



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ & ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

ΕΚΘΕΣΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ
ΕΡΓΑΣΙΑΣ ΕΞΑΜΗΝΟΥ
ΜΕ ΘΕΜΑ:

Σχεδιασμός και Υλοποίηση οχήματος ελεγχόμενου μέσω Bluetooth

Design and Implementation of a remote
control vehicle using Bluetooth

ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΥ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

A.E.M.: 113

ΠΑΠΑΘΑΝΑΣΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ-ΝΕΚΤΑΡΙΟΣ

A.E.M.: 151

Επιβλέπων: Δρ. ΔΑΣΥΓΕΝΗΣ ΜΗΝΑΣ

Κοζάνη, Οκτώβριος 2013

| | | |
|----------|--------------------------------------|-----------|
| 1 | Εισαγωγή..... | 3 |
| 1.1. | Ενσωματωμένη υπολογιστική | 3 |
| 1.2. | Συνοπτική περιγραφή | 4 |
| 1.2.1. | Συστατικά συστήματος..... | 4 |
| 1.3. | Οργάνωση αναφοράς..... | 5 |
| 2 | Σχεδιασμός και υλοποίηση..... | 6 |
| 2.1. | Υλικό μέρος..... | 6 |
| 2.2. | Λογισμικό μέρος..... | 11 |
| 3 | Μελλοντική επέκταση | 13 |
| 3.1. | Ενσωμάτωση γέφυρας H | 13 |
| 3.1.1. | Λειτουργία γέφυρας H | 14 |
| | Βιβλιογραφία..... | 16 |

1

Εισαγωγή

1.1. Ενσωματωμένη υπολογιστική

Η σχεδίαση ψηφιακών συστημάτων έχει εισάγει μια νέα εποχή. Σε μια εποχή που ο σχεδιασμός μικροεπεξεργαστών έχει εξελιχθεί σε μια κλασική άσκηση βελτιστοποίησης, η σχεδίαση ενσωματωμένων υπολογιστικών συστημάτων, στα οποία οι μικροεπεξεργαστές αποτελούν μόνο ένα τμήμα τους, αποτελεί ανοιχτή πρόκληση. Ένας *μικροεπεξεργαστής* περιλαμβάνει τις περισσότερες ή όλες τις λειτουργίες μιας κεντρικής μονάδας επεξεργασίας σε ένα ενιαίο ολοκληρωμένο κύκλωμα (IC). Ένα *ενσωματωμένο υπολογιστικό σύστημα* (*embedded computing system*) είναι οποιαδήποτε συσκευή περιλαμβάνει έναν προγραμματιζόμενο υπολογιστή, ο οποίος όμως δεν είναι υπολογιστής γενικού σκοπού. Ένας υπολογιστής γενικού σκοπού κατάλληλα προγραμματισμένος μπορεί να υλοποιήσει την απαιτούμενη λειτουργία, ενώ μπορεί να επαναπρογραμματιστεί για χρήση και σε

άλλα προϊόντα. Εφόσον η σχεδίαση ολοκληρωμένων κυκλωμάτων αποτελεί μια ακριβή και χρονοβόρα διαδικασία, η ικανότητα επαναχρησιμοποίησης της σχεδίασης του υλικού με αλλαγή του λογισμικού ήταν μια εντυπωσιακή ανακάλυψη.

1.2. Συνοπτική περιγραφή

Τα τελευταία χρόνια ένα σημαντικό πεδίο δράσης της επιστήμης της Ρομποτικής αφορά στον τομέα της ανάπτυξης και εξέλιξης μη επανδρωμένων οχημάτων (εδάφους, εναέριων, θαλάσσιων, υποβρύχιων). Οι σύγχρονες απαιτήσεις για ευέλικτα αυτόνομα συστήματα που θα υποβοηθούν ή θα αντικαθιστούν τον ανθρώπινο παράγοντα σε επικίνδυνες ή μη εφαρμογές, έχουν οδηγήσει στην εξέλιξη οχημάτων ικανών να εκτελούν δύσκολες αποστολές και να συμμετέχουν σε ποικιλία εφαρμογών.

