ευέλικτοι από τους οδηγούς των αυτοκινήτων, αλλά θεωρούνται και πολύ πιο ευάλωτοι. Όταν υπάρχει σε πραγματικό χρόνο σωστή πληροφόρηση, τότε μπορεί να υπάρχει δραματική μείωση των ατυχημάτων στους οδηγούς των μηχανών. Ένα από τα χαρακτηριστικά της οδήγησης μηχανών σε αστικά κέντρα αποτελεί η προσπέραση και η μανούβρα. Η συγκεκριμένη οδηγική συμπεριφορά ωστόσο, μπορεί να αυξάνει την πιθανότητα σύγκρουσης καθώς συνοδεύεται με αυξημένη ταχύτητα κίνησης, κάτι για το οποίο η συνεργασία των μοτοσικλετιστών με τα υπόλοιπα οχήματα τα οποία κινούνται στον ίδιο δρόμο θα θεωρείται προσοδοφόρα. Σαν μια γενικότερη παρατήρηση της συμπεριφοράς των οδηγών των δίκυκλων αποτελεί το γεγονός ότι συχνά παραβιάζονται οι φωτεινοί σηματοδότες. Ασφαλώς έχουν καλύτερη θεώρηση του οδικού δικτύου και καλύτερη ορατότητα σε περιπτώσεις διασταυρώσεων αλλά αυτό δεν τους προσδίδει τη δυνατότητα να παραβιάζουν τον κώδικα οδικής κυκλοφορίας. Αυτές οι παραβατικές συμπεριφορές θα εξαλειφθούν αν εφαρμοστούν τα Σ-ΕΣΜ στις μοτοσυκλέτες.

Όλες οι εφαρμογές V2V ισχύουν και για την συνεργασία V2M, όμως έχουν αυξημένη σημασία αν σκεφτεί κανείς ότι η οδηγική συμπεριφορά των μοτοσικλετιστών δεν ακολουθεί κάποιο μοντέλο, ώστε να μπορούν να προβλεφθούν τα ατυχήματα. Για το λόγο αυτό η πληροφόρηση των οδηγών δίκυκλων σε πραγματικό χρόνο θα συμβάλλει στη μείωση των σοβαρών ατυχημάτων με μοτοσυκλέτες.

## 4.8 Προηγμένα συστήματα Δημοσίων Αστικών Συγκοινωνιών

Πρόκειται για τα ευφυή συστήματα τα οποία είναι περισσότερο γνωστά ως Advanced Public Transport Systems (APTS). Στην ουσία τα συστήματα αυτά μπορούν να δώσουν τη δυνατότητα να συμμετέχει κάποιος στο ευφυές δίκτυο σε όλα τα μέσα μαζικής μεταφοράς. Εφαρμόζοντας τα συστήματα αυτά γίνεται παροχή πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο σε όλους τους ενδιαφερόμενους και χρήστες των μέσων μαζικής μεταφοράς, για θέματα δρομολόγησης και τιμολόγησης. Ένα μεγάλο πλεονέκτημα της

μορφής αυτής των ευφυών συστημάτων, αποτελεί και η βελτίωση εξαιτίας των μέσων μαζικής μεταφοράς ένα γεγονός το οποίο μπορεί να κάνει πιο ελκυστικά τα μέσα αυτά ως προς τη μετακίνηση των ανθρώπων. Μια ακόμα δυνατότητα του παρουσιάζεται με αυτή τη μορφή των συστημάτων, αποτελεί και η ηλεκτρονική πληρωμή του εισιτηρίου. Κάτι τέτοιο συνεπάγεται ότι θα μειωθούν σαφέστατα οι παραβατικές συμπεριφορές όπως είναι η πληρωμή εισιτηρίου στα μέσα όσο και το να εξυπηρετείται καλύτερα το πλήθος των ανθρώπων μειώνοντας το χρόνο για την εύρεση εισιτηρίου.

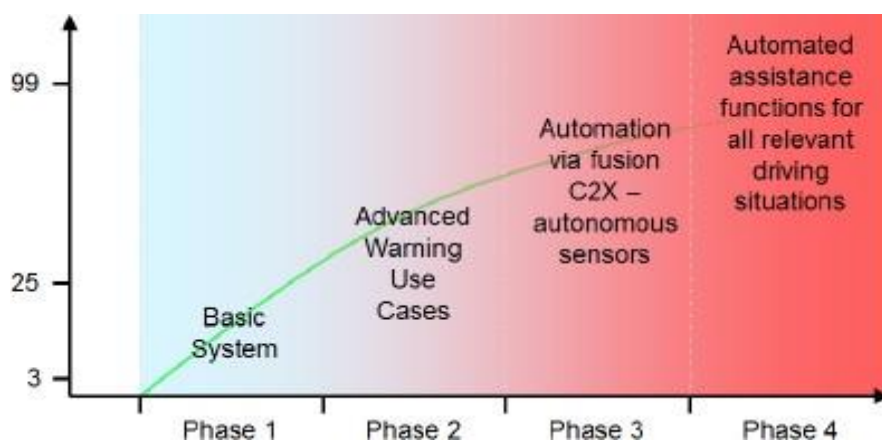
#### **4.8.1 Συνύπαρξη τεχνολογιών V2V & V2I και στάδια εφαρμογής αυτών**

Παρακολουθώντας την ανάλυση των ορισμών των συστημάτων αυτών και παρατηρώντας επίσης κάποιες χαρακτηριστικές περιπτώσεις οι οποίες φαίνονται ιδιαίτερα χρήσιμες, μπορεί να αντιληφθεί κανείς ότι δημιουργούνται κάποιες ερωτήσεις σχετικά με τη συνύπαρξη των συστημάτων αυτών. Και οι τρεις περιπτώσεις αυτές συνεργασίας μπορούν να θεωρηθούν ιδιαίτερα πλεονεκτικές για την αρμονική και ασφαλή συνύπαρξη όλων των οδηγών σε ένα περιβάλλον, θα έπρεπε όμως να υπάρχει και μια συνθήκη συνεργασίας. Όταν λέμε συνθήκη εννοούμε μια ιεραρχία οποία διέπεται από τη συνύπαρξη των 3 μορφών συνεργασίας (V2V, V2I, V2M). Στα συστήματα υποδομών απαιτούνται και ρυθμιστικές διατάξεις οι οποίες οφείλουν να ακολουθούνται. Πριν όμως γίνει η διαμόρφωση αυτών των διατάξεων, οφείλουν να γίνουν κάποιες γενικές παραδοχές οι οποίες είναι ανεξάρτητες από τους νόμους της κάθε χώρας. Στις περισσότερες χώρες όπου γίνεται η εφαρμογή των συστημάτων αυτών, υπάρχει η παραδοχή ότι χωρίς να υπάρχουν και να υποστηρίζονται από τα συστήματα V2V, γίνονται πολύ αδύναμα και συχνά με μηδαμινή χρησιμότητα τα συστήματα V2I.

Αυτό μπορεί να γίνει καλύτερα κατανοητό αν φανταστεί κάποιος ένα οδικό περιβάλλον με την υποδομή να παράγει μεν τη χρήσιμη πληροφορία αλλά η πληροφορία αυτή να μην έχει τα μέσα να φτάσει στο χρήστη. Δεν μπορούν να αναφερθούν τα συστήματα V2M καθώς βρίσκονται ακόμη σε αρχικό στάδιο έρευνας, ενώ δεν έχουν εφαρμοστεί καν έτσι ώστε να υπάρχει δυνατότητα τοποθέτησής τους στην ιεράρχηση των μορφών των ευφυών συστημάτων. Θεωρούνται σαν γενική παραδοχή ως υποκατηγορία των V2V. Θα ήταν για παράδειγμα εντελώς αχρείαστο για έναν οδηγό να γνωρίζει ότι

μπορεί να προσεγγίσει έναν σηματοδότη ο οποίος έχει κόκκινη ένδειξη η οποία υπάρχει περίπτωση να αλλάξει σε πράσινη άμεσα, αν βρίσκονται ανάμεσα σε αυτόν μια σειρά από σταματημένα λεωφορεία και αυτοκίνητα τα οποία τον εμποδίζουν να διασχίσει μια διασταύρωση. Συνεπώς, θα έχει τη δυνατότητα προσέγγισης του φωτεινού σηματοδότη με οποιαδήποτε επιθυμητή ταχύτητα αφού εν τέλει θα μείνει και αυτός κολλημένος στην κίνηση.

Βάσει κοινής λογικής θα έπρεπε να υπάρχει προτεραιότητα των συστημάτων V2V έναντι των V2I. Και οι 2 τεχνολογίες μπορούν να βοηθήσουν στο να βελτιωθεί η ροή της κυκλοφορίας καθώς και να αυξηθεί η αποδοτικότητα των καυσίμων σε πολύ μεγάλο βαθμό. Όπως αναφέρει η αρμόδια επιτροπή (Car2Car Communication Consortium) δημιουργήθηκε το παρακάτω διάγραμμα στο οποίο φαίνονται οι 4 φάσεις ανάπτυξης των ευφυών συστημάτων. Αυτά αρχικά εφαρμόζουν τα βασικά συνεργατικά ευφυή συστήματα, στη συνέχεια έρχονται τα συστήματα προχωρημένων περιπτώσεων προειδοποίησης χρηστών, ακολουθούν στην τρίτη φάση εξέλιξης τα συστήματα αυτοματισμού μέσα από τη σύμπτυξη των αυτόνομων αισθητήρων και της τεχνολογίας V2I τεχνολογίας, και ένα τελικό στάδιο οι βοηθητικές λειτουργίες που θα είναι αυτοματοποιημένες για όλες τις καταστάσεις οδήγησης.



Εικόνα : Στάδια ανάπτυξης των Σ-ΕΣΜ

Z. Kljaić, P. Škorput and N. Amin, "The challenge of cellular cooperative ITS services based on 5G communications technology," *2016 39th International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO)*, Opatija, Croatia, 2016, pp. 587-594.

## Κεφάλαιο 5. Συστήματα διαχείρισης και ελέγχου της κυκλοφορίας

### 5.1 Διαχείριση της κυκλοφορίας (Traffic management)

Το κεφάλαιο αυτό θα εξετάσει τα συστήματα τα οποία συμβάλλουν στο να διαχειρίζεται και να οργανώνεται η διαχείριση της κυκλοφορίας με ένα συνολικό τρόπο. Το να ληφθούν κυκλοφοριακά μέτρα στοχεύει στο να ελεγχθεί και να διαχειριστεί η κυκλοφοριακή ροή. Η ομογενοποιημένη και ομαλή κυκλοφοριακή ροή, μπορεί να καταστήσει ασφαλέστερες τις οδικές μεταφορές οδηγώντας στο να περιοριστούν οι εκπομπές και η κατανάλωση των καυσίμων. Περιορίζοντας τη συμφόρηση, μειώνεται και ο χρόνος του ταξιδιού ελαττώνονται οι συχνές στάσεις, αυξάνεται ο μέσος όρος ταχύτητας περιορίζοντας τις επιταχύνσεις και επιβραδύνσεις, με όλα αυτά να αποτελούν τους βασικούς στόχους για να χαραχθεί μια ολοκληρωμένη κυκλοφοριακή πολιτική αποβλέποντας σε ένα περιβαλλοντικά βιώσιμο αστικό χώρο. Στο περιβάλλον αυτό, η συμφόρηση μεταβάλλεται διαρκώς και θεωρείται απαραίτητη η ύπαρξη ενός δυναμικού συστήματος στο οποίο παρεμβαίνει, διαχειρίζεται και παρακολουθεί με τη λήψη κατάλληλων μέτρων ώστε να βελτιστοποιείται η κυκλοφοριακή ροή. Όπως στη διαχείριση της κυκλοφορίας αναφέρεται στην παρακολούθηση της κυκλοφορίας και στο σύνολο των μέτρων των οποίων μπορεί να γίνει η δυναμική λήψη για να περιοριστεί η συμφόρηση. Στα μέτρα αυτά συμπεριλαμβάνονται ο έλεγχος πρόσβασης των οχημάτων σε κάποιες περιοχές των πόλεων, η ανακατεύθυνση της ροής όταν θεωρηθεί απαραίτητο, η ενημέρωση των χρηστών, τα δυναμικά όρια κυκλοφορίας και ο έλεγχος των φωτεινών σηματοδοτών. Στο σημείο αυτό εισέρχεται και ο ρόλος των ευφυών συστημάτων μεταφορών καθώς μέσα από αυτά μπορεί να επιτευχθεί :

- η παρακολούθηση και οι μετρήσεις της κυκλοφορίας
- η λήψη των αποφάσεων
- η ενημέρωση των χρηστών του δικτύου

- η εφαρμογή των μέτρων

Τα συστήματα αυτά προσανατολίζονται στο να περιοριστούν οι εκπομπές γιατί δεν αρκούνται απλά στο να μειωθεί η συμφόρηση και να ενισχυθεί η ασφάλεια αλλά έχουν ως στόχο να βελτιστοποιηθούν οι παράμετροι οι οποίες θεωρούνται υπεύθυνες για τις εκπομπές, όπως θεωρείται η μέση ταχύτητα ταξιδιού και να περιοριστούν οι ανεπιθύμητες στάσεις. Παρακάτω παρουσιάζονται τα εξής:

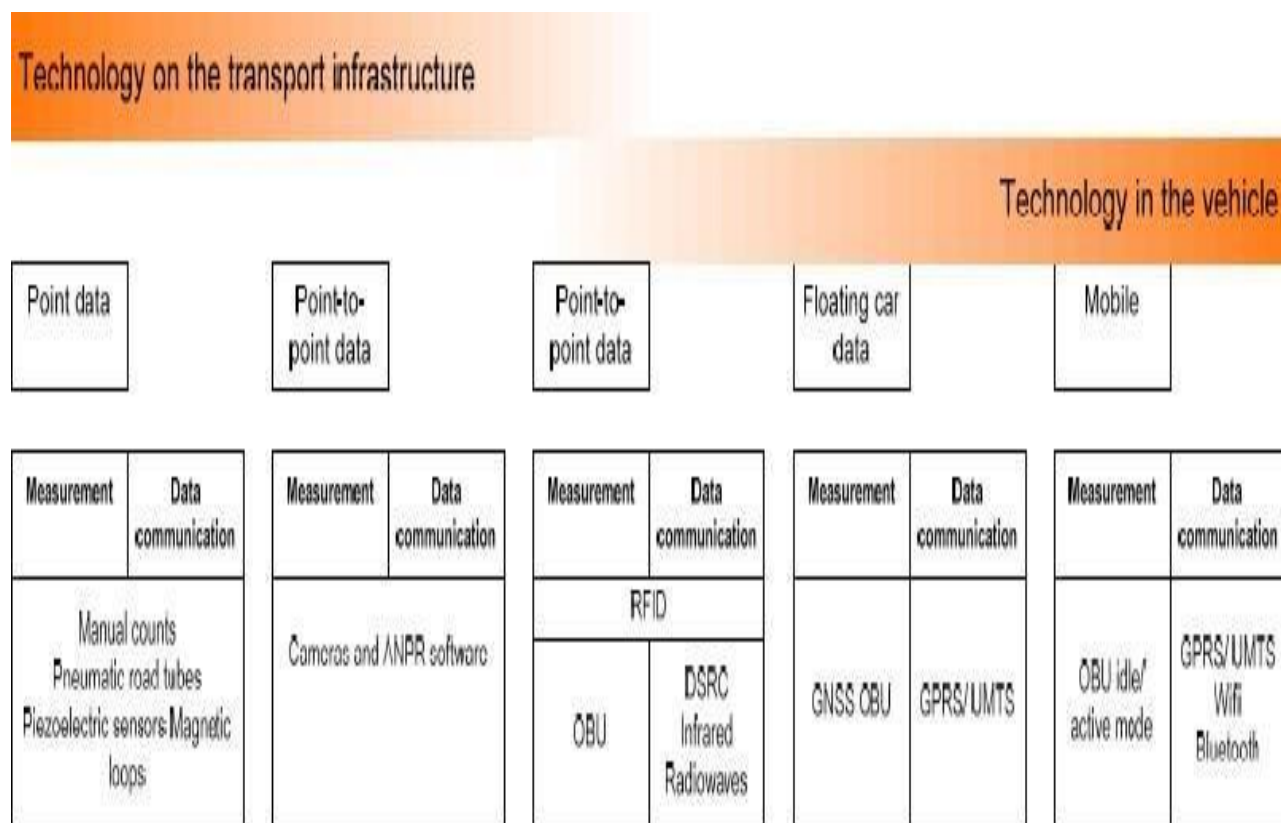
- Ο δυναμικός έλεγχος και συγχρονισμός των φωτεινών σηματοδοτών ( Urban Traffic Control, Traffic lights synchronisation)
- Ολοκληρωμένα κέντρα διαχείρισης της κυκλοφορίας
- Ο έλεγχος της ζήτησης και η διαχείριση της πρόσβασης ( Access and demand management)
- Μέτρα διαχείρισης της κυκλοφορίας σε αυτοκινητοδρόμους (Lanusova and Sicmcanova, 2016)

## **5.2 Μετρήσεις των μεγεθών της κυκλοφορίας και συνολική διαχείριση**

Για να μπορέσει να υπάρξει επιτυχής διαχείριση της κυκλοφορίας, βασική προϋπόθεση αποτελεί η οικοδόμηση ενός συστήματος η τροφοδότηση του οποίου γίνεται με κλασικά κυκλοφοριακά δεδομένα σε πραγματικό ή σε κατά δύναμη σε πραγματικό χρόνο, έτσι ώστε κάθε στιγμή να θεωρηθεί δυνατό να επιλεγθεί η κατάλληλη λύση για να αντιμετωπιστεί οποιοδήποτε πρόβλημα. Για να παρακολουθηθεί η κυκλοφορία για να μετρηθούν τα μεγέθη τα οποία σχετίζονται με αυτή όπως είναι η πυκνότητα, ο κυκλοφοριακός φόρτος και η μέση ταχύτητα, γίνεται χρήση αισθητήρων οι οποίοι διατάσσονται κατάλληλα κατά μήκος του δρόμου. Η πραγματοποίηση των κύριων

μετρήσεων γίνεται με συστήματα επαγωγικών βρόγχων καθώς και με κάμερες. Με τη χρήση των 2 άκρων συστημάτων μπορούν να γίνουν σημειακές μετρήσεις αντίστοιχα από σημείο σε σημείο.

Στη σημειακή μέτρηση παρέχονται δεδομένα ροής και ταχύτητας μόνο για εκείνο το σημείο χρονικά και γεωγραφικά, ενώ με τη μέτρηση από σημείο σε σημείο δίνεται η δυνατότητα να βρεθεί μια μέση ταχύτητα ανάμεσα στα 2 σημεία και όχι απλά να υπολογιστεί η στιγμιαία ταχύτητα η οποία προκύπτει από τη σημειακή μέτρηση. Μπορούν να πραγματοποιηθούν κάποιες επιπλέον μετρήσεις των μεγεθών της κυκλοφορίας χρησιμοποιώντας τεχνολογίες εντός του οχήματος, όπως είναι η λήψη δεδομένων μέσα από κινητό τηλέφωνο και η κυμαινόμενη λήψη δεδομένων του οχήματος. Η πρώτη τεχνολογία είναι σχετιζόμενη με τη μετάδοση πληροφοριών μέσα από το κινητό τηλέφωνο, ενώ η δεύτερη χρησιμοποιεί ένα δορυφορικό σύστημα εύρεσης της θέσης (Global Navigation satellite System GNSS) συνδυαστικά με ασύρματη τεχνολογία επικοινωνίας (GSM, GPRS) για να μεταδοθούν τα δεδομένα.



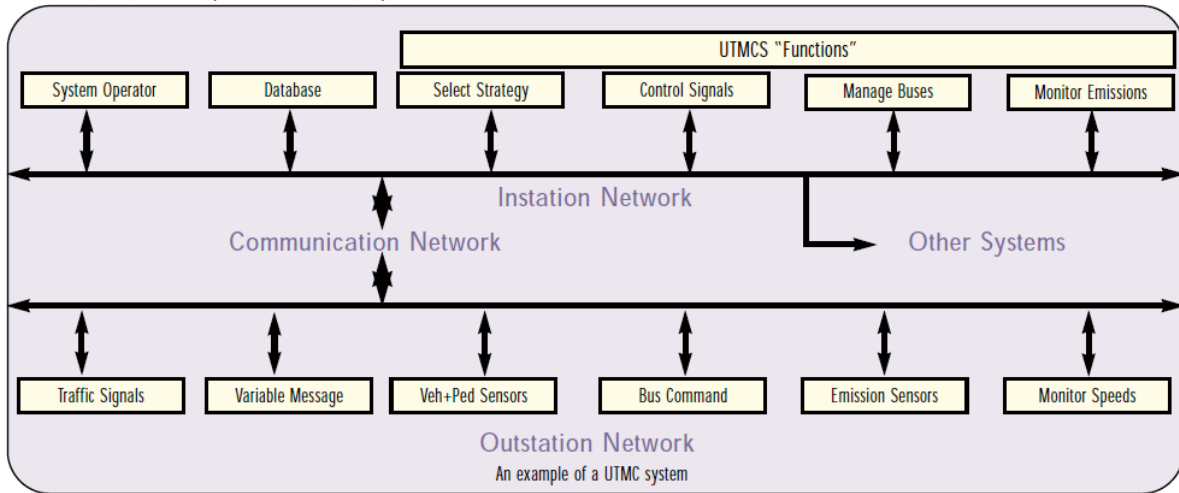
Εικόνα : Συστήματα μέτρησης των μεγεθών της κυκλοφορίας

## Ευφυή Συστήματα Μεταφορών

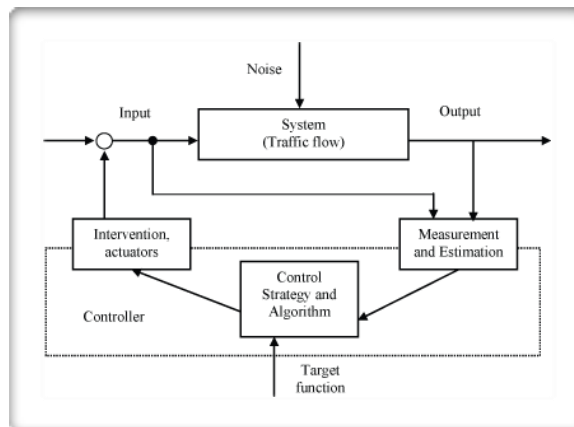
Για να μελετηθεί η κυκλοφορία, να προσδιοριστούν οι εκπομπές και να ληφθούν μέτρα, μελετώνται τα αποτελέσματα των μετρήσεων όπως είναι η πυκνότητα της κυκλοφορίας (veh/km), ο κυκλοφοριακός φόρτος (veh/h) και η μέση ταχύτητα (km/h). Στα προκύπτοντα δεδομένα από τις μετρήσεις γίνεται για επιστημονική έρευνα αξιολογώντας την επίδραση ενός εφαρμοζόμενου μέτρου, έτσι ώστε να χαράξουν στρατηγικές κυκλοφορίας. Μπορούν ταυτόχρονα να διοχετευτούν σε ένα κεντρικό σύστημα υπολογιστών αποτελώντας το κέντρο ελέγχου και διαχείρισης της αστικής κυκλοφορίας (Urban Traffic Management and Control UTMC), όπου γίνεται και ο καθορισμός των δυναμικών πολιτικών. Στο κεντρικό υπολογιστή περιλαμβάνονται μοντέλα και αλγόριθμοι τροφοδότησης των οποίων τα δεδομένα έρχονται από τις οδικές υποδομές. Σε ένα ολοκληρωμένο σύστημα διαχείρισης και ελέγχου της κυκλοφορίας, περιλαμβάνεται η συνεργασία του συστήματος ελέγχου των φωτεινών σηματοδοτών μαζί με τα υπόλοιπα συστήματα για τα οποία πρέπει να υπάρχει διαχείριση της κυκλοφορίας. Τα παρεχόμενα δεδομένα από τις μετρήσεις χρησιμοποιούνται για :

- Να συγχρονιστούν και να προσαρμοστούν δυναμικά οι φωτεινοί σηματοδότες
- την κυκλοφοριακή κατάσταση και την ενημέρωση για το χρόνο κάλυψης αποστάσεων
- την παροχή πληροφοριών σχετικά με τις αποστάσεις μέσω των VMS και του χρόνου ταξιδιού
- τη λήψη τακτικών αποφάσεων για να ανακατευθυνθεί ροή όταν θεωρηθεί απαραίτητο
- να υποστηριχθούν τα μέτρα εύρεσης θέσης στάθμευσης
- να διαχειριστούν την παραχώρηση προτεραιότητας και τα μέσα μαζικής μεταφοράς
- να παρακολουθηθεί η επέμβαση σε περιπτώσεις ανάγκης, η ρύπανση και η κυκλοφορία

## Ευφυή Συστήματα Μεταφορών



Εικόνα : Η βασική δομή ενός συστήματος UTMC



Εικόνα : Διάγραμμα βαθμίδων ελέγχου συστήματος κυκλοφορίας

Στην παραπάνω εικόνα φαίνεται η δομή ελέγχου της διαχείρισης κυκλοφορίας η οποία αποτελείται από 2 τμήματα, το μοντέλο πρόβλεψης της κυκλοφορίας(system) και τον ελεγκτή (controller). Ως είσοδο του μοντέλου αποτελούν οι μετρήσεις σε συνθήκες πραγματικού χρόνου, ενώ στην έξοδο δίνονται εκτιμήσεις για το πώς θα εξελιχθεί η κυκλοφορία. Τόσο οι μετρήσεις όσο και οι εκτιμήσεις του μοντέλου, μπορούν να τροφοδοτήσουν το σχήμα ελέγχου στο οποίο καθορίζεται η στρατηγική η οποία οφείλει να ακολουθηθεί. Ο καθορισμός ενός βέλτιστου επιπέδου αναφοράς στον έλεγχο του οποίου υπάρχει επιθυμία να επιτευχθεί. Υπάρχει διαφορά στα κριτήρια με τα οποία καθορίζεται το σημείο αναφοράς όπως για παράδειγμα ότι μπορεί να υπάρχει



Ευφυή Συστήματα Μεταφορών

ελαχιστοποιήσει το χρόνο αναμονής των οδηγών ή ο στόχος μπορεί να αποτελεί η μείωση των εκπομπών ρύπων ή και τα 2. Είτε είναι η μία περίπτωση είτε η άλλη, γίνεται να τροφοδοτήσει τις μετρήσεις ώστε να υπάρχει εξακρίβωση της σύγκλισης με το επιθυμητό κριτήριο αποφασίζοντας αν υπάρχουν περαιτέρω παρεμβάσεις οι οποίες πιθανόν να απαιτούνται. Σε ένα ολοκληρωμένο σύστημα ελέγχου της κυκλοφορίας κύρια συνιστώσα αποτελεί το σύστημα το οποίο προσδιορίζει και συγχρονίζει δυναμικά τους φωτεινούς σηματοδότες.

### **5.3 Δυναμικός Έλεγχος, συγχρονισμός και βελτιστοποίηση των φωτεινών σηματοδοτών**

Μια από τις βασικές αιτίες για τις οποίες γίνεται αύξηση των εκπομπών και της κατανάλωσης, θεωρείται και η αύξηση του χρόνου ταξιδιού. Οι στάσεις και οι αναγκαστικές επιβράδυνσης προκαλούν τις καθυστερήσεις αυτές. Κυρίως σε αστικά περιβάλλοντα αλλά και σε κάποιες άλλες οδικές αρτηρίες, υπάρχει αναγκαιότητα να σταματήσει ή να επιβραδυνθεί το όχημα εξαιτίας κάποιου φωτεινού σηματοδότη οδηγώντας έτσι σε μεγαλύτερους χρόνους ταξιδιού. Οι φωτεινοί σηματοδότες μπορούν να ρυθμίσουν την κυκλοφοριακή ροή με την παραχώρηση της προτεραιότητας στις διασταυρώσεις. Ο τρόπος με τον οποίο παραχωρείται η προτεραιότητα είναι αυτός με τον οποίο γίνεται διαχωρισμός και κατηγοριοποίηση από το κάθε σύστημα διαχείρισης. Το σύστημα ελέγχου της αστικής κυκλοφορίας είναι αυτό το οποίο διαχειρίζεται τις φωτεινούς σηματοδότες. Σε κάποια σταθερά συστήματα χρόνου ο χρόνος της κάθε φάσης θεωρείται δεδομένος, ενώ προ καθορίζεται με βάση τις ρυθμίσεις οι οποίες έγιναν καθώς και το πλάνο σηματοδότησης χωρίς να είναι εξαρτημένος από την ημέρα της εβδομάδας στην κυκλοφοριακή κατάσταση.

Σε κάποια συστήματα παρέχεται ένας δυναμικός έλεγχος μέσα από ένα σύστημα κεντρικού ελέγχου, όπου το πλάνο και οι προκαθορισμένοι χρόνοι της σηματοδότησης μπορούν να μεταβληθούν καθώς αξιοποιούνται επικυρωμένα κυκλοφοριακά στοιχεία. Στις διασταυρώσεις επίσης μπορεί να υπάρχουν αισθητήρες οι οποίοι ανιχνεύουν οχήματα τα οποία είναι σε αναμονή προσαρμόζοντας ανάλογα τους σηματοδότες. Καθώς υπάρχει συνεχόμενη μεταβολή της κυκλοφορίας, θεωρείται απαραίτητη η δυναμική διαχείριση του συστήματος των φαναριών καθώς και να συγχρονιστούν σε διαδοχικές

## Ευφυή Συστήματα Μεταφορών

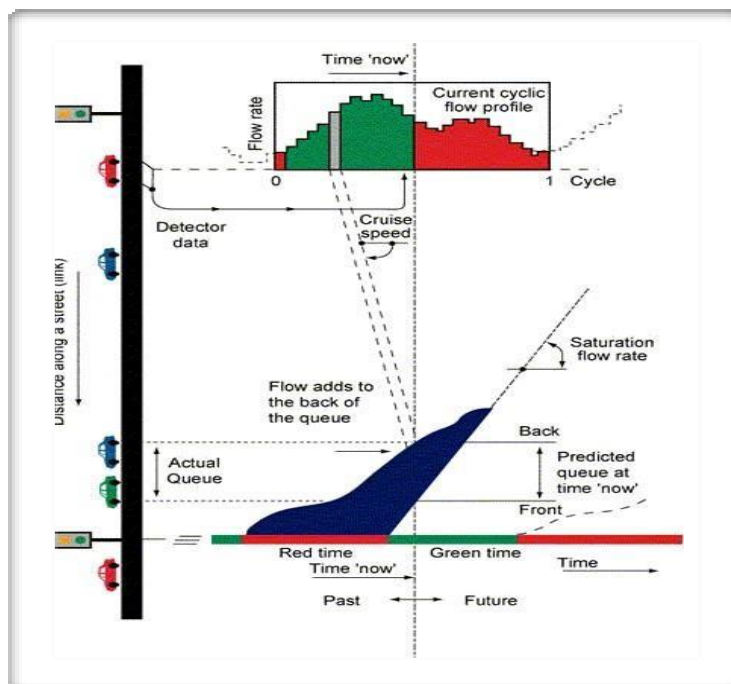
διασταυρώσεις έχοντας ως στόχο να βελτιστοποιηθεί και από ενεργειακής απόψεως η κυκλοφοριακή ροή. Τα προσαρμοζόμενα συστήματα ελέγχου αποτελούν συστήματα δεύτερης γενιάς τα οποία μπορούν να προσαρμόσουν δυναμικά τους φωτεινούς σηματοδότες συγχρονίζοντας τους έχοντας στόχο να βελτιωθεί η κυκλοφοριακή ροή με περιορισμό των στάσεων ομογενοποιώντας τη ροή ενώ ταυτόχρονα αυξάνουν τη μέση ταχύτητα ταξιδιού.

Το σύστημα έχει μια φιλοσοφία η οποία στηρίζεται στο γεγονός ότι ένας κεντρικός υπολογιστής αναλύει την κατάσταση της κυκλοφορίας ολόκληρου του δικτύου αποφασίζοντας κατά τη διάρκεια της κάθε φάσης πώς θα συγχρονίσει το σηματοδότες. Κάτι τέτοιο μπορεί να επιτευχθεί χρησιμοποιώντας ένα κυκλοφοριακό μοντέλο ενώ εκτιμάται ότι υπάρχει επίδραση σε παραμέτρους της κυκλοφορίας όπως είναι η ταχύτητα, οι χρόνοι αναμονής και οι στάσεις. από το μοντέλο μπορεί να παραχθεί μια βέλτιστη λύση η οποία τροφοδοτείται στη συνέχεια από το σύστημα στις υποδομές των οδών. Με τον συνδυασμό των πραγματικών δεδομένων με ιστορικά το πλάνο διαμορφώνεται κάθε 5 λεπτά. Ένα από τα σημαντικότερα συστήματα τα οποία αναπτύχθηκαν εδώ και αρκετά χρόνια έχουν εφαρμοστεί ήδη σε αρκετές πόλεις είναι το SCOOT (Split Cycle Offset Optimisation Technique) της TRL καθώς και τα SCATS, UTOPIA και TUC. Τα δυναμικά αυτά συστήματα έχουν μια φιλοσοφία η οποία στηρίζεται στο να προσαρμοστούν οι ρυθμίσεις του χρονισμού των φωτεινών σηματοδοτών όπως είναι το αντιστάθμισμα, η διάσπαση το στάδιο και η διάρκεια του κύκλου. Συνοπτικά παρουσιάζονται παρακάτω :

- Διάρκεια κύκλου (cycle time): αποτελεί τον απαιτούμενο χρόνο για να ολοκληρωθούν όλες οι φάσεις ενός σχεδίου χρονισμού από μια φάση μπορεί να αποτελεί οποιαδήποτε χρονική περίοδος εντός του κύκλου έχοντας διακεκριμένη κυκλοφοριακή κίνηση, δηλαδή ένα μέρος της περιόδου όπου υπάρχει προτεραιότητα ένα σύνολο ρευμάτων μιας διασταύρωσης.
- Διάσπαση σταδίου (stage split): αποτελεί το χρόνο ο οποίος αναλογεί σε μια φάση του κύκλου.
- Αντιστάθμισμα (offset): όταν σε διαδοχικές διασταυρώσεις υπάρχουν πράσινα σήματα αυτό συμβαίνει σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή και είναι σχετικό με τη διασταύρωση αναφοράς. Η χρονική αυτή στιγμή μπορεί να εξαρτάται από την

## Ευφυή Συστήματα Μεταφορών

απόσταση που υπάρχει ανάμεσα στα σήματα, την ώρα των οχημάτων τα οποία περιμένουν στα κόκκινα φανάρια και την οδική ταχύτητα. Στα δυναμικά θέματα λοιπόν γίνεται τροποποίηση και προσαρμογή των μεγεθών αυτών μέσα από την ανίχνευση σε πραγματικό χρόνο των κυκλοφοριακών συνθηκών με τη δημιουργία ευνοϊκότερων συνθηκών για την κύρια ροή. Αποτελεί γεγονός ότι με τη χρήση δυναμικών συστημάτων στις διασταυρώσεις ο κύριος οδικός άξονας έχει προτεραιότητα, καθώς αναλαμβάνει ένα από τα μεγαλύτερα μέρος του κυκλοφοριακού φόρτου εις βάρος των υπόλοιπων αξόνων. Στα πλαίσια της εξέλιξης αυτής έγινε δημιουργία συστημάτων στα οποία γίνεται παραχώρηση προτεραιότητας των μέσων μαζικής μεταφοράς έχοντας ως άμεση συνέπεια να αυξηθεί η ταχύτητά τους καθιστώντας τα πιο δελεαστικά και αποτελεσματικότερα στο ευρύ κοινό.



Εικόνα : Η λειτουργία του συστήματος UTC

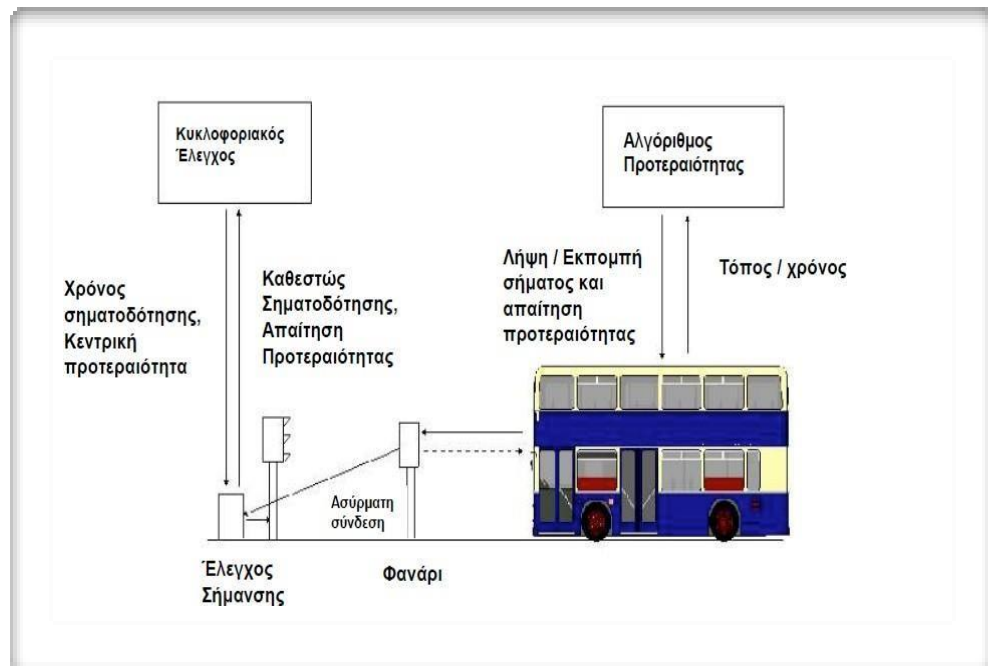
Το SCOOT αποτελεί ένα ολοκληρωμένο σύστημα ελέγχου κυκλοφορίας. Λειτουργεί με το λογισμικό Kermel το οποίο εντοπίζεται στην καρδιά του συστήματος. Το λογισμικό Kermel συνδέεται με το λογισμικό UTC με τις οδικές υποδομές παρέχοντας ουσιαστικά διάδραση με το χρήστη. Παρέχονται πληροφορίες από εγκατεστημένους αισθητήρες για την κυκλοφορία, καθώς θεωρείται το σύστημα προσαρμοζόμενο

## Ευφυή Συστήματα Μεταφορών

εξαρτάται από ορθά κυκλοφοριακά δεδομένα για να μπορέσει να ανταποκριθεί αν τυχόν υπάρξουν αλλαγές στη ροή. Η τοποθέτηση των αισθητήρων γίνεται σε ένα κόμβο σε κατάλληλη θέση παρέχοντας αξιόπιστα δεδομένα. Όταν λοιπόν το όχημα διέρχεται από τον αισθητήρα, τότε το πρόγραμμα κάνει λήψη των δεδομένων μετατρέποντάς τα σε εσωτερικές μονάδες δομώντας ένα προφίλ κυκλικής ροής για κάθε κόμβο. Στο διάγραμμα παρουσιάζεται ένα υπόδειγμα του προφίλ και λαμβάνει τα χρώματα του κόκκινου και του πράσινου ανάλογα με την κατάσταση που βρίσκεται ο φωτεινός σηματοδότης όταν τα οχήματα φθάσουν στη γραμμή του σηματοδότη με τη διατήρηση σταθερής ταχύτητας. Στον κόμβο γίνεται τότε μοντελοποίηση των οχημάτων στη σταθερή ταχύτητα ενώ συνδέονται με το πίσω μέρος της ουράς στην περίπτωση που αυτή υπάρχει.

Όσο διαρκεί το πράσινο τα οχήματα αφήνονται σε κατάσταση κορεσμού από τη γραμμή σταματήματος με την επικυρωμένη αναλογία ροής. Η χρήση των δεδομένων από το μοντέλο γίνεται μετά από το SCOOT σε τρεις βελτιστοποιητές, στους οποίους προσαρμόζονται διαρκώς οι 3 παράμετροι κλειδιά που αναφέρθηκαν και προηγουμένως, δηλαδή η διάρκεια του κύκλου σε ένα σηματοδοτημένο κόμβο, ο χρόνος μεταξύ των συνεχόμενων σημάτων κι ποσότητα το πράσινο χρόνο για κάθε προσέγγιση. Από τους 3 βελτιστοποιητές, παρέχεται συνεχής προσαρμογή των παραμέτρων αυτών για όλους τους κόμβους στην περιοχή οι οποία είναι ελεγχόμενη από SCOO, κάνοντας ελαχιστοποίηση του πράσινου χρόνου ο οποίος άσκοπα ξοδεύεται στους κόμβους μειώνοντας με τον τρόπο αυτό τις καθυστερήσεις και τα σταματήματα και συγχρονίζοντας τις συνεχόμενες δέσμες σημάτων.

Η βελτιστοποίηση του δείκτη απόδοσης (PI) συνίσταται από τις στάσεις στο δίκτυο, τα μήκη των όρων και της καθυστέρησης γίνονται από τον υπολογιστή. Ένα βασικό συστατικό μιας επιτυχημένης και ολοκληρωμένης διαχείρισης αστικής κυκλοφορίας, αποτελεί και η λειτουργία συστήματος η οποία λειτουργεί συμπληρωματικά με το δυναμικό σύστημα συγχρονισμού των φαναριών προσφέροντας προτεραιότητα στις διασταυρώσεις στα δημόσια μέσα μεταφοράς. Ως στόχο του συστήματος αποτελεί η μείωση στον χρόνο ταξιδιού των μέσων μαζικής μεταφοράς καταστρώνοντας τα ελκυστικά στο κοινό. Η αυτόματη ανίχνευση σημάτων και ο έλεγχος της αστικής κυκλοφορίας, αποτελούν το σύστημα το οποίο εντάσσεται στην κατηγορία επικοινωνίας οχήματος υποδομής. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται η φιλοσοφία της λειτουργίας του



Εικόνα : Έλεγχος πρόσβασης και διαχείριση της ζήτησης (Access Control and Demand Management)

Ένας τρόπος για να επιτευχθεί η ισορροπία ανάμεσα στον έλεγχο της κυκλοφορίας και την προσβασιμότητα μέσα από τον έλεγχο της εισόδου οχημάτων σε κάποιες συγκεκριμένες περιοχές, έρχεται στο από τη μείωση της συμφόρησης στις περιοχές και της βελτίωσης της ποιότητας αέρα που αποτελεί και ο έλεγχος πρόσβασης. Στο κέντρο των σύγχρονων πόλεων υποφέρουν στην Ελλάδα από κυκλοφοριακή συμφόρηση η οποία δημιουργεί πολλά προβλήματα στην καρδιά των πόλεων. Με τη χρήση του ελέγχου πρόσβασης μπορεί να αποτελέσει μια λύση στο πώς διαχειρίζονται τη ζήτηση των μέσων μαζικής μεταφοράς. Συνεπώς, ένας τρόπος να περιοριστεί η συμφόρηση και κατά συνέπεια οι εκπομπές αποτελεί περιορισμό της πρόσβασης των οχημάτων σε περιοχές στις οποίες κρίνεται απαραίτητα μετά από συγκοινωνιολογικές μελέτες. Καθώς η περιορισμένη πρόσβαση μπορεί να οδηγήσει και σε χαμηλότερες εκπομπές, οι περιοχές αυτές ονομάζονται ζώνες χρέωσης της συμφόρησης ή ζώνες χαμηλών εκπομπών. Για να μπορέσει να έχει καλές προσβάσεις αυτές τις ζώνες μπορεί να γίνει κατά περίπτωση και με διαφορετικά κριτήρια :

- η απαγόρευση της πρόσβασης όλων των οχημάτων

#### Ευφυή Συστήματα Μεταφορών

- η απαγόρευση της εισόδου σε οχήματα που ρυπαίνουν περισσότερο
- η απαγόρευση της εισόδου σε βαρέα οχήματα
- η πρόσβαση επιτρέπεται στα οχήματα που ρυπαίνουν λιγότερο
- η πρόσβαση επιτρέπεται μόνο στα Μέσα Μαζικής Μεταφοράς και στους κατοίκους των ζωνών
- η πρόσβαση επιτρέπεται σε όλους έναντι καταβολής αντιτίμου

Οι προκύπτοντες στόχοι από την εφαρμογή των ζωνών χαμηλών εκπομπών φαίνονται παρακάτω :

- η ενίσχυση να χρησιμοποιούνται τα μέσα μαζικής μεταφοράς
- η διαχείριση του κυκλοφοριακού φόρτου και ροής
- ο περιορισμός των συχνών στάσεων και της κυκλοφοριακής συμφόρησης
- Η μείωση των εκπομπών εντός των πόλεων
- η αύξηση της ασφάλειας μέσα στην πόλη δημιουργώντας ένα βιώσιμο περιβάλλον

Η χρήση των ευφυών συστημάτων γίνεται για να ανιχνευτούν τα οχήματα και η συνολική διαχείριση του ελέγχου πρόσβασης. Για να αποτραπεί η πρόσβαση χρησιμοποιείται η τηλεματική ως τρόπος, καθώς υπάρχουν κάμερες οι οποίες αναγνωρίζουν την πινακίδα του οχήματος αποστέλλοντας τα δεδομένα στο κέντρο ελέγχου κυκλοφορίας. Εκεί πραγματοποιείται η ταυτοποίηση στοιχείων των οχημάτων σε ειδική βάση δεδομένων. Μέσα από την επιβολή χρηματικής ποινής, γίνεται περιορισμός της πρόσβασης σε αυτούς οι οποίοι δεν πληρούν τα κριτήρια εισόδου στις ελεγχόμενες περιοχές. Όταν τα κριτήρια εισόδου γίνονται και περιβαλλοντικά, τότε στις ζώνες χαμηλών εκπομπών υπάρχει χρέωση η οποία ακολουθεί την αρχή που αυτός ρυπαίνει αυτός που πληρώνει. Στις ζώνες αυτές γίνεται προσανατολισμός κυρίως στην απομάκρυνση βαρέων οχημάτων και αυτών τα οποία ρυπαίνουν περισσότερο από τα

Ευφυή Συστήματα Μεταφορών  
κέντρα των πόλεων ένα έχουν εφαρμοστεί σε πολλές περιοχές παρουσιάζοντας ιδιαίτερα  
θετικά αποτελέσματα στα επίπεδα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

## Κεφάλαιο 6. Τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται στα ITS

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται εκτενώς σε τεχνολογίες οι οποίες η καθεμία με τον τρόπο της συμβάλλει στο να λειτουργούν σωστά και αποδοτικά τα ευφυή συστήματα μεταφοράς.

### 6.1 Δορυφόροι

Οι δορυφόροι σχεδιάστηκαν για να επικοινωνούν μεταξύ τους 2 σημεία όπως και με τα καλώδια, έχοντας όμως αυξημένη κάλυψη και εμβέλεια του δορυφόρου η οποία χρησιμοποιήθηκε για να επιτευχθεί η ραδιοσύζευξη μεγάλων αποστάσεων. Πλέον, αντί να υπάρχει μόνο εκπομπή από ένα σημείο στο άλλο μπορεί ο πομπός να εκπέμπει σήματα και σε ένα μεγάλο αριθμό δεκτών, οι οποίοι είναι τοποθετημένοι σε μεγάλες περιοχές ή αλλιώς εκπομπή μπορεί να γίνει από ένα μεγάλο αριθμό πομπών προς ένα κεντρικό σταθμό ο οποίος ονομάζεται HUB.

### 6.2 Σύστημα GALILEO

Το Σύστημα GALILEO, αποτελεί ένα Σύστημα Παγκόσμιας Δορυφορικής Πλοήγησης: Global Navigation Satellite System (G.N.S.S.), που σχεδιάστηκε από τον ευρωπαϊκό οργανισμό διαστήματος και την Ευρωπαϊκή Ένωση. Το σύστημα αυτό αποτελείται από 30 δορυφόρους οι 27 από τους οποίους είναι πλήρως λειτουργικοί ενώ οι υπόλοιποι 3 ενεργοποιούνται εναλλακτικά με το κόστος του να ανέρχεται στα 5 δισεκατομμύρια ευρώ. Η κεντρική του ιδέα είναι η χρήση 2 κέντρων χερσαίων επιχειρήσεων κοντά στο Μόναχο της Γερμανίας και στο Φουτσίνο της Ιταλίας. Η Πράγα το 2010 επιλέχθηκε και ως η χώρα η οποία θα στέγαζε το αρχηγείο του εγχειρήματος GALILEO. Έφτιαξε σύστημα που διαθέτει 4 συνολικά δορυφόρους οι 2 από τους οποίους εκτοξεύθηκαν στο διάστημα στις 23/12/2011 έτσι ώστε να επικυρωθεί το σύστημα. Ένα χρόνο αργότερα στις 12/12/2012 εκτοξεύτηκαν στο διάστημα και οι επόμενοι 2 δορυφόροι του συστήματος έτσι ώστε να είναι δυνατή η δοκιμή του απ' άκρη σ' άκρη.



### **6.3 G.P.S. (Global Positioning System: Παγκόσμιο Σύστημα Πλοήγησης)**

Η ανάπτυξη του παγκόσμιου συστήματος πλοήγησης G.P.S. (Global Positioning System), έγινε από την κυβέρνηση των ΗΠΑ για τη στρατιωτική ναυτιλία. Σκοπός του ήταν η εφαρμογή αυτή να συμβάλει κατά την κορύφωση του ψυχρού πολέμου στις παγκόσμιες κατασκοπευτικές δραστηριότητες. Η δικαιοδοσία του συστήματος ήταν στο αμερικανικό υπουργείο εθνικής άμυνας. Το παγκόσμιο σύστημα πλοήγησης στη δεκαετία του 60 ήταν γνωστό με την ονομασία Transit System (Σύστημα Διαμετακόμισης). Αρκετά χρόνια αργότερα συγκεκριμένα από το δεκαετία του 90 μετονομάστηκε και πήρε το όνομα που έχει και σήμερα. Με την πάροδο των ετών εξελίχθηκε, ενώ ξεκίνησε να διατίθεται για ελεύθερη χρήση και από το ευρύ κοινό. Η ακρίβεια του αυξήθηκε και έτσι τώρα ο καθένας με μια συσκευή όπως είναι το κινητό του τηλέφωνο έχει τη δυνατότητα λήψης ραδιοσημάτων που εκπέμπουν οι δορυφόροι. Ο κάθε δορυφόρος μεταδίδει πληροφορίες σχετιζόμενες με τη θέση την τρέχουσα ώρα ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Η ταχύτητα με την οποία ταξιδεύουν οι πληροφορίες ανάμεσα στους δορυφόρους είναι η ταχύτητα του φωτός, και είναι ακριβείς και αναλυτικές ανεξάρτητα με τις καιρικές συνθήκες σε σχέση με τη θέση που βρίσκονται οι δορυφόροι στο διάστημα.

### **6.4 Τι είναι το Σύστημα G.P.S. (Global Positioning System)**

Το G.P.S., αποτελεί ένα παγκόσμιο σύστημα πλοήγησης για την εύρεση θέσης ένα δίκτυο το οποίο αποτελείται από 24 έως 32 δορυφόρους τοποθετημένους σε τροχιά γύρω από τη γη σε ύψος πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας 20.000 χιλιομέτρων. Το σύστημα αυτό έχει μεγάλη εμβέλεια καλύπτοντας θάλασσα, ξηρά και αέρα κάτι το οποίο το τμηματοποιεί έτσι ώστε να πραγματοποιούνται και όλες οι λειτουργίες του. Αποτελείται από τα εξής τμήματα :

Το διαστημικό όπου οι δορυφόροι καλύπτουν το σήμα ομοιόμορφα στην επιφάνεια του πλανήτη έτσι ώστε να μη χαθεί σε περίπτωση που αποπροσανατολιστεί κάποιος δορυφόρος, του επίγειου ελέγχου, το οποίο πραγματοποιεί έλεγχο στους δορυφόρους έτσι ώστε να λειτουργούν σωστά αναφορικά με την ταχύτητα, την κατάστασή τους στην ηλιακή ενέργεια αλλά και αν βρίσκονται στο σωστό υψόμετρο, καθώς είναι πιθανό να αντιμετωπίζουν κάποιο πρόβλημα με την ομαλή λειτουργία τους

Ευφυή Συστήματα Μεταφορών

και του τελικού χρήστη, όπου αποτελείται από χιλιάδες χρήστες παγκοσμίως, οι οποίοι χρησιμοποιούν το σύστημα αυτό το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο κατά τη διάρκεια μιας πεζοπορίας όσο και σε θαλάσσια σκάφη οχήματα και κατά κανόνα διαθέτει και αρκετά μικρές διαστάσεις. Μια τέτοια συσκευή μπορεί να προσφέρει όσο το δυνατόν περισσότερες πληροφορίες στους χρήστες με τη χρήση ενός ειδικού λογισμικού με το οποίο προβάλλεται ένας χάρτης στην οθόνη της συσκευής. Στην ουσία το λογισμικό λαμβάνει από τους δορυφόρους τις πληροφορίες για το στίγμα του χρήστη μετατρέποντάς το σε κατανοητή μορφή και πληροφορώντας το χρήστη για την ακριβή γεωγραφική του θέση.

## **6.5 Online Maps (Online Χάρτες)**

Οι “Online Maps” ή διαφορετικά όπως μπορούμε να τους βρούμε “Google Maps” είναι Χάρτες από Δορυφόρο. Είναι δηλαδή μια υπηρεσία της Google, που βασίζεται στο Desktop Web (Ιστός της Επιφάνειας Εργασίας). Με το σύστημα αυτό παρέχονται λεπτομερείς πληροφορίες αναφορικά με γεωγραφικές περιοχές και τοποθεσίες παγκοσμίως. Ως προς τους χρήστες παρέχονται επίσης και κάποιες επιπρόσθετες υπηρεσίες όπως για παράδειγμα μια διαδρομή η οποία θα μπορεί να ακολουθήσει όποιος θέλει να μετακινηθεί από ένα σημείο σε ένα άλλο με οποιοδήποτε τρόπο. Μπορεί να θεωρηθεί ιδιαίτερα χρήσιμο σε ταξιδιώτες, καθώς μπορούν πολύ εύκολα να το χρησιμοποιήσουν στην περίπτωση που θέλουν να πάνε σε κάποιο άλλο μέρος βρίσκοντας με τον τρόπο αυτό τη διαδρομή την οποία θα ακολουθήσουν αλλά και την τοποθεσία την οποία επιθυμούν. Η υπηρεσία αυτή μπορεί να δώσει τη δυνατότητα προβολή του χάρτη online από πολλά μέρη όπως είναι ο υπολογιστής, το κινητό ή το τάμπλετ, ενώ μπορεί να προσανατολιστεί κάποιος εύκολα στο μέρος στο οποίο επιθυμεί.

Ευφυή Συστήματα Μεταφορών

Κάτι ανάλογο μπορεί να γίνει και με το σύστημα που αναφέρθηκε προηγουμένως. Η εφαρμογή βρίσκεται στην κεντρική σελίδα της Google πληκτρολογώντας “Online Maps” ή “Google Maps” ή ακόμα και “Χάρτες από Δορυφόρο”. Εκτός όμως από την υπηρεσία αυτή υπάρχει και μία ακόμη υπηρεσία της ίδιας εταιρείας η οποία είναι η “Google Earth”. Στην υπηρεσία αυτή σχεδιάζονται με τα κατάλληλα εργαλεία μια σειρά εικόνων από τη γη οι οποίες λαμβάνονται από δορυφόρους ή ακόμα και από αεροφωτογραφίες αλλά και από το σύστημα γεωγραφικών πληροφοριών Geographic Information Systems (G.I.S.) σε έναν 3D κόσμο. Μπορεί επίσης να γίνει προσθήκη φωτογραφιών με ετικέτες για τοποθεσίας και πολλές άλλες δραστηριότητες.

## 6.7 Ασύρματη Τεχνολογία BLUETOOTH

Από το Bluetooth καθορίζεται η ασύρματη τεχνολογία για προσωπικά δίκτυα υπολογιστών (Ασύρματα Προσωπικά Δίκτυα. Wireless Personal Area Networks WPAN). Πρόκειται για μια τεχνολογία η οποία θεωρείται τηλεπικοινωνιακή και μεταδίδει σήματα μέσα από κάποια μικροκύματα σε ψηφιακές συσκευές σε μικρές αποστάσεις. Η δυνατότητά του να εξαλείφει τα καλώδια ανάμεσα στις κινητές συσκευές επιτρέπει τη διασύνδεση μεταξύ τους χωρίς περιορισμούς. Η τεχνολογία είναι χαμηλού κόστους και χαμηλής ισχύος ενώ λειτουργεί σε φάσμα συχνοτήτων 2,4 GHz με τις συσκευές οι οποίες ενσωματώνουν την τεχνολογία αυτή να έχουν τη δυνατότητα μεταξύ τους επικοινωνίας και ανταλλαγής δεδομένων με ταχύτητες έως και 720 Kbit/sec σε απόσταση 10 μέτρων. Αναφορικά με τις παρεμβολές οι οποίες πιθανόν υπάρχουν από παρεμφερείς συσκευές, η τεχνολογία αυτή εκμεταλλεύεται τόσο τη μεταπήδηση συχνοτήτων όσο και την ημι αμφίδρομη επικοινωνία. Με τον τρόπο αυτό καθιερώνεται η επικοινωνία του σημείο προς σημείο δηλαδή της απευθείας σύνδεσης από τη μία συσκευή στην άλλη. Χωρίζεται στις παρακάτω βαθμίδες ανάλογα με την ισχύ εκπομπής :

- Ισχύς Εξόδου 100 mW μέγιστη απόσταση άνω των 100 μέτρων.
- Ισχύς Εξόδου 2,5 mW μέγιστη απόσταση άνω των 10 μέτρων.
- Ισχύς Εξόδου 1 mW μέγιστη απόσταση άνω των 1 μέτρο.

## 6.8 BLUETOOTH Smart Energy

Το Bluetooth Smart Energy είναι βασισμένο στο Bluetooth. Αρχικά, το 2006 ονομαζόταν Wibree από την εταιρεία Nokia. Η συγχώνευσή του με το πρότυπο το πρότυπο Bluetooth έγινε το 2010. Σχεδιάστηκε για ένα ευρύ φάσμα συσκευών όπως είναι οι ιατρικές συσκευές, υπολογιστές και κινητά τηλέφωνα. Η διάθεσή τους στο εμπόριο γίνεται από την Special Interest Group (S.I.G.), έχοντας στόχο να εφαρμοστεί και να ταμεία εφαρμογών αυτή σε βιομηχανίες οικιακής ψυχαγωγίας, γυμναστήρια και υγειονομική περίθαλψη συγκριτικά με το κλασικό Bluetooth που έχει ως σκοπό την παροχή χαμηλού κόστους με την παράλληλη διατήρηση ενός παρόμοιο εύρος επικοινωνίας και μειωμένη κατανάλωση ενέργειας.

## 6.9 Ασύρματη Τεχνολογία ZigBee

Η ανάπτυξη της Ασύρματης Τεχνολογίας ZigBee ή διαφορετικά του προτύπου R.F.4C.E., έγινε από την ZigBee Alliance. Θεωρείται μια συνεργασία ανάμεσα στις εταιρείες παραγωγής ημιαγωγών και ηλεκτρικού εξοπλισμού για να προωθηθεί η τεχνολογία αυτή. Η εταιρεία ανέπτυξε τα ανώτερα επίπεδα του πρωτοκόλλου W.P.A.N., ενώ για τα P.H.Y., και M.A.C. στηρίχθηκε πάνω στο I.E.E.E. 802.15.4. Το πρωτόκολλο χαρακτηρίζεται ως W.P.A.N.-L.R., καθώς η μέγιστη ανάπτυξη του ρυθμού μετάδοσης δεδομένων είναι μόλις 250Kbps. Για το λόγο αυτό δεν έχει προορισμό για υψηλή ποιότητα μετάδοσης φωνής ή εικόνας αλλά ο προορισμός της είναι περισσότερο για σήματα με χαμηλότερη ποσότητα πληροφορίες όπως είναι για παράδειγμα κάποιες μετρήσεις αισθητήρων. Η ασύρματη αυτή τεχνολογία απευθύνεται σε εφαρμογές που απαιτούν ελάχιστη κατανάλωση ισχύος, χαμηλό κόστος κατασκευής και ασύρματη διασύνδεση υπέρμετρο αριθμό συσκευών χωρίς παράλληλα να υπάρχει ανάγκη για υψηλές ταχύτητες μετάδοσης κάτι που το κάνει την τέλεια λύση.

Επιπλέον η εφαρμογή προορίζεται για ασύρματα προσωπικά δίκτυα ενώ μπορεί να χρησιμοποιηθεί και στον τομέα της ηλεκτρονικής ψυχαγωγίας στη διαχείριση ενέργειας και στη βιομηχανία αυτοματισμό. Αυτό που κάνει την τεχνολογία αυτή να ξεχωρίζει είναι η χαμηλή κατανάλωση ισχύος που διαχωρίζεται σε αρκετές σύγχρονες

Ευφυή Συστήματα Μεταφορών  
εφαρμογές. Η λειτουργία της γίνεται σε συχνότητες των 2,4 GHz, 915 MHz και 868 MHz, με το ρυθμό μετάδοσης δεδομένων να είναι 250 Kbps, 40 Kbps και 20 Kbps για κάθε ζώνη συχνοτήτων. Διαθέτει επίσης έλεγχο αίσθησης Φορέα Πολλαπλής Πρόσβασης με Αποφυγή Συγκρούσεων: Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance (C.S.M.A.-C.A.), θεωρείται παρόμοιο με το ασύρματο προσωπικό δίκτυο.

## 6.10 Τεχνολογία 4G

Το 4G είναι το δίκτυο 4ης γενιάς και ανήκει στην τεχνολογία τηλεπικοινωνιών. Ορίστηκε από την I.T.U., (International Telecommunication Union Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών), ενώ μπορεί να παρέχει ταχύτητες από 100Mbps ως 1Gbps, τόσο σε εξωτερικούς όσο και σε εσωτερικούς χώρους με ασφάλεια και ποιότητα. Η τεχνολογία υποστηρίζει εύρος ζώνης από 5 ως και 20 MHz. Χρησιμοποιούνται επίσης και κάποιες επιπλέον τεχνολογίες οι οποίες θεωρούνται εξίσου σημαντικές και παρουσιάζονται παρακάτω.

Έξυπνες Κεραίες Πολλαπλών Εισόδων και Πολλαπλών Εξόδων: Smart Antennas for Multiple – Input and Multiple – Output (M.I.M.O.) :

- Μετάδοση και Λήψη Κεραίας,
- Επίλυση του προβλήματος της μείωσης διαθεσιμότητας φάσματος,
- Δεν υπάρχει αύξηση της ισχύος ή των συμπληρωματικών συχνοτήτων,
- Αυξημένη ακτίνα,
- Χρήση λίγης ηλεκτρικής ενέργειας για την μετάδοση και
- Νέες Υπηρεσίες.
- Πρωτόκολλο Διαδικτύου έκδοση 6: Internet Protocol version 6 (I.P.v.6): η έκδοση του πρωτοκόλλου αυτή θεωρείται απαραίτητη έτσι ώστε να μπορέσει να στηριχθεί ένας μεγάλος αριθμός ασύρματων συσκευών. Αυξάνοντας μάλιστα τον αριθμό των

## Ευφυή Συστήματα Μεταφορών

διευθύνσεων I.P., τοI.P.v.6,καταργείται η ανάγκη για διεύθυνση μεταφοράς δικτύου Network Address Transmission (N.A.T.), ενώ παρέχεται επιπλέον ασφάλεια και δυνατότητα να βελτιστοποιηθεί η διαδρομή.

- Πρωτόκολλο Διαδικτύου Υπερ της Φωνής: Voice Over Internet Protocol (V.o.I.P.): Στο πρωτόκολλο αυτό επιτρέπονται η μεταφορά μόνο πακέτων I.P., εξαλείφοντας την πολυπλοκότητα 2 πρωτοκόλλων από το ίδιο κύκλωμα. Αν τα πακέτα αυτά έχουν δεδομένα φωνής, τότε θα έχουν ταχύτερη μετάδοση ενώ τα δείγματα φωνής βρίσκονται ανάμεσα σε 8.000 και 64.000 φορές ανά δευτερόλεπτο. Σύμφωνα με αυτό, μπορεί να δημιουργηθεί ένα κύμα από δυαδικά ψηφία όπου συμπιέζονται μέσα στο πακέτο. Με τον τρόπο αυτό αυξάνεται η ζωή της μπαταρίας.
- Ορθογώνια Πολυπλεξία με Διαίρεση Συχνότητας: Orthogonal Frequency Division Multiplexing (O.F.D.M.): με τη συγκεκριμένη τεχνολογία επιτρέπεται η μεταφορά παράλληλα πολλών δεδομένων αντίθετα με πολλές μορφές πολυπλεξίας.
- Λογισμικό Ορισμού ΡαδιοΣυστήματος: Software Defined Radio System (S.D.R.): Το Λογισμικό Ορισμού ΡαδιοΣυστήματος, αποτελεί μια μορφή ανοιχτής ασύρματης αρχιτεκτονικής (Open Wireless Architecture O.W.A.). Αυτό σημαίνει ότι παρόλο που η τεχνολογία 4G, είναι μία συλλογή ασύρματων προτύπων, η τελική μορφή μιας συσκευής 4G θα αποτελέσει διάφορα πρότυπα. Πέρα από τις χρησιμοποιούμενες τεχνολογίες παρέχονται επίσης και κάποιες εφαρμογές για τους χρήστες οι οποίες είναι :
- Εικονική Οδήγηση: αποτελεί μια εφαρμογή όπου μπορεί ένας χρήστης να έχει πρόσβαση σε βάση δεδομένων από διαδρομές μεγαλουπόλεις και άλλα.
- Tele-Geoprocessing (Τηλέ-Γεωεπεξεργασία): Η εφαρμογή αυτή, αποτελεί μια καινοτομία όπου συνδυάζει το G.I.S., και το G.P.S., με το χρήστη να μπορεί να βρει τη θέση που θέλει κάνοντας μια απλή αναζήτηση.
- Διαχείριση Κρίσης: θεωρώντας δεδομένο πως μπορούν να προκληθούν βλάβες στα συστήματα επικοινωνιών από τις φυσικές καταστροφές η αποκατάσταση των φαινομένων αυτών μπορεί να πάρει από μέρες έως και αρκετές εβδομάδες. Για το

Ευφυή Συστήματα Μεταφορών

λόγο αυτό η τεχνολογία αυτή μπορεί να αποκαταστήσει μέσα σε μερικές ώρες τέτοιου είδους φαινόμενα.

- Εκπαίδευση: Με την Τεχνολογία 4G, μπορεί να γίνει εκπαίδευση μέσα από το διαδίκτυο με πιο εύκολο, αποδοτικό και οικονομικό τρόπο.

### **6.11 Τεχνολογία L.T.E. (Long Term Evolution)**

Η Τεχνολογία L.T.E., αποτελεί ένα πρότυπο ασύρματης επικοινωνίας δεδομένων προσφέροντας υψηλές ταχύτητες για τερματικά δεδομένων και κινητά τηλέφωνα. Οι ταχύτητες είναι χαμηλές. Το L.T.E., είναι βασισμένο στα Δίκτυα Κινητής Τηλεφωνίας: Global System for Mobile (G.S.M.), στην Ενίσχυση Δεδομένων για την Δικτύων Κινητής Τηλεφωνίας: Enhanced Data G.S.M., Evolution (E.D.G.E.), στις τεχνολογίες Οικουμενικά Κινητά Τηλεπικοινωνιακά Συστήματα: Universal Mobile Telecommunications System (U.M.T.S.), και στην Υψηλής Ταχύτητας Πρόσβασης Πακέτων: High Speed Packet Access (H.S.P.A.). Μπορεί να αυξήσει την ικανότητα ένα παράλληλα και την ταχύτητα με τη χρήση μιας διαφορετικής ραδιοεπαφής παράλληλα με τις βελτιώσεις του δικτύου. Η εγκατάσταση υποστηρίζεται από διαφορετικά εύρη ζώνης συχνοτήτων. Ανάλογα με τους τύπους αναπτύσσονται και διάφορα εύρη ζώνης με διαφορετικές ικανότητες. Αποτελεί ουσιαστικά ένα τρόπο για φορείς οι οποίοι μπορούν να εκμεταλλευτούν το δίκτυο απλοποιώντας τις υποδομές και μειώνοντας το κόστος τους βοηθώντας παράλληλα να βελτιωθεί η ποιότητα των προϊόντων και υπηρεσιών στους συνδρομητές τους. Μπορούν να υποστηριχθούν έως και 200 ενεργοί πελάτες δεδομένων σε πλήρη ταχύτητα για κάθε 5 MHz (του ραδιοφάσματος), που κατανέμεται ανά cell. Αυτό μπορεί να σημαίνει πως αν ένας πύργος διαθέτει 20 MHz (του ραδιοφάσματος), κατανέμεται σε 800 πελάτες δεδομένων σε πλήρη ταχύτητα.

## 6.12 Τεχνολογία 5G στα VANETs

Καθώς η χρήση του 5G στις κινητές τηλεπικοινωνίες εξελίσσεται αργά αλλά σταθερά παγκοσμίως, παρατηρούμε την εγκαθίδρυση των τελικών εκδόσεων των προσαρμογέων του 5G. Αυτή η υλοποίηση έχει εξελιχθεί τεχνολογικά, και θα εξετάσουμε διάφορες τεχνικές και σενάρια που παρέχουν τις βάσεις για την ολοκληρωμένη χρήση του 5G σε κάθε πτυχή της ζωής μας, συμπεριλαμβανομένων των VANETs.

Ορισμένες καινοτόμες τεχνικές που αναπτύχθηκαν για τα δίκτυα 5ης γενιάς περιλαμβάνουν:

- **Mobile Edge Computing:** Αυτή η τεχνολογία τοποθετεί τις υπηρεσίες στην κατάλληλη δικτυακή τοποθεσία, όπως οδηγήσιμα οχήματα, σε ένα πολυπρομηθές περιβάλλον. Η κινητή πλατφόρμα edge είναι υπεύθυνη για την πρόσβαση και την προώθηση των υπηρεσιών MEC, προσφέροντας μεγάλη υπολογιστική ισχύ πέρα από τις δυνατότητες των οχημάτων.
- **Fog Computing:** Η ιδέα είναι η μείωση των χρόνων απόκρισης σε σενάρια πραγματικού χρόνου ή προσομοιώσεις, επικεντρώνοντας στην τοπική επεξεργασία σε cloud.
- **Network Slicing:** Διαχειρίζεται τη σύνδεση διαφορετικών δικτύων που θέλουν να ανταλλάξουν πληροφορίες, επιτυγχάνοντας βέλτιστη διαχείριση με λογική κατανομή των εργασιών του δικτύου.
- **Software Defined Network (SDN):** Δίκτυο με πολλά επίπεδα, όπου το κεντρικό επίπεδο ελέγχου διαχειρίζεται όλες τις διεργασίες μέσω μονάδων εφαρμογών σε ένα δίκτυο.
- **Network Functions Virtualization (NFV):** Δημιουργεί υπηρεσίες ως Virtual Network Functions (VNF), προωθώντας τις ως εφαρμογές λογισμικού.



Η Εφαρμογή του 5G στα Ad-Hoc Networks (VANETs) είναι ειδική κατηγορία των Mobile Ad-Hoc Networks (MANETs) με χαρακτηριστικά όπως υψηλές ταχύτητες, δυναμικό περιβάλλον μετάδοσης και συνεχείς μεταβολές στην τοπολογία τους.

Οι απαιτήσεις των 5G VANETs περιλαμβάνουν:

- Μείωση του επικοινωνιακού φορτίου: Ελαχιστοποίηση του φορτίου επικοινωνίας.
- Συχνή και απρόσκοπτη μετάδοση: Εύρωστη μετάδοση χωρίς διακοπές.
- Μηχανισμοί ελέγχου συμφόρησης: Διαχείριση της συμφόρησης του δικτύου.
- Εύκολη πρόσβαση σε πόρους: Δίκαιη πρόσβαση σε πόρους.
- Αξιοπιστία: Εξασφάλιση υψηλής αξιοπιστίας.
- Υποστήριξη διάφορων εφαρμογών: Υποστήριξη διαφορετικών εφαρμογών.

Το μοντέλο επικοινωνίας των 5G VANETs είναι παρόμοιο με το 3GPP-LTE, καλύπτοντας διάφορους τύπους επικοινωνίας όπως Vehicle to Vehicle (V2V), Vehicle to Pedestrian (V2P), Vehicle to Infrastructure (V2I) και Vehicle to Network (V2N).

Στο πλαίσιο του 5G-VANET συστήματος, προτείνονται διάφοροι τρόποι δόμησης, συμπεριλαμβανομένης της τεχνολογίας Network Slicing για τη διαχείριση των πόρων και τη δημιουργία λογικών επιπέδων για ευελιξία και αποδοτικό clustering. Το SDN ενεργοποιεί τον συντονισμό και τον διαμοιρασμό πληροφοριών μεταξύ των κεντρικών σταθμών μετάδοσης, βελτιώνοντας την αποτελεσματικότητα του clustering.

Συνολικά, η ενσωμάτωση του 5G στα VANETs θα ικανοποιήσει τις αυξημένες απαιτήσεις των αυτόνομων ή απομακρυσμένα ελεγχόμενων οχημάτων, προσφέροντας προηγμένες λύσεις για τις ανάγκες των δικτύων οχημάτων. (Antonίου, 2019)

## **Κεφάλαιο 7. Αλγόριθμοι μεγάλων δεδομένων και εφαρμογές σε ευφυή συστήματα μεταφορών / Βελτιστοποίηση ποιότητας υπηρεσίας σε ευφυές σύστημα μεταφορών με γνώμονα το IoT**

### **7.1 Εισαγωγή**

Η παραγωγή Big Data στο ITS θεωρείται εμφανής εξαιτίας της μαζικής ανάπτυξης των έξυπνων καρτών, των αυτόνομων και συνδεδεμένων οχημάτων, αισθητήρων και το παγκόσμιο σύστημα εντοπισμού θέσης καθώς και από άλλες πηγές. Εγκαθίσταται στις πόλεις διάφοροι εξοπλισμοί παρακολούθησης για να συλλέξουν δεδομένα, με τα συνδεδεμένα οχήματα να ανταλλάσσουν πληροφορίες με την οδική υποδομή και άλλες συσκευές. Τα άτομα χρησιμοποιούν πλοήγηση συστήματος και κοινωνικά δίκτυα, όλα αυτά μαζί με πολλά άλλα εργαλεία της μεταφοράς μπορούν να δημιουργήσουν ένα τεράστιο όγκο δεδομένων. Τα δημιουργούμενα δεδομένα συνεχίζουν να αυξάνονται σε μέγεθος και πολυπλοκότητα, ενώ με την αύξηση της αυτοματοποίησης αυξάνεται περαιτέρω και η παραγωγή των δεδομένων. Για να διαχειριστεί, λειτουργήσει και ελεγχθεί αυτός ο τεράστιος όγκος δεδομένων απαιτούνται μοντέλα τα οποία είναι βασισμένα σε δεδομένα. Γι' αυτό αναπτύχθηκαν οι αλγόριθμοι Big Data ώστε να βελτιωθεί η αποτελεσματικότητα λειτουργίας του ITS, ώστε να παρέχονται πληροφορίες για αποφάσεις διαχείρισης κυκλοφορίας, σχεδιασμό καλύτερων υπηρεσιών δημόσιας συγκοινωνίας, πλοίων, αεροπλάνων ή φορτηγών τα οποία χρησιμοποιούν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο βοηθώντας τους χρήστες να φτάσει στον προορισμό τους και στην κατάλληλη διαδρομή με τον συντομότερο δυνατό χρόνο (Zhu et al. (2018).

Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε μια επανάσταση στο να βελτιωθούν τα συστήματα, καθώς εφαρμόζονται και αναπτύσσονται πιο εξελιγμένα μοντέλα με τη χρήση μεγάλων δεδομένων. Προσφάτως δημοσιεύτηκε μια μεγάλη σειρά από βιβλιογραφικές ανασκοπήσεις και έρευνες οι οποίες επικεντρώθηκαν στους αλγόριθμους μεγάλων δεδομένων στα ευφυή συστήματα μεταφορών, με τις περισσότερες να τείνουν να συζητήσουν μια συγκεκριμένη λειτουργία των μεγάλων δεδομένων όπου πραγματοποιείται έρευνα σε μια ειδική πτυχή τους στα ευφυή συστήματα μεταφορών η επικεντρώνονται μόνο στη βιβλιομετρική ανάλυση. Οι Amin et al. (2019) για παράδειγμα

## Ευφυή Συστήματα Μεταφορών

εξερεύνησαν το ρόλο που παίζουν τα μεγάλα δεδομένα στα διαμόρφωση των ευφυών συστημάτων μεταφορών δίνοντας έμφαση στην οδική ασφάλεια. Οι Yang and Pun-Cheng (2018) παρείχαν μια βιβλιογραφική ανασκόπηση στην ανίχνευση οχημάτων σε διαφορετικά περιβάλλοντα. Η Βλαχογιάννη (2014) σχολίασε ότι βραχυπρόθεσμα η πρόβλεψη κίνηση ενώ οι Neilson et al. (2019) αναθεώρησαν μόνο 28 άρθρα διερευνώντας την έρευνα και τις εφαρμογές των μεγάλων δεδομένων στη μεταφορά τομέα για την περίοδο 2012–2017.

Οι Zhu et al. (2018) συζήτησαν τη συλλογή και τις πηγές των μεγάλων δεδομένων των ευφυών συστημάτων μεταφορών συνοψίζοντας τις αναλύσεις των μεθόδων δεδομένων και πλατφόρμες στα συστήματα αυτά. Οι An et al. (2011) διεξήγαγαν έρευνα η οποία εστίαζε στην ανάλυση και σύγκριση της διεθνούς έρευνας ευφυών συστημάτων μεταφορών καθώς και των βασικών υποκείμενων τεχνολογιών. Οι Qureshi και Abdullah (2013) παρείχαν στους μελετητές πληροφορίες για τις περιοχές των ευφυών συστημάτων μεταφορών ενώ οι Zhang et al. (2011) επανεξέτασαν την ανάπτυξη των συστημάτων τα οποία είναι βασισμένα σε δεδομένα και τη λειτουργικότητα βασικών στοιχείων τους. Καμία ωστόσο από αυτές τις μελέτες εκτός από τη μελέτη των Neilson et al. (2019), δεν ανέφερε τον αριθμό των αναθεωρημένων εργασιών ή των κριτηρίων επιλογής των κριτικών έργων. Οι Cobo et al. (2013) πραγματοποίησαν μια βιβλιομετρική μελέτη η οποία ανέδειξε την εννοιολογική δομή των συστημάτων για την περίοδο 1992–2011.

## 7.2 Σχετική εφαρμογή αλγορίθμου μεγάλων δεδομένων στο ITS

Παρακάτω εξετάζονται πιο σημαντικές εφαρμογές αλγορίθμων μεγάλων δεδομένων στα ευφυή συστήματα μεταφοράς με στόχο τη βελτιστοποίηση, την ασφάλεια, την ανίχνευση την αναγνώριση και την πρόβλεψη. Όταν αφορά εφαρμογές πρόβλεψης σε βιβλιογραφία είναι αρκετά πλούσια καλύπτοντας διάφορα χαρακτηριστικά όπως είναι πρόβλεψη ροής κυκλοφορίας, πρόβλεψη χρόνου ταξιδιού και πρόβλεψη ταχύτητας. Αν κάνει κάποιος έρευνα οι λέξεις πρόβλεψη εμφανίζονται στους τίτλους 229 εργασιών από 586 άρθρα και εργασίες συνεδρίου. Άλλες κυρίαρχες εφαρμογές των ευφυών συστημάτων μεταφορών οι οποίες προσελκύουν την προσοχή των μελετητών είναι η αναγνώριση και η ανίχνευση. Οι 2 αυτές εφαρμογές χρησιμοποιήθηκαν συνδυαστικά σε κάποιες μελέτες.

### **7.2.1 Πρόβλεψη**

Η λήψη ακριβούς πρόβλεψης για μελλοντικές καταστάσεις και συνθήκες της κυκλοφορίας αποτελεί ένα ελκυστικό θέμα για αρκετούς ερευνητές στον τομέα των ευφυών συστημάτων μεταφοράς. Καθώς υπάρχει η δυνατότητα πρόβλεψης χαρακτηριστικών κυκλοφορίας όπως είναι η ροή κυκλοφορίας, ο χρόνος ταξιδιού και η ταχύτητα παίζει σημαντικό ρόλο σε πολλά στοιχεία των συστημάτων όπως είναι προχωρημένα Συστήματα Διαχείρισης Κυκλοφορίας (ATMS), ή Advanced Traveler Information Systems (ATIS) (Vanajakshi and Rilett, 2004).

### **7.2.2 Αναγνώριση**

Η ανίχνευση και η αναγνώριση αποτελούν 2 πολύ παρόμοιες τεχνικές για να αναγνωριστούν αντικείμενα αλλά ποικίλλουν ωστόσο στην εκτέλεση. Η ανίχνευση αντικειμένων αλγορίθμων δεδομένων αποτελεί το υποσύνολο της αναγνώρισης αντικειμένων από το σύστημα, όχι μόνο προσδιορίζει το αντικείμενο αλλά οφείλει και να τα εντοπίσει. Η ανίχνευση των αντικειμένων παρουσιάζει ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών στον τομέα των ευφυών συστημάτων μεταφορών με τις περισσότερες αναφερόμενες εφαρμογές να περιλαμβάνουν συμπεριφορές οδηγών, σήματα κυκλοφορίας και περιστατικά (Yuan et al., 2016). Στα πλαίσια των ευφυών συστημάτων μεταφορών το θέμα της αναγνώρισης αποτελεί δραστηριότητα της αναγνώρισης διαφόρων αντικειμένων συμπεριλαμβανομένων οχημάτων σε μάρκες και μοντέλα, συμπεριφοράς οδηγών και πινακίδες κυκλοφορίας. Καθώς αυξάνονται τα δεδομένα και υπολογιστική πολυπλοκότητα των αλγορίθμων των μεγάλων δεδομένων παρουσιάζονται προσεγγίσεις αναγνώρισης τα τελευταία χρόνια οι οποίες είναι ακριβέστερες συγκριτικά με παλιά.

### **7.2.3 Ανίχνευση**

Καθώς υπάρχει υψηλό κόστος συμφόρησης το οποίο προκαλείται από περιστατικά όπως για παράδειγμα κατασκευαστικές εργασίες, δυσλειτουργία οχημάτων ή ατυχήματα, σημειώθηκε παγκόσμιο ενδιαφέρον τις τελευταίες δεκαετίες για να αναπτυχθεί μια αποτελεσματική αυτοματοποιημένη μέθοδος ανίχνευσης συμβάντων. Το

## Ευφυή Συστήματα Μεταφορών

αντικείμενο αυτό μελέτης στα ευφυή συστήματα μεταφορών, ξεκίνησε ήδη από το 1997 όταν οι Dia και Rose (1997) συζήτησαν για την ανίχνευση περιστατικού μοντέλου νευρωνικού δικτύου πολλαπλών επιπέδων τροφοδοσίας (MLF). Στο μοντέλο αυτό, υπήρχε εκπαίδευση ενός πραγματικού συνόλου δεδομένων 100 περιστατικών όπου μετρήθηκαν μεταβλητές όπως είναι τα δεδομένα πληρότητας διπλών σταθμών για να εντοπιστούν ανεπιθύμητα συμβάντα, η ροή και η ταχύτητα. Το 2001 η μελέτη των Jin et al. (2001) πρότεινε μια νέα τεχνική με τη χρήση ενός επικοινωνητικού πιθανοτικού νευρωνικού δικτύου (CPNN) για να ανιχνευτούν συμβάντα σε αυτοκινητόδρομους. Η δοκιμή του μοντέλου έγινε στη Σιγκαπούρη στον Ayer Rajah Expressway (AYE), ώστε να επιτευχθεί απόδοση ανίχνευσης 92%.

Μια άλλη μελέτη των Ozbayoglu et al. (2016) έδειξε ότι κατά κύριο λόγο στα ατυχήματα των αυτοκινητοδρόμων ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα αποτελούσε το συστήματα μεταφοράς. Πρότειναν λοιπόν ένα προκαταρκτικό αυτόνομο σε πραγματικό χρόνο σύστημα ανίχνευσης ατυχημάτων το οποίο είναι βασισμένο στην υπολογιστική νοημοσύνη, τεχνικές οι οποίες χρησιμοποίησαν δεδομένα της κυκλοφορίας της Κωνσταντινούπολης για το 2015. Ένα πολύ σημαντικό συστατικό των ευφυών συστημάτων μεταφορών αποτελεί η ανίχνευση σημάτων κυκλοφορίας η οποία παρουσιάζει και μεγάλη δυνατότητα εφαρμογής. Η έρευνα για να αναπτυχθούν τα σημάδια μπορεί να ταξινομηθεί σε 2 τμήματα μέσω της ανίχνευσης συνόρων σε ασπρόμαυρη εικόνα και τις αναλύσεις τους, μέσω κατωφλίου χρώματος, ανίχνευσης περιοχής και ανάλυσης οχήματος (De la Escalera et al., 2003).

Οι Sheng et al. (2008) ανέπτυξαν έναν νέο αλγόριθμο για την επεξεργασία 220 πραγματικών εικόνων οι οποίες τραβήχτηκαν στο Ναντζίνγκ της Κίνας με τη χρήση του μοντέλου πιθανολογικών νευρωνικών δικτύων (PNN). Το μοντέλο των Yuan et al. (2016) έχει τη δυνατότητα να επιτύχει ένα αποτέλεσμα σχεδόν σε πραγματικό χρόνο επεξεργάζοντας μια εικόνα με τη χρήση βαθιάς μάθησης. Μια άλλη έρευνα από τους Abedin et al. (2017) παρουσίασε μια νέα προσέγγιση από βρισκόταν η ανίχνευση εργασιών και διεξήχθη με τη μέθοδο τμηματοποίησης χρώματος η οποία ήταν βασισμένη σε ασαφείς κανόνες.

### 7.2.4 Ασφάλεια

Η ασφάλεια αποτελεί μια άλλη σημαντική εφαρμογή των αλγορίθμων μεγάλων δεδομένων στα ευφυή συστήματα μεταφορών. Οι αλγόριθμοι αυτοί δεν χρησιμοποιούνται μόνο για να βελτιωθεί η ασφάλεια του οχήματος αλλά εφαρμόζονται ευρέως για να αυξηθεί η ασφάλεια των αυτοκινητοδρόμων και των οδών. Η κατανόηση των αιτιών των σεναρίων με κίνδυνο όπως είναι οι συμπεριφορές των οδηγών, οι καιρικές συνθήκες, η ροή κυκλοφορίας και τα σχέδια των δρόμων στη μοντελοποίηση ασφάλειας των συστημάτων μπορεί να βοηθήσει στο να αυξηθεί η ασφάλεια των δρόμων. Πολλές μελέτες της βιβλιογραφίας διερευνούν την ασφάλεια των οχημάτων και των δρόμων, όπως για παράδειγμα η ανασκόπηση των Amin et al. (2019) για το ρόλο που είχαν τα μεγάλα δεδομένα στη βελτιστοποίηση της ασφάλειας συστημάτων μεταφοράς από προοπτική ασφάλειας.

### 7.2.5 Βελτιστοποίηση

Η βελτιστοποίηση των λειτουργιών θεωρείται σημαντική για να βελτιωθούν αποφάσεις αναφορικά με την επιχειρησιακή αποτελεσματικότητα, την ποιότητα της διαδικασίας και τη βελτίωση της απόδοσης για την παροχή πελατών με την καλύτερη ποιότητα υπηρεσιών με τον πιο οικονομικό τρόπο και τον στρατηγικό σχεδιασμό πόρων (Borgi et al., 2017). Στα πλαίσια των ευφυών συστημάτων μεταφοράς, εφαρμόζονται βελτιστοποίηση ώστε να μπορέσει να βρεθεί η βέλτιστη διαδρομή, ο βέλτιστος χρόνος αναμονής, η βέλτιστη κατανάλωση ενέργειας και η βέλτιστη ταχύτητα. Σε ένα ευφυές σύστημα μεταφορών με γνώμονα το διαδίκτυο των πραγμάτων η βελτιστοποίηση της ποιότητας υπηρεσίας εξαιτίας της αναδυόμενης σημασίας και το σημαντικό ρόλο των ευφυών συστημάτων μεταφοράς με ιδιαίτερη αναφορά στην επικοινωνία οχήματος με όχημα βοηθά κάθε βιομηχανία μέχρι την επανάσταση στην υγειονομική περίθαλψη. Η παράδοση εντός οχημάτων με την τάση του περιεχομένου πολυμέσων έγινε αλλαγή του παραδείγματος όπου ανέδειξε κάθε σκηνή με τον καλύτερο τρόπο.

Από τη μια μεριά οι τεχνολογικές τάσεις εμπλούτισαν τη ζωή των απλών πολιτών ενώ από την άλλη μεριά η ποιότητα της υπηρεσίας (QoS) μέσα από τα τηλέφωνα έξυπνες κυψέλες και τις φορητές συσκευές διαδίκτυο των πραγμάτων IoT αναφορικά με τα

Ευφυή Συστήματα Μεταφορών

περιεχόμενο πολυμέσων παραβιάστηκε εξαιτίας της υψηλής κινητικότητας των οχημάτων. Στα πλαίσια αυτά η εγγύηση υψηλού επιπέδου QoS για τους χρήστες των οχημάτων, εξακολουθεί να αποτελεί μια κρίσιμη πρόκληση η οποία πρέπει να έχει και προσεκτική αντιμετώπιση. Καθώς μάλιστα υπάρχει υψηλή κινητικότητα, η ασύρματη σύνδεση υφίσταται μεγαλύτερη διακύμανση στην ένδειξη λαμβανομένων σήματος στο σταθμό βάσης δηλαδή περισσότερο λόγο για μικρότερη αξιοπιστία και απώλεια πακέτων (RSSI), λιγότερη διαθεσιμότητα δηλαδή μικρότερη κάλυψη, λιγότερη βιωσιμότητα δηλαδή μικρότερη διάρκεια ζωής μπαταρίας και λιγότερη περιβαλλοντική ενσυναίσθηση δηλαδή υψηλή αποστράγγιση ισχύος.

Επιπρόσθετα, εξαιτίας των περιορισμένων πόρων η φύση των φορητών συσκευών στην άκρη των υπολογιστών οι οποίες είναι βασισμένες σε δίκτυα IoT, θεωρούν πολύ δύσκολο ότι είναι στην ικανοποίηση των απαιτήσεων των χρηστών με την παρακολούθηση του περιεχόμενου βίντεο των οχημάτων ασθενών έκτακτης ανάγκης δηλαδή τα ασθενοφόρα. Η υψηλή κινητικότητα των οχημάτων μάλιστα στην επικοινωνία όχημα με όχημα, μπορεί να επηρεάσει πολύ την απόφαση του δικτύου καθώς και την αντίληψη και ικανοποίηση των χρηστών καθώς ανταλλάσσονται ευαίσθητες και κρίσιμες πληροφορίες. Τα τελευταία χρόνια η πληροφορική έφερε μια μεγάλη επανάσταση στο τοπίο της αυτοκινητοβιομηχανίας, ειδικά στη ροή πολυμέσων σε V2V επικοινωνίες βελτιστοποιώντας το QoS από την άποψη του περιβάλλοντος, της διαθεσιμότητας και αξιοπιστίας και της βιωσιμότητας (Premsarker et al., 2018). Επιπλέον, κάποιες συσκευές οι οποίες είναι βασισμένες σε μπαταρίες και βασίζονται επίσης στο IoT έφερα σημαντική επανάσταση σε ολόκληρη την πλατφόρμα των ευφυών συστημάτων μεταφοράς θεωρώντας έτσι απαραίτητη τη βελτιστοποίηση της κατανάλωσης ενέργειας και της διάρκειας ζωής της μπαταρίας καθώς διαρκή επικοινωνία ανάμεσα στους χρήστες όπως αυτή στα έξυπνα περιβάλλοντα υγειονομικής περίθαλψης όπου γιατροί, ιατρικό και παραϊατρικό προσωπικό ασθενείς και νοσηλευτές συνηθίζουν εύκολα να ανταλλάσσουν τις ημερήσιες αναφορές στο σχετικό τους περιεχόμενο όπως για παράδειγμα προφύλαξη και άσκηση, συμβουλές στη διατροφή δοσολογία κ.λπ. (He et al., 2016).

Η δυναμική ωστόσο άφιξη των οχημάτων μπορεί να οδηγήσει σε μεγαλύτερη απώλεια και διάχυση ισχύος RSSI, και επομένως σε μικρότερη διάρκεια ζωής μπαταρίας των ευφυών συστημάτων μεταφοράς τα οποία είναι βασισμένα στο IoT, θέτοντας σε

## Ευφυή Συστήματα Μεταφορών

κίνδυνο την ποιότητα ολόκληρου του συστήματος μεταφορών τόσο από πλευράς χρήστη όσο και από πλευράς δικτύου. Για τους λόγους αυτούς οι σημερινές πλατφόρμες όχημα με όχημα οφείλουν να είναι εξοπλισμένες με τεχνολογίας τελευταίας γενιάς καθώς και εργαλεία για να διευκολυνθούν οι τελικοί χρήστες στη βελτιστοποίηση της κινητικότητας στη διάρκεια ζωής της μπαταρίας και στράγγισης ισχύος (Li et al., 2016). Αν και είναι πολύ υποσχόμενα τα αναδυόμενα δίκτυα υπολογιστών αιχμής στην ικανοποίηση των απαιτήσεων QoS του χρήστη καθώς μεταδίδονται περιεχόμενα πολυμέσων σε όχημα με όχημα, μια δίκαιη ωστόσο και έξυπνα κατανομή πόρων για τα ογκώδη δεδομένα του αριθμού των οχημάτων χρειάζεται στρατηγικό μοτίβο με προηγμένες τεχνικές έτσι ώστε να αποκτηθεί υψηλή αξιοπιστία και χαμηλή αποστράγγιση μπαταρίας και ρεύματος (Imran et al., 2014).

Τα πολυμέσα επικοινωνίας για οχήματα σε κίνηση οι υπηρεσίες πολυμέσων επί του οχήματος σε οχήματα όπως είναι οι εικόνες χάρτη για σωστό οδηγό οχημάτων, βιντεοπαιχνίδια και την ψυχαγωγία, διάφορα βίντεο και πλοήγηση αποτελούν τους βασικούς τομείς έμπνευσης για να συνεχίσει η βελτιστοποίηση QoS στην επικοινωνία πολυμέσων V2V. Για να μπορέσει άλλωστε να φτιαχτεί μια δίκαιη και αποτελεσματική κατανομή των πόρων εντός του οχήματος τα σενάρια επικοινωνίας δικτύου θεωρείται απαραίτητο να ενσωματωθούν σε τεχνολογίες μελλοντικής γενιάς υπολογιστών αιχμής για να διευκολυνθούν οι χρήστες και τα προγράμματα οδήγησης με βολικό τρόπο.

Ειδικότερα, τα μελλοντικά δίκτυα έχουν στόχο να πληρούν κάποια κριτήρια και από τους 2 τελικούς χρήστες και από το κεντρικό δίκτυο με πολλές βασικές ή και διαφορετικές εφαρμογές όπως για παράδειγμα διαθέσιμη και αξιόπιστη πλατφόρμα, βιώσιμη και πράσινη ανάπτυξη και υπηρεσίες πλοήγησης εν κινήσει πολυμέσων. Επιπρόσθετα, μπορεί να γίνει χρήση του edge computing για να υποστηριχθεί η υψηλή κινητικότητα και ταχύτητα με κλιμακωτή και ευέλικτη πλατφόρμα πολυμέσων μεταδίδοντας μεγάλους ρυθμούς δεδομένων πάνω από υψηλό εύρος ζώνης οπουδήποτε και ανά πάσα στιγμή. Τέλος, η απόδοση δικτύου αναφορικά με το QoS μπορεί να βελτιστοποιηθεί με τη ρύθμιση των μετρήσεων απόδοσης δηλαδή διαθεσιμότητα, αξιοπιστία, βιωσιμότητα και πράσινη ανάπτυξη, ώστε να αυξηθεί η κάλυψη και η χωρητικότητα του δικτύου στις αγροτικές και αστικές περιοχές (Li et al., 2014).

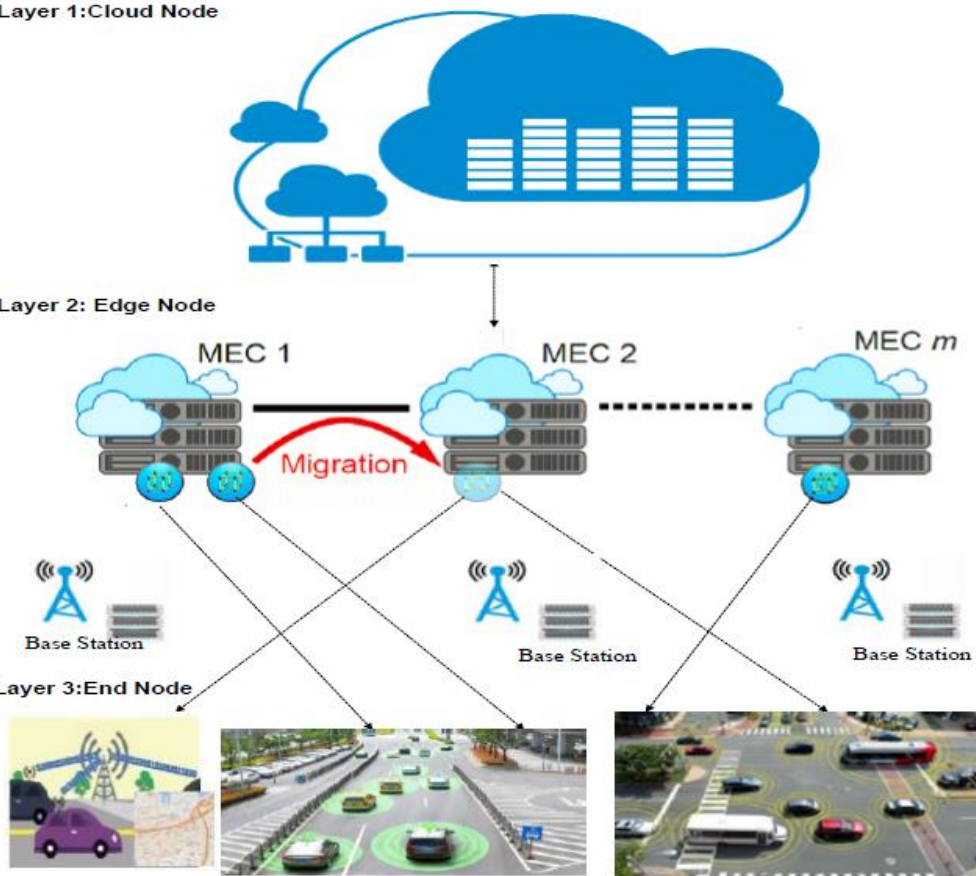


## Ευφυή Συστήματα Μεταφορών

Layer 1: Cloud Node

Layer 2: Edge Node

Layer 3: End Node



Εικόνα : Πλαίσιο Ευφυούς Συστήματος Μεταφορών

## **Κεφάλαιο 8. Τεχνολογία Blockchain για Ευφυή Συστήματα Μεταφορών**

Η τεχνολογία Blockchain άλλαξε ριζικά τα ψηφιακά νομίσματα από την εισαγωγή του Bitcoin. Αυτή η νέα αποκεντρωμένη τεχνολογία αντιπροσωπεύει ένα κατακεντρωμένο καθολικό δίκτυο το οποίο έχει τη δυνατότητα διατήρησης αμετάβλητου αρχείου καταγραφής συναλλαγών μέσα σε αυτό. Αν και η κύρια ερευνητική εστίαση σχετικά με τη χρήση του είναι στο χρηματοπιστωτικό τομέα πρόσφατα και κάποιες επιστημονικές κοινότητες έστρεψαν την προσοχή τους στο διαδίκτυο των πραγμάτων υιοθετώντας την ώστε να μπορέσει να δημιουργήσει ένα ασφαλές, αξιόπιστο και αποκεντρωμένο περιβάλλον. Η ανάπτυξη του Blockchain οδήγησε στο να εμφανιστεί υψηλή τεχνολογία σε ενεργούς και ευαίσθητους τομείς με τη διασφάλιση της αξιοπιστίας των πληροφοριών μέσα από τη διαφάνεια των συναλλαγών, στα μεταβλητά αρχεία και τη συναίνεση. Ωστόσο, προστιθέμενη αξία του Blockchain αποτελούν η ενισχυμένη εμπιστοσύνη και η ασφάλεια (Reyna, 2018).

Επιπρόσθετα, εξαιτίας της χρήσης των έξυπνων συμβολαίων η αυτοματοποίηση και η βελτιστοποίηση της διαδικασίας χειρισμού πληροφοριών επιτεύχθηκε με εξοικονόμηση κόστους. Συγκριτικά με τις παραδοσιακές κεντρικές αρχιτεκτονικές η τεχνολογία Blockchain παρουσιάζει πολλά πλεονεκτήματα. Υπάρχουν ωστόσο και κάποια προβλήματα όπως είναι ο περιορισμός της αποθήκευσης, ενώ πρέπει να ληφθούν υπόψη και το υψηλό κόστος και η ευελιξία. Μπορούν να εισαχθούν σημαντικές ευκαιρίες και οφέλη από το συνδυασμό της τεχνολογίας Blockchain με το IoV. Συγκεκριμένα, με την ενοποίηση αυτή μπορεί να βελτιωθεί σημαντικά η αποτελεσματική διαχείριση του IoV, η αποθήκευση μεγάλων δεδομένων, η ευφυία και η ασφάλεια. Οι Smetanin et al. (2020) διερεύνησαν τα σχετικά βιομηχανικά και ακαδημαϊκά εμπόδια στην εφαρμογή Blockchain στη διαχείριση μεταφορών, εφοδιαστικής αλυσίδας και logistics εστιάζοντας σε τέσσερα clusters: την τεχνολογία, εμπιστοσύνη, εμπόριο και διαφάνεια και ιχνηλασιμότητα.

Η μελέτη αυτή ωστόσο δεν μπόρεσε να αναλύσει την εφαρμογή του Blockchain μέσω Hyperledger, Ethereum και Bitcoin. Στην πραγματικότητα επικεντρώθηκε στον τομέα της εφαρμογής αλλά δεν εξετάστηκαν τα ανοιχτά προβλήματα. Οι Butt et al. (2019) εξερεύνησαν τα ζητήματα απορρήτου και τους κρίσιμους παράγοντες στα κοινωνικό

Ευφυή Συστήματα Μεταφορών

περιβάλλον IoV (SlOV). Διερευνήθηκαν από τους συγγραφείς οι παράγοντες οι οποίοι είναι απαραίτητοι για το απόρρητο των συστημάτων αυτών και περιλαμβάνουν την αρχιτεκτονική, την επίγνωση περιβάλλοντος, στις προτιμήσεις χρήστη, τις κοινωνικές σχέσεις, τις τεχνολογίες επικοινωνίας, τους στόχους, τις εφαρμογές και την ασφάλεια. Σημειώνεται ότι η μελέτη αυτή εξέτασε μόνο την προοπτική της ιδιωτικής ζωής ενώ δεν συζητήθηκαν άλλες προκλήσεις. Οι Astarita et al. (2019) χρησιμοποίησαν τη μεθοδολογία πολλαπλών βημάτων για να ανασκοπήσουν σχετικές μελέτες για την εφαρμογή Blockchain ταυτοποιώντας πρωταρχικά κενά στη βιβλιογραφία και τρέχουσες ερευνητικές τάσεις καθώς και κάποιες πιθανές μελλοντικές προκλήσεις.

Ωστόσο κάποια θέματα τα οποία αφορούν γενικά θέματα εμπιστοσύνης, διαδικτύου των πραγμάτων, εμπορίου και θεμάτων επιχειρήσεων δεν υπήρξαν. Οι Gupta et al. (2020) διερεύνησαν την ταξινόμηση απειλών όπως είναι η πλαστοπροσωπία, η άρνηση υπηρεσίας, ο συγχρονισμός και επιθέσεις σκουληκότρυπας σε αυτόνομα οχήματα (AV) μέσα από διαθεσιμότητα υπηρεσιών, έλεγχο ταυτότητας και λογοδοσία. Το πλεονέκτημα της μελέτης αυτής είναι ότι περιλαμβάνεται επίσης η ταξινόμηση των επιθέσεων AV. Οι συγγραφείς ωστόσο, δεν συζήτησαν σε βάθος τις ερευνητικές προκλήσεις που σχετίζονται με τα συστήματα αυτά τα οποία είναι βασισμένα σε Blockchain. Οι El-Switi και Qatawneh (2021) ερεύνησαν τη χρήση της τεχνολογίας αυτή στην αγορά μεταχειρισμένων οχημάτων έχοντας στόχο να εξαλειφθεί η απάτη με τη χρήση ενός ασφαλούς καθολικού για την καταγραφή τρόπου των γεγονότων του κύκλου ζωής των οχημάτων.

Καθώς η αγορά των μεταχειρισμένων οχημάτων αποτελεί ένα κρίσιμο οικονομικό τομέα ο οποίος χαρακτηρίζεται από υψηλές δυνατότητες απάτης όπως όπως είναι η απάτη χιλιομετρική, και πολλούς ενδιαφερόμενους οι συγγραφείς υποστήριξαν ότι θεωρήθηκε εξαιρετικά σημαντική η επινόηση μιας απαραίτητης λύσης για την καταγραφή και την παρακολούθηση δεδομένων του οχήματος. Η μελέτη αυτή καθόρισε λοιπόν τα κίνητρα για τους ενδιαφερόμενους για να διατηρήσουν και να διαχειριστούν το Blockchain, ενώ δόθηκε και έμφαση σε ζητήματα απορρήτου χωρίς όμως να αναλυθούν οι περιορισμοί Blockchain. Οι Iqbal et al. (2021) συνόψισαν πιο πρόσφατες μελέτες. Αν και παρουσιάστηκε μια εκτενής συγκριτική μελέτη από διαφορετικές προσεγγίσεις και σενάρια, αναλύθηκαν και συγκρίθηκαν μόνο 14 ερευνητικές συνεισφορές. Οι

Mendiboure et al. (2020) ανέλυσαν και συνέκριναν τις τρέχουσες εφαρμογές της τεχνολογίας Blockchain για να βελτιωθεί η ασφάλεια, το απόρρητο και η εμπιστοσύνη στα περιβάλλοντα των θυμάτων.

Ένα από τα πιο σημαντικά πράγματα ήταν η έρευνα των κύριων προκλήσεων της ενσωμάτωσης της τεχνολογίας Blockchain σε δίκτυα οχημάτων όπως για παράδειγμα αξιολόγηση απόδοσης και περιορισμοί οχημάτων δικτύου. Ωστόσο και αν και οι συγγραφείς επικεντρώθηκαν εκτενώς στις προκλήσεις δεν εξετάστηκε η εφαρμογή του Blockchain σε δίκτυα οχημάτων. Οι Mollah et al. (2021) εξέτασαν τις εξελίξεις αιχμής στο Blockchain για IoV έχοντας στόχο να εντοπίσουν δυνατότητες περιοχές εφαρμογής. Αν και αναλύθηκαν τα πρωταρχικά προβλήματα, τα οποία ήταν σχετιζόμενα με την εφαρμογή του Blockchain στο IoV ωστόσο, η μεθοδολογία ταξινόμησης των αναλυόμενων εργασιών δεν λήφθηκε υπόψη. Οι Wang et al. (2020) ερεύνησαν την κυβερνοασφάλεια για δίκτυα οχημάτων ταπτήτων βασισμένα στην τεχνολογία αυτή, ενώ συζήτησαν την ανάλυση απειλών για την ασφάλεια στον κυβερνοχώρο των δικτύων των οχημάτων χωρίς ωστόσο να συμπεριλάβουν τις πρόσφατες εξελίξεις στην τεχνολογία πέμπτης γενιάς (5G). Επίσης δεν ελήφθησαν υπόψη τα αναλυτικά δεδομένα των μεγάλων δεδομένων καθώς και η μηχανική μάθηση. Οι Dibaei et al. (2022) διερεύνησαν την ενσωμάτωση καινοτόμων τεχνολογιών όπως για παράδειγμα μηχανική μάθηση και Blockchain στο IoV για την ασφάλεια των δικτύων οχημάτων.

Οι προκλήσεις ωστόσο οποίες εμποδίζουν την εφαρμογή της βαθιάς μάθησης και του Blockchain στα δίκτυα οχημάτων δεν ερευνηθήκαν και τόσο καλά. Οι Wang et al. (2020) ερεύνησαν διάφορες πτυχές όπως για παράδειγμα τη διατήρηση του απορρήτου στο IoV, διαχείριση πιστοποιητικών, διαχείριση εμπιστοσύνης και ασφάλεια IoV που βασίζεται σε Blockchain, της εφαρμογής Blockchain στο IoV. Αυτοί όμως συζήτησαν λεπτομερώς τα ανοιχτά θέματα και τις συστάσεις για περαιτέρω έρευνα το οποίο όμως δεν παρασχέθηκαν. Οι Mikavitsa and Kostić-Ljubicavljević (2021) αξιολόγησαν την τελευταία λέξη της τεχνολογίας σε αρχιτεκτονικές blockchain σύμφωνα με τα κύρια χαρακτηριστικά τους και τους στόχους οι οποίοι είναι σχετιζόμενοι με τη διαχείριση εμπιστοσύνης, τη διατήρηση της ιδιωτικής ζωής και την ασφάλεια.

Εφόσον στόχος της μελέτης ήταν η ενίσχυση της ασφάλειας σε υπηρεσίες δικτύου

Ευφυή Συστήματα Μεταφορών

οχημάτων. Δεν εστίασε ωστόσο σχετικά με τις προκλήσεις οι οποίες εμπλέκονται στην εφαρμογή του Blockchain. Συνεπώς δεν προτάθηκαν πιθανές κατευθύνσεις για να επιλυθούν τέτοια προβλήματα. Οι Megha et al. (2020) επέλεξαν την προσέγγιση μηχανών λογισμικού για να κατηγοριοποιήσουν και να αξιολογήσουν τις λύσεις προβλημάτων στη βιομηχανία AV με χρήση του Blockchain. Η μελέτη επικεντρώθηκε στις Εφαρμογές των Blockchains στα IoV, ένα τόνισε αρκετές πτυχές της εφαρμογής του Blockchain σε IoVs επιλύοντας τα προβλήματα. Ωστόσο, η μελέτη έλαβε υπόψη μόνο 22 μελέτες. Οι Khoshavi et al. (2021) διερεύνησαν τις πιθανές εφαρμογές του Blockchain στα συστήματα μεταφορών και την πιθανή ενσωμάτωσή τους στα συνδεδεμένα και αυτόματα οχήματα (CAV). Πιο συγκεκριμένα, συνέκριναν τα χαρακτηριστικά ασφαλείας, ενέργειες και συντηρήσεις σε όρους του τύπου Blockchain, μειονεκτήματα και πλεονεκτήματα. Παρ'όλα αυτά, δεν εξετάστηκαν λεπτομερώς από τη μελέτη τα ανοιχτά ζητήματα ενώ δεν δόθηκαν συστάσεις για περαιτέρω έρευνα.

Οι Kumar et al. (n.d.) ερεύνησαν τρέχουσες μελέτες των οποίων στόχος ήταν η διασφάλιση του IoV με τη χρήση τεχνικών Blockchain, όπως για παράδειγμα ως βάση εμπιστοσύνης, ασφάλειας, απορρήτου, φήμης, προσεγγίσεις που διανέμονται, αποκεντρωμένης και κοινής χρήσης δεδομένων καθώς και έλεγχος ταυτότητας. Ένα από τα σημαντικά πλεονεκτήματα της μελέτης αυτής είναι ότι λήφθηκαν υπόψη μετρικά εργαλεία αξιολόγησης απόδοσης τα οποία χρησιμοποιούνται από ερευνητές και το χρονοδιάγραμμα ήταν από την οπτική γωνιά του πειραματισμού. Παρόλα αυτά δεν εξετάστηκε από τη μελέτη λεπτομερώς τα ανοιχτά ζητήματα ενώ δεν παρέχονται συστάσεις για περαιτέρω έρευνα. Οι Queiroz et al. (2020) ανέλυσαν γνωστές λύσεις για να παρουσιάσουν τον υπολογισμό άκρων σχημάτων (VEC) που είναι βασισμένες σε blockchain πλεονεκτήματα, περιορισμούς και κύρια χαρακτηριστικά, ενώ κατηγοριοποιούνται και βασίζονται σε σενάρια χρήσης. Αυτοί παρείχαν μια ολοκληρωμένη ταξινόμηση του Blockchain και Edge computing για το IoV. Ωστόσο, εξετάστηκαν μόνο 14 μελέτες.

Κάποιες προηγούμενες ερευνητικές εργασίες διερεύνησαν την υιοθέτηση του Blockchain στο IoV, παρέχοντας ταξινομίες ένα τόνο σαν τα κύρια χαρακτηριστικά, τους περιορισμούς και τα πλεονεκτήματά τους. Οι προαναφερθείσες μελέτες είχαν αρκετούς περιορισμούς ωστόσο. πρώτα από όλα η έκτασή τους ήταν περιορισμένη ως προς τον

Ευφυή Συστήματα Μεταφορών

αριθμό των αναθεωρημένων ερευνητικών εργασιών. Οι Iqbal et al. (2021) ανέλυσαν 14 μελέτες και Οι Megha et al. (2020) και Queiroz et al. (2020) θεωρείται λιγότερο από 22 μελέτες. Επιπλέον, οι κριτικές κατηγοριοποίησαν τους ερωτηθέντες σπουδές. Για παράδειγμα, οι Mollah et al. (2021) δεν περιλάμβαναν τη μεθοδολογία ταξινόμησης των αναλυόμενων εργασιών. Επί πλέον, οι κριτικές έτειναν να επικεντρώνονται μόνο σε ένα πρόβλημα που σχετίζονται με τη χρήση του Blockchain. Για παράδειγμα, οι Butt et al. (2019) εξέτασαν μόνο ζητήματα απορρήτου που σχετίζονται με περιβάλλοντα ΙοV. Οι Dibaei et al. (2022) επικεντρώθηκαν μόνο σε θέματα ασφάλειας και δεν διερευνήσε σε βάθος τις προκλήσεις της εφαρμογής εκμάθησης και Blockchain σε δίκτυα οχημάτων.

Μερικές μελέτες, δεν εξέτασαν τις προκλήσεις ή τους περιορισμούς του Blockchain. Τέλος, εικονικά όλες οι μελέτες επικεντρώθηκαν μόνο στην εφαρμογή του Blockchain σε ΙοV. Ως εκ τούτου, σε προσεχείς μελέτες, συνιστάται η διερεύνηση της χρήσης αρχιτεκτονικών Blockchain. Αναλόγως, μελλοντικές αναθεωρήσεις πρέπει να αναλύουν συστηματικά και ολοκληρωμένα τους περιορισμούς και τις προκλήσεις του ΙοV κάτι το οποίο θεωρείται κρίσιμος παράγοντας διευκόλυνσης του ITS καθώς και μελλοντικής έρευνες κατευθύνσεις και ευκαιρίες. Η ταξινόμηση εκτός από την ανάλυση των ερευνητικών συνεισφορών οι οποίες κατηγοριοποιούνται ανάλογα με τη χρήση, οφείλει να λάβει υπόψη και την αρχιτεκτονική του ΙοT.

## Κεφάλαιο 9. ITS Simulation Software

### 9.1 Περιβάλλοντα προσομοίωσης

Οι εφαρμογές RL και deep RL για TSC εκτελούνται κυρίως σε προσομοιωτές κυκλοφορίας λόγω επικίνδυνων για τη ζωή συνθηκών σε πειράματα πραγματικού κόσμου. Ορισμένοι συγγραφείς χρησιμοποιούν επίσης πραγματικά σύνολα δεδομένων για πειραματική μελέτη, αλλά παρόλα αυτά δημιουργούν ένα περιβάλλον προσομοίωσης με βάση τα πραγματικά δεδομένα (Natafgi et al., 2018). Μικροσκοπικοί προσομοιωτές μεμονωμένων οχημάτων έχουν χρησιμοποιηθεί όλα αυτά τα χρόνια για τις ITS εφαρμογές. Ο πρώτος διαθέσιμος προσομοιωτής κυκλοφορίας είναι ο προσομοιωτής κυκλοφορίας Green Light District (GLD) που βασίζεται στην Java (Wiering, 2004), που προτάθηκε αρχικά για ένα πρόβλημα TSC που βασίζεται σε RL.

Πολλές έρευνες RL εκτελούν τα πειράματά τους στον προσομοιωτή GLD, ωστόσο η πιο δημοφιλής κίνηση ανοιχτού κώδικα προσομοιωτής είναι το Simulation Urban Mobility (SUMO). Οι ανοιχτές πλατφόρμες πηγής επιτρέπουν στους χρήστες να τροποποιούν τον προσομοιωτή για τους δικούς τους σκοπούς ελεύθερα. Το SUMO επιτρέπει στους χρήστες να αλληλοεπιδρούν με το περιβάλλον χρησιμοποιώντας Python μέσω της διεπαφής ελέγχου κυκλοφορίας βιβλιοθήκη (TraCI). Τα διαφορετικά μοντέλα κυκλοφορίας μπορούν να είναι δυναμική προσομοίωση, συμπεριλαμβανομένων προσωπικών οχημάτων, δημόσιων οχημάτων και πεζοί. Το AIMSUN είναι ένας προσομοιωτής εμπορικής κυκλοφορίας που έχει υπογραφεί και διατίθεται στην αγορά από την Transport Simulation Systems (Ισπανία). Το Paramics είναι ένας από τους γνωστούς προσομοιωτές κυκλοφορίας και διανέμεται από την Quadstone Paramics (Ηνωμένο Βασίλειο). Το VISSIM είναι ένας προσομοιωτής που προτιμούν οι ερευνητές λόγω της αλληλεπίδρασής του με MATLAB, παρόμοιο με το AIMSUN.

## 9.2 Πειραματική σύγκριση αλγορίθμων δρομολόγησης με χρήση προσομοιωτή

### 9.2.1 Τρόπος αξιολόγησης επιδόσεων των αλγορίθμων

Η σχεδίαση και η ανάλυση των πρωτοκόλλων δρομολόγησης που χρησιμοποιούνται για τα ασύρματα δίκτυα κινητών αδρότητας (MANET) αποτελούν αυτήν τη στιγμή ένα ενεργό πεδίο έρευνας. Για να αξιολογηθεί η ποιότητα ενός πρωτοκόλλου δρομολόγησης, απαιτούνται μετρικές - τόσο ποιοτικές όσο και ποσοτικές - με τις οποίες να μετρήσουμε την καταλληλότητα και την απόδοσή του. Συγκεκριμένα, για τη σύγκριση απόδοσης των πρωτοκόλλων δρομολόγησης AODV, DSR, DYMO και DSDV. Οι παρακάτω μετρικές απόδοσης χρησιμοποιούνται για τη σύγκριση της απόδοσης αυτών των πρωτοκόλλων δρομολόγησης στην προσομοίωση:

- Ποσοστό Παράδοσης Πακέτων: Το ποσοστό του αριθμού των πακέτων που παράγονται από τις πηγές και παραλαμβάνονται από τους προορισμούς.
- Καθυστέρηση άκρου προς άκρο: Η καθυστέρηση άκρου προς άκρο ενός πακέτου ορίζεται ως ο χρόνος που απαιτείται για ένα πακέτο να ταξιδέψει από την πηγή στον προορισμό.
- Κατανομή Ελέγχου Πακέτων: Το ποσοστό του αριθμού των πακέτων ελέγχου που αποστέλλονται ανά πακέτο δεδομένων που αποστέλλεται.



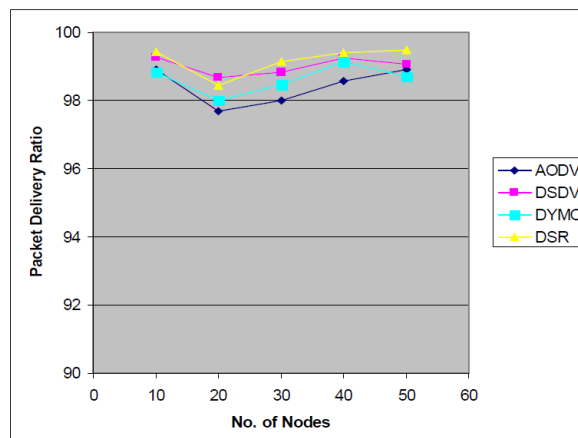
## 9.2.2 Προσομοίωση

Αυτή η ενότητα περιγράφει το εργαλείο προσομοίωσης και τις παραμέτρους που επιλέχθηκαν για την προσομοίωση των πρωτοκόλλων δρομολόγησης. Για το λογισμικό προσομοίωσης, χρησιμοποιήθηκε το Network Simulation 2 (NS-2.35) ως το πρόγραμμα προσομοίωσης για την αξιολόγηση της απόδοσης των πρωτοκόλλων δρομολόγησης AODV, DSR, DSDV και DYMO. Έχουμε εγκαταστήσει την έκδοση Dymoum-0.3 του πρωτοκόλλου DYMO στο NS-2.35. Δύο σενάρια προσομοίωσης δημιουργήθηκαν για να υπάρχει ποικιλία στον αριθμό των κόμβων ως εξής:

1. Πρώτο σενάριο με χρήση TCP (Transmission Control Protocol) κίνησης. Αριθμός nodes 10,20,30,40,50. Μέγιστη ταχύτητα 30m/s. Χρόνος προσομοίωσης 2,5 λεπτά. Χρόνος παύσης 50ms. Μέγεθος του περιβάλλοντα χώρου 500x500. Μέγιστες διασυνδέσεις μεταξύ των κόμβων 8. Τυχαία επιλογή αλλαγής διεύθυνσης των nodes.
2. Δεύτερο σενάριο με τα ίδια χαρακτηριστικά, απλώς με την χρήση CBR (Constant Bit Rate) κίνησης.

## 9.2.3 Αποτελέσματα

- Αναλογία Παράδοσης Πακέτων έναντι Αριθμού Κόμβων για TCP Κίνηση. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης του 1<sup>ου</sup> σεναρίου από το παρακάτω σχήμα δείχνουν ότι, καθώς ο αριθμός των κόμβων διαφέρει:



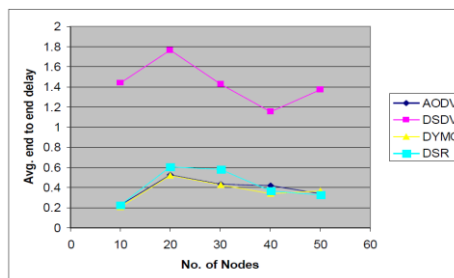
## Ευφυή Συστήματα Μεταφορών

a) Το ποσοστό παράδοσης πακέτων παραμένει σταθερό για όλα τα τέσσερα πρωτόκολλα καθώς ο αριθμός των κόμβων ποικίλλει.

b) Επιπλέον, παρατηρείται ότι το DYMO εμφανίζει υψηλότερη αναλογία παράδοσης πακέτων σε σύγκριση με το AODV.

c) Τα πρωτόκολλα DSR και DSDV παρουσιάζουν ελαφρώς υψηλότερη αναλογία παράδοσης πακέτων σε σύγκριση με τα AODV και DYMO.

➤ Μέση Καθυστέρηση από άκρο σε άκρο έναντι Αριθμού Κόμβων για TCP Κίνηση. Το παρακάτω σχήμα απεικονίζει τα εξής:



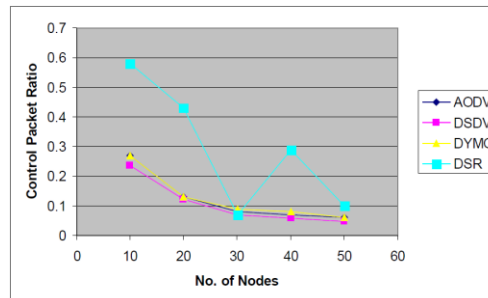
a) Το DSDV έχει την υψηλότερη μέση καθυστέρηση από άκρο σε άκρο.

b) Τα πρωτόκολλα δρομολόγησης AODV, DSR και DYMO παρουσιάζουν παρόμοιες μέσες καθυστερήσεις από άκρο σε άκρο.

c) Το DSR έχει υψηλότερη μέση καθυστέρηση από άκρο σε άκρο σε σύγκριση με τα AODV και DYMO.

## Ευφυή Συστήματα Μεταφορών

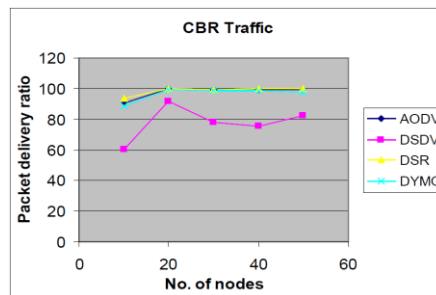
- Αναλογία Πακέτων Ελέγχου έναντι Αριθμού Κόμβων για TCP Κίνηση. Για το σενάριο κυκλοφορίας TCP με μεταβλητό αριθμό κόμβων, το γράφημα στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζει τα αποτελέσματα της προσομοίωσης και δείχνει ότι:



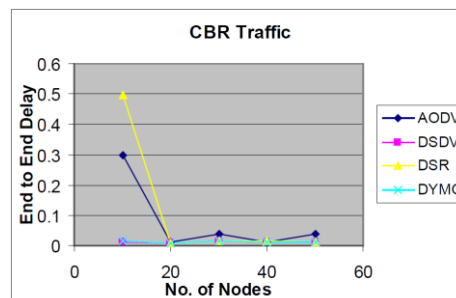
- Ο λόγος πακέτων ελέγχου του DSR είναι υψηλότερος από όλα τα υπόλοιπα πρωτόκολλα.
- Τα πρωτόκολλα AODV, DYMO και DSDV έχουν παρόμοια αναλογία πακέτων ελέγχου.

## Ευφυή Συστήματα Μεταφορών

- Αναλογία Παράδοσης Πακέτων έναντι Αριθμού Κόμβων για CBR Κίνηση. Από το παρακάτω σχήμα προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

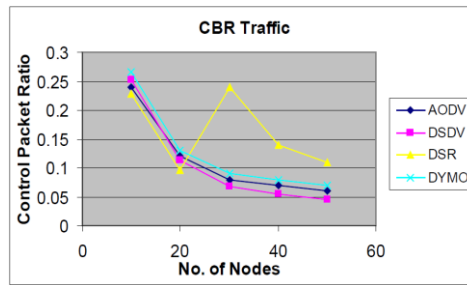


- Η αναλογία παράδοσης πακέτων για τα τρία πρωτόκολλα DYMO, DSR, AODV είναι παρόμοια.
  - Συγκριτικά, το DSDV παρουσιάζει μικρότερη αναλογία παράδοσης πακέτων.
- Μέση Καθυστέρηση από άκρο σε άκρο έναντι Αριθμού Κόμβων για CBR Κίνηση. Τα αποτελέσματα προσομοίωσης των τεσσάρων πρωτοκόλλων σε περίπτωση καθυστέρησης από άκρο σε άκρο, όπως φαίνονται παρακάτω, καταλήγουν στα εξής συμπεράσματα:



- Τα πρωτόκολλα DYMO και DSDV εμφανίζουν βελτιωμένα αποτελέσματα.
  - Αν και τα DSR και AODV έχουν υψηλή καθυστέρηση από άκρο σε άκρο για μικρό αριθμό κόμβων, για μεγάλο αριθμό κόμβων παρουσιάζουν επίσης μικρότερη καθυστέρηση.
- Αναλογία Πακέτων Ελέγχου έναντι Αριθμού Κόμβων για CBR Κίνηση. Το γράφημα παρακάτω δείχνει τα εξής:

## Ευφυή Συστήματα Μεταφορών



- a. Ο λόγος πακέτων ελέγχου για το DSR είναι υψηλότερος από τα υπόλοιπα πρωτόκολλα.
- b. Τα πρωτόκολλα AODV, DYMO και DSDV έχουν παρόμοια αναλογία πακέτων ελέγχου.

### 9.3 Συμπεράσματα Simulation

Αυτό το simulation πραγματοποιήθηκε για να αξιολογήσει την απόδοση τεσσάρων πρωτοκόλλων MANET, συγκεκριμένα των DYMO, AODV, DSR και DSDV, με βάση την κίνηση TCP & CBR. Αυτά τα πρωτόκολλα δρομολόγησης αξιολογήθηκαν ως προς την αναλογία παράδοσης πακέτων, τη μέση καθυστέρηση από άκρο σε άκρο, και την αναλογία πακέτων ελέγχου όταν υποβλήθηκαν σε αλλαγές στον αριθμό των κόμβων και τον τύπο της κυκλοφορίας. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης δείχνουν ότι το DYMO έχει καλύτερη απόδοση σε όλα αυτά τα μετρικά σε σύγκριση με το AODV. Επιπλέον, παρουσιάζει μικρότερη καθυστέρηση από άκρο σε άκρο σε σχέση με τα DSR και DSDV σε και τα δύο σενάρια. Ωστόσο, τα τελευταία δύο πρωτόκολλα έχουν ελαφρώς υψηλότερη αναλογία παράδοσης πακέτων από το DYMO.

## Βιβλιογραφία

### Ελληνική

Τουλούκη Άννα Μαρία ( 2017). Αποτίμηση της κοινωνικής και οικονομικής επίδρασης της εφαρμογής Συνεργαζόμενων Ευφυών Συστημάτων Μεταφορών σε Αστικά Δίκτυα. Αθήνα

### Ξενόγλωσση

Abedin, Z., Dhar, P., Hossenand, M.K., Deb, K., 2017. Traffic sign detection and recognition using fuzzy segmentation approach and artificial neural network classifier respectively. In: 2017 International Conference on Electrical, Computer and Communication Engineering (ECCE). IEEE, pp. 518–523.

Abdulhai, B. and Kattan, L. (2003) Reinforcement Learning: Introduction to Theory and Potential for Transport Applications. Canadian Journal of Civil Engineering, 30, 981-991.

Akyildiz I. F., Su W, Sankarasubramaniam Y, Cayirci E, 2002. "Wireless sensor network: a survey" Computer Networks, 393-422.

Al-Karaki J. N. and Kamal A. E., 2004. "Routing techniques in wireless sensor networks: A survey," IEEE Wireless Communications, vol. 11, 6.

Alani S., Zakaria Z., and Hamdi M.M. 2019. "A study review on mobile ad-hoc network : Characteristics, applications, challenges and routing protocols classification Microwave Research Group (MRG), centre for telecommunication research," vol. 28, no. 1, pp. 394–405, 2019.

Amin, M.A., Hadouej, S., Darwish, T.S., 2019. Big data role in improving intelligent transportation systems safety: a survey. In: International Conference on Emerging Internetworking, Data & Web Technologies. Springer, pp. 187–199.

An, S., Lee, B., Shin, D., 2011. A survey of intelligent transportation systems. In: 2011 Third International Conference on Computational Intelligence, Communication Systems and Networks. IEEE, pp. 332–337.

Astarita V., V. P. Giofrè, G. Mirabelli, and V. Solina, 2019. "A review of blockchain-based systems in transportation," Information, vol. 11, no. 1, p. 21, Dec. 2019.

Allard Jeremie, Paul Gonin, Minoo Singh, and Golden G. Richard III. 2002. A user level framework for ad hoc routing. In LCN '02: Proceedings of the 27th Annual IEEE Conference on Local Computer Networks, page 13, Washington, DC, USA, November 2002. IEEE.

Anamalamudi S., A. R. Sangi, M. Alkathairi, and A. M. Ahmed, 2018. "AODV routing protocol for Cognitive radio access based Internet of Things (IoT)," *Futur. Gener. Comput. Syst.*, vol. 83, pp. 228–238, 2018

Anuj Kumar Gupta, Jatinder Kaur, Sandeep Kaur, 2011 "Comparison Of Dymo, Aodv, Dsr And Dsdv Manet Routing Protocols Over Varying Traffic" pp. 77-82

Bali R.S., N. Kumar, and J. J. P. C. Rodrigues, 2014. "Clustering in vehicular ad hoc networks: Taxonomy, challenges and solutions," *Veh. Commun.*, vol. 1, no. 3, pp. 134–152, 2014.

Bar R.K., J. K. Mandal, and M. M. Singh, 2013. "QoS of MANet through trust based AODV routing protocol by exclusion of black hole attack," *Procedia Technol.*, vol. 10, pp. 530–537, 2013.

Barcelo, J., Montero, L., Bullejos, M., Serch, O., Carmona, C. 2013. "A Kalman filter approach for exploiting bluetooth traffic data when estimating time dependent OD matrices." *J. Intell. Transport. Syst.: Technol. Plann*

Bauza, R., Gozalvez, J. 2013. "Traffic congestion detection in large-scale scenarios using vehicle-to-vehicle communications."

Belding-Royer Elizabeth, Ian Chakeres, David Johnson, and Charlie Perkins. 2004. DYMO – dynamic MANET on-demand routing protocol. In Rebecca Bunch, editor, Proceedings of the Sixty-First Internet Engineering Task Force, Washington, DC, USA, November 2004. IETF.

Bila C., F. Sivrikaya, M. A. Khan, and S. Albayrak, 2017. "Vehicles of the future: A survey of research on safety issues," *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, vol. 18, no. 5, pp. 1046–1065, 2017

Bonnet P., Seshadri P., Gehrke J, 2000. "Querying the physical world," *IEEE Personal Communication*

Butt TA, R. Iqbal, K. Salah, M. Aloqaily, and Y. Jararweh, 2019. "Privacy management in social Internet of Vehicles: Review, challenges and blockchain based solutions," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 79694\_79713, 2019.

Ian D. Chakeres and Charles E. Perkins. 2006. Dynamic MANET ondemand (DYMO) routing protocol. Internet-Draft Version 4, IETF, March 2006. draft-ietf-manet-dymo-04.txt,

Charles E. Perkins, Elizabeth M. Belding - Royer, and Samir R. Das. 2003. Ad hoc on-demand distance vector (AODV) routing. RFC 3561, IETF, July 2003. rfc356.txt.

Cobo, M.J., Chiclana, F., Collop, A., de Ona, J., Herrera-Viedma, E., 2013. 'A bibliometric analysis of the intelligent transportation systems research based on science mapping'. IEEE Trans. Intell. Transport. Syst. 15 (2), 901–908.

Cooper C., D. Franklin, M. Ros, F. Safaei, and M. Abolhasan, 2017. "A comparative survey of VANET clustering techniques," IEEE Common. Surv. Tutorials, vol. 19, no. 1, pp. 657–681, 2017

Dawande J.R., S. Silakari, and A. J. Deen, 2016. "Enhanced distributed multi-hop clustering algorithm for vanets based on neighborhood follow (EDMCNF) collaborated with road side units," in Proc. - 2015 Int. Conf. Comput. Intell. Commun. Networks, 2016, pp. 106–113.

De la, Escalera, Armingol, A., J M, Mata, M., 2003. 'Traffic sign recognition and analysis for intelligent vehicles'. Image Vis Comput. 21 (3), 247–258.

M. Dibaei, X. Zheng, Y. Xia, X. Xu, A. Jolfaei, A. K. Bashir, U. Tariq, D. Yu, and A. V. Vasilakos, 2022. "Investigating the prospect of leveraging blockchain and machine learning to secure vehicular networks: A survey," IEEE Trans. Intell. Transp. Syst., vol. 23, no. 2, pp. 683–700, Feb. 2022.

Dia, H., Rose, G., 1997. 'Development and evaluation of neural network freeway incident detection models using field data'. Transport. Res. C Emerg. Technol. 5 (5), 313–331.

B. Dwivedy, A. K. Bhola, and S. Yadav, 2019. "Cluster based multi hop data dissemination protocol in V2V networks using whale optimization technique," in Proc. Int. Conf. Autom. Comput. Technol. Manag. ICACTM 2019, 2019, pp. 228–231.

S. El-Switi and M. Qatawneh, 2021. "Application of blockchain technology in used vehicle market: A review," in Proc. Int. Conf. Inf. Technol. (ICIT), Jul. 2021, pp. 49–54.

Ercan Tolga 2018. Sustainability Analysis Of Intelligent Transportation Systems



Ercan, T., Laman, H., Kucukvar, M., Tatari, O., & Al-Deek, H. (2013). Sustainability Impact Analysis of Intelligent Transportation Systems Related Congestion Relief in the U.S.: A Triple Bottom Line Approach. Orlando

M. Fahad, et al., 2018. "Grey wolf optimization based clustering algorithm for vehicular ad-hoc networks," *Comput. Electr. Eng.*, vol. 70, pp. 853–870, 2018.

Fiorini M. and Lin J.C. 2017. Clean Mobility and Intelligent Transport Systems

Gordon Cameron 2013. Applying Benefit-Cost Analysis to Intelligent Transportation Systems (ITS) and the Australian context " , Cameron Gordon, Associate Professor of Economics, Australasian Transport Research Forum 2013 Proceedings 2 - 4 October 2013, Brisbane, Australia

Graedel, T. E., & Allenby, B. 2009. *Industrial Ecology and Sustainable Engineering* (2nd ed.). Prentice Hall.

R. Gupta, S. Tanwar, N. Kumar, and S. Tyagi, 2020. "Blockchain-based security attack resilience schemes for autonomous vehicles in industry 4.0: A systematic review," *Comput. Electr. Eng.*, vol. 86, Sep. 2020, Art. no. 106717.

Haenggi M., 2005. "Opportunities and Challenges in Wireless Sensor Network," in *Handbook of Sensor Networks Compact wireless and Wired Sensing Systems*: CRC press, 21-34.

Z.He, J.Cao, X.Liu,2016. "SDN:Enabling Rapid Network Innovation for Hetrogenous Vehicular Communication", *IEEE Netwoks*, vol.30, no.1, 2016, pp.10-15.

Holfelder Wieland 2004. "Vehicle-to-Vehicle and Vehicle-to-Infrastructure Communication Recent Developments, Opportunities and Challenges.", DaimlerChrysler Research and Technology North America, Inc. Palo Alto, CA.

Z. Hong, R. Wang, and X. Li 2016. "A clustering-tree topology control based on the energy forecast for heterogeneous wireless sensor networks," *IEEE/CAA J. Autom. Sin.*, vol. 3, no. 1, pp. 68–77, 2016.

X. Hu, T. H. S. Chu, V. C. M. Leung, E. C. H. Ngai, P. Kruchten, and H. C. B. Chan, 2015. "A Survey on mobile social networks: Applications, platforms, system architectures, and

future research directions," *IEEE Commun. Surv. Tutorials*, vol. 17, no. 3, pp. 1557–1581, 2015.

S. Iqbal, R. M. Noor, and A.W. Malik, 2021. "A review of blockchain empowered vehicular network: Performance evaluation of trusted task of loading scheme," in *Proc. IEEE 11th IEEE Symp. Comput. Appl. Ind. Electron. (ISCAIE)*, Apr. 2021, pp. 367–371.

A. Imran, A. Zoha and A. Abu-Dayya, 2014. "Challenges in 5G: How to Empower SON with Big Data for Enabling 5G," *IEEE Network*, vol. 28, no. 6, Nov. 2014, pp. 27–33.

R. Jamgekar, 2017. "A robust multi-hop clustering algorithm for reliable VANET message dissemination," in *Proc. Int. Conf. Energy, Commun. Data Anal. Soft Comput.*, 2017, pp. 2599–2604.

Jandrisits M., M. Harrer, K. Kraschl-Hirschmann, A. Paier, G. Alcaraz 2016. From research and living lab to implementation of C-ITS

Janusova A. and Cicmancova S., 2016. Improving Safety of Transportation by Using Intelligent Transport Systems. Elsevier

Jin, J., Fu, K., Zhang, C., 2014. 'Traffic sign recognition with hinge loss trained convolutional neural networks'. *IEEE Trans. Intell. Transport. Syst.* 15 (5), 1991–2000. Jin, X., Srinivasan, D., Cheu, R.L., 2001. 'Classification of freeway traffic patterns for incident detection using constructive probabilistic neural networks'. *IEEE Trans. Neural Network.* 12 (5), 1173–1187. Jin, Y., Jia, Z., Wang, P., Sun, Z., Wen, K., Wang, J., 2019. 'Quantitative assessment on truck-related road risk for the safety control via truck flow estimation of various types'. *IEEE Access* 7, 88799–88810.

D.B. Johnson, D.A. Maltz, Y. Hu, 2003. The dynamic source routing protocol for mobile ad hoc network, IETF Internet Draft, draft-ietfmanetsdr-09.txt, April 2003.

N. Khoshavi, G. Tristani, and A. Sargolzaei, 2021. "Blockchain applications to improve operation and security of transportation systems: A survey," *Electronics*, vol. 10, no. 5, p. 629, Mar. 2021.

Koojana Kuladinithi, Asanga Udugama, Nikolaus A. Fikouras, and Carmelita Görg. Experimental performance evaluation of AODV implementations in static environments. <http://www.comnets.unibremen.de/~koo/AODV-Perf-ComNets.pdf>

S. Kumar, S. Velliangiri, P. Karthikeyan, S. Kumari, S. Kumar, and M. K. Khan, "A survey on the blockchain techniques for the Internet of Vehicles security," *Trans. Emerg. Telecommun. Tech-nol.*, p. e4317. [Online]. Available: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/ett.4317>, doi:10.1002/ett.4317.

H.Li et al., 2016. "Veshare: A D2D Infrastructure for Real-time Social- Enabled Vehicle Networks", *IEEE Wireless Commun.* vol. 23, 2016, pp. 96–102

T. Li, R. B. Tang, and H. Ji, 2008. "Status adaptive routing with delayed rebroadcast scheme in AODV-based MANETs," *J. China Univ. Posts Telecommun.*, vol. 15, no. 3, pp. 82–86, 2008.

L. Liu, C. Chen, T. Qiu, M. Zhang, S. Li, and B. Zhou, 2018. "A data dissemination scheme based on clustering and probabilistic broadcasting in VANETs," *Veh. Commun.*, vol. 13, pp. 78–88, 2018.

L. Mendiboure, M. A. Chalouf, and F. Krief, 2020. "Survey on blockchainbased applications in Internet of Vehicles," *Comput. Electr. Eng.*, vol. 84, Jun. 2020, Art. no. 106646.

Lu Meng 2016. Evaluation of Intelligent Road Transport Systems Methods and Results"

M. A. Masrur et al. 2017. "Military-Based vehicle-to-grid and vehicle-to-vehicle microgrid - system architecture and implementation," *IEEE Trans. Transp. Electrif.*, vol. 4, no. 1, pp. 157–171, 2017.

Mathew Tom V., 2014 'Transportation Systems Engineering', *Intelligent Transportation System( I)*

S. Megha, H. Salem, E. Ayan, and M. Mazzara, 2020. "A survey of blockchain solutions for autonomous vehicles ecosystems," *J. Phys., Conf. Ser.*, vol. 1694, no. 1, Dec. 2020, Art. no. 012024.

B. Mikavica and A. Kostić-Ljubisavljević, 2021. "Blockchain-based solutions for security, privacy, and trust management in vehicular networks: A survey," *J. Supercomput.*, vol. 77, pp. 1\_56, Feb. 2021.

J. Mu, 2017. "An improved AODV routing for the zigbee heterogeneous networks in 5G environment," *Ad Hoc Networks*, vol. 58, pp. 13–24, 2017

M. B. Natafghi, M. Osman, A. S. Haidar, and L. Hamandi, 2018. "Smart traffic light system using machine learning," in 2018 IEEE International Multidisciplinary Conference on Engineering Technology (IMCET). IEEE, 2018, pp. 1–6.

Neilson, A., Daniel, B., Tjandra, S., 2019. Systematic review of the literature on Big Data in the transportation domain: concepts and applications. *Big Data Res.* 17, 35–44.

Z. Ning, F. Xia, N. Ullah, X. Kong, and X. Hu, 2017. "Enabling mobile and wireless technologies for smart cities: Vehicular social networks: Enabling smart mobility," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 55, no. 5, pp. 49–55, 2017.

NZ Transport, A., 2014. NZ Transport Agency position statement on intelligent transport systems. Wellington: New Zealand Government

Ozbayoglu, M., Kucukayan, G., Dogdu, E., 2016. 'A real-time autonomous highway accident detection model based on big data processing and computational intelligence'. In: 2016 IEEE International Conference on Big Data (Big Data). IEEE, pp. 1807–1813.

S. Oubabas, R. Aoudjit, J. J. P. C. Rodrigues, and S. Talbi, 2018. "Secure and stable Vehicular Ad Hoc Network clustering algorithm based on hybrid mobility similarities and trust management scheme," *Veh. Commun.*, vol. 13, pp. 128–138, 2018.

C.E. Perkins, E.M. Belding-Royerand, I.D. Chakeres, 2004. Ad Hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing, IETF Internet Draft, draftperkins-manet-aodvbis-01.txt, January 2004.

G. Premsanker, B. Ghaddar, M. Di Francesco, R. Verago 2018. "Efficient placement of edge computing devices for vehicular applications in smart cities", NOMS 2018 - 2018 IEEE/IFIP Network Operations and Management Symposium, Taipei, Taiwan, April, 2018.

Qureshi, K.N., Abdullah, A.H., 2013. 'A survey on intelligent transportation systems'. *Middle East J. Sci. Res.* 15 (5), 629–642.

A. Reyna, C. Martín, J. Chen, E. Soler, and M. Díaz, 2018. "On blockchain and its integration with IoT. Challenges and opportunities," *Future Gener. Comput. Syst.*, vol. 88, pp. 173\_190, Nov. 2018.

A. I. Saleh, S. A. Gamel, and K. M. Abo-Al-Ez, 2017. "A reliable routing protocol for vehicular ad hoc networks," *Comput. Electr. Eng.*, vol. 64, pp. 473–495, 2017.

Sheng, Y., Zhang, K., Ye, C., Liang, C., Li, J., 2008. 'Automatic detection and recognition of traffic signs in stereo images based on features and probabilistic neural networks', *Optical and Digital Image Processing*. International Society for Optics and Photonics, 70001I.

S. Sirsikar and K. Wankhede, 2015. "Comparison of clustering algorithms to design new clustering approach," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 49, no. 1, pp. 147–154, 2015

S. Smetanin, A. Ometov, M. Komarov, P. Masek, and Y. Koucheryavy, 2020. "Blockchain evaluation approaches: State-of-the-art and future perspective," *Sensors*, vol. 20, no. 12, p. 3358, 2020, doi: 10.3390/s20123358

Stephanedes, Y.J., Chassiakos, A.P. and Michalopoulos, P.G. 1992. "Comparative performance evaluation of incident detection algorithms." *Transportation Research Record*, No. 1360, TRB, National Research Council

E. Uhlemann, 2016. "Connected-Vehicles applications are emerging [Connected Vehicles]," *IEEE Veh. Technol. Mag.*, vol. 11, no. 1, pp. 25–29, 2016

Vanajakshi, L., Rilett, L.R., 2004. A comparison of the performance of artificial neural networks and support vector machines for the prediction of traffic speed. In: *IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, 2004. IEEE, pp. 194–199.

Vlahogianni, E.I., Karlaftis, M.G., Golias, J.C., 2005. 'Optimized and meta-optimized neural networks for short-term traffic flow prediction: a genetic approach',. *Transport. Res. C Emerg. Technol.* 13 (3), 211–234.

X.Wang, C. Xu, Z. Zhou, S. Yang, and L. Sun, 2020. "A survey of blockchainbased cybersecurity for vehicular networks," in *Proc. Int. Wireless Commun. Mobile Comput. (IWCMC)*, Jun. 2020, pp. 740\_745.

M. Wiering, J. Vreeken, J. Van Veenen, and A. Koopman, 2004. "Simulation and optimization of traffic in a city," in *IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, 2004. IEEE, 2004, pp. 453–458.

Yuan, Y., Xiong, Z., Wang, Q., 2016. 'An incremental framework for video-based traffic sign detection, tracking, and recognition'. *IEEE Trans. Intell. Transport. Syst.* 18 (7), 1918–1929

Yang, Z., Pun-Cheng, L.S., 2018. 'Vehicle detection in intelligent transportation systems and its applications under varying environments: a review',. *Image Vis Comput.* 69, 143–154.

Z. Zhang, M. Ma, and Y. Yang, 2008. "Energy-efficient multihop polling in clusters of two-layered heterogeneous sensor networks," *IEEE Trans. Comput.*, vol. 57, no. 2, pp. 231–245, 2008.

D. Zhang, H. Ge, T. Zhang, Y. Y. Cui, X. Liu, and G. Mao, 2019. "New multi-hop clustering algorithm for vehicular ad hoc networks," *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, vol. 20, no. 4, pp. 1517–1530, 2019

Zhang, J., Wang, F., Wang, K., Lin, W., Xu, X., Chen, C., 2011. 'Data-driven intelligent transportation systems: a survey'. *IEEE Trans. Intell. Transport. Syst.* 12 (4), 1624–1639.

Zhang, L., Shi, X., Xia, Y., Mao, K., 2013. A multi-filter based license plate localization and recognition framework. In: 2013 Ninth International Conference on Natural Computation (Icnc). IEEE, pp. 702–707.

Zhang, W., Chen, L., Gong, W., Li, Z., Lu, Q., Yang, S., 2015. An integrated approach for vehicle detection and type recognition. In: 2015 IEEE 12th Intl Conf on Ubiquitous Intelligence and Computing and 2015 IEEE 12th Intl Conf on Autonomic and Trusted Computing and 2015 IEEE 15th Intl Conf on Scalable Computing and Communications and its Associated Workshops (UIC-ATC-ScalCom). IEEE, pp. 798–801.

Zhang, X., Onieva, E., Perallos, A., Osaba, E., Lee, V.C., 2014. 'Hierarchical fuzzy rule-based system optimized with genetic algorithms for short term traffic congestion prediction'. *Transport. Res. C Emerg. Technol.* 43, 127–142.

Zhu, L., Yu, F.R., Wang, Y., Ning, B., Tang, T., 2018. 'Big data analytics in intelligent transportation systems: a survey'. *IEEE Trans. Intell. Transport. Syst.* 20 (1), 383–398.

Zhu, Z., Yang, Z., 1998. 'Dynamic prediction of traffic flow by using backpropagation neural network', *traffic and transportation studies*. ASCE, 548–555.

Zhuanglin Maa, Chunfu Shao, Yang Song, Jun Chen 2014. "Driver response to information provided by variable message signs in Beijing", *Transportation Research*

Antoniou, M. S. and J. (2019). Quality of User Experience in 5G-VANET (pp. 1–6). 2019 IEEE 24th International Workshop on Computer Aided Modeling and Design of Communication Links and Networks (CAMAD), 2019.