



ΔΙΕΘΝΕΣ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ
ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ



**Ρύθμιση του χρονισμού της φωτεινής σήμανσης
διασταυρώσεων σύμφωνα με το ρυθμό κυκλοφορίας
των οχημάτων**

Πτυχιακή Εργασία των

ΠΕΤΡΟΥ ΙΩΑΝΝΗΣ (ΚΑΣ:513147)

ΙΩΑΝΝΙΔΗΣ ΞΕΝΟΦΩΝ (ΚΑΣ:512039)

Επιβλέπων Καθηγητής

ΔΗΜΗΤΡΙΑΔΗΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2020

Τίτλος Π.Ε.: Ρύθμιση του χρονισμού της φωτεινής σήμανσης διασταυρώσεων ανάλογα με το ρυθμό κυκλοφορίας των οχημάτων.

Κωδικός Π.Ε.: 18159

Όνοματεπώνυμο φοιτητών: Πέτρου Ιωάννης (513147) και Ιωαννίδης Ξενοφών (512039).

Όνοματεπώνυμο επιβλέπων καθηγητή: Δημητριάδης Παναγιώτης

(Εργαστηριακός Συνεργάτης)

Ημερομηνία ανάληψης Π.Ε.: 28-11-2019

Ημερομηνία περάτωσης Π.Ε.: 15-09-2020

Βεβαιώνω ότι είμαι ο συγγραφέας αυτής της εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, έχω καταγράψει τις όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών, εικόνων και κειμένου, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες. Επιπλέον, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία προετοιμάστηκε από εμένα προσωπικά, ειδικά ως διπλωματική εργασία, στο Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του ΔΙ.ΠΑ.Ε.

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία των φοιτητών Πέτρου Ιωάννη και Ιωαννίδη Ξενοφών που την εκπόνησαν. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης, ο συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο Διεθνές Πανεπιστήμιο της Ελλάδος άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσης της εργασίας διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο της εργασίας, δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του συγγραφέα/δημιουργού, ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, πώληση, εμπορική χρήση, διανομή, έκδοση, μεταφόρτωση (downloading), ανάρτηση (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του συγγραφέα/δημιουργού.

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του Διεθνούς Πανεπιστημίου της Ελλάδος, δεν υποδηλώνει απαραίτητα και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα, εκ μέρους του Τμήματος.

Αφιερώνεται στις οικογένειες μας που με την πολύτιμη στήριξη τους μας έδωσαν το προνόμιο να σπουδάσουμε σε μια δύσκολη οικονομικά εποχή. Επίσης, ευχαριστούμε τους καθηγητές για την γνώση που μας πρόσφεραν, αλλά κυρίως τον κ. Δημητριάδη για την βοήθεια του στην πτυχιακή εργασία.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Στην καθημερινή μας ζωή, με το αυτοκίνητο μας ή με τα μέσα μαζικής μεταφοράς ή ακόμα όταν είμαστε πεζοί, επηρεαζόμαστε από λίγο έως και πολύ από την ένταση της κυκλοφορίας των οχημάτων και προσαρμοζόμαστε στο πότε και προς τα πού θα κινηθούμε από τους φωτεινούς σηματοδότες.

Στο πρώτο κεφάλαιο αυτής της εργασίας γίνεται γενική αναφορά στους φωτεινούς σηματοδότες. Επίσης, αναπτύσσεται η ιστορία τους και το πώς εξελίχθηκαν με τον καιρό. Εν συνεχεία αναφέρονται οι κατάλληλες θέσεις τοποθέτησης τους, οι φωτεινές πηγές τους και ο τρόπος λειτουργίας τους. Στο ίδιο κεφάλαιο αναφέρονται και αναλύονται οι διάφοροι τύποι ανιχνευτών κυκλοφορίας όπως, οι ανιχνευτές πίεσης, πιεζοηλεκτρικοί αισθητήρες, παθητικοί υπέρυθροι (Passive infrared sensors - PIR), τα ραντάρ μικροκυμάτων, οι ενεργοί υπέρυθροι αισθητήρες, οι ενεργητικοί ακουστικοί υπερήχων και οι παθητικοί ακουστικοί υπερήχων. Αλλά οι πλέον δημοφιλείς αισθητήρες, που χρησιμοποιούνται παγκοσμίως, είναι οι επαγωγικοί και οι μαγνητικοί. Κατωτέρω, αναλύονται οι κάμερες και η αυτόματη επεξεργασία εικόνας βίντεο με σκοπό την καταμέτρηση των οχημάτων. Τέλος εξηγείται το πώς γίνεται η τοποθέτηση των ανιχνευτών οχημάτων.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται αναλυτική αναφορά ως προς την μελέτη του συστήματος, με εμβάθυνση στον τρόπο λειτουργίας του και τις μαθηματικές εξισώσεις που δημιουργήθηκαν για την επίλυση του προβλήματος.

Στο τρίτο κεφάλαιο Εδώ, παρατίθενται τα τεχνικά χαρακτηριστικά και οι δυνατότητες του Arduino Uno R3 SMD, που χρησιμοποιείται στην κατασκευή. Επίσης, παρουσιάζονται οι διάφοροι αισθητήρες που μελετήθηκαν για την τοποθέτησή τους στην μακέτα, οι λόγοι που απορρίφθηκαν και το τελικό σύστημα αισθητήρων που χρησιμοποιήθηκε.

Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται η περιγραφή της όλης συνδεσμολογίας του συστήματος, με τις σχετικές επεξηγήσεις. Εν τέλει, γίνεται η παρουσίαση και περιγραφή των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν για την υλοποίηση της μελέτης, μέσα από πλούσιο φωτογραφικό υλικό ξεδιπλώνεται η κατασκευή της μακέτας.

Στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στο προγραμματιστικό περιβάλλον Arduino IDE. Εν συνεχεία, υπάρχει αναλυτική επεξήγηση του κώδικα και εν κατακλείδι, το πρόγραμμα που "τρέχει" το σύστημα μας με σχόλια για την καλύτερη κατανόηση του.

Τέλος, αναφέρονται συμπεράσματα και προτάσεις για βελτιώσεις του συστήματος, όπως και η βιβλιογραφία που χρησιμοποιήθηκε και τα τεχνικά χαρακτηριστικά (datasheets) του μικροελεγκτή.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ως είναι γνωστό, η κυκλοφοριακή κίνηση, όσον αφορά και στις διασταυρώσεις, ποικίλει κατά τη διάρκεια της ημέρας. Συνήθως, σε μία διασταύρωση οι χρόνοι του κόκκινου/πράσινου των σηματοδοτών είναι σταθεροί, καθ' όλο το 24-ωρο, με αποτέλεσμα να δημιουργείται μία δυσλειτουργία στη ροή των οχημάτων, επειδή η ροή ενός δρόμου, σε σχέση με άλλον/ους διασταυρούμενο/ους αλλάζει τακτικά. Η παρούσα πτυχιακή εργασία αφορά την μελέτη και κατασκευή πρωτότυπου συστήματος λειτουργίας έξυπνων φαναριών, σε στοιχειώδη, βασική διασταύρωση, διπλής κατεύθυνσης, που βοηθάει στην κυκλοφοριακή κίνηση, ώστε, ανάλογα με τη ροή των αυτοκινήτων να γίνεται η συνεχής διόρθωση του χρόνου καθυστέρησης των κόκκινων και πράσινων φωτεινών σηματοδοτών. Δηλαδή, όπου υπάρχει περισσότερη/λιγότερη ροή οχημάτων σε ένα διασταυρούμενο δρόμο με έναν άλλο, σύμφωνα με τον συνεχή έλεγχο της ροής των οχημάτων (μέσω αισθητηρίων), ο χρόνος του αντιστοίχου πράσινου σηματοδότη να είναι ανάλογος (μεγαλύτερος/μικρότερος), σε σχέση με τον έτερο (μικρότερο/μεγαλύτερο) διασταυρούμενο.

Adjusting the timing of traffic light intersections depending on traffic

PETROU IOANNIS & IOANNIDIS XENOFON

ABSTRACT

As it is known, the traffic, in terms of intersections, varies during the day. Usually, at one intersection, the red / green times of the traffic lights are constant, 24 hours a day, resulting in a malfunction in the flow of vehicles, because the flow of a road, in relation to other intersections, changes regularly. The present dissertation concerns the study and construction of an intelligent traffic lights system, at an intersection, which would help the traffic, so that depending on the flow of cars, there is a continuous correction of the delay time of the red and green traffic light. That is, where there is more vehicle flow on one intersection with another, the time of the corresponding green signal is proportional (longer), relative to the shorter of the other intersection.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο : ΦΩΤΕΙΝΟΙ ΣΗΜΑΤΟΔΟΤΕΣ	1
1.1 Ορισμός.....	1
1.2 Ιστορία των φωτεινών σηματοδοτών.....	1
1.3 Είδη φωτεινών ενδείξεων.....	4
1.4 Φωτεινές πηγές	5
1.5 Τοποθέτηση φωτεινών σηματοδοτών.....	7
1.6 Συστήματα σηματοδότησης.....	7
1.7 Θέσεις κεφαλών σηματοδότησης.....	8
1.8 Στήριξη σηματοδοτών.....	9
1.9 Σύγχρονα κυκλοφοριακά προβλήματα.....	11
1.10 Τύποι Ανιχνευτών κυκλοφορίας.....	12
1.10.1. Ανιχνευτές επαγωγικού βρόχου.....	13
1.10.2. Ανιχνευτές μαγνητικού πεδίου.....	14
1.10.3. Ανιχνευτές πίεσης.....	15
1.10.4. Σταθμοί εν-κινήσει ζύγισης οχημάτων και πιεζοηλεκτρικοί αισθητήρες.....	16
1.10.5. Παθητικοί υπέρυθροι αισθητήρες (Passive infrared sensors - PIR).....	16
1.10.6. Ραντάρ μικροκυμάτων.....	16
1.10.7. Ενεργοί υπέρυθροι αισθητήρες.....	17
1.10.8. Ενεργητικοί ακουστικοί) αισθητήρες υπερήχων.....	17
1.10.9. Παθητικοί ακουστικοί αισθητήρες	18
1.10.10 Κάμερες και αυτόματη επεξεργασία εικόνας βίντεο.....	18
1.11 Τοποθέτηση Ανιχνευτών.....	20
1.12 Επίλογος- Εξέλιξη στην σηματοδότηση.....	21
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο : ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	22
2.1 Μελέτη της λειτουργίας.....	22
2.2 Λειτουργία του συστήματος.....	23

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3° : ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΜΟΝΑΔΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΟΥ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ	27
3.1 Arduino Uno R3 SMD.....	27
3.1.1 Ακροδέκτες Arduino.....	28
3.2 Αισθητήρες του κυκλώματος	31
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4° : ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	33
4.1 Συνδεσμολογία του κυκλώματος.....	33
4.2 Τροφοδοσία.....	34
4.3 Κατασκευή του κυκλώματος.....	35
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5° : ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	40
5.1 Προγραμματιστικό περιβάλλον Arduino IDE.....	40
5.2 Επεξήγηση του προγράμματος.....	41
5.3 Πρόγραμμα	42
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6° : ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΒΕΛΤΙΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	52
6.1 Συμπεράσματα.....	52
6.2 Βελτιώσεις	52
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	53
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α	55
Τεχνικά χαρακτηριστικά.....	55
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	
Πίνακας 1.1 Συνιστώμενη απόσταση ανιχνευτή από τον σηματοδότη.....	21
Πίνακας 3.1 Συνοπτική περιγραφή Arduino UNO R3.....	31

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο : ΦΩΤΕΙΝΟΙ ΣΗΜΑΤΟΔΟΤΕΣ

1.1 Ορισμός

Οι Φωτεινοί σηματοδότες ή φανάρια είναι μια κατηγορία σηματοδοτών που χρησιμοποιούνται για την ρύθμιση κυκλοφορίας του οδικού και σιδηροδρομικού δικτύου με την χρήση λαμπτήρων, σε αεροδρόμια, σε ποδηλατοδρόμους, όπως ακόμη και για την ρύθμιση κυκλοφορίας στους χώρους στάθμευσης. Ο τρόπος λειτουργίας των φωτεινών σηματοδοτών ελέγχεται από την τροχαία και από το Υπουργείο Υποδομών και Συγκοινωνιών.

1.2 Ιστορία των φωτεινών σηματοδοτών

Η ιστορία των φαναριών ξεκινάει τον Δεκέμβριο του 1868 όπου ο μηχανικός τρένων J.P Knight τοποθέτησε έξω από την Βρετανική βουλή ένα ανακατασκευασμένο σιδηροδρομικό φανάρι, με σηματοφόρους βραχίονες και με πράσινες και κόκκινες λάμπες. Οι λυχνίες αερίου ελέγχονταν από έναν μοχλό στην βάση τους, ώστε να φαίνεται προς την κυκλοφορία το κατάλληλο φως. Να σημειωθεί ότι εκείνη την περίοδο στους δρόμους δεν υπήρχαν τα αυτοκίνητα αλλά άμαξες, κάρα, ποδήλατα και πεζοί. Το συγκεκριμένο σύστημα καταστράφηκε από έκρηξη το 1869 [1].



Εικόνα 1.1. Ο πρώτος σηματοδότης
σχεδιασμένος από τον J.P Knight το
1868 στο Λονδίνο.

Συνεχίζοντας, η ραγδαία αύξηση του μηχανοκίνητου πολιτισμού κατέστησε αναγκαία την ρύθμιση της κυκλοφορίας στις μεγαλουπόλεις. Έτσι, το πρώτο γνωστό ηλεκτρικό σύστημα δημιουργήθηκε από τον Lester Farnsworth Wire, έναν αστυνομικό στο Salt Lake City το 1912[1]. Ο σχεδιασμός του ήταν απλός: Δημιούργησε ένα ξύλινο κιβώτιο με δύο λάμπες, που

έμοιαζε με σπίτι πουλιών και στηριζόταν πάνω σε έναν στύλο. Αν και η εγκατάσταση ήταν συνδεδεμένη με το εναέριο καλώδιο των τρόλεϊ, για τη λειτουργία του απαιτείτο χειριστής ενός διακόπτη. Η λάμπα που σήμαινε «Stop» ήταν βαμμένη κόκκινη, η λάμπα που σήμαινε «Go» ήταν βαμμένη πράσινη. Την δυαδικότητα αυτή θα σπάσει λίγα χρόνια μετά το 1923 ο Garrett A. Morgan, αφρικανικός-Αμερικανός εφευρέτης και ιδιοκτήτης εφημερίδας στο Κλήβελαντ, ο οποίος θα εισαγάγει το κίτρινο ενδιάμεσο χρώμα ως σήμα προειδοποίησης.



Εικόνα 1.2. Σηματοδότες βασισμένη στο σχέδιο του Lester Farnsworth Wire.

Το 1963 το Τορόντο γίνεται η πρώτη πόλη που συνδέει το σύστημα φαναριών των δρόμων με υπολογιστές. Τα χρώματα των φαναριών που αναπαριστούν σταμάτημα και ξεκίνημα ενδέχεται να προήλθαν από αυτά που ταυτοποιούσαν το λιμάνι (κόκκινο) και το στρίψιμο προς τα δεξιά (πράσινο) στη ναυσιπλοΐα.

Τέλος, αξίζει να αναφερθούμε και στους φωτεινούς σηματοδότες με χρονόμετρο. Το σύστημα εισάχθηκε τη δεκαετία του '90. Η αντίστροφη μέτρηση βοηθάει τους οδηγούς και τους πεζούς να ξέρουν πόσο χρόνο έχουν μέχρι να αλλάξει το φανάρι, ώστε να αποφασίσουν αν θα περάσουν τη διασταύρωση με ασφάλεια ή όχι.

Στην Ελλάδα, οι φωτεινοί σηματοδότες άργησαν να φτάσουν παρόλο που η κυκλοφοριακή συμφόρηση στους κεντρικούς δρόμους της πρωτεύουσας ήταν μεγαλειώδης[2]. Πάντως κάποια λιγοστά φανάρια στα τέλη της δεκαετίας του 1940 είχαν κάνει την εμφάνισή τους με η απαρχαιωμένη τους τεχνολογία (ίσως μονού φωτισμού) καθώς και η τοποθέτησή τους σε ακατάλληλα μεγάλο ύψος τα είχε απαξιώσει στα μάτια των οδηγών, γεγονός που αύξανε τον κίνδυνο των ατυχημάτων. Σε ένα σύνολο 16.315 κυκλοφορούντων οχημάτων στην Αθήνα το 1949 είχαν προκύψει 1263 ατυχήματα.

Ρύθμιση του χρονισμού της φωτεινής σήμανσης διασταυρώσεων σύμφωνα με το ρυθμό κυκλοφορίας των οχημάτων

Τα πρώτα φανάρια δεν απεδωσαν τα ανεμενόμενα. Στην συνέχεια υπήρξε σειρά κινήσεων πως η ίδρυση Σχολής Οδηγών για τους άνδρες της Τροχαίας, η αγορά των πέντε πρώτων μοτοσυκλετών, οι πρώτες μονοδρομήσεις κεντρικών οδών και η τοποθέτηση χιλίων σημάτων. Ωστόσο, το σημαντικότερο είναι ότι εφαρμόστηκε ένας φιλόδοξος σχεδιασμός κυκλοφοριακής αγωγής.



Εικόνα 1.3. Θεσσαλονίκη 1960 στην οδό Τιμισοκή με Αριστοτέλους.



Εικόνα 1.4. Αθήνα 1955 Πλατεία Ομονοίας.

1.3 Είδη φωτεινών ενδείξεων

Όπως αναφέρθηκε στην εισαγωγή, σκοπός της φωτεινής σηματοδότησης είναι να περάσει σε οποιονδήποτε χρήστη της οδού, σαφή μηνύματα με τη βοήθεια απλών και σαφών ενδείξεων. Έτσι στα πλαίσια της φωτεινής σηματοδότησης εφαρμόζονται είτε απλές χρωματικές ενδείξεις, είτε συμβολικές ενδείξεις, είτε συνδυασμός τους [3].

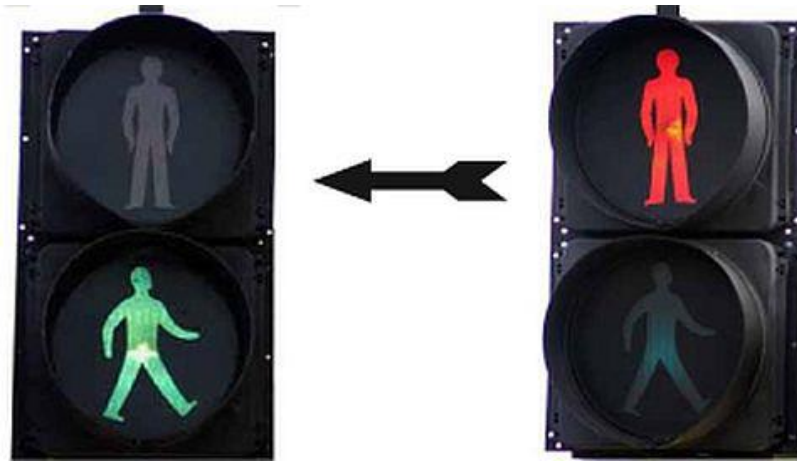
Όσον αφορά στις χρωματικές ενδείξεις, στην Ελλάδα, όπως και παγκοσμίως, εφαρμόζονται τρία διαφορετικά χρώματα, πράσινο, κίτρινο και κόκκινο, σε σταθερή και αναλάμπουσα μορφή. Κατά τον ελληνικό Κ.Ο.Κ., υπάρχουν οι παρακάτω ενδείξεις:

- Πράσινη σταθερή ένδειξη: Επιτρέπει την κίνηση.
- Κόκκινη σταθερή ένδειξη: Δηλώνει υποχρέωση στάσης.
- Κίτρινη σταθερή ένδειξη: Επιτρέπει την κίνηση μόνο εάν προφταίνεται η κόκκινη ένδειξη.
- Πράσινη αναλάμπουσα ένδειξη: Συναντάται μόνο σε ενδείξεις για πεζούς και τους επιτρέπει την κίνηση, με ιδιαίτερη προσοχή.
- Κόκκινη αναλάμπουσα ένδειξη: Επιβάλλει ακινητοποίηση λόγω ιδιαίτερου κινδύνου.
- Κίτρινη αναλάμπουσα ένδειξη: Επιτρέπει την κίνηση, με ιδιαίτερη προσοχή και με παραχώρηση προτεραιότητας προς όλους τους χρήστες.

Τα σύμβολα που είναι δυνατόν να εμφανίζονται στις ενδείξεις των φωτεινών σηματοδοτών είναι: βέλη πορείας, σύμβολα για πεζούς, ενδείξεις παραχώρησης ή υποχρεωτικής πορείας, σύμβολα προειδοποίησης.



Εικόνα 1.5. Τυπική μορφή φωτεινών σηματοδοτών κυκλικής μορφής.



Εικόνα 1.6. Φωτεινή σηματοδότηση για πεζούς.

1.4 Φωτεινές πηγές

Οι φωτεινές πηγές που χρησιμοποιούνται σε έναν σηματοδότη είναι ο πιο καθοριστικός παράγοντας στο ζήτημα του κόστους λειτουργίας του συστήματος σηματοδότησης. Η φωτεινή πηγή θα πρέπει να συνδυάζει χαμηλή κατανάλωση, ικανοποιητικά φωτεινά χαρακτηριστικά, διάρκεια στην απόδοση και αξιοπιστία λειτουργίας.

Οι τύποι φωτεινών πηγών που χρησιμοποιούνται σήμερα είναι οι εξής:

- Λαμπτήρες πυρακτώσεως: Είναι οι παλαιότεροι τύποι λαμπτήρων σε σηματοδότες. Λειτουργούν με τάση 220 V και έχουν ισχύ 25-100 Watt (για σηματοδότες οχημάτων, 75-100 Watt). Έχουν διάρκεια ζωής περί τις 8.000 ώρες.

- Λαμπτήρες αλογόνου: Βελτιωμένη εκδοχή λαμπτήρων, με πολύ χαμηλότερη κατανάλωση και μεγαλύτερη διάρκεια ζωής. Λειτουργούν με τάση 10-15 V, με χρήση μετασχηματιστή, και έχουν ισχύ 20-30 Watt σε κάθε εφαρμογή. Έχουν διάρκεια ζωής περί τις 15.000 ώρες.

- Φωτεινές πηγές με διόδους LED: Η τελευταία εξέλιξη στο χώρο της φωτεινής σηματοδότησης. Έχουν ισχύ 10-15 Watt, αλλά με πολύ χαμηλές απώλειες, και διάρκεια ζωής περί τις 100.000 ώρες.

Η εφαρμογή των διόδων τύπου LED κερδίζει συνεχώς έδαφος στην Αμερική, όπου ήδη σε πολλές περιπτώσεις οι κλασικές κεφαλές με λαμπτήρες αντικαθίστανται μαζικά από συστήματα LED. Τα εν λόγω συστήματα συνδυάζουν πολύ χαμηλή κατανάλωση και πολύ μεγάλη διάρκεια ζωής, κάτι που ελαχιστοποιεί το κόστος λειτουργίας και συντήρησης. Αλλά και από τεχνικής απόψεως, τα συστήματα LED προσφέρουν μεγάλη φωτεινή ένταση και διάρκεια των χαρακτηριστικών τους σε βάθος χρόνου και φωτεινή ομοιομορφία της επιφάνειας του σήματος. Επίσης, αξίζει να σημειωθεί και ότι η μη απαίτηση του ανακλαστήρα και η χρήση διαφορετικού είδους κρυστάλλων, εξαλείφουν και το πρόβλημα της θάμβωσης.



Εικόνα 1.7. Λαμπτήρας πυρακτώσεως.



Εικόνα 1.8. Λαμπτήρας αλογόνου.



Εικόνα 1.9. Φωτεινή σηματοδότηση με φωτισμό τύπου LED.

1.5 Τοποθέτηση φωτεινών σηματοδοτών

Η φωτεινή σηματοδότηση εφαρμόζεται σε περιπτώσεις όπου απαιτείται η ρύθμιση της διέλευσης ή μη κατά κύριο λόγο οχημάτων σε συγκεκριμένα σημεία της οδού, και για συγκεκριμένους λόγους. Τέτοιες περιπτώσεις είναι οι ακόλουθες:

- Ισόπεδοι κόμβοι με μεγάλους φόρτους κυκλοφορίας ή χωρίς ασφαλή διαμόρφωση, ή κόμβοι όπου επιθυμείτε επενεργούμενη σηματοδότηση λόγω υψηλού φόρτου στη μία διεύθυνση και χαμηλού στην άλλη.
- Σε ισόπεδες διαβάσεις σιδηροδρόμων.
- Σε σταθμούς διοδίων για έγκαιρη επιλογή της κατάλληλης λωρίδας.
- Σε εισόδους αυτοκινητοδρόμων, για έλεγχο της προσπέλασης
- Στις προσβάσεις στενών τμημάτων με μία λωρίδα κυκλοφορίας όπως στενές γέφυρες ή σήραγγες ή περιοχές εκτέλεσης έργων, για την εναλλάξ κίνηση των δυο αντιθέτων ρευμάτων κυκλοφορίας.
- Μπροστά από κινητές γέφυρες, για ακινητοποίηση των οχημάτων κυκλοφορίας.
- Σε περιπτώσεις εφαρμογής αντίθετης κατεύθυνσης λωρίδων, για υπόδειξη των επιτρεπόμενων λωρίδων κίνησης.
- Σε συνδυασμό με αυτόματες κινητές πύλες.
- Μέσα σε περιοχές φορτοεκφορτώσεων, για την ασφαλή κίνηση των οχημάτων.
- Μπροστά και κοντά σε σταθμούς έκτακτης ανάγκης, για παραχώρηση της προτεραιότητας.
- Σε διαβάσεις με αυξημένο φόρτο πεζών.
- Σε περιπτώσεις που απαιτείται απλή προειδοποίηση με παλλόμενη κίτρινη ένδειξη.

Η καθημερινή εμπειρία δείχνει ότι η συνηθέστερη εφαρμογή της σηματοδότησης γίνεται σε κόμβους αστικών περιοχών.

1.6 Συστήματα σηματοδότησης

Τα συστήματα σηματοδότησης διαχωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες, με βάση το **είδος επενέργειας** από την κυκλοφορία και το **είδος συντονισμού** μεταξύ διαφορετικών κόμβων. Το είδος του εφαρμοζόμενου συστήματος επηρεάζει τον απαιτούμενο τεχνικό εξοπλισμό[4].

Ως προς το είδος **επενέργειας**, διακρίνονται οι παρακάτω τύποι:

- **Σηματοδότηση σταθερού χρόνου (pretimed ή fixed time):** Ο χρόνος κάθε φάσης σηματορρύθμισης είναι σταθερός. Μπορεί να υπάρχουν απλώς διαφορετικά προγράμματα με βάση την περίοδο της ημέρας.
- **Σηματοδότηση ημιεπενεργούμενη από την κυκλοφορία (semi-actuated):** Στην περίπτωση αυτή καταγράφεται η κυκλοφορία σε μία ή περισσότερες, αλλά όχι σε όλες, προσβάσεις. Με βάση τις καταγραφές αυτές είναι δυνατό να μεταβληθούν

δυναμικά και επί τόπου οι χρόνοι σηματοδότησης. Συνήθως η καταγραφή γίνεται στις προσβάσεις των ασθενέστερων κινήσεων, ώστε να διακόπτονται οι κύριες κινήσεις μόνο όταν παρουσιάζονται οχήματα ή πεζοί στις προσβάσεις αυτές.

- **Σηματοδότηση πλήρως επενεργούμενη (full actuated):** Η καταγραφή γίνεται σε όλες τις προσβάσεις. Η ύπαρξη επενέργειας καθιστά υποχρεωτική τη χρήση των κατάλληλων ανιχνευτών, καθώς και των κατάλληλων κεντρικών μονάδων. Τυπικό παράδειγμα συσκευών επενέργειας είναι τα πλήκτρα των πεζών.

Ως προς το είδος του **συντονισμού**, διακρίνονται οι εξής τύποι:

- **Μη συντονισμένη σηματοδότηση:** Κάθε κόμβος σε ένα δίκτυο εκτελεί το δικό του ανεξάρτητο πρόγραμμα.
- **Σηματοδότηση συντονισμένη κατά μήκος αρτηρίας:** Η σηματοδότηση των διαδοχικών κόμβων μίας οδού γίνεται κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να εξασφαλίζεται συνεχής ροή (πράσινο κύμα). Σε αυτήν την περίπτωση χρησιμοποιείται μία κύρια μονάδα ρύθμισης που συντονίζει τις τοπικές μονάδες κάθε κόμβου.
- **Συστήματα καθολικής ρύθμισης κυκλοφορίας:** Αποτελούν την πιο σύγχρονη εξέλιξη στο χώρο της σηματοδότησης ενός αστικού δικτύου. Ένα τέτοιο σύστημα καταγράφει ανά πάσα στιγμή τους φόρτους σε διάφορα σημεία του δικτύου, ενώ μία κεντρική μονάδα αναλαμβάνει τη σηματορρύθμιση όλης της περιοχής, με τρόπο ώστε να πληρούνται κάποια κριτήρια, όπως η ελαχιστοποίηση του κόστους καθυστερήσεων και των στάσεων. Και σε αυτήν την περίπτωση απαραίτητη είναι η χρήση ανιχνευτών.

1.7 Θέσεις κεφαλών σηματοδότησης

Τα βασικά στοιχεία εξοπλισμού σε μία σηματοδότηση είναι οι κεφαλές με τα φωτεινά σήματα(κυκλικής μορφής, βέλη πορείας), διότι αυτές δίνουν τα εν λόγω σήματα ρύθμισης της κυκλοφορίας [4]. Κατά συνέπεια, βασικής σημασίας στη σηματοδότηση είναι η θέση των κεφαλών σε σχέση με την κυκλοφορία.

Υπάρχουν δύο διάταξης για την τοποθέτηση μίας κεφαλής, επάνω από το οδόστρωμα και δίπλα από το οδόστρωμα (είτε αριστερά, είτε δεξιά). Η πρώτη διάταξη είναι οι κεφαλές να τοποθετούνται επάνω από το οδόστρωμα με σκοπό να γίνεται η έγκαιρη αντίληψή τους από τους οδηγούς από μακρινές αποστάσεις, καθώς και σε περιπτώσεις που απαιτείται σηματοδότηση για κάθε λωρίδα ξεχωριστά (όπως σε σταθμούς διοδίων με πολλαπλές λωρίδες, ή σε περιπτώσεις ελέγχου της χρήσης των λωρίδων). Επίσης, η συγκεκριμένη διάταξη έχει το πλεονέκτημα ότι η κεφαλή διακρίνεται από περισσότερες λωρίδες σε κόμβους.

Η δεύτερη διάταξη είναι οι κεφαλές δίπλα από το οδόστρωμα, όπου συνήθως τοποθετείται και χαμηλότερα σε σχέση με την προηγούμενη διάταξη, έχει το πλεονέκτημα της ευκολότερης παρακολούθησης της ένδειξης όταν τα οχήματα είναι σταματημένα μπροστά

στο φωτεινό σηματοδότη. Συνήθως, σε όλους τους ισόπεδους κόμβους με φυσιολογικό κυκλοφοριακό φόρτο τοποθετούνται κεφαλές και δεξιά από το οδόστρωμα, ενώ αν το οδόστρωμα έχει μεγάλο πλάτος, υπάρχει κεφαλή και αριστερά, στην πιθανή διαχωριστική νησίδα, ή διαγώνια αριστερά, μετά τη διασταύρωση.

Το ύψος τοποθέτησης των κεφαλών σηματοδότησης θα πρέπει να είναι τέτοιο ώστε να μην προκαλείται πρόβλημα στα διερχόμενα από κάτω οχήματα ή πεζούς. Επίσης, θα πρέπει να βρίσκεται μέσα σε όρια που να κάνουν την κεφαλή ορατή από ένα εκτεταμένο εύρος αποστάσεων από αυτήν. Κατά τις αμερικανικές προδιαγραφές, για σηματοδότες με κατακόρυφη διάταξη των ενδείξεων, που είναι και ο κανόνας για τα ελληνικά δεδομένα, ισχύουν τα εξής μεγέθη:

- Για κεφαλές συνήθων σηματοδοτών πάνω απ την οδό, η κάτω βάση του σώματος της κεφαλής πρέπει να βρίσκεται σε ύψος τουλάχιστον 4,6 m από το οδόστρωμα, ενώ η άνω βάση το πολύ 7,8 m από αυτό.
- Για κεφαλές συνήθων σηματοδοτών δίπλα από την οδό, η κάτω βάση του σώματος της κεφαλής πρέπει να βρίσκεται σε ύψος τουλάχιστον 2,4 m από το πεζοδρόμιο ή από το οδόστρωμα (ή 1,4 m από το επίπεδο της νησίδας, εάν ο σηματοδότης είναι τοποθετημένος εκεί), ενώ η άνω βάση το πολύ 5,8 m από αυτό.
- Για κεφαλές σηματοδοτών σε προσβάσεις αυτοκινητοδρόμων, οι οποίοι τοποθετούνται δίπλα από την οδό πρόσβασης, η κάτω βάση του σώματος της κεφαλής πρέπει να βρίσκεται σε ύψος από 1,4 m έως 1,8 m από το οδόστρωμα.
- Για κεφαλές σηματοδοτών που βρίσκονται επάνω από κάθε λωρίδα κυκλοφορίας (όπως σε σταθμούς διοδίων ή σε περιπτώσεις ελέγχου της χρήσης των λωρίδων), η κάτω βάση του σώματος της κεφαλής πρέπει να βρίσκεται σε ύψος από 4,6 m έως 5,8 m από το οδόστρωμα.
- Κεφαλές σηματοδοτών με ενδείξεις για πεζούς πρέπει να βρίσκονται σε ύψος από 2,1 m έως 3,0 m από το πεζοδρόμιο.

1.8 Στήριξη σηματοδοτών

Για τη στήριξη των σωμάτων των κεφαλών σηματοδότησης μπορούν να εφαρμοστούν διάφορες διατάξεις στήριξης. Στην Ελλάδα οι πιο συνηθεις διατάξεις είναι οι μεταλλικοί στύλοι, σε σηματοδότες κόμβων[4]. Άλλες διατάξεις είναι μεταλλικά πλαίσια, για περιπτώσεις σηματοδοτών επάνω από κάθε λωρίδα ή αιώρηση από καλώδια, τα οποία μπορεί να στηρίζονται είτε σε κατακόρυφους στύλους, είτε σε άλλα σώματα έξω από την οδό. Επίσης, είναι δυνατή η στήριξη της κεφαλής απευθείας σε κάποιο αντικείμενο έξω από την οδό, όπως τοίχος ή γέφυρα. Όσον αφορά στους μεταλλικούς στύλους, αυτοί μπορεί να είναι είτε κατακόρυφοι, είτε κατακόρυφοι με οριζόντιο βραχίονα επάνω από το οδόστρωμα.

Οι **κατακόρυφοι στύλοι** είναι συνήθως κυκλικής διατομής, διαμέτρου 100-150 mm και ύψους που εξαρτάται από το ύψος τοποθέτησης της κεφαλής και χρησιμοποιούνται συνήθως για τη στήριξη σηματοδοτών δίπλα από την οδό ή σηματοδοτών πεζών.

Οι **στύλοι με οριζόντιο βραχίονα** χρησιμοποιούνται όπου απαιτείται η τοποθέτηση κεφαλής σηματοδότησης επάνω από το οδόστρωμα χρησιμοποιούνται είτε πολυγωνικές διατομές μεταβλητών διαμέτρων της τάξεως των 200-100 mm, είτε κυκλικές διατομές μεταβλητών διαμέτρων της τάξεως των 170-140 mm. Το μήκος του χρησιμοποιούμενου βραχίονα εξαρτάται από το πλάτος της οδού, καθώς σε οδούς με πολλαπλές λωρίδες απαιτείται η κεφαλή να βρίσκεται όσο το δυνατόν πιο εσωτερικά στην οδό. Τέλος, για τη στήριξη των στύλων στο έδαφος εφαρμόζεται είτε έμπηξη του στύλου σε βάθος περί το 1 m με επιφανειακό θεμέλιο από σκυρόδεμα, είτε κοχλίωση επάνω σε βάση από σκυρόδεμα, με κατάλληλη απόληξη του στύλου.

Όσο αναφορά τις κεφαλές, στηρίζονται επάνω σε μεταλλικούς στύλους ή και απευθείας σε εξωτερικές επιφάνειες, η στήριξη επιτυγχάνεται με τη βοήθεια τοπικών βραχιόνων που συνδέουν το σώμα της κεφαλής με την επιφάνεια στήριξης. Σε περίπτωση που η κεφαλή στηρίζεται επάνω σε κατακόρυφο στύλο ή εξωτερική επιφάνεια, χρησιμοποιούνται οι παρακάτω διατάξεις στερέωσης:

- Απλοί βραχίονες: Για τη στερέωση ενός μεμονωμένου σώματος σηματοδότησης.
- Διπλοί βραχίονες: Για τη στερέωση σε μία θέση, δύο όμοιων σωμάτων σηματοδότησης .
- Απλοί βραχίονες με επέκταση: Για τη στερέωση σε μία θέση, δύο σωμάτων σηματοδότησης, όπου το δεύτερο έχει μικρότερο αριθμό σημάτων (π.χ. σώμα με τρία σήματα, συνοδευόμενο από δεύτερο σώμα με δύο σήματα αναλαμπόντων κίτρινων βελών).
- Βραχίονες προέκτασης: Πρόκειται για βραχίονες με μεγάλο άνοιγμα στήριξης, για τη στερέωση του σώματος σηματοδότησης σε απόσταση από τον κατακόρυφο στύλο όταν υπάρχουν αντικείμενα ή δέντρα που εμποδίζουν την ορατότητα.



Εικόνα 1.10. Στερέωση σε οριζόντιο άξονα σε απλό βραχίονα με επέκταση.



Εικόνα 1.11. Στερέωση πάνω σε οριζόντιο άξονα με διπλούς βραχίονες.

1.9 Σύγχρονα κυκλοφοριακά προβλήματα

Η αύξηση της κυκλοφοριακής συμφόρησης στους δρόμους των πόλεων επηρεάζει και απασχολεί το σύνολο της κοινωνίας. Οι επιπτώσεις της είναι να επηρεάζει την μετακίνηση των ανθρώπων προς τις δραστηριότητες και την εργασία.

Μπορούμε να διακρίνουμε τα κυκλοφοριακά προβλήματα σε δύο κατηγορίες την επαναλαμβόμενη συμφόρηση και την μη επαναλαμβόμενη στο χρόνο. Η επαναλαμβόμενη συμφόρηση συμβαίνει στον ίδιο χώρο καθημερινά την ίδια χρονική στιγμή κυρίως εντός των πόλεων σε διασταυρώσεις και σε φανάρια ή προς την έξοδο αυτών τις πρωινές ώρες γιατί γίνονται πηγαίνει ο κόσμος στην εργασία τους αλλά και κατά την επιστροφή τους με αποτέλεσμα να παρατηρούνται απότομες μεταβολές του ρυθμού της έντασης της κυκλοφορίας με αποτέλεσμα να φτάνουμε στο συμπέρασμα πως τα άμεσα χαρακτηριστικά της συμφόρησης βασίζονται στις αρχές της μηχανικής που συνδέουν τη ταχύτητα κίνησης και τη ταχύτητα ελεύθερης ροής με τη χωρητικότητα του οδικού δικτύου.

Η μη επαναλαμβανόμενη συμφόρηση συμβαίνει κυρίως από περιστατικά όπως ατυχήματα ή συντήρηση του οδικού δικτύου:

- Λωρίδες εκτός κυκλοφορίας λόγω ατυχημάτων ή άλλων αιτιών.
- Λωρίδες υπό κατασκευή.
- Από ακραίες καιρικές συνθήκες.
- Σημαντικές αυξήσεις στον όγκο των μετακινούμενων λόγω ειδικών περιστάσεων όπως διακοπές, αργίες κ.α.
- Απόσπαση της προσοχής των οδηγών λόγω παραγόντων έξω από το οδικό δίκτυο.

Όλες οι επιπτώσεις του φαινομένου υπογραμμίζουν την ανάγκη για μελέτη της κυκλοφοριακής συμφόρησης. Ο εντοπισμός και η μέτρηση του φαινομένου βοηθάει τις αντίστοιχες αρχές για την υιοθέτηση των κατάλληλων μέτρων για την αντιμετώπιση του προβλήματος.

Σε πρακτικό επίπεδο, η μέτρηση της συμφόρησης γίνεται με χρήση βασικών μεγεθών, λόγων, δεικτών και ότι άλλο κριθεί απαραίτητο[15]. Η χρονική καθυστέρηση (travel delay) ορίζεται ως ο επιπλέον χρόνος που σπαταλάτε ταξιδεύοντας εξαιτίας της συμφόρησης. Η καθυστέρηση μπορεί να υπολογιστεί λαμβάνοντας υπόψιν μόνο την επαναλαμβανόμενη συμφόρηση ή συνυπολογίζοντας και τη μη επαναλαμβανόμενη. Η καθυστέρηση (travel delay) υπολογίζεται για κάθε μέρα και στη συνέχεια ανάλογα με την εφαρμογή αθροίζεται για εβδομαδιαία ή μηνιαία βάση. Ο υπολογισμός φαίνεται στη παρακάτω εξίσωση.

$$\text{daily vehicle hours of delay} = \frac{\text{daily vehicle miles of travel}}{\text{speed}} - \frac{\text{daily vehicle miles of travel}}{\text{free flow speed}} \quad (1)$$

[13] (Texas Transportation Institute, 2011).

1.10. Τύποι Ανιχνευτών κυκλοφορίας

Όπως αναφέρθηκε στην Παράγραφο 1.5, η σηματοδότηση μπορεί να διακριθεί σε κατηγορίες με βάση το αν ο χρονισμός της είναι σταθερός, βάσει ενός ή περισσότερων προγραμμάτων, ή το αν υφίσταται επενέργεια από την κυκλοφορία, δηλαδή δυνατότητα άμεσης **δυναμικής μεταβολής του χρονισμού** επιτόπου[4]. Όπως καταλαβαίνει κανείς, απαραίτητη προϋπόθεση σε αυτήν την τελευταία περίπτωση είναι η ύπαρξη του ειδικού τεχνικού εξοπλισμού που θα αναλαμβάνει την ανίχνευση και μέτρηση των χρηστών της οδού. Στη συνέχεια, τα δεδομένα που λαμβάνονται από αυτούς τους ανιχνευτές αξιοποιούνται από τις μονάδες επεξεργασίας, που αναλαμβάνουν τη ρύθμιση της σηματοδότησης.

Οι αισθητήρες μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο γενικές κατηγορίες, τους **παρεμβατικούς** και τους **μη παρεμβατικούς** [5]. Οι συμβατικές παρεμβατικές συσκευές αποτελούνται κυρίως από ανιχνευτές επαγωγικού βρόχου. Αυτοί οι ανιχνευτές τοποθετούνται σε σχισμές μέσα στο οδόστρωμα και επομένως χρησιμοποιούνται για μόνιμη χρήση. Επειδή είναι ενσωματωμένοι στο οδόστρωμα, το κόστος εγκατάστασης και συντήρησης τους είναι υψηλό. Επιπλέον, η παρεμπόδιση της οδού δεν μπορεί να αποφευχθεί κατά τις διαδικασίες αυτές. Οι ανιχνευτές βρόχου έχουν εξελιχθεί σημαντικά, καθώς η τεχνολογία τους εφαρμόζεται εδώ και μερικές δεκαετίες. Ένα άλλο πλεονέκτημά τους έγκειται στο γεγονός ότι είναι λιγότερο επιρρεπείς σε βανδαλισμούς και ληστείες σε σχέση με τους μη παρεμβατικούς

Οι μη παρεμβατικοί ανιχνευτές δεν είναι άμεσα συνδεδεμένοι με τα οχήματα και συνήθως τοποθετούνται δίπλα ή πάνω από το οδόστρωμα. Υπόκεινται σε λιγότερη φθορά από τους παρεμβατικούς ανιχνευτές που ενσωματώνονται στο οδόστρωμα. Επειδή δεν ενσωματώνονται στο οδόστρωμα, μπορούν να εγκατασταθούν και να αντικατασταθούν εύκολα, αποτελώντας κατάλληλες επιλογές για προσωρινές λύσεις. Ανάμεσά τους υπάρχουν

πολλές διαθέσιμες τεχνολογίες όπως τα ραντάρ, οι υπέρηχοι, και οι βιντεοκάμερες. Αρκετές από αυτές τις τεχνολογίες αποτελούν ιδιαίτερα εξελιγμένες λύσεις που χρησιμοποιούνται εδώ και χρόνια στο πεδίο, ενώ άλλες βρίσκονται υπό εξέλιξη ή σε δοκιμαστικό στάδιο. Οι [6] Minge το 2010 επεσήμαναν ότι η μέτρηση της ταχύτητας και του κυκλοφοριακού φόρτου με τη χρήση της τεχνολογίας των μη παρεμβατικών ανιχνευτών (ραντάρ, βίντεο, laser, υπέρυθρη ακτινοβολία και μαγνητόμετρα) είναι ικανοποιητική. Ωστόσο, η κατηγοριοποίηση των οχημάτων παραμένει ένα αδύναμο σημείο, ειδικά όταν εφαρμόζονται τυποποιημένα συστήματα ταξινόμησης, όπως της Federal Highway Administration (FHWA) στις Ηνωμένες Πολιτείες (FHWA, 2001)[7].

1.10.1. Ανιχνευτές επαγωγικού βρόχου

Οι επαγωγικοί βρόχοι εγκαθίστανται στο οδόστρωμα. Οι βρόχοι τροφοδοτούνται με ηλεκτρική ενέργεια σε συχνότητα μεταξύ 40 και 100 kHz. Όταν ένα μεταλλικό αντικείμενο εμφανιστεί στην εσωτερική περιοχή των βρόχων, επηρεάζει την ηλεκτρική αγωγιμότητα των βρόχων και κατά συνέπεια μπορεί να ανιχνευτεί από μια ηλεκτρονική συσκευή. Η βασική πληροφορία που παρέχεται από έναν ανιχνευτή βρόχου είναι η παρουσία του οχήματος. Εάν δύο βρόχοι έχουν εγκατασταθεί σε μικρή απόσταση (συνήθως μερικά μέτρα), η ταχύτητα του οχήματος μπορεί επίσης να μετρηθεί με καλή ακρίβεια.

Οι επαγωγικοί βρόχοι αποτελούν τους πιο κοινούς ανιχνευτές που χρησιμοποιούνται για την καταγραφή κυκλοφοριακών δεδομένων. Χρησιμοποιούνται ως μονοί βρόχοι γύρω από σήματα για την παροχή πληροφοριών του οχήματος ή ως διπλοί βρόχοι για την παροχή πληροφορίας σχετικά με τη ροή και την ταχύτητα σε αυτοκινητόδρομους. Η ταχύτητα μπορεί επίσης να εκτιμηθεί από μονούς βρόχους με χρήση προηγμένων τεχνικών. Ωστόσο, η πληροφορία αυτή πρέπει να χρησιμοποιείται με προσοχή. Πρόσφατα, αρκετές έρευνες αποσκοπούν στη βελτίωση της ακρίβειας με την οποία εκτιμάται η ταχύτητα και κατηγοριοποιούνται τα οχήματα με τη χρήση μονών βρόχων. Ωστόσο, η εκτίμηση της ταχύτητας και η ταξινόμηση των οχημάτων επιτυγχάνεται πιο εύκολα με διπλούς βρόχους (Heidemann et al., 2008) [8].

Κάποιες μελέτες που διερευνούν την ακρίβεια ανιχνευτών διπλού βρόχου υποδεικνύουν αναξιόπιστα αποτελέσματα, όπως υποεκτίμηση του κυκλοφοριακού φόρτου και εσφαλμένη ταξινόμηση των οχημάτων. Επισημαίνεται, όμως, ότι για τα αποτελέσματα αυτά μπορεί να ευθύνεται το λογισμικό ή ο υποκείμενος αλγόριθμος που χρησιμοποιήθηκε. Υποεκτίμηση του κυκλοφοριακού φόρτου επισημάνθηκε επίσης από τους Briedis & Samuels (2010) [9], οι οποίοι αναφέρουν την κατάσταση του οδοστρώματος ως τον πιο κρίσιμο παράγοντα για την ποιότητα των στοιχείων.

Γενικά, τα δεδομένα που καταγράφονται από έναν βαθμονομημένο ανιχνευτή βρόχου είναι ακριβή και αξιόπιστα. Ωστόσο, δεδομένου ότι οι επαγωγικοί βρόχοι προορίζονται συνήθως για μακροπρόθεσμη χρήση, πολλοί από αυτούς υπόκεινται σε ζημιές μετά από πολύχρονη χρήση.

1.10.2. Ανιχνευτές μαγνητικού πεδίου

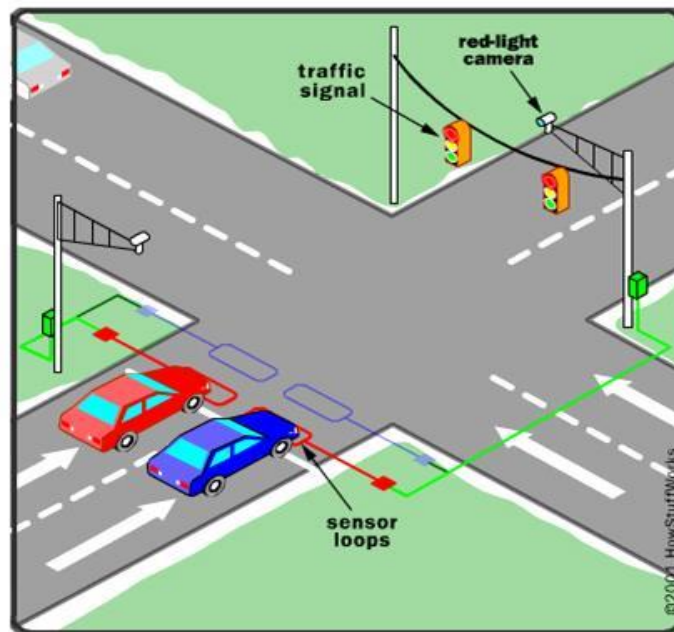
Η λειτουργία τους βασίζεται στη μεταβολή που προκαλεί η διέλευση ενός οχήματος σε ένα μαγνητικό πεδίο που υλοποιεί η διάταξη του ανιχνευτή. Ο πιο συνήθης τύπος είναι οι μαγνητικοί βρόχοι, που τοποθετούνται σε σχισμή μέσα στο οδόστρωμα (inductive loops), και είναι ο πιο δημοφιλής τύπος ανιχνευτών παγκοσμίως. Το πηνίο έχει ορθογωνική μορφή, με εγκάρσια διάσταση περί τα 1,8 m και διαμήκη 1,8-7,5 m, και τοποθετείται σε σχισμή μέσα στο οδόστρωμα, η οποία κλείνει με εποξειδικό υλικό. Άλλοι τύποι μαγνητικών ανιχνευτών είναι τα μαγνητόμετρα (magnetometers) και οι αυτόνομοι ανιχνευτές οχημάτων (SPVD).

Για τη μέτρηση ταχύτητας απαιτούνται δύο αισθητήρες εγκατεστημένοι σε μικρή απόσταση μεταξύ τους. Με τον σύγχρονο εξοπλισμό οι δύο αισθητήρες μπορούν να τοποθετηθούν σε μία ενιαία μονάδα. Οι χρονοσειρές των αλλαγών στο μαγνητικό πεδίο, οι οποίες παράγονται από τα κινούμενα οχήματα, μπορούν να αποτελέσουν τη βάση για την ταξινόμηση των οχημάτων και να διαμορφώσουν πρότυπα για την εκ νέου αναγνώριση του οχήματος. Δεδομένου ότι το μαγνητικό πεδίο της Γης μπορεί να παραμορφωθεί από άλλους παράγοντες, όπως τα ηλεκτρικά καλώδια, είναι απαραίτητο να εξεταστούν οι πηγές σφαλμάτων κατά την εγκατάσταση των αισθητήρων.

Ένας αισθητήρας τοποθετείται συνήθως στη μέση μιας λωρίδας κυκλοφορίας πάνω στο οδόστρωμα, έτσι ώστε οι εργασίες εγκατάστασης και συντήρησης να μπορούν να υλοποιηθούν χωρίς να απαιτείται το κλείσιμο της οδού. Το βασικό μειονέκτημα των αισθητήρων μαγνητικού πεδίου είναι ότι δεν μπορούν να ανιχνεύσουν τα ακινητοποιημένα οχήματα. Επειδή τα μαγνητόμετρα αποτελούν σχετικά νέα τεχνολογία μέτρησης, δεν υπάρχει κάποιο κοινά αποδεκτό συμπέρασμα για την ποιότητα των δεδομένων.



Εικόνα 1.12. Καλώδιο ανιχνευτή βρόγχου οχήματος.



Εικόνα 1.13. Κυκλοφοριακό σύστημα που ελέγχεται από μαγνητικούς βρόγχους.

1.10.3 Ανιχνευτές πίεσης

Ένας ανιχνευτής πίεσης μπορεί να ανιχνεύσει την παρουσία οχήματος σε εγκάρσια τομή μετρώντας την επίδραση που ασκείται από το όχημα στον ανιχνευτή. Οι πιο απλοί ανιχνευτές πίεσης είναι λεπτοί σωλήνες που συνδέονται με το οδόστρωμα. Όταν ένα όχημα διασχίζει έναν σωλήνα, η πίεση του αέρα αυξάνεται και μπορεί να μετρηθεί με μια ηλεκτρονική συσκευή. Οι πιο σύνθετοι ανιχνευτές πίεσης χρησιμοποιούν σωλήνες οπτικών ινών ή πιεζοηλεκτρικά καλώδια.

Οι ανιχνευτές πίεσης παραμένουν οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενοι αισθητήρες για βραχυπρόθεσμη καταμέτρηση κυκλοφορίας και για ταξινόμηση οχημάτων σύμφωνα με το πλήθος και την απόσταση των αξόνων. Ορισμένοι τύποι ανιχνευτών συγκεντρώνουν στοιχεία για τον υπολογισμό των διάκενων μεταξύ οχημάτων, των καθυστερήσεων στις διασταυρώσεις, των καθυστερήσεων σε σήματα stop, των ρυθμών ροής κορεσμού, των σημειακών ταχυτήτων και άλλων παραγόντων. Μεγάλα φορτηγά και λεωφορεία τείνουν να δυσχεραίνουν την ακρίβεια μέτρησης των αξόνων.

Οι ανιχνευτές πίεσης είναι επίσης επιρρεπείς σε θραύση από βανδαλισμούς και φθορά που προκαλείται από τα ελαστικά των φορτηγών και των λεωφορείων [8] (Heidemann et al., 2008).

1.10.4 Σταθμοί εν-κινήσει ζύγισης οχημάτων και πιεζοηλεκτρικοί αισθητήρες

Οι σταθμοί εν-κινήσει ζύγισης οχημάτων (Weigh-in-motion, WIM) χρησιμοποιούνται για την καταγραφή του βάρους του άξονα των βαρέων οχημάτων και του μεικτού βάρους των οχημάτων καθώς αυτά διέρχονται πάνω από τους αισθητήρες. Το πλεονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι ότι η ζύγιση των οχημάτων δεν είναι στατική, αλλά τα οχήματα μπορούν να ζυγίζονται ενώ κινούνται. Οι σταθμοί εν-κινήσει ζύγισης των οχημάτων χρησιμοποιούν συχνά πιεζοηλεκτρικούς αισθητήρες (χαλαζία στερεάς κατάστασης).

Οι δυνάμεις που επιβάλλονται πάνω στους αισθητήρες χαλαζία παράγουν μεταβαλλόμενα ηλεκτρικά σήματα που μετατρέπονται αναλογικά σε τάσεις, οι οποίες υπολογίζονται και καθορίζουν το φορτίο των τροχών. Επομένως, οι αισθητήρες WIM παρέχουν το πλήθος των τροχών και των αξόνων καθώς και το βάρος ανά τροχό, άξονα, ή όχημα. Τα δεδομένα αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να βαθμονομηθεί η κατανομή τύπων οχημάτων σε ένα μοντέλο προσομοίωσης. Ωστόσο, οι πιεζοηλεκτρικοί αισθητήρες είναι πολύ ευαίσθητοι στις θερμοκρασίες της επιφάνειας και στις ταχύτητες των οχημάτων (Mimbela & Klein, 2000) [10].

1.10.5 Παθητικοί υπέρυθροι αισθητήρες (Passive infrared sensors - PIR)

Οι παθητικοί αισθητήρες υπέρυθρων μετρούν την ταχύτητα και το μήκος του οχήματος, καθώς και τον φόρτο κυκλοφορίας και την πληρότητα της λωρίδας κυκλοφορίας. Οι αισθητήρες PIR τοποθετούνται συνήθως πάνω από την οδό και ανιχνεύουν τις διαφορές της θερμοκρασίας που προκαλούνται από τα διερχόμενα οχήματα. Το κύριο μειονέκτημα των υπέρυθρων αισθητήρων είναι η ευαισθησία τους στις καιρικές συνθήκες, συμπεριλαμβανομένων της ομίχλης, της βροχής και του χιονιού (Mimbela & Klein, 2000) [10].

1.10.6 Ραντάρ μικροκυμάτων

Τα ραντάρ μικροκυμάτων ανιχνεύουν μετατοπίσεις συχνότητας μεταξύ των ηλεκτρομαγνητικών σημάτων που μεταδίδονται και λαμβάνονται. Δύο τύποι τεχνολογίας ραντάρ χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση οχημάτων. Ο πρώτος τύπος εκπέμπει ηλεκτρομαγνητική ενέργεια σε μία σταθερή συχνότητα και μετρά τις ταχύτητες των οχημάτων που βρίσκονται στο οπτικό του πεδίο, χρησιμοποιώντας την αρχή Doppler – η διαφορά συχνότητας μεταξύ των μεταδιδόμενων και των λαμβανόμενων σημάτων είναι ανάλογη με την ταχύτητα του οχήματος. Το μειονέκτημα αυτής της τεχνολογίας είναι ότι τα ακινητοποιημένα οχήματα δεν μπορούν να ανιχνευτούν επειδή δεν παράγουν μετατοπίσεις συχνότητας.

Ο δεύτερος τύπος μεταδίδει ένα συνεχές κύμα διαμορφωμένης συχνότητας (frequency-modulated continuous wave – FMCW) που μεταβάλλει την εκπεμπόμενη συχνότητα συνεχώς με την πάροδο του χρόνου. Επιτρέπει την ανίχνευση των σταθμευμένων οχημάτων με τη μέτρηση του εύρους συχνότητας από τον ανιχνευτή έως το όχημα. Δεδομένου ότι με την τεχνολογία αυτή ανιχνεύονται τα σταθμευμένα οχήματα, μερικές φορές οι ανιχνευτές ραντάρ μικροκυμάτων λέγονται επίσης ανιχνευτές παρουσίας οχημάτων (Mimbela & Klein, 2000) [10].

Τρεις αισθητήρες ραντάρ ελέγχθηκαν σε μια δοκιμή πεδίου (ATAC, 2009) [11] για τον προσδιορισμό της ακρίβειάς τους στην καταγραφή του κυκλοφοριακού φόρτου, της ταχύτητας των οχημάτων και της κατηγοριοποίησης των οχημάτων. Επιπλέον, δύο τύποι στήριξης αισθητήρων ελέγχθηκαν για να διαπιστωθεί αν επηρεάζουν σημαντικά την ακρίβεια του αισθητήρα.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι υπάρχει ελαφρά επίδραση της σταθερότητας του αισθητήρα στην ακρίβεια. Χρησιμοποιώντας τον καλύτερο αισθητήρα ραντάρ επετεύχθη συνολική απόδοση (φόρτου, ταχύτητας, ταξινόμησης) συγκρίσιμη με έναν ανιχνευτή βρόχου.

1.10.7 Ενεργοί υπέρυθροι αισθητήρες

Οι ενεργοί υπέρυθροι αισθητήρες λειτουργούν παρόμοια με τα ραντάρ μικροκυμάτων. Οι πιο κοινοί τύποι χρησιμοποιούν διόδους λέιζερ για τη μετάδοση της ενέργειας στο εγγύς υπέρυθρο φάσμα. Ένα μέρος της ενέργειας ανακλάται πίσω στον δέκτη του ανιχνευτή του οχήματος που βρίσκεται στο οπτικό τους πεδίο.

Με τη χρήση λέιζερ ραντάρ καταγράφονται πληροφορίες σχετικά την ταχύτητα, τη διέλευση και την παρουσία των οχημάτων. Άλλοι τύποι ενεργών υπέρυθρων ανιχνευτών χρησιμοποιούν διόδους εκπομπής φωτός (LED) ως πηγές σήματος (Mimbela & Klein, 2000) [10].

1.10.8 (Ενεργητικοί ακουστικοί) αισθητήρες υπερήχων

Οι ανιχνευτές υπερήχων μεταδίδουν παλμούς υπερηχητικής ενέργειας προς το οδόστρωμα. Η ενέργεια αυτή (ή ένα τμήμα της) ανακλάται από την επιφάνεια του δρόμου ή του οχήματος πίσω στον δέκτη της συσκευής. Σύμφωνα με την αλλαγμένη ανατροφοδότηση που προκαλείται από τα διερχόμενα οχήματα, ο αισθητήρας καταγράφει τη διέλευση και την παρουσία των οχημάτων.

1.10.9 Παθητικοί ακουστικοί αισθητήρες

Η κυκλοφορία των οχημάτων παράγει ακουστικούς ήχους από διάφορες πηγές μέσα στα οχήματα και από τις αλληλεπιδράσεις των ελαστικών του οχήματος με το οδόστρωμα. Συστοιχίες μικροφώνων χρησιμοποιούνται για την καταγραφή των ήχων αυτών από μια καθορισμένη περιοχή σε μια λωρίδα κυκλοφορίας ή σε έναν αυτοκινητόδρομο. Όταν ένα όχημα εισέρχεται στη ζώνη ανίχνευσης, ο αλγόριθμος επεξεργασίας σήματος ανιχνεύει την αύξηση της ηχητικής ενέργειας και δημιουργείται ένα σήμα για την παρουσία οχήματος. Αντίστοιχα, όταν το όχημα εξέρχεται από τη ζώνη ανίχνευσης, η ηχητική ενέργεια μειώνεται και το σήμα για την παρουσία οχήματος τερματίζεται. Όταν ένας ακουστικός αισθητήρας τοποθετείται πάνω από το κέντρο του οδοστρώματος σε συνδυασμό με μια πλήρη συστοιχία μικροφώνων και ειδική επεξεργασία για τη διαμόρφωση πολλών ζωνών, μπορεί να ανιχνεύσει πληροφορίες για την κίνηση έως και σε επτά λωρίδες.

Τα μειονεκτήματα των παθητικών ακουστικών αισθητήρων περιλαμβάνουν τις επιπτώσεις σε ακραίες καιρικές συνθήκες λόγω ψύχους, καθώς και το υψηλό κόστος αγοράς και εγκατάστασης (Mimbela & Klein, 2000) [10].

1.10.10. Κάμερες και αυτόματη επεξεργασία εικόνας βίντεο

Διάφορα διαθέσιμα συστήματα ανιχνευτών χρησιμοποιούν κάμερες για να μιμηθούν τους τοπικούς ανιχνευτές. Αρχικά κάποιες περιοχές της εικόνας ορίζονται από τον χρήστη ως περιοχή ανίχνευσης. Στη συνέχεια, ο επεξεργαστής εικόνας βίντεο και τα επόμενα στάδια του αλγορίθμου αντλούν τοπικά κυκλοφοριακά δεδομένα, όπως την ταχύτητα, τον κυκλοφοριακό φόρτο, το μήκος του οχήματος, τον χωρικό διαχωρισμό και την κατηγορία κάθε οχήματος. Σε άλλα συστήματα, τα οχήματα ανιχνεύονται σε όλο το οπτικό πεδίο αναγνωρίζοντας και ακολουθώντας τη διαδρομή που εμφανίζεται από τις αλλαγές στην αντίθεση των pixel.

Όσον αφορά την ποιότητα των δεδομένων που είναι διαθέσιμα με αυτή τη μέθοδο βίντεο, οι έρευνες βρίσκονται υπό εξέλιξη. Σε σύγκριση με άλλες τεχνικές, το βίντεο φαίνεται να είναι μια πολλά υποσχόμενη και ισχυρή, αλλά επιρρεπής σε λάθη τεχνολογία. Οι πιο κρίσιμοι παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση ανίχνευσης είναι οι εξής :

- Οι συνθήκες φωτισμού: ποικίλες συνθήκες φωτισμού, σκιές και αντανακλάσεις επηρεάζουν την απόδοση των ανιχνευτών.
- Οι μετακινήσεις της κάμερας λόγω της ασταθούς εγκατάστασης ή των ισχυρών ανέμων μπορεί για παράδειγμα να οδηγήσουν σε μειωμένη ακρίβεια ανίχνευσης.
- Η θέση της κάμερας: Η κάμερα θα πρέπει ιδανικά να τοποθετηθεί απευθείας πάνω από το οδόστρωμα. Οι πλάγιες απόψεις δημιουργούν προβλήματα όπως διπλή καταμέτρηση
- Σε ακραίες καιρικές συνθήκες παρατηρείται μειωμένη ορατότητα.

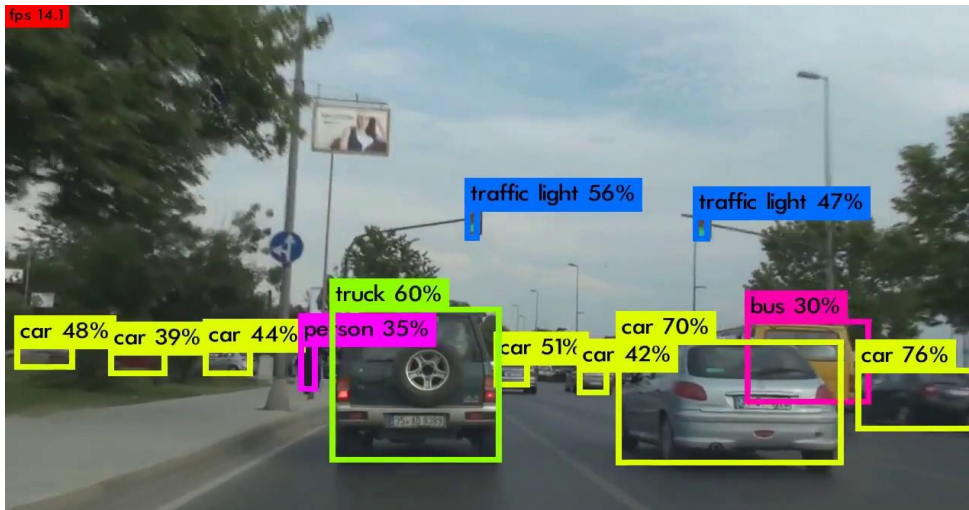
Ο Yu [4] ανέφερε ότι, οι λανθασμένες ανιχνεύσεις οχημάτων, οι οποίες προκαλούνται από σκιές οχημάτων σε παρακείμενες λωρίδες, ήταν περισσότερες ιδιαίτερα όταν ο καιρός ήταν αίθριος με έντονη ηλιοφάνεια. Η ακρίβεια της ταξινόμησης των οχημάτων επηρεάζεται επίσης από τον καιρό και δυσχεραίνεται όταν παρατηρούνται βροχοπτώσεις, ανεμοθύελλες, καθώς και λάμψη από έντονο φως, π.χ. απευθείας ή ανακλώμενο φως του ήλιου κατά τη διάρκεια της ημέρας, τεχνητό φως από τα φώτα των αυτοκινήτων κατά τη διάρκεια της νύχτας.

Αν και η επεξεργασία εικόνας βίντεο θεωρείται ως μέθοδος για την «τοπική» συλλογή δεδομένων (και συνήθως χρησιμοποιείται τοπικά, διότι τα κέντρα διαχείρισης κυκλοφορίας και οι στατιστικές υπηρεσίες χρειάζονται εξειδικευμένες πληροφορίες), μπορεί να προσφέρει επίσης υπερτοπικά δεδομένα. Οι κατασκευαστές ισχυρίζονται ότι τα συστήματά τους μπορούν να παρακολουθούν τα οχήματα και να ανιχνεύουν τις αλλαγές λωρίδας κυκλοφορίας. Ένα πλεονέκτημα όλων των ανιχνευτών με χρήση βίντεο είναι ότι, τουλάχιστον στο αρχικό στάδιο, μια εικόνα της κυκλοφοριακής κατάστασης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για δειγματοληπτικούς ελέγχους των συνθηκών κυκλοφορίας.

Λόγω του χαμηλού κόστους εγκατάστασής τους, οι τοπικοί μη παρεμβατικοί ανιχνευτές χρησιμοποιούνται συνήθως για τη συλλογή δεδομένων που προορίζονται για ειδικές μελέτες προσομοίωσης. Για παράδειγμα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν κάμερες που ενεργοποιούνται από τους ανιχνευτές ραντάρ μικροκυμάτων ή πίεσης. Καθώς οι περίοδοι συλλογής για αυτούς τους τύπους συλλογής δεδομένων περιορίζονται συνήθως σε σύντομα χρονικά διαστήματα, η ποιότητα και η διαθεσιμότητα των δεδομένων πρέπει να ελέγχονται κατά τα πρώτα στάδια συλλογής. Πράγματι, η ποιότητα αυτών των δεδομένων είναι πολύ σημαντική για τη διεξαγωγή αξιόπιστων μελετών προσομοίωσης. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η τοποθέτηση πολλών μη παρεμβατικών συσκευών μέτρησης ασκεί μεγάλη επίδραση στην ποιότητα των μετρήσεων.



Εικόνα 1.14: Σύστημα ανίχνευσης και παρακολούθησης με ψηφιακή επεξεργασία εικόνας.



Εικόνα 1.15: Σύστημα ανίχνευσης και παρακολούθησης με ψηφιακή επεξεργασία εικόνας στην Κωνσταντινούπολη.

1.11 Τοποθέτηση ανιχνευτών

Όπως αναφέρθηκε, [4] οι ανιχνευτές μπορεί να τοποθετούνται είτε μέσα στο οδόστρωμα, είτε επάνω από αυτό. Στην πρώτη περίπτωση απαιτείται η εκσκαφή ή χάραξη του οδοστρώματος για την εγκατάσταση του συστήματος, που συνήθως είναι τύπου μαγνητικού βρόχου. Στη δεύτερη περίπτωση η εγκατάσταση της συσκευής ανίχνευσης μπορεί να γίνει είτε σε κάποιον στύλο τοποθετημένο ειδικά για αυτόν το σκοπό, είτε σε υπάρχον στύλο κοινωφελούς δικτύου, είτε στο στύλο του ίδιου του σηματοδότη. Το πλεονέκτημα των συσκευών ανίχνευσης υπέργειας τοποθέτησης είναι η δυνατότητα ρύθμισης της διεύθυνσής τους, οπότε μπορούν να τοποθετηθούν σε ένα ευρύ φάσμα θέσεων γύρω από την οδό.

Σε κάθε περίπτωση, πάντως, βασικό στοιχείο αναφορικά με την τοποθέτηση ενός ανιχνευτή είναι το σημείο ανίχνευσης, δηλαδή το σημείο στο οποίο ένα όχημα θα ανιχνευθεί, μόλις βρεθεί επάνω του. Η απόσταση του σημείου αυτού από τη θέση του σηματοδότη εξαρτάται επακριβώς από την ταχύτητα κίνησης και από το είδος της ανίχνευσης. Στο εν λόγω σημείο τοποθετείται η υπό το οδόστρωμα διάταξη ανίχνευσης ή, αντίστοιχα, στο σημείο αυτό στρέφεται η υπέργεια συσκευή ανίχνευσης.

Μία απλή μέθοδος προσδιορισμού του σημείου τοποθέτησης δίνεται κατά το εγχειρίδιο Traffic Manual του Τμήματος Συγκοινωνιών της Καλιφόρνια [4], κατά την οποία θεωρείται ότι ο ανιχνευτής τοποθετείται στο σημείο όπου ο οδηγός αντιλαμβάνεται την ύπαρξη του σηματοδότη και ξεκινάει να επιβραδύνει σε περίπτωση κόκκινης ένδειξης. Το σημείο αυτό απέχει από το σηματοδότη τόση απόσταση, όση η απόσταση επιβράδυνσης επαυξημένη κατά την απόσταση αντίδρασης μετά την αντίληψη της ένδειξης. Η **επιβράδυνση θεωρείται $d=3,6 \text{ m/s}^2$** και ο **χρόνος αντίδρασης $r=1 \text{ sec}$** . Η απόσταση υπολογίζεται με τους απλούς τύπους της κινηματικής και είναι $S=V^2/2d+V \cdot r$, όπου **V η ταχύτητα κίνησης**. Στον

Πίνακα 1.1 δίνονται οι προτεινόμενες αποστάσεις κατά τη μέθοδο, ωστόσο θα πρέπει να τονιστεί ότι για τα ευρωπαϊκά δεδομένα η μέθοδος μάλλον οδηγεί σε μεγαλύτερες αποστάσεις, καθώς η επιβράδυνση που γίνεται δεκτή πιθανότατα αναφέρεται στα εν γένει μεγαλύτερα αμερικάνικα αυτοκίνητα

Πάντως, υπάρχουν περιπτώσεις όπου ενδεχόμενη απόπειρα ανίχνευσης σε απόσταση από το σηματοδότη ενδέχεται να είναι προβληματική. Τέτοιες περιπτώσεις μπορεί να είναι χαμηλή ταχύτητα κίνησης, εισροή οχημάτων από διασταύρωση στην υπό ανίχνευση οδό μετά από τη θέση ανίχνευσης, καμπύλη πρόσβαση όπου τα απομακρυνόμενα από τον κόμβο οχήματα ανιχνεύονται και αυτά, κλπ. Σε αυτές τις περιπτώσεις χρειάζεται και ένα δεύτερο σύστημα ανίχνευσης, στη θέση του σηματοδότη.

Πίνακας 1.1 Συνιστώμενη απόσταση ανιχνευή από τον σηματοδότη

Ταχύτητα κίνησης στην οδό (km/h)	40	50	60	70	80	90	100	110
Απόσταση ανιχνευτή από σηματοδότη (m)	30	45	60	80	105	130	155	185

1.12 Επίλογος – Εξέλιξη στην σηματοδότηση

Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται κατανοητό η εξέλιξη της σηματοδότησης σε δυο βασικούς τομείς, το τεχνικό μέρος της σηματοδότησης και την εφαρμογή της.

Όσον αφορά το πρώτο, το ζητούμενο είναι η εφαρμογή πιο ποιοτικών σηματοδοτών, δηλαδή την πιο αξιόπιστη και οικονομική λύση για τους ανιχνευτές κίνησης της κυκλοφορίας.

Η βασικότερη νέα τεχνολογία που έχει ήδη αρχίσει να εφαρμόζεται στο εξωτερικό, και που αναμένεται πλέον και στην Ελλάδα, είναι η εφαρμογή των φωτεινών πηγών τύπου LED, οι οποίες συνδυάζουν χαμηλή ισχύ λειτουργίας με ταυτόχρονα χαμηλές απώλειες ενέργειας, μεγάλη διάρκεια ζωής, καλύτερη αξιοπιστία και βέλτιστα οπτικά χαρακτηριστικά.

Ταυτόχρονα, το διαρκώς αυξανόμενο κυκλοφοριακό πρόβλημα όλων των μεγάλων πόλεων του κόσμου επιβάλλει μία νέα προσέγγιση στη διαχείριση της σηματοδότησης, που ξεφεύγει από την κλασική αντιμετώπιση με τους στατικούς σηματοδότες, και που οδηγεί στην εφαρμογή ολοκληρωμένων «έξυπνων» συστημάτων καθολικής διαχείρισής της, στα πλαίσια ευρύτερων περιοχών μέσα σε ένα αστικό δίκτυο. Προς το σκοπό αυτό, την καθοριστική ώθηση δίνουν η ανάπτυξη των ηλεκτρονικών υπολογιστών, της τηλεματικής και των τηλεπικοινωνιών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο : ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

2.1 Μελέτη της λειτουργίας

Η κυκλοφοριακή κίνηση στις μέρες μας, όσο αφορά και τις διασταυρώσεις διαφέρει κατά την διάρκεια της ημέρας. Συνήθως, σε μία διασταύρωση οι χρόνοι του κόκκινου/πράσινου των σηματοδοτών είναι σταθεροί, όλο το 24-ωρο, με αποτέλεσμα να δημιουργείται μία δυσλειτουργία στη ροή των οχημάτων. Η ροή ενός δρόμου, σε σχέση με άλλον/ους διασταυρούμενο/ους αλλάζει τακτικά.

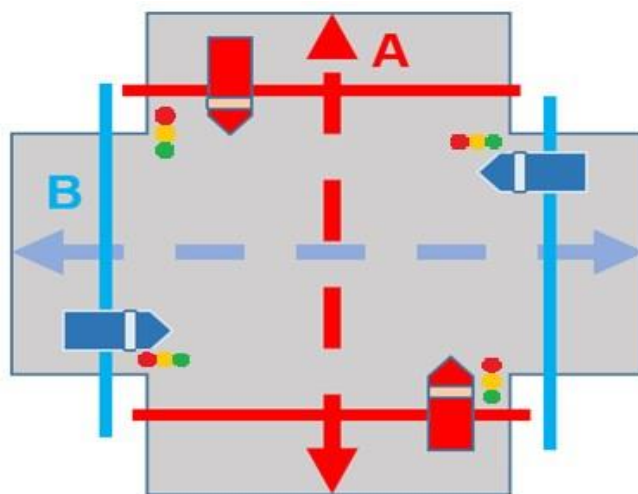
Μία πιθανή λύση του προβλήματος είναι να προσαρμόζεται ο χρόνος των φαναριών ανάλογα με την εκάστοτε ροή οχημάτων. Αυτό επιτυγχάνεται με έναν μικροελεγκτή ο οποίος παρακολουθεί την ροή του κάθε δρόμου κάθε δευτερόλεπτο και υπολογίζει τον χρόνο που θα είναι πράσινο το κάθε φανάρι στον επόμενο κύκλο ώστε να ευνοηθεί αυτός ο δρόμος με την μεγαλύτερη ροή οχημάτων.

Παρακάτω αναλύονται δύο διασταυρούμενοι δρόμοι που δημιουργούν την Ροή A και την Ροή B . Οπότε, ερχόμαστε αντιμέτωποι με τις 3 καταστάσεις :

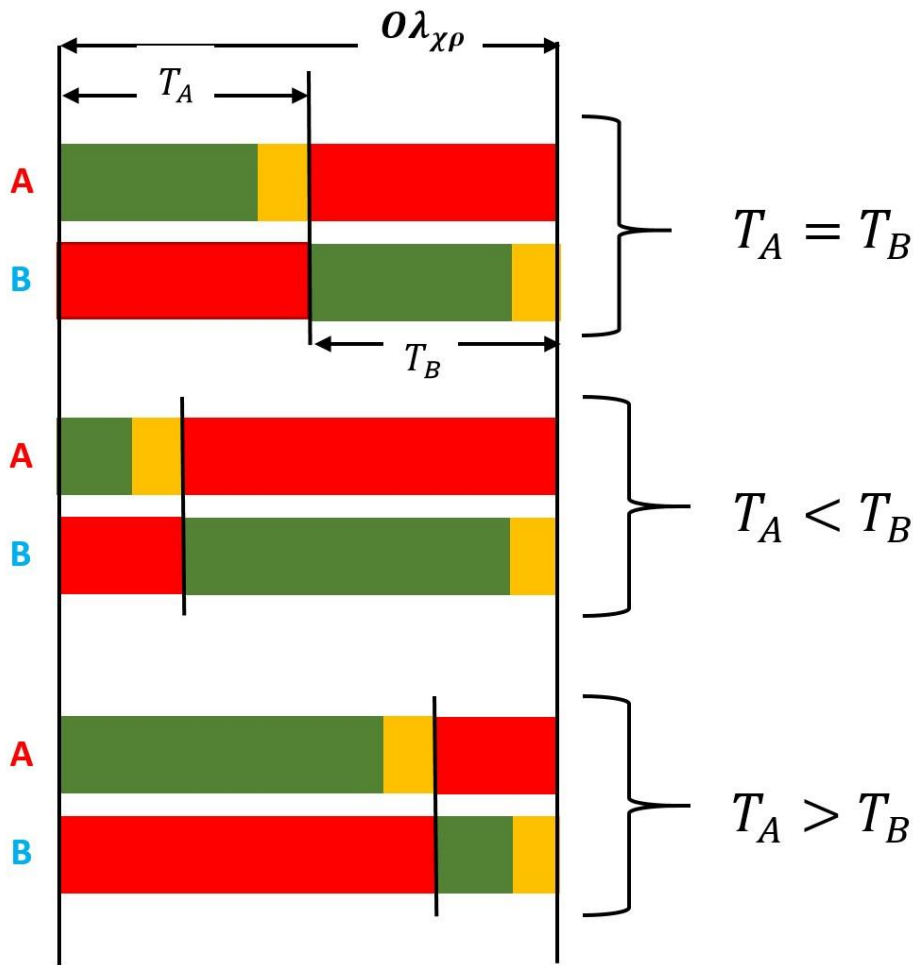
- 1) Ροή A = B οπότε ο χρόνος T_A είναι ίσο με τον χρόνο T_B
- 2) Ροή A > Ροή B οπότε ο χρόνος T_A είναι μεγαλύτερος από τον χρόνο T_B
- 3) Ροή A < Ροή B οπότε ο χρόνος T_A είναι μικρότερος από τον χρόνο T_B Το ποσοστό της ροής

A ή B προτείνεται από τον εξής τύπο :

$$A_{\%} = \frac{Ροή_A}{Ροή_A + Ροή_B} \cdot 100\% \quad B_{\%} = 1 - A_{\%} \quad (2)$$



Εικόνα 2.1. Διασταύρωση δυο καταστάσεων



Εικόνα 2.2. Καταστάσεις μεταβολών φαναριών σε σχέση με τον χρόνο.

2.2 Λειτουργία του συστήματος

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως το σύστημα των φαναριών επηρεάζεται ανάλογα την ποσοστιαία έξοδο του αισθητήρα μαγνητικού βρόγχου που συνδέεται με τα φανάρια και τον ελεγκτή.

Ο κάθε κύκλος επηρεάζεται από τις καταστάσεις των 5 προηγούμενων κύκλων μέσω ενός πίνακα 1×5 όπου αποθηκεύονται τα δεδομένα. Αυτό γίνεται για να έχουμε μία ομαλή μετάβαση στην αλλαγή του χρόνου των φαναριών, ενώ στον 9^ο κύκλο η κατάσταση γίνεται reset και βρίσκεται σε ισορροπία. Το ποσοστό που θα είναι πράσινο το φανάρι του A δρόμου του κάθε κύκλου βγαίνει από τον τύπο:

$$T_a = 40sec * \frac{C_a + C_c}{C_a + C_b + C_c + C_d} - 2 sec \quad (3)$$

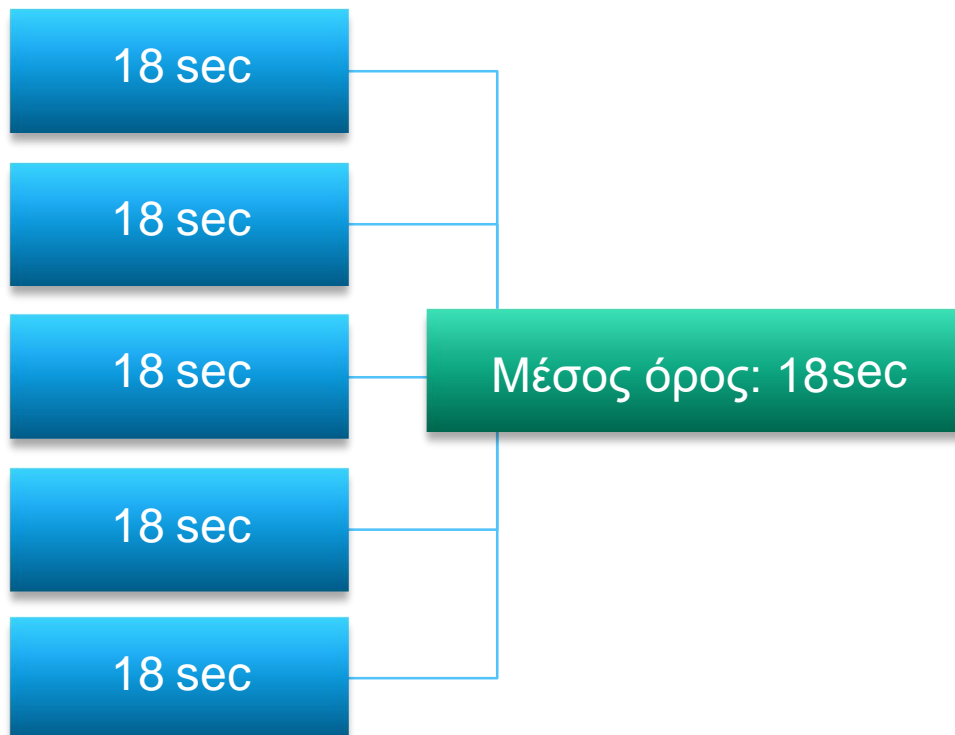
Όπου 40sec ο χρόνος του κύκλου, $C_a - C_b - C_c - C_d$ ο αριθμός των οχημάτων που έχουμε από τον κάθε δρόμο και μείον 2sec για το πορτοκαλί φανάρι όπου ο χρόνος του είναι σταθερός.

Ρύθμιση του χρονισμού της φωτεινής σήμανσης διασταυρώσεων σύμφωνα με το ρυθμό κυκλοφορίας των οχημάτων

Μετά όπως προαναφέρθηκε η τιμή αυτή μπαίνει σε έναν πίνακα 1x5 (εικόνα 2.3) ο οποίος είναι αρχικοποιημένος στην ισορροπία των φαναριών (18sec), σε κάθε κύκλο βγάζουμε τον μέσο όρο των τιμών του πίνακα και αυτή η τιμή είναι ο χρόνος που θα είναι πράσινα τα φανάρια του Α δρόμου.

Αν σε έναν κύκλο φαναριών ακόμα και αν κάποια ροή είναι 100% τότε λόγω του πίνακα ο χρόνος του επόμενου κύκλου δεν μεταβάλλεται ακαριαία. Αν υποθέσουμε ότι η Ροή Α είναι μονίμως 100% σε σχέση με την Ροή Β τότε ο χρόνος του πράσινου της Ροής Α σύμφωνα με τον τύπο $Πράσινο\ A = 40sec * \frac{Ca + Cc}{Ca + Cb + Cc + Cd} - 2\ sec$ και τον παρακάτω πίνακα 1x5 χρειάζονται 5 κύκλοι έτσι ώστε το Πράσινο $A_{(max)} = 31\ sec$. Ο χρόνος δεν γίνεται μεγαλύτερος του 31 sec, έτσι ώστε να υπάρχει και ένα Πράσινο $B_{(min)} = 5\ sec$

Για να βρούμε αντίστοιχα το Πράσινο Β, προσθέτουμε 4 sec (2 για κάθε πορτοκαλί) και αφαιρούμε αυτό το νούμερο από το 40 τότε βρίσκουμε και τον χρόνο για τα πράσινα του Β δρόμου σύμφωνα με την παρακάτω εξίσωση: $Πράσινο\ B = 40 - Πράσινο\ A + 4\ sec$.



Εικόνα 2.3 Διάρκεια Πρασίνου σε ισορροπία.

Εφόσον χρησιμοποιούνται 2 Ροές στο κύκλωμα συμπεραίνεται πως υπάρχουν 5 Καταστάσεις: Α) $POH_A = POH_B$ Β) $POH_A > POH_B$ Γ) $POH_A < POH_B$ Δ) $POH_A \gg POH_B$ ($POH_B = 0$) Ε) $POH_A \ll POH_B$ ($POH_A = 0$) που αναλύονται παρακάτω:

A) $POH_A = POH_B$

Όταν η ροή στον δρόμο A είναι ίση με την ροή στον δρόμο B τότε ο χρόνος των φαναριών βρίσκεται σε κατάσταση ισορροπίας οπότε το ΠΡΑΣΙΝΟ A=ΠΡΑΣΙΝΟ B και ΚΟΚΚΙΝΟ A = ΚΟΚΚΙΝΟ B.

- ΠΡΑΣΙΝΟ A = 18 sec ΠΡΑΣΙΝΟ B = 18 sec
- ΠΟΡΤΟΚΑΛΙ A = 2 sec ΠΟΡΤΟΚΑΛΙ B = 2 sec
- ΚΟΚΚΙΝΟ A = 20 sec ΚΟΚΚΙΝΟ B = 20 sec



Εικόνα 2.4. Χρονική απεικόνιση κύκλου φαναριών σε ισορροπία($POH_A = POH_B$).

B) $POH_A > POH_B$

Όταν η ροή στον δρόμο A είναι μεγαλύτερη από την ροή στον δρόμο B τα φανάρια A και Γ μένουν περισσότερη ώρα πράσινα από τα φανάρια B και Δ, οπότε το ΠΡΑΣΙΝΟ A > ΠΡΑΣΙΝΟ B και ΚΟΚΚΙΝΟ A < ΚΟΚΚΙΝΟ B. Οι τιμές που παίρνουν τα φανάρια σε αυτή την κατάσταση είναι:

- ΠΡΑΣΙΝΟ A = 19 - 30 sec ΠΡΑΣΙΝΟ B = 6 - 17 sec
- ΠΟΡΤΟΚΑΛΙ A = 2 sec ΠΟΡΤΟΚΑΛΙ B = 2 sec
- ΚΟΚΚΙΝΟ A = 8 - 19 sec ΚΟΚΚΙΝΟ B = 21 - 32 sec



Εικόνα 2.5. Χρονική απεικόνιση κύκλου φαναριών σε κατάσταση ($POH_A > POH_B$).

Γ) $POH_A < POH_B$

Όταν η ροή στον δρόμο A είναι μικρότερη από την ροή στον δρόμο B, τα φανάρια A και Γ είναι λιγότερη ώρα πράσινα από τα φανάρια B και Δ, οπότε το ΠΡΑΣΙΝΟ A < ΠΡΑΣΙΝΟ B και ΚΟΚΚΙΝΟ A > ΚΟΚΚΙΝΟ B. Οι τιμές που παίρνουν τα φανάρια σε αυτή την κατάσταση είναι:

- ΠΡΑΣΙΝΟ A = 6 - 17 sec ΠΡΑΣΙΝΟ B = 19 - 30 sec
- ΠΟΡΤΟΚΑΛΙ A = 2 sec ΠΟΡΤΟΚΑΛΙ B = 2 sec
- ΚΟΚΚΙΝΟ A = 21 - 32 sec ΚΟΚΚΙΝΟ B = 8 - 19 sec



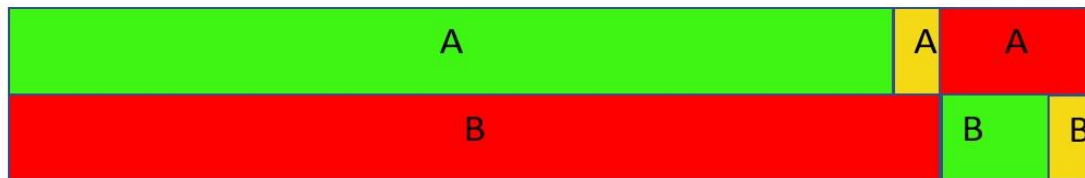
Εικόνα 2.6. Χρονική απεικόνιση κύκλου φαναριών σε κατάσταση ($POH_A < POH_B$).

Δ) $POH_A \gg POH_B$ ($POH_B = 0$)

Αν η Ροή Α είναι αρκετά πιο μεγάλη από την Ροή Β ακόμα και όταν η κίνηση ΒΔ ($C_b+C_d=0$) τότε ο χρόνος του $\Pi_B \neq 0$ γιατί θέλουμε σε κάθε κύκλο να έχουμε πράσινο φανάρι και στις 2 ροές όποτε τα φανάρια ΑΓ >> ΒΔ τότε ΠΡΑΣΙΝΟ Α >> ΠΡΑΣΙΝΟ Β και ΚΟΚΚΙΝΟ Α >> ΚΟΚΚΙΝΟ Β.

Οι τιμές που παίρνουν τα φανάρια σε αυτή την ακραία κατάσταση είναι:

- ΠΡΑΣΙΝΟ Α = 31 sec ΠΡΑΣΙΝΟ Β = 5 sec
- ΠΟΡΤΟΚΑΛΙ Α = 2 sec ΠΟΡΤΟΚΑΛΙ Β = 2 sec
- ΚΟΚΚΙΝΟ Α = 7 sec ΚΟΚΚΙΝΟ Β = 33 sec



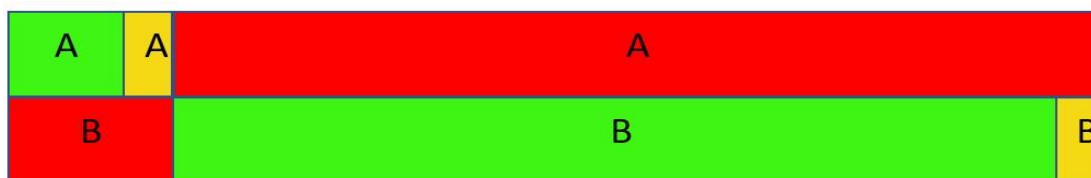
Εικόνα 2.7. Χρονική απεικόνιση κύκλου φαναριών σε κατάσταση ($POH_A \gg POH_B$).

Ε) $POH_A \ll POH_B$ ($POH_A = 0$)

Αν η Ροή Α είναι αρκετά πιο μικρή από την Ροή Β ακόμα και όταν η κίνηση ΑΓ ($C_a+C_c=0$) τότε ο χρόνος του $\Pi_A \neq 0$ γιατί θέλουμε σε κάθε κύκλο να έχουμε πράσινο φανάρι και στις 2 ροές όποτε τα φανάρια ΑΓ << ΒΔ τότε ΠΡΑΣΙΝΟ Α << ΠΡΑΣΙΝΟ Β και ΚΟΚΚΙΝΟ Α >> ΚΟΚΚΙΝΟ Β.

Οι τιμές που παίρνουν τα φανάρια σε αυτή την ακραία κατάσταση είναι:

- ΠΡΑΣΙΝΟ Α = 5 sec ΠΡΑΣΙΝΟ Β = 31 sec
- ΠΟΡΤΟΚΑΛΙ Α = 2 sec ΠΟΡΤΟΚΑΛΙ Β = 2 sec
- ΚΟΚΚΙΝΟ Α = 33 sec ΚΟΚΚΙΝΟ Β = 7 sec



Εικόνα 2.8. Χρονική απεικόνιση κύκλου φαναριών σε κατάσταση ($POH_A \ll POH_B$).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο : Κεντρική μονάδα ελέγχου και έλεγχος του κυκλώματος

3.1 Arduino UNO R3 SMD

Ο μικροελεγκτής που χρησιμοποιήθηκε στην παρακάτω κατασκευή είναι ο Arduino Uno R3 SMD και για αυτό αξίζει να τον δούμε πιο αναλυτικά.

Ο Arduino είναι μια φυσική υπολογιστική πλατφόρμα ανοιχτής πηγής, η οποία βασίζεται σε μια απλή πλακέτα μικροελεγκτή και σε ένα περιβάλλον ανάπτυξης σύμφωνα με το οποίο το λογισμικό γράφεται στην πλακέτα. Οι Arduino μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία αλληλεπιδραστικών αντικειμένων, αφού δέχονται δεδομένα από μια ποικιλία από εισόδους, όπως αισθητήρες ή διακόπτες, και ταυτόχρονα είναι σε θέση να ελέγξουν ένας μεγάλο εύρος από διόδους φωτός, από μηχανές ή άλλες φυσικές εξόδους [15]. Οι εφαρμογές τους μπορούν να χρησιμοποιηθούν μεμονωμένα ή και με σύνδεση με Η/Υ μέσω του κατάλληλου λογισμικού. Η σύνδεση της πλακέτας μπορεί να γίνει με ευκολία από τον ίδιο το χρήστη ή και να είναι ήδη πραγματοποιημένη από την εταιρεία ώστε ο χρήστης να την αγοράσει έτοιμη, ενώ παράλληλα το IDE λογισμικό βρίσκεται διαθέσιμο δωρεάν στο διαδίκτυο ώστε ο χρήστης να μπορεί να το κατεβάσει χωρίς καμία καθυστέρηση ή χρηματική επιβάρυνση.

Κάθε πλατφόρμα οποιασδήποτε εταιρείας όμοια με τον Arduino χρησιμοποιείται για να συγκεντρωθούν όλες οι προγραμματιστικές λεπτομέρειες, που ενδεχομένως να προκαλούν μια σύγχυση στο χρήστη, σε ένα εύκολο και έτοιμο προς χρήση πακέτο. Ο Arduino, όμως, δεν απλοποιεί μόνο τη διαδικασία χρήσης μικροελεγκτή, αλλά ταυτόχρονα προσφέρει και κάποια επιπλέον πλεονεκτήματα για καθηγητές, μαθητές και αρχάριους σε σχέση με τις υπόλοιπες πλατφόρμες:

- Χαμηλό κόστος (Ακόμα και οι έτοιμες πλακέτες δεν κοστίζουν περισσότερο από ευρώ).
- Εύρος πλατφορμών ανάπτυξης (Windows, MAC και Linux).
- Απλό και ξεκάθαρο περιβάλλον προγραμματισμού.
- Εκτενές και ανοιχτής πηγής λογισμικό (Δυνατότητα επέκτασης της γλώσσας προγραμματισμού μέσω της χρήσης βιβλιοθηκών C/C++).
- Εκτενές και ανοιχτής πηγής συσκευές (Βασίζεται στον μικροελεγκτή ATMEGA8 και στον ATMEGA168 της εταιρείας Atmel).

Όσον αφορά την αρχιτεκτονική του το Arduino είναι μια πλατφόρμα βασισμένη στον ATMEGA328. Περιέχει 14 ψηφιακούς ακροδέκτες I/O εισόδου-εξόδου, 6 αναλογικές εισόδους και 6 ψηφιακές εξόδους έναν ταλαντωτή των 16 MHz, υποδοχή σύνδεσης με USB καλώδιο, υποδοχή σύνδεσης με ρεύμα, δυνατότητα εντός του κυκλώματος σειριακού προγραμματισμού-ICSP (In-Circuit Serial Programming) και ένα κουμπί επανεκκίνησης (reset) σε περίπτωση που βραχυκυκλώσει χωρίς την θέλησή μας. Εμπεριέχει όλα όσα χρειάζονται για την υποστήριξη ενός μικροελεγκτή.

Το μόνο που απαιτείται είναι η σύνδεσή του με έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή μέσω ενός καλωδίου USB ή τροφοδοσία του μέσω ενός μετασχηματιστή τάσης για τη μετατροπή μεταξύ εναλλασσόμενου και ασυνεχούς ρεύματος (adaptor AC-to-DC-Alternating Current to Direct Current) ή μιας μπαταρίας.

Οι πλατφόρμες Arduino διαθέτουν τρεις βασικές μνήμες:

- Flash memory (32 Kbytes) στην οποία τοποθετείται κάθε φορά το πρόγραμμα που πρόκειται να εκτελεστεί καθώς και ο φορτωτής εκκίνησης που διευκολύνει την διαδικασία του προγραμματισμού της πλατφόρμας.
- SRAM memory (στατική μνήμη τυχαίας προσπέλασης των 2 Kbytes) η οποία χρησιμοποιείται για την προσωρινή αποθήκευση των στατικών και των μεταβλητών δεδομένων του προγράμματος που εκτελείται.
- EEPROM memory (1 Kbytes) στην οποία αποθηκεύονται οι τιμές των μεταβλητών όταν η πλατφόρμα σβήσει(OFF). Χρησιμοποιείται για την αποθήκευση ρυθμίσεων και άλλων παραμέτρων ανάμεσα στα Reset του Arduino.

Πρέπει να αναφέρουμε, ότι η μνήμες Flash και EEPROM κρατάνε τις πληροφορίες τους όταν η πλακέτα αποσυνδεθεί από το ρεύμα, ενώ η μνήμη SRAM είναι ασταθής και οι πληροφορίες χάνονται όταν "κόβεται" το ρεύμα.

Επειδή δεν υπάρχει πολύ διαθέσιμη SRAM, αν "γεμίσει", το πρόγραμμα μπορεί να αποτύχει με απροσδόκητους τρόπους. Για παράδειγμα μπορεί να φαίνεται ότι το πρόγραμμα έχει "φορτωθεί" στην πλακέτα με επιτυχία αλλά να μην τρέχει ή να τρέχει παράξενα. Για να ελεγχθεί αυτό πρέπει να μειώσουμε τον όγκο του προγράμματος σβήνοντας τα σχόλια ή οι σειρές ή άλλες δομές στο sketch (χωρίς να αλλάξει ο κώδικας).

Εάν λειτουργεί σωστά στην συνέχεια, κατά πάσα πιθανότητα έχει εξαντληθεί η SRAM.

3.1.1 Ακροδέκτες του Arduino

3.1.1.1 Ακροδέκτες ρεύματος

Οι Ακροδέκτες ρεύματος αποτελούνται από [16] (3 εικόνα 3.1.)

- **3.3V**: 3.3V έξοδος.
- **5V**: δύο 5V έξοδοι.
- **RES**: ακροδέκτης όπου αν συνδεθεί ένα normally open push button ως προς την γείωση, τότε λειτουργεί σας το reset button που βρίσκεται πάνω στην πλακέτα.
- **GND**: 2 γειώσεις.
- **VIN**: Η τάση εισόδου στην πλακέτα Arduino όταν είναι συνδεδεμένο με μια εξωτερική πηγή ενέργειας (πχ μια άλλη ρυθμιζόμενη πηγή ενέργειας) .

3.1.1.2 Αναλογικοί ακροδέκτες

Αναλογικοί ακροδέκτες (4 εικόνα 3.1.) είναι οι συντελεστές όπου θα συνδέσετε το αναλογικά συστατικά, όπως τα ποτενσιόμετρα και άλλους αισθητήρες. Αν και οι ψηφιακές είσοδοι / έξοδοι λειτουργούν μόνο με 0 και 1 τιμές, οι αναλογικές λειτουργούν με τιμές 0 έως 1023[16].

3.1.1.3 Ψηφιακοί ακροδέκτες

Ψηφιακοί ακροδέκτες (7 εικόνα 3.1.) μπορεί να λειτουργήσουν ως εισροές ή εκροές και να ορίσετε πώς θα λειτουργήσουν με την pinMode() λειτουργία[16].

Οι πείροι που έχουν το "~" μπροστά από τα νούμερα είναι PWM (Pulse Width Modulation) έξοδοι, και μπορούν να μιμηθούν αναλογικής εξόδου με λειτουργία analogWrite (). Όταν χρησιμοποιείτε αυτή τη λειτουργία, διαμορφώνετε το πλάτος του παλμού, μεταβάλλοντας τη συχνότητα max και χαμηλών παλμών (0 ή 1), μιμούμενοι ένα αναλογικό παλμό.

3.1.1.4 Ακροδέκτες σειριακής επικοινωνίας

Οι ακροδέκτες σειριακής επικοινωνίας [16] (6 εικόνα 3.1) είναι:

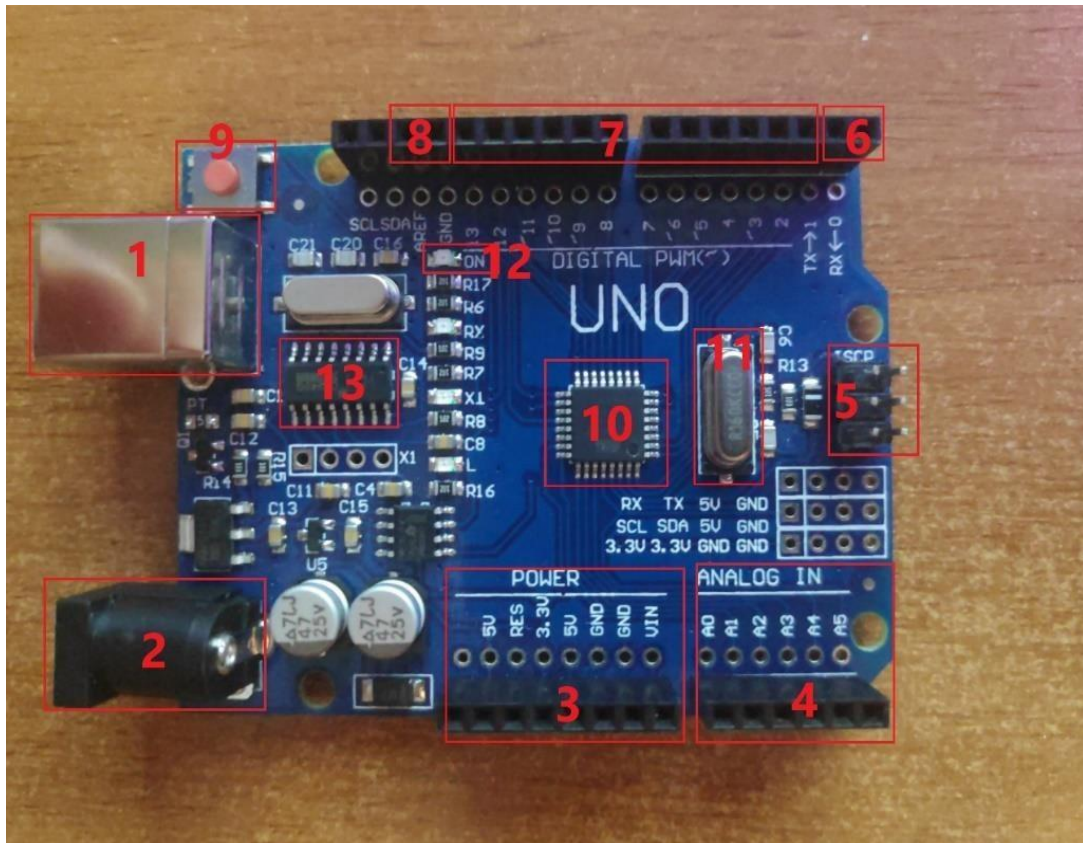
- **RX:** είναι ο ακροδέκτης που δέχεται τις πληροφορίες.
- **TX:** είναι ο ακροδέκτης που στέλνει τις πληροφορίες.

3.1.1.5 Ακροδέκτης τάσης αναφοράς

Ο ακροδέκτης τάσης αναφοράς ή αλλιώς AREF (2 εικόνα 3.1) είναι ακροδέκτης όπου δίνουμε στο Arduino μία τάση αναφοράς από εξωτερική πηγή[16].

3.1.1.6 Ακροδέκτες σειριακού προγραμματισμού

Οι ακροδέκτες σειριακού προγραμματισμού ICSP (5 εικόνα 3.1) είναι οι ακροδέκτες οι οποίοι επιτρέπουν στον χρήστη να προγραμματίσει το υλικολογισμικό του Arduino[16].



Εικόνα 3.1. Arduino Uno R3.

1. Υποδοχή USB type B.
2. Υποδοχή τροφοδοσίας.
3. Ακροδέκτες ρεύματος.
4. Ακροδέκτες αναλογικών εισόδων.
5. Ακροδέκτες σειριακού προγραμματισμού.
6. Ακροδέκτες σειριακής επικοινωνίας.
7. Ψηφιακοί είσοδοι/έξοδοι (δυνατότητα PWM εξόδου σε αυτούς με το ~).
8. Ακροδέκτης εξωτερικής τάσης αναφοράς και γείωση.
9. Κουμπί επαναφοράς.
10. Επεξεργαστής ATmega328p.
11. Κρύσταλος 16MHz.
12. Led ON.
13. Chip επικοινωνίας.

Συνοπτική περιγραφή του Arduino

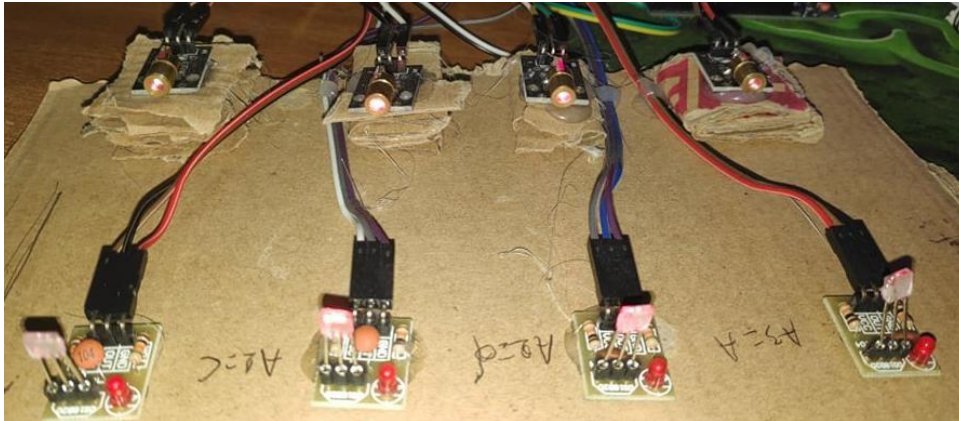
Πίνακας 3.1 Συνοπτική περιγραφή Arduino UNO R3[16].

Μικροεπεξεργαστής	ATmega328p
Τάση λειτουργείας	5V
Προτεινόμενη τάση εισόδου	7-12V
Μέγιστη τάση εισόδου	6-20V
Ψηφιακοί ακροδέκτες I/O	14 (6 εκ των οποίων PWM εξόδοι)
Αναλογικοί ακροδέκτες εισόδου	6
Συνεχές ρεύμα ανά I/O ακροδέκτη	20mA
Συνεχές ρεύμα στον 3.3V ακροδέκτη	50mA
Μνήμη Flash	32KB
SRAM	2KB
EEPROM	1KB
Ταχύτητα χρονισμού	16MHz
Μήκος	68.6mm
Πλάτος	53.4mm
Βάρος	25gr

3.2 Αισθητήρες του κυκλώματος

Αρχικά το κύκλωμα έγινε με οι αισθητήρες βάρους 100 gr όπου κάθε φορά που περνούσε το όχημα πάνω από τον αισθητήρα δημιουργούταν μία AC τάση και μέσω ενός Analog to Digital μετατροπέα μετατρεπόταν σε DC τάση στην είσοδο του μικροελεγκτή. Μετέπειτα, δοκιμάστηκαν αισθητήρες λέιζερ όπου υπήρχε μία δέσμη laser η οποία "χτυπούσε" σε ένα φωτοτρανζίστορ το οποίο λειτουργούσε σαν δέκτης και κάθε φορά που "κοβόταν" η δέσμη γινόταν μέτρηση.

Εν τέλει, προτιμήθηκε, όπως θα δείτε στο σκέλος της κατασκευής, ο αισθητήρας μαγνητικού βρόγχου (loop) για να είναι πιο ρεαλιστική η απεικόνιση του κυκλώματος στην καθημερινότητα καθώς είναι οι δημοφιλέστεροι αισθητήρες παγκοσμίως. Σε αυτή την περίπτωση έχουμε σε κάθε δρόμο κολλημένους 2 βραχυκυκλωτήρες σε μικρή απόσταση μεταξύ τους. Ο ένας τροφοδοτείται με 5 V και ο άλλος είναι συνδεδεμένος με την είσοδο του μικροελεγκτή. Όταν περνάει το όχημα πάνω από τον αισθητήρα τότε τα βραχυκυκλώνει μέσω μίας λάμας που είναι κολλημένη από κάτω και ανεβαίνει ο μετρητής.

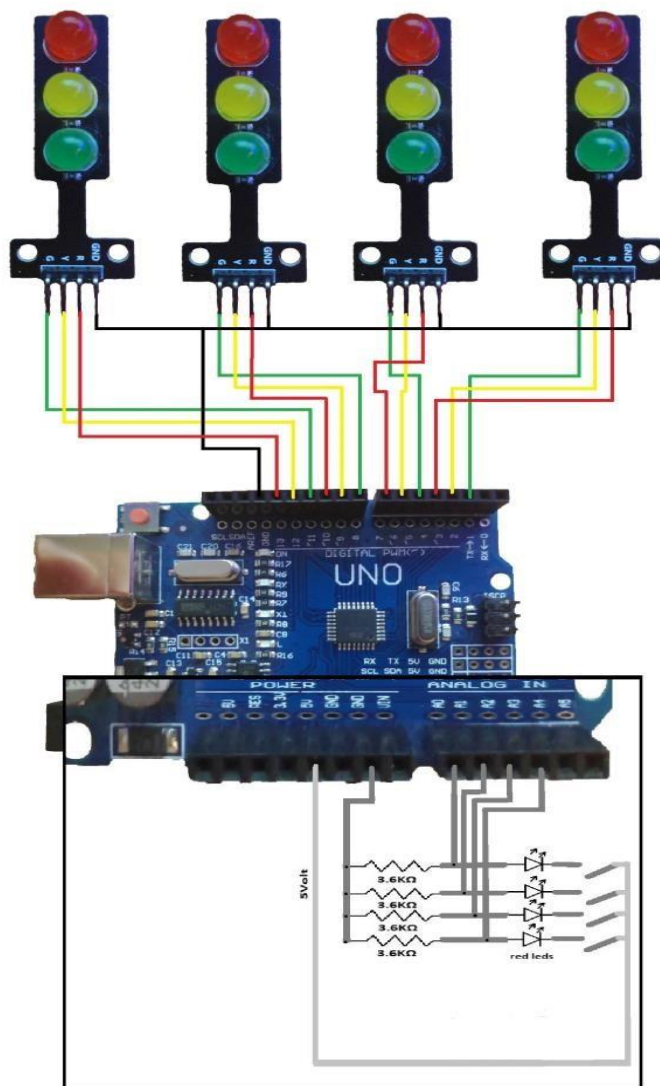


Εικόνα 3.2. Αρχικός σχεδιασμός κυκλώματος με αισθητήρες laser.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο : Υλοποίηση του συστήματος

4.1 Συνδεσμολογία του κυκλώματος

Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται η συνδεσμολογία του κυκλώματος.



Εικόνα 4.1. Γενική εικόνα της συνδεσμολογίας του κυκλώματος με τον μικροελεγκτή Arduino.

Πιο συγκεκριμένα διακρίνουμε:

Είσοδος:

1. 4 Βραχυκυκλωτήρες που συνδέονται με το κάθε φανάρι ξεχωριστά μέσω ενός κόκκινου LED ώστε να υπάρχει ένδειξη όταν υπάρχει επαφή.
2. Pull down resistors 3.6KΩ Οι τιμές των αντιστάσεων πρέπει να ναι 1KΩ-5KΩ για να διατηρεί την τάση εισόδου πάνω από το VIH. Τροφοδοσία 5V που συνδέεται με τις αντιστάσεις.
3. Γείωση που συνδέεται με τις αντιστάσεις.

Έξοδος:

1. Green Led: pins (2,5,8,11).
2. Yellow Led: pins (3,6,9,12).
3. Red Led: pins (4,7,10,13).
4. Γείωση που συνδέει τα φανάρια μεταξύ τους.

4.2 Τροφοδοσία

Η τροφοδοσία του κυκλώματος επιτυγχάνεται μέσω θύρας που συνδέεται το Arduino με USB 2.0 CABLE TYPE A/B με τον υπολογιστή ή με μια μπαταρία 9 Volt.



Εικόνα 4.2. Καλώδιο USB 2.0 τύπου A/B.



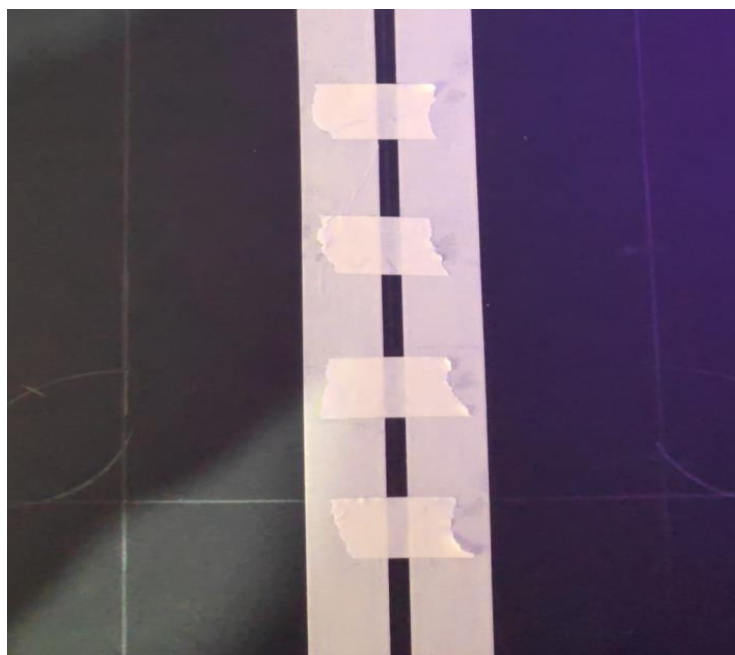
Εικόνα 4.3. 9 Volt μπαταρία σε 2.1 x 5.5 mm αρσενικό.

4.3 Κατασκευή του κυκλώματος

Τα υλικά και τα εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή της μακέτας είναι τα εξής:

- Wavin Pilsa PP-R PIPE (TYPE 3) 20x3.4mm
- Χαρτόνι μακέτας 3mm 50x70cm
- Χαρτόνι μακέτας 5mm 50x70cm
- Χαρτόνι μακέτας 10mm 50x70cm
- Χαρτί Βελουτέ 70x100cm πράσινο
- Ακρυλικό Galerina W Titanium White
- Ακρυλικό Galerina W Pale Olive
- Πινέλα πλακέ
- Κοπίδι
- Κόλλα Hart 33ml
- Χάρακας 30cm
- Πιστόλι θερμής Σιλικόνης
- Φανάρια Led
- Arduino Uno R3
- Μπαταρία 9V
- Αυτοκινητάκια
- Ράστερ
- Βραχυκυκλωτήρες

A) Αρχικά έγινε ο σχεδιασμός της διασταύρωσης και ο σχεδιασμός των γραμμών πάνω στο χαρτόνι μακέτας (5mm 50x70cm).



Εικόνα 4.4. Σχεδιασμός δρόμων – διασταύρωσης.

Β) Κολλήθηκε με την κόλλα (Hart 33ml) το πράσινο χαρτί βελουτέ(70x100cm).



Εικόνα 4.5. Διασταύρωση τεσσάρων κατευθύνσεων.

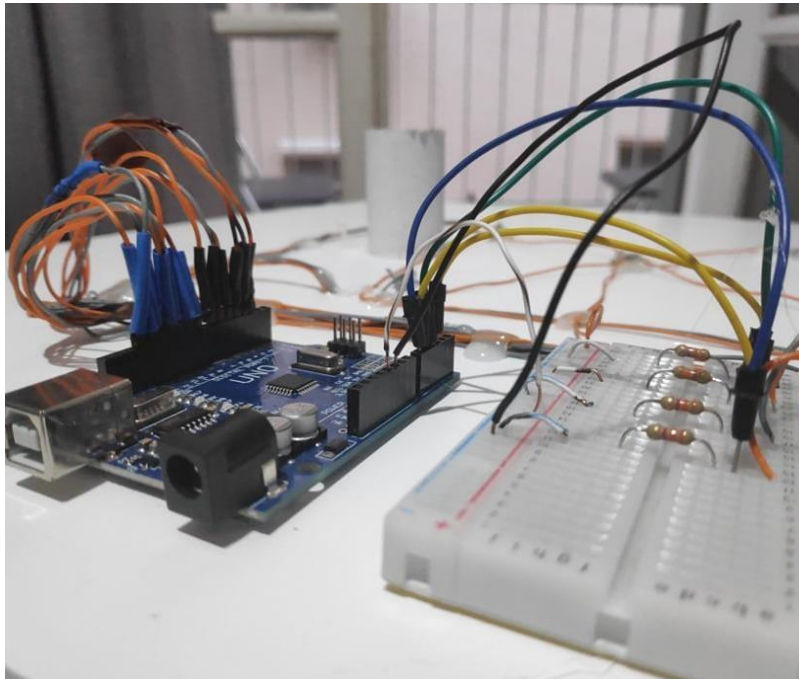
Γ) Τοποθετήθηκαν κάτω από την μακέτα 6 ποδαράκια από σκληρό χαρτόνι όπου κολλήθηκαν με θερμή σιλικόνη για την βάση της κατασκευής.



Εικόνα 4.6. Βάση κατασκευής από σκληρό χαρτόνι.

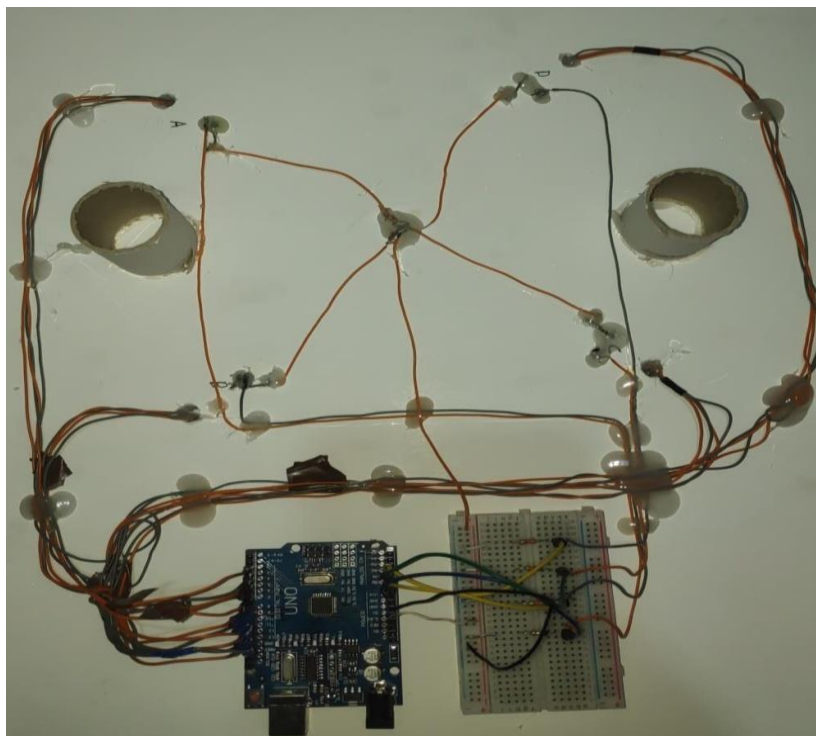
Ρύθμιση του χρονισμού της φωτεινής σήμανσης διασταυρώσεων σύμφωνα με το
ρυθμό κυκλοφορίας των οχημάτων

Δ) Κολλήθηκε ο ελεγκτής Arduino και ένα ράστερ (breadboard) με θερμή σιλικόνη και έπειτα έγιναν οι συνδέσεις.



Εικόνα 4.7. Ράστερ και Arduino Uno R3 στο κάτω μέρος της κατασκευής.

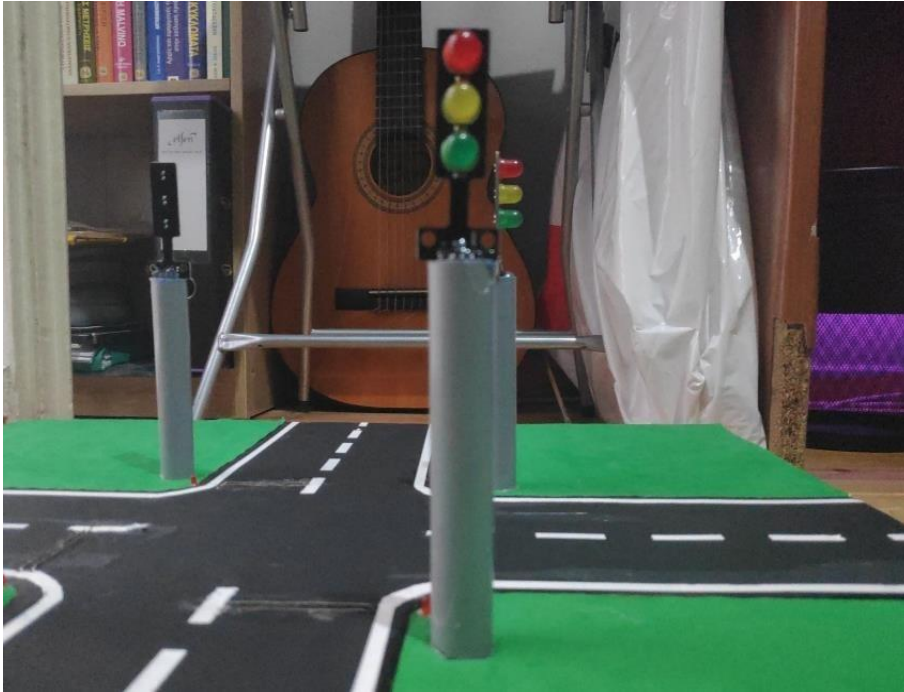
Ε) Έπειτα, έγιναν οι συνδέσεις μας όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα όπου ανοίχτηκαν τρύπες για να περαστούν οι βραχυκυκλωτήρες στο πάνω μέρος αφού τους κολλήθηκαν με θερμή σιλικόνη.



Εικόνα 4.8. Συνδέσεις στο κάτω μέρος της μακέτας.

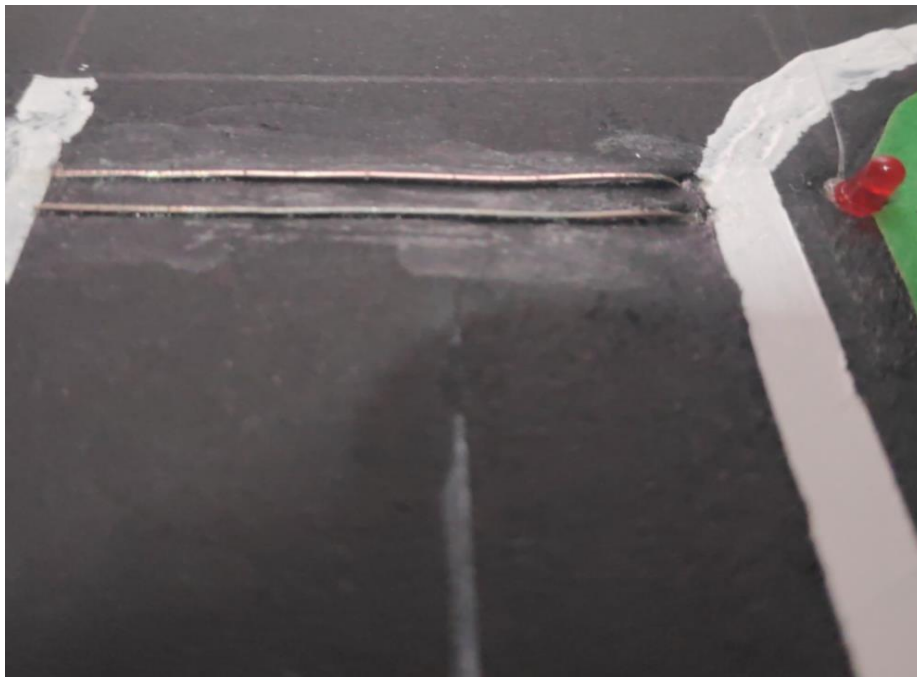
Ρύθμιση του χρονισμού της φωτεινής σήμανσης διασταυρώσεων σύμφωνα με το
ρυθμό κυκλοφορίας των οχημάτων

ΣΤ) Κολλήθηκε στο πάνω μέρος σε κάθε γωνία της διασταύρωσης ο στύλος (Wavin Pilsa PPR PIPE (TYPE 3) 20x3.4mm) όπου τοποθετήθηκαν τα φανάρια LED και έγιναν οι συνδέσεις εσωτερικά τους στύλου.



Εικόνα 4.9. Φανάρια τύπου Led τοποθετημένα πάνω στον στύλο.

Ζ) Τοποθετήθηκαν οι βραχυκυκλωτήρες – αισθητήρες (Ioops) μπροστά από κάθε φανάρι και τοποθετήθηκε δίπλα ένα κόκκινο Led οπου ανάβει κάθε φορά όταν ενεργοποιείται.



Εικόνα 4.10. Αισθητήρες Ioops τοποθετημένα μπροστά και δίπλα του κόκκινο Led.

Ρύθμιση του χρονισμού της φωτεινής σήμανσης διασταυρώσεων σύμφωνα με το
ρυθμό κυκλοφορίας των οχημάτων

Η) Κολλήθηκε κάτω από το αυτοκίνητο μια λάμα για να διεγείρεται ο αισθητήρας.



Εικόνα 4.11. Το κάτω μέρος του αυτοκινήτου.

Θ) Η τελική μορφή της κατασκευής μας.



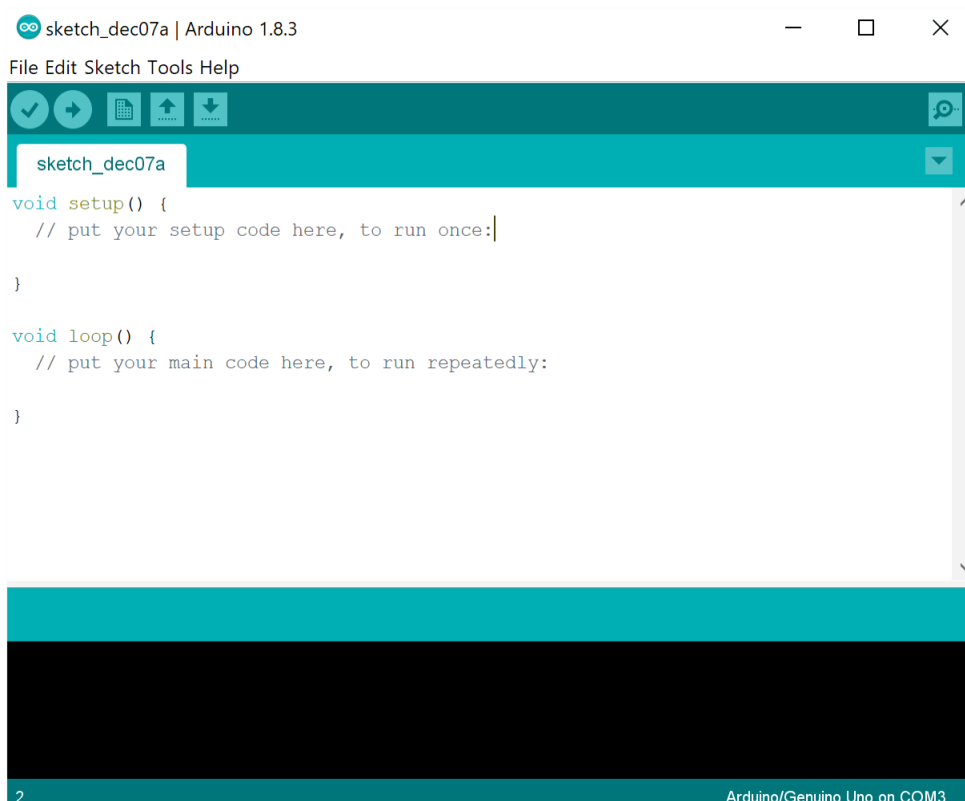
Εικόνα 4.12. Η κατασκευή στην τελική μορφή της.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο : ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

5.1 Προγραμματιστικό περιβάλλον Arduino IDE

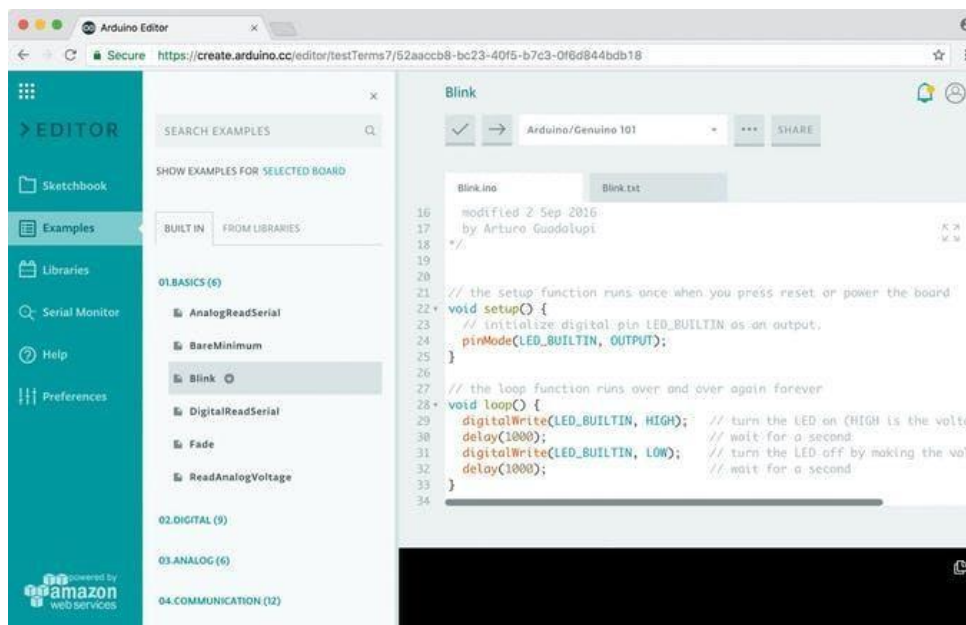
Το Arduino IDE είναι ένα περιβάλλον προγραμματισμού που επιτρέπει στον χρήστη να γράφει προγράμματα και να τα φορτώνει στον μικροελεγκτή. Είναι μία εφαρμογή πολλαπλών πλατφορμών (Windows, macOS, Linux). Η γλώσσα προγραμματισμού είναι φιλική ως προς τον χρήστη, γράφεται σε συναρτήσεις από C και C++ και βασίζεται στην γλώσσα προγραμματισμού Wiring[14]. Όταν ο χρήστης έχει ολοκληρώσει τον κώδικα του το IDE μεταγλωττίζει και μεταφράζει τον κώδικα σε δεκαεξαδικό με το πρόγραμμα avrdude. Μετά την μετάφραση του κώδικα, ο IDE μεταφορτώνει το πρόγραμμα στον μικροελεγκτή.

Το Arduino IDE διαθέτει έναν αναλυτή κώδικα ο οποίος θα ελέγξει τον κώδικα του χρήστη πριν το στείλει στο Arduino. Σε περίπτωση που βρεθεί λάθος εμφανίζεται στο κάτω μέρος δείχνοντας την σειρά που βρίσκεται και μία σύντομη περιγραφή του λάθους.



Εικόνα 5.1. Arduino IDE.

Μέσω του browser μπορεί κανείς να τρέξει το Arduino Web Editor όπου μπορεί να κάνει ακριβώς την ίδια δουλειά με το Arduino IDE χωρίς να κατεβάσει το πρόγραμμα στον υπολογιστή του. Επίσης μπορείτε να ανεβάσετε τα δικά σας project και να βρείτε πληθώρα προγραμμάτων με αναλυτικές οδηγίες και κώδικα ώστε να τα υλοποιήσετε και εσείς.



Εικόνα 5.2. Arduino Web Editor.

5.2 Επεξήγηση του Προγράμματος

Ο παρακάτω κώδικας είναι γραμμένος στην γλώσσα προγραμματισμού Wiring όπου στην ουσία είναι η γλώσσα προγραμματισμού C++ με διάφορες βιβλιοθήκες [17] [18].

Η δομή του κώδικα πάει ως εξής. Αρχικά αντιστοιχούμε την κάθε έξοδο του μικροελεγκτή μας με το κάθε LED των φαναριών. Έτσι έχουμε στην έξοδο 2 του Arduino μας το πράσινο του πρώτου φαναριού με όνομα A1, το κίτρινο του πρώτου φαναριού με A2 το κόκκινο με A3 το πράσινο του δεύτερου φαναριού με B1 και ούτω καθεξής. Δηλώνουμε ως ακέραιους αριθμούς όλες τις μεταβλητές που θα χρησιμοποιήσουμε και έναν πίνακα 1x5 όπου θα αποθηκεύονται τα αποτελέσματα με το ποσοστό της ροής (κίνησης) της A κατεύθυνσης.

Μετάπειτα δηλώνουμε και την βιβλιοθήκη Arduino-timer.h [18]. Εδώ να σημειωθεί ότι αρχικά προσπαθήσαμε να κάνουμε το πρόγραμμα με μια βιβλιοθήκη που προσφέρει "εικονικά" interrupt (διακοπή του προγράμματος

5.3 Πρόγραμμα

```
#define ledA1 2 //prasino fanari
```

```
#define ledA2 3 //portokali fanari
```

```
#define ledA3 4 //kokkino fanari
```

```
#define ledB1 5 //prasino fanari
#define ledB2 6 //portokali fanari
#define ledB3 7 //kokkino fanari

#define ledC1 8 //prasino fanari
#define ledC2 9 //portokali fanari
#define ledC3 10 //kokkino fanari

#define ledD1 11 //prasino fanari
#define ledD2 12 //portokali fanari
#define ledD3 13 //kokkino fanari

#include <arduino-timer.h>

int a, b, c, d, Greenac, Greenbd, Redac, Redbd;
int Ca = 1, Cb = 1, Cc = 1, Cd = 1;
int sum = 72; // to synolo ton timwn tou pinaka
int mo = 0; // mesos oros 5 teleytaion fanarion
int pinakas[] = {18, 18, 18, 18, 18}; //arxikopoiisi pinaka
int counter = 0;
auto timer = timer_create_default();
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(ledA1, OUTPUT); //kathe pin ginete exodos pliroforias
  pinMode(ledA2, OUTPUT);
  pinMode(ledA3, OUTPUT);

  pinMode(ledB1, OUTPUT);
  pinMode(ledB2, OUTPUT);
```

```
pinMode(ledB3, OUTPUT);

pinMode(ledC1, OUTPUT);
pinMode(ledC2, OUTPUT);
pinMode(ledC3, OUTPUT);

pinMode(ledD1, OUTPUT);
pinMode(ledD2, OUTPUT);
pinMode(ledD3, OUTPUT);

timer.in(0, doLed); // ξεκινάει να τρέχει το κύριο πρόγραμμα
timer.every(40000, counterUp); // κάθε 40sec ανεβώνει ο μετρητής
timer.every(40000, doLed); // κάθε 40sec τρέχει το κύριο πρόγραμμα
}

void(resetFunc) (void) = 0; //declare reset function @ address 0

void times() {
  Greenac = (40 * (Ca + Cc) / (Ca + Cb + Cc + Cd)) - 2; //ποσοστό που θα μινούν πράσινα τα
  fanaria A & C

  if (Greenac < 5) // αν το ποσοστό γίνει μικρότερο των 5 δευτερολέπτον να μείνει 5
  {
    Greenac = 5;
    Redac = 33;
    Greenbd = 31;
  }

  else if (Greenac > 31) //αν το ποσοστό γίνει μεγαλύτερο από 31 να μείνει 31
  {
    Greenac = 31;
  }
}
```

```
Redbd = 2 + Greenac; // pososto kokkinou fanarion B & D
Greenbd = (40 * (Cb + Cd) / (Ca + Cb + Cc + Cd)) - 2; // pososto pou tha minoun prasina ta
//fanaria B & D
if (Greenbd < 5) // an to pososto ginei mikrotero ton 5 deuterolepton na meinei 5
{
  Greenbd = 5;
}
else if (Greenbd > 31) // an to pososto ginei megalitero apo 31 na meinei 31
{
  Greenbd = 31;
}
Redac = 2 + Greenbd; // pososto kokkinou fanarion A & C
}

void loop() {

  timer.tick();
  readSensor(); // edw trexei to upoprogramma pou diavazei tous aisthitires

  if (counter == 10){
    resetFunc(); // kathe 9 gures midenizontai ta dedomena kai ta fanaria epanerxontai se
    //isoropia
  }
}

void readSensor()
{
  a = digitalRead(A0); // an dothei tash sto A0 to a ginetai 1 alliws menei 0
  b = digitalRead(A1); // an dothei tash sto A1 to b ginetai 1 alliws menei 0
```

```
c = digitalRead(A2); // an dothei tash sto A2 to c ginetai 1 alliws menei 0
d = digitalRead(A3); // an dothei tash sto A3 to d ginetai 1 alliws menei 0

if ( a == 1) {
  Ca = Ca + 1; // metritis pou krataei poses fores to a exei ginei 1
}

if (b == 1) {
  Cb = Cb + 1; // metritis pou krataei poses fores to b exei ginei 1
}

if ( c == 1) {
  Cc = Cc + 1; // metritis pou krataei poses fores to c exei ginei 1
}

if ( d == 1) {
  Cd = Cd + 1; // metritis pou krataei poses fores to d exei ginei 1
}

Serial.print("counter ");
Serial.print(counter);
Serial.print("\t");
Serial.print("a ");
Serial.print(a);
Serial.print("\t");
Serial.print("b ");
Serial.print(b);
Serial.print("\t");
Serial.print("c ");
Serial.print(c);
Serial.print("\t");
Serial.print("d ");
```

```
Serial.print(d);  
Serial.print("\t");  
Serial.print("Ca ");  
Serial.print(Ca);  
Serial.print("\t");  
Serial.print("Cb ");  
Serial.print(Cb);  
Serial.print("\t");  
Serial.print("Cc ");  
Serial.print(Cc);  
Serial.print("\t");  
Serial.print("Cd ");  
Serial.print(Cd);  
Serial.print("\t");  
Serial.print("Greenac ");  
Serial.print(Greenac);  
Serial.print("\t");  
Serial.print("Greendb ");  
Serial.print(Greenbd);  
Serial.print("\t");  
}  
  
bool ACorange() {  
    Serial.print("\n");  
    Serial.print("INSIDE ACORANGE");  
    Serial.print("\n");  
    digitalWrite(ledA1, LOW); // dinei tis katastaseis olon ton fanarion gia na einai to A & C  
                                //portokali
```

```
digitalWrite(ledC1, LOW);  
digitalWrite(ledA2, HIGH);  
digitalWrite(ledC2, HIGH);  
return true; // to repeat the action  
}  
  
bool BDorange() {  
  Serial.print("\n");  
  Serial.print("INSIDE BDORANGE");  
  Serial.print("\n");  
  digitalWrite(ledB1, LOW); // dinei tis katastaseis olon ton fanarion gia na einai to B & D  
                               //portokali  
  digitalWrite(ledD1, LOW);  
  digitalWrite(ledB2, HIGH);  
  digitalWrite(ledD2, HIGH);  
  return true; // to repeat the action  
}  
  
bool ACred() {  
  Serial.print("\n");  
  Serial.print("INSIDE acRED");  
  Serial.print("\n");  
  digitalWrite(ledA2, LOW); // dinei tis katastaseis olon ton fanarion gia na einai to A & C  
                               //kokkino  
  digitalWrite(ledC2, LOW);  
  digitalWrite(ledA3, HIGH);  
  digitalWrite(ledC3, HIGH);  
  digitalWrite(ledB3, LOW);  
  digitalWrite(ledD3, LOW);
```

```
digitalWrite(ledB1, HIGH);  
digitalWrite(ledD1, HIGH);  
return true; // to repeat the action  
}  
  
bool ACgreen() {  
  Serial.print("\n");  
  Serial.print("INSIDE GREEN");  
  Serial.print("\n");  
  Ca = 1;  
  Cb = 1 ;  
  Cc = 1;  
  Cd = 1;  
  
  digitalWrite(ledA3, LOW); // dinei tis katastaseis olon ton fanarion gia na einai to A & C  
  //prasino  
  digitalWrite(ledC3, LOW);  
  digitalWrite(ledA1, HIGH);  
  digitalWrite(ledC1, HIGH);  
  digitalWrite(ledB2, LOW);  
  digitalWrite(ledD2, LOW);  
  digitalWrite(ledB3, HIGH);  
  digitalWrite(ledD3, HIGH);  
  return true; // to repeat the action  
}  
  
bool reset() {  
  resetFunc(); //call reset  
  return true; // to repeat the action
```

```
}
```

```
bool counterUp() {  
    counter++; //call reset  
    times();  
    return true; // to repeat the action  
}
```

```
bool doLed() {  
    Serial.print("\n");  
    Serial.print("DOING LEDS");  
    Serial.print("\n");  
    times();  
    Serial.print("\n");  
    Serial.print(counter * 40000 + 2000);  
    Serial.print("\n");  
    Serial.print("\n");  
    Serial.print(millis());  
    Serial.print("\n");  
    if (counter > 5){  
        pinakas[counter-5]= Greenac; // epeidei o pinakas exei 5 theseis kai se autas tis theseis  
                                     //pigenoume me ton counter  
    }else pinakas[counter] = Greenac; // otan autos pernai to 5 kanoume thn praksi counter-5  
                                     //gia na paei ksana apo tin arxi  
    sum=0;  
    mo=0;  
    for (int i=0; i<5; i++){  
        sum =sum + pinakas[i]; // edw ginete prothesi olon ton timon tou pinaka
```

```
}
```

```
mo=sum/5; // edw upologizete o mesos oros tou pinaka
```

```
Serial.print("pinakas counter: ");
```

```
Serial.print(pinakas[counter]);
```

```
Serial.print("\n");
```

```
Serial.print("mesos oros: ");
```

```
Serial.print(mo);
```

```
Serial.print("\n");
```

```
Serial.print("sum: ");
```

```
Serial.print(sum);
```

```
Serial.print("\n");
```

```
return true; // to repeat the action - false to stop
```

```
}
```

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6ο : ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΒΕΛΤΙΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

6.1 Συμπεράσματα

Συμπεραίνοντας από την παραπάνω εργασία, είμαστε πολύ ευχαριστημένοι από τον τρόπο που λειτουργεί το σύστημα καθώς θέλαμε να κάνουμε ένα πρωτότυπο σχέδιο που στηρίχτηκε κυρίως στα ποσοστά ροών μιας διασταύρωσης. Ο Arduino Uno R3 SMD που χρησιμοποιήθηκε δεν μας έδωσε πολλές δυνατότητες εισόδου έτσι ώστε να δημιουργηθούν περισσότερες ροές και καταστάσεις στο κύκλωμα.

6.2 Προτάσεις για μελλοντικές βελτιώσεις

Αρχικά, εάν ξανακάναμε την εργασία με Arduino θα χρησιμοποιούσαμε το Arduino Mega 2560 που μας δίνει την επιλογή να χρησιμοποιήσουμε περισσότερες εισόδους και εξόδους ώστε να ελέγχονται περισσότερα φανάρια (για πεζούς και για τα αυτοκίνητα που πηγαίνουν αριστερά και δεξιά). Έπειτα, για την λειτουργία του κυκλώματος θα ήταν δυνατό να προστεθεί ένας κεντρικός server όπου έτσι θα λυνόταν το πρόβλημα του να γίνετε reset κάθε 9 κύκλους φαναριών, επειδή τα δεδομένα θα αποθηκευόντουσαν στον server αντί του μικροελεγκτή. Επίσης θα μπορούσαμε να προσθέσουμε και άλλες διασταυρώσεις που να επικοινωνούν μεταξύ τους με την βοήθεια του server. Μία ακόμα βελτίωση, που θα μπορούσε να γίνει, είναι η τοποθέτηση αισθητήρων για οχήματα έκτακτης ανάγκης, τα οποία θα “ελέγχουν” το φανάρι, αλλάζοντας του κατάσταση προς όφελος τους (π.χ ένα ασθενοφόρο όταν θα μεταβαίνει προς ή από ένα έκτακτο περιστατικό στο νοσοκομείο, θα μπορεί είτε μέσω αναγνώρισης της σειρήνας από μικρόφωνα στα φανάρια, είτε από κάποιον ειδικό εκπομπό, να κάνει το κάθε φανάρι μπροστά του πράσινο ώστε να μειώσει τον χρόνο διέλευσης, χωρίς να υπάρχει ο κίνδυνος πρόσκρουσης με όχημα από διαφορετική κατεύθυνση).

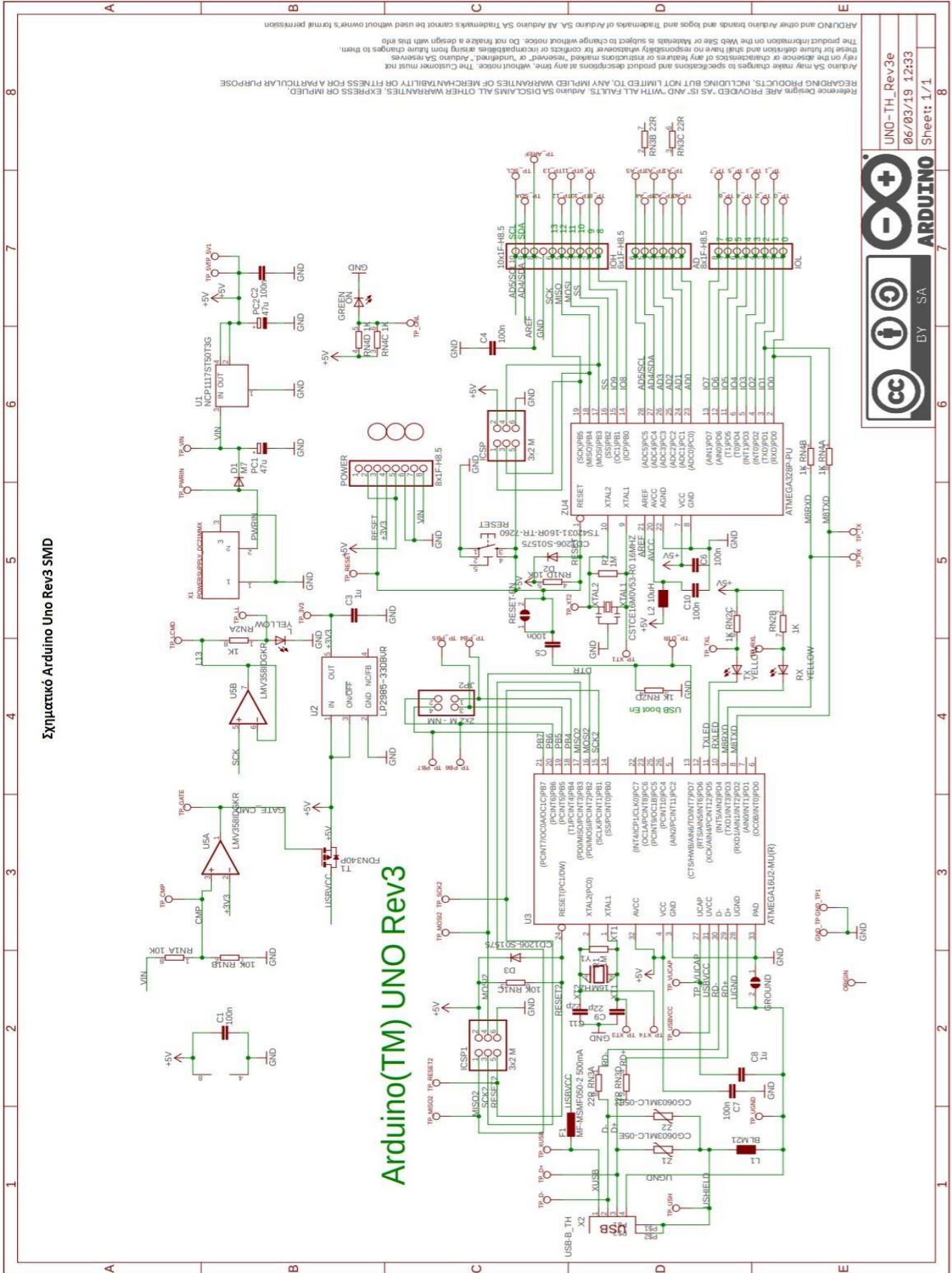
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1] A Brief History of Traffic Lights, Andrew Gardner, Οκτ 17, 2017, <https://www.artsy.net/article/artsy-editorial-history-traffic-lights>
- [2] Η ιστορία των φαναριών (και μια ελληνική προφητεία), ασσόδου, Οκτ 27, 2017, <https://1-2.gr/2017/10/27/h-istoria-ton-fanarion-kai-mia-ellhnikh-profhteia/>
- [3] Υπουργείο Μεταφορών και Επικοινωνιών, «Σχέδιο του νέου Κώδικα Οδικής Κυκλοφορίας», Αθήνα 2017. https://government.gov.gr/wp-content/uploads/2017/10/1.1ΝΣΧ-ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ-31-10-2017_ΣΥΝΕΤΕΥΞΗ.pdf
- [4] ΣΥΓΧΡΟΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΤΩΝ ΟΔΩΝ, Δημήτριος Τσανακτσίδης Δημήτριος Τσίτσουλας, ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ-ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ, ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ, ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΡΓΩΝ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ, ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ, ΙΟΥΝΙΟΣ 2003. <http://www.tsanak.gr/documents/civil/roadequip.pdf>
- [5] Αντωνίου, Κ., Σπυροπούλου, Ι., 2015. *Αρχές κυκλοφοριακής τεχνικής και προσομοίωσης*. [ηλεκτρ. βιβλ.] Αθήνα: Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών. Διαθέσιμο στο: <http://hdl.handle.net/11419/5793>
- [6] Minge, E., Kotzenmacher, J., & Peterson, S. (2010). Evaluation of Non-Intrusive Technologies for Traffic Detection. Technical Report by SRF Consulting Group on behalf of Minnesota Department of Transportation. <http://www.lrrb.org/PDF/201036.pdf>
- [7] FHWA, 2001. Heavy Vehicle Travel Information System Field Manual. <httpswww.fhwa.dot.gov/ohim/tvtw/hvtis.pdf>
- [8] Heidemann, J., Silva, F., Wang, X. et al. (2008). SURE-SE-Sensors for Unplanned Roadway Events: Simulation and Evaluation. Draft Final Report, METRANS Project 04-08. https://www.metrans.org/assets/research/0408_final_draft_0_0.pdf
- [9] Briedis, P. & Samuels, S. (2010). The accuracy of inductive loop detectors. Presentation to ARRB Group, October 15, 2010. <http://www.arrb.com.au>
- [10] Mimbela, L.Y. & Klein, L.A. 2000. Summary of Vehicle Detection and Surveillance Technologies Used in Intelligent Transportation Systems. Report of Federal Highway Administration Intelligent Transportation System Joint Program Office. <http://www.fhwa.dot.gov/ohim/tvtw/vdstits.pdf>
- [11] ATAC (2009). Non-Intrusive Traffic Detection Comparison Study. Final Report for North Dakota Department of Transportation prepared by Advanced Traffic Analysis Center at North Dakota State University. https://www.atacenter.org/programs/its/downloads/2009_TrafficDetectionComparison_FinalReport.pdf
- [12] ΧΩΡΟΧΡΟΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΗΣ ΣΥΜΦΟΡΗΣΗΣ ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ GIS: ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΠΟΣΟΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗ ΜΕΙΚΤΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ GREATER TORONTO AND HAMILTON, CANADA, Ναταλία Αθ. Κυριακοπούλου, Αθήνα 2014. <https://core.ac.uk/download/pdf/38464961.pdf>

- [13] Texas Transportation Institute. (2011). Methodology for the 2011 Urban Mobility Report. <https://static.tti.tamu.edu/tti.tamu.edu/documents/umr/archive/mobility-report-2011wappx.pdf>
- [14] The Untold History of Arduino by Hernando Barragán. <https://arduinohistory.github.io/>
- [15] Scott Thornton. (2018). Programming AVR and Arduino microcontrollers using the Arduino ISP. <https://www.microcontrollertips.com/programming-avr-microcontrollersarduinosp/>
- [16] Arduino Uno R3 SMD tech specs and documentation. <https://store.arduino.cc/arduinouno-rev3-smd?queryID=21744fd2b9b8db6c640f8fe3edcda524>
- [17] Arduino programming language Reference. <https://www.arduino.cc/reference/en/>
- [18] Michael Contreras. (2018). Arduino timer library. <https://github.com/contrem/arduinotimer>, <https://www.electroschematics.com/arduino-self-timer/>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

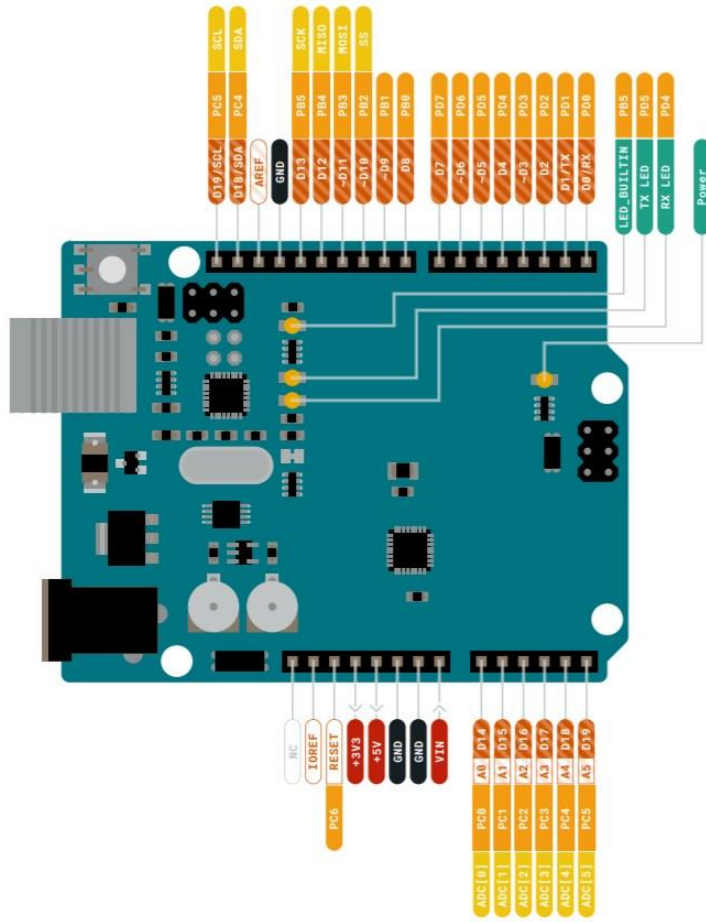
Σχηματικό Arduino Uno Rev3 SMD



Ρύθμιση του χρονισμού της φωτεινής σήμανσης διασταυρώσεων σύμφωνα με το ρυθμό κυκλοφορίας των οχημάτων

ARDUINO
UNO REV3 SMD
STORE.ARDUINO.CC/UNO_REV3_SMD

Αναλυτική επεξήγηση των ακίδων του Arduino Uno Rev3 SMD



ARDUINO . CC
Last update: 17/06/2020

This work is licensed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License. A copy of this license can be found at <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>.
Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License, PO Box 1368, Mountain View, CA 94042, USA.

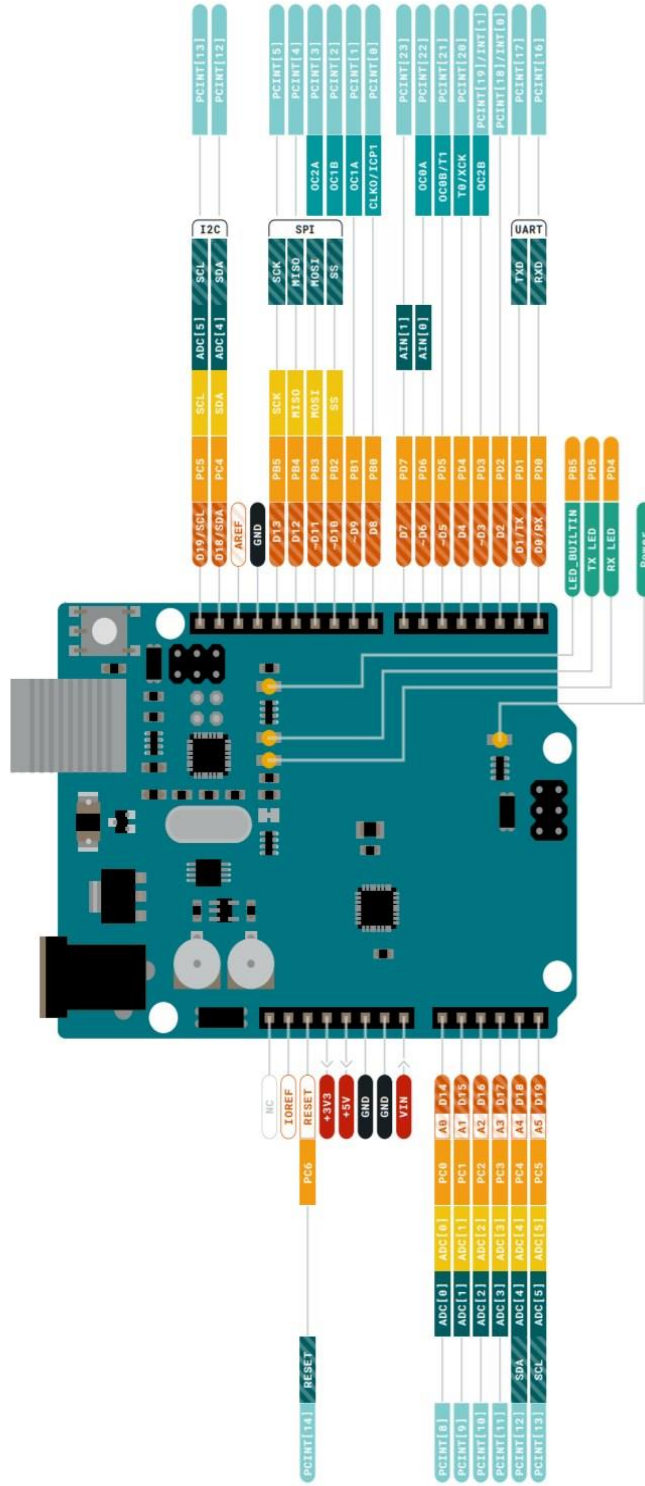
▲ **MAXIMUM** current per I/O pin is 20mA
▲ **MAXIMUM** current per +3.3V pin is 50mA

■ Digital Pin
■ Power
■ LED
■ Internal Pin
■ SWD Pin
■ Analog Pin
■ Other Pin
■ Microcontroller's Port
■ Default

▲ **VIN** 6-20 V input to the board.
▲ **MAXIMUM** current per I/O pin is 20mA
▲ **MAXIMUM** current per +3.3V pin is 50mA

Ρύθμιση του χρονισμού της φωτεινής σήμανσης διασταυρώσεων σύμφωνα με το ρυθμό κυκλοφορίας των οχημάτων

ARDUINO
UNO REV3 SMD
STORE.ARDUINO.CC/UNO-REV3-SMD



ARDUINO . CC
Last update: 17/06/2020

CC BY SA

This work is licensed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License. To view a copy of this license visit <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>.
Comments: PD Box 1846, Mountain View, CA 94042, USA.

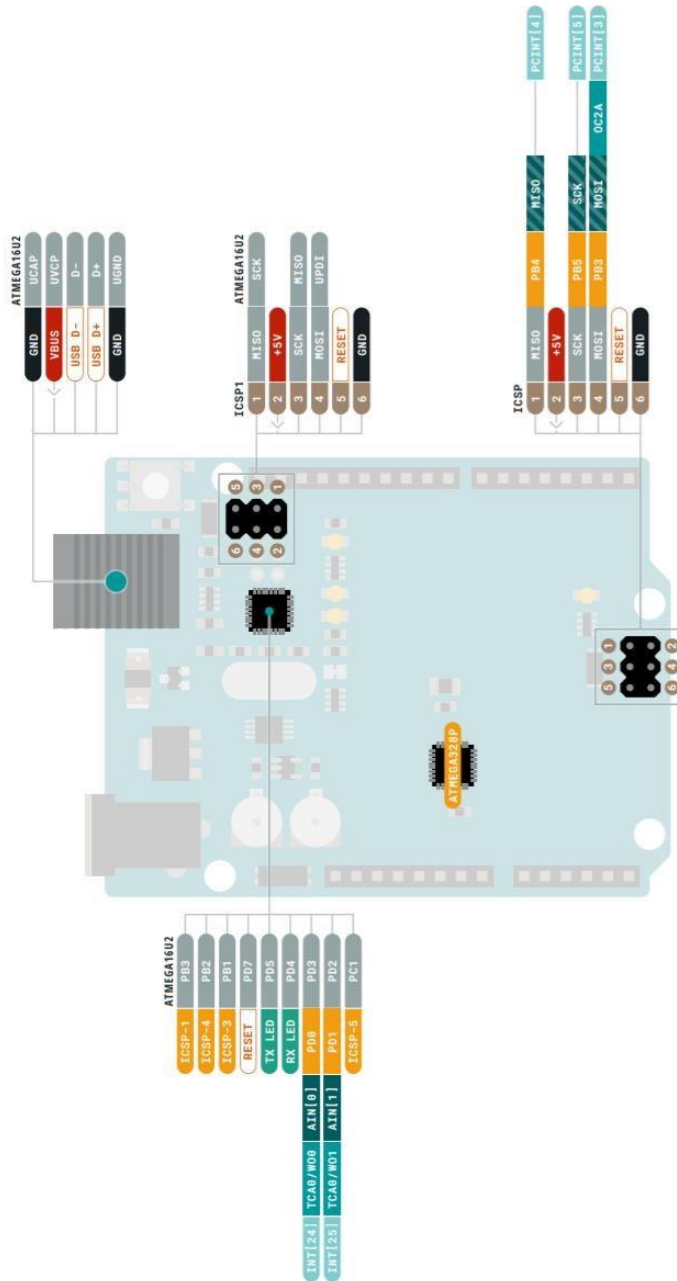
MAXIMUM current per I/O pin is 20mA
MAXIMUM current per +3.3V pin is 50mA

VIN 6-20 V Input to the board.

	Ground		Analog Pin
	Power		Digital Pin
	LED		Other Pin
	Internal Pin		Microcontroller's port
	SWD Pin		Default
			Timer
			Interrupt
			Sercom
			Communication

Ρύθμιση του χρονισμού της φωτεινής σήμανσης διασταυρώσεων σύμφωνα με το ρυθμό κυκλοφορίας των οχημάτων

ARDUINO
UNO REV3 SHD
STORE.ARDUINO.CC/UNO-REV3-SHD



ARDUINO . CC
Last update: 17/04/2020



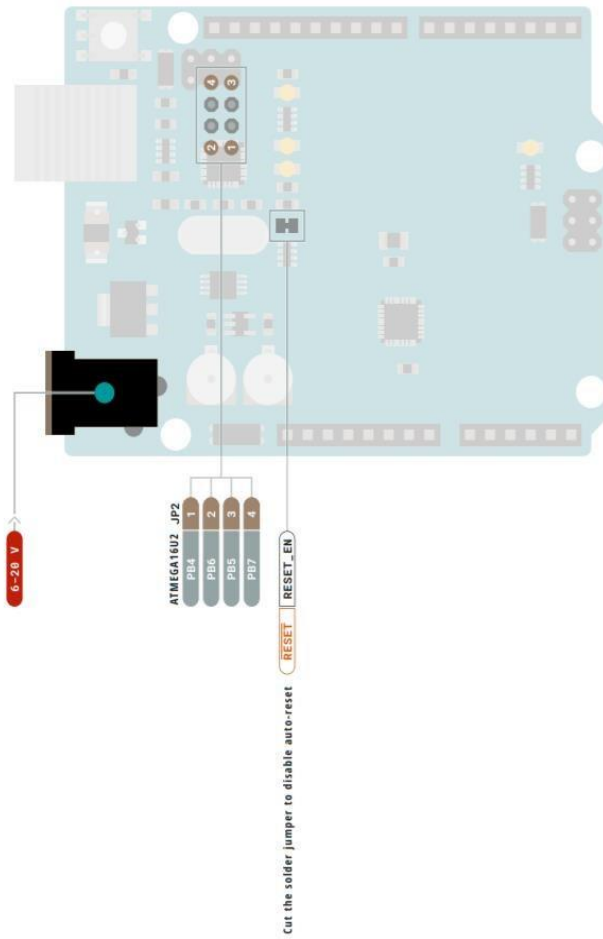
This work is licensed under the Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License. To see a copy of this license, visit <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/> or write to Creative Commons, PO Box 188, Mountain View, CA 94039, USA.

⚠️ MAXIMUM current per I/O pin is 20mA **VIN** 6-20 V input to the board.
⚠️ MAXIMUM current per +3.3V pin is 50mA

- Digital Pin
- Analog Pin
- Other Pin
- Microcontroller's Port
- Default
- Ground
- Power
- LED
- Internal Pin
- SWD Pin
- Analog
- Communication
- Timer
- Interrupt
- Sercom

Ρύθμιση του χρονισμού της φωτεινής σήμανσης διασταυρώσεων σύμφωνα με το ρυθμό κυκλοφορίας των οχημάτων

ARDUINO
UNO REV3 SMD
SMD:ARDUINO.CC:UNO:REV3:SMD



ARDUINO . CC
Last update: 17/06/2020

CC BY SA

This work is licensed under the Creative Commons Attribution 4.0 International License. To view a copy of this license, visit <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/> or send a letter to Creative Commons, 529 Temple Lane, Suite 500, San Francisco, CA 94118, USA.

Ground **Digital Pin** **Internal Pin** **SMD Pin**

Power **Analog Pin** **Other Pin** **Microcontroller's Port**

LED **Default**

SJ Pin Making a short circuit using the solder jumper on the SJ Pin cells.

MAXIMUM current per I/O pin is 20mA

MAXIMUM current per +3.3V pin is 50mA

VIN 6-20 V input to the board.