Το έργο αφορά στον σχεδιασμό και στην υλοποίηση ενός μη επανδρωμένου τηλεκατευθυνόμενου οχήματος εδάφους. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκε μια ρομποτική πλατφόρμα, η οποία συνδέθηκε με μια κατάλληλα προγραμματισμένη αναπτυξιακή πλακέτα. Η ασύρματη επικοινωνία επιτυγχάνεται μέσω μιας αναξάρτητης μονάδος η οποία ενσωματώθηκε στην πλακέτα, που υπακούει στο πρότυπο *IEEE 802.15*, αφού προηγηθεί διασύνδεση με το χρήστη μέσω μιας εφαρμογής εξομοίωσης τερματικού. Με την ολοκλήρωση του έργου, ο χρήστης θα είναι σε θέση να κινεί το όχημα σε πραγματικό χρόνο σε εμβέλεια 10 μέτρων.

1.2.1. Συστατικά συστήματος

Στο κομμάτι που αφορά στο υλικό το μη επανδρωμένο όχημα αποτελείται από:

- ρομποτική πλατφόρμα *Magician Chassis*
- *Arduino Uno - R3*
- *Bluetooth Mate Silver*
- προσαρμογέας Bluetooth

Όσον αφορά το κομμάτι του λογισμικού, το μη επανδρωμένο όχημα απαιτεί:

- ολοκληρωμένο περιβάλλον ανάπτυξης *Arduino*
- αλγόριθμο αντικειμενοστραφούς γλώσσας προγραμματισμού ελέγχου κίνησης
- εξομοιωτή τερματικού
- λογισμικό *Bluetooth*

1.3. Οργάνωση αναφοράς

Στο Κεφάλαιο 2, παρουσιάζεται η διαδικασία σχεδιασμού και υλοποίησης του συστήματος, με επικέντρωση τόσο στο υλικό, όσο και στο λογισμικό μέρος. Πραγματοποιείται εκτενής αναφορά στα συστατικά του συστήματος καθώς επίσης και στον τρόπο με τον οποίο αλληλεπιδρούν.

Στο Κεφάλαιο 3, εξετάζεται η ενσωμάτωση γέφυρας Η στο σύστημα, η οποία θα προσδώσει πλήρη κατευθυνσιμότητα στο όχημα και επιπρόσθετο έλεγχο φρεναρίσματος.

2

Σχεδιασμός και υλοποίηση

2.1. Υλικό μέρος

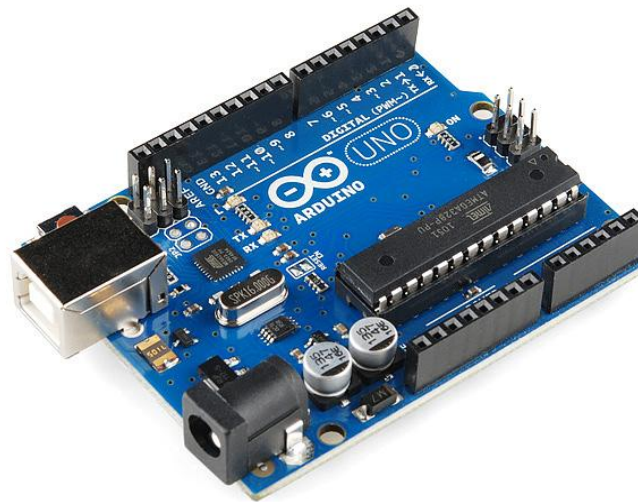
Το σώμα του συστήματος αποτελεί η ρομποτική πλατφόρμα η οποία περιλαμβάνει δύο ηλεκτρικούς κινητήρες που καταλήγουν σε δύο τροχούς διαμέτρου 65 χιλιοστών και έναν οπίσθιο σφαιρικό τροχίσκο. Δύο ακρυλικές πλάκες σασί βιδώνονται μεταξύ τους και με τους τροχούς, με τις νέες διαστάσεις να ανέρχονται στα 110×174 χιλιοστά (Εικόνα 01). Η προτεινόμενη τροφοδοσία¹ των ηλεκτρικών κινητήρων ορίζεται στα 4.5 V, 190 mA, διαμορφώνοντας την ταχύτητα των τροχών στα 90 ± 10 rpm.

¹ Η ρομποτική πλατφόρμα περιλαμβάνει θήκη 4 μπαταριών κατηγορίας AA με υποδοχή σύνδεσης τύπου barrel jack αναλογικών σημάτων.



Εικόνα 01: Magician chassis.

Αν η ρομποτική πλατφόρμα αποτελεί το σώμα, η αναπτυξιακή πλακέτα αποτελεί τον εγκέφαλο του συστήματος. Συγκεκριμένα, επιλέχθηκε το Arduino Uno - R3 (Εικόνα 02), μια υπολογιστική πλατφόρμα βασισμένη σε μια απλή μητρική πλακέτα με ενσωματωμένο μικροελεγκτή και εισόδους/εξόδους.



Εικόνα 02: Arduino Uno - R3.

Στον Πίνακα 01 συνοψίζονται τα κύρια χαρακτηριστικά του Arduino Uno - R3.

| | |
|-----------------------------|---|
| Μικροελεγκτής | ATmega328 |
| Τάση λειτουργίας | 5 V |
| Τάση εισόδου (προτεινόμενη) | 7-12 V |
| Τάση εισόδου (οριακή) | 6-20 V |
| Ψηφιακά pins E/E | 14 (εκ των οποίων 6 παρέχουν έξοδο PWD ²) |
| Αναλογικά pins εισόδου | 6 |
| Μνήμη Flash | 32 KB (ATmega328) |
| SRAM | 2 KB (ATmega328) |
| EEPROM | 1 KB (ATmega328) |
| Ταχύτητα ρολογιού | 16 MHz |

Πίνακας 01: Χαρακτηριστικά Arduino Uno - R3.

Ειδικότερα, ένας αλγόριθμος φορτωμένος στη μνήμη της πλακέτας αναλαμβάνει τον έλεγχο της κίνησης. Στη συνέχεια, τα ηλεκτρικά σήματα, οδηγούνται μέσω ενός κυκλώματος στους ηλεκτρικούς κινητήρες όπου πραγματοποιείται η μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας σε μηχανική, δίνοντας έτσι ώθηση στους τροχούς. Για το σκοπό αυτό, παρεμβάλλεται μια διάτρητη πλακέτα (*breadboard*) όπου και υλοποιήθηκε το κύκλωμα (*Εικόνα 03*). Τα συστατικά που απαιτήθηκαν για τη δημιουργία του κυκλώματος είναι:

- 4 τρανζίστορ³ *P2N2222AG*
- 2 αντιστάσεις 10k Ohm
- 2 δίοδοι *1N4001*

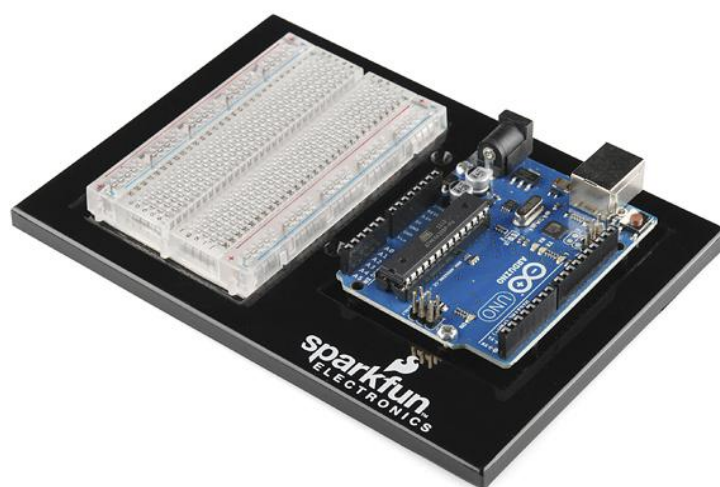
Η βάση του τρανζίστορ συνδέεται με μια αντίσταση, ενώ η άλλη άκρη της αντίστασης συνδέεται με το ψηφιακό pin εξόδου 9 του Arduino Uno - R3⁴. Για περαιτέρω ενίσχυση ρεύματος χρησιμοποιήθηκε συνδεσμολογία Darlington, με την

² Pulse Width Modulation: Αποτελεί τεχνική για αναλογική λήψη με ψηφιακά μέσα.

³ Όταν ένα μικρής έντασης ρεύμα περνάει από τη βάση στον εκπομπό, θα δημιουργηθεί ένα μεγαλύτερης έντασης ρεύμα και θα κινηθεί ο ηλεκτρικός κινητήρας.

⁴ Αφορά στον αριστερό τροχό της ρομποτικής πλατφόρμας.

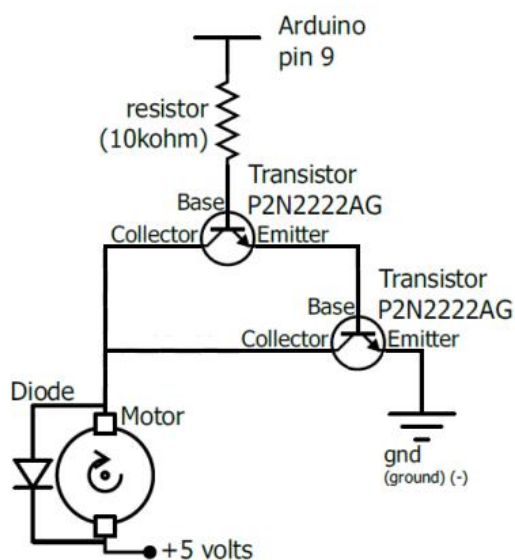
προσθήκη ενός δεύτερου τρανζίστορ. Συγκεκριμένα, ο εκπομπός του πρώτου τρανζίστορ συνδέεται με τη βάση του δεύτερου, ενώ ο συλλέκτης του πρώτου ακριβώς πριν τη δίοδο και με τον συλλέκτη του δεύτερου. Ο εκπομπός του δεύτερου τρανζίστορ καταλήγει στην γείωση. Τέλος, στη δίοδο συνδέεται και ο ηλεκτρικός κινητήρας. Το κύκλωμα τροφοδοτείται από το Arduino Uno - R3 με παρεχόμενη τάση 5 V. Το κυκλωματικό διάγραμμα παρουσιάζεται στο Σχήμα 01⁵.



Εικόνα 03: Βάση Arduino Uno - R3 και διάτρητης πλακέτας.

Την ολοκλήρωση του συστήματος σηματοδοτεί η ενσωμάτωση του Bluetooth Mate Silver (Εικόνα 04). Πρόκειται για μια μονάδα, με ενσωματωμένο τον πομποδέκτη Bluetooth SMD Module - RN-42, η οποία αναλαμβάνει την ασύρματη επικοινωνία του χρήστη με το σύστημα. Συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκε σύνδεση της μονάδος με το Arduino Uno - R3. Το ψηφιακό pin λήψης 0 του Arduino Uno - R3 συνδέεται με το pin μετάδοσης TX της μονάδος, ενώ το ψηφιακό pin μετάδοσης 1, συνδέεται με το pin λήψης RX. Η τροφοδοσία της μονάδος επιτεύχθηκε κατόπιν σύνδεσης του pin VCC με το pin τροφοδοσίας 3.3 V του Arduino Uno - R3 και συνδεδεμένα τα αντίστοιχα pins της γείωσης.

⁵ Χρησιμοποιήθηκε υλικό από το SparkFun Inventor's Kit for Arduino.

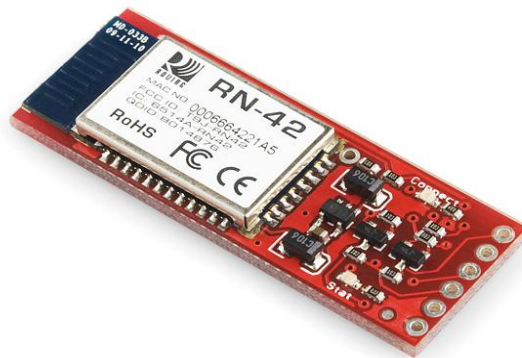


Σχήμα 01: Κυκλωματικό διάγραμμα.

Για την επίτευξη της ασύρματης επικοινωνίας, απαιτείται η διαδικασία ζευγαρώματος (*pairing*)⁶ του Bluetooth Mate Silver με τον Η/Υ. Το ζευγάρισμα, ενεργοποιείται με ειδικό αίτημα για προσθήκη του Bluetooth Mate Silver. Κατόπιν, πραγματοποιείται αναζήτηση των ανιχνεύσιμων συσκευών και επιλογή του Bluetooth Mate Silver. Απαιτείται η επιβεβαίωση της ταυτότητας της συσκευής για λόγους ασφαλείας, η οποία πραγματοποιείται με την εισαγωγή ενός αναγνωριστικού για τη συσκευή κωδικού. Ο προκαθορισμένος κωδικός για τη μονάδα Bluetooth SMD Module - RN-42 είναι “1234”. Μόλις το ζευγάρισμα ολοκληρωθεί με επιτυχία, ένας δεσμός (*bond*) σχηματίζεται μεταξύ του Bluetooth Mate Silver και του Η/Υ, επιτρέποντας στις δύο αυτές συσκευές να συνδεθούν μεταξύ τους και στο μέλλον, χωρίς να απαιτείται η εκ νέου διαδικασία ζευγαρώματος, προκειμένου να επιβεβαιωθεί η ταυτότητα των συσκευών.

Πλέον, ο χρήστης είναι σε θέση να αποστέλλει σήματα μέσω του εξομοιωτή τερματικού, τα οποία στη συνέχεια θα αποκωδικοποιηθούν, μέσω ενός αλγόριθμου φορτωμένου στη μνήμη του Arduino Uno - R3 για τον έλεγχο της κίνησης.

⁶ Για λόγους ασφαλείας είναι απαραίτητο να πραγματοποιείται έλεγχος των συσκευών που επιθυμούν να συνδεθούν σε μια δεδομένη συσκευή Bluetooth.



Εικόνα 04: Bluetooth Mate Silver

2.2. Λογισμικό μέρος

Η απομακρυσμένη πρόσβαση του χρήστη στο σύστημα υπακούει στους κανόνες της σειριακής επικοινωνίας και επιτυγχάνεται μέσω του εξομοιωτή τερματικού. Ο ρυθμός της σειριακής ακολουθίας (*baud*) επιλέγεται στα 115200 bps. Τα bit δεδομένων (*data bits*) ορίζονται σε 8, ενώ ακολουθεί 1 bit διακοπής (*stop bit*). Δεν επιλέγεται κάποια ισοτιμία (*parity*) καθώς επίσης και έλεγχος ροής (*flow control*).

Ο αλγόριθμος ελέγχου κίνησης είναι υλοποιημένος σε γλώσσα προγραμματισμού *Wiring*⁷. Σημείο εισόδου του αλγορίθμου αποτελεί η συνάρτηση `setup()` η οποία εκτελείται μόνο μία φορά με την παροχή τροφοδοσίας και σκοπό έχει τον προσδιορισμό του ρυθμού των bit δεδομένων και τον καθορισμό των pins, ως έξοδο του συστήματος. Στη συνέχεια, μέσα στο σώμα της συνάρτησης `loop()`, η οποία εκτελείται καθ' όλη την διάρκεια της ασύρματης επικοινωνίας, πραγματοποιείται έλεγχος λήψης σειριακών δεδομένων και στη συνέχεια ορίζεται η τιμή⁸ που θα οδηγηθεί στην έξοδο και κατά συνέπεια στον τροχό. Η παρουσία τάσης ρεύματος σε

⁷ Αποτελεί απλοποιημένη έκδοση της C++.

⁸ Οι τιμές εναλλάσσονται μεταξύ HIGH και LOW, καθορίζοντας κατ' αντιστοιχία την ύπαρξη ή μη τάσης ρεύματος.

έναν μόνο τροχό επιτρέπει τη στροφή του οχήματος προς την αντίθετη κατεύθυνση, ενώ και στους δύο τροχούς επιτρέπει το όχημα να κινηθεί σε ευθεία κατεύθυνση. Συγκεκριμένα, πάτημα του πλήκτρου “1” συνεπάγεται με παροχή τάσης ρεύματος στον αριστερό τροχό και κατά συνέπεια στροφή του οχήματος προς τη δεξιά κατεύθυνση. Το πάτημα του πλήκτρου “2” τροφοδοτεί και τους δύο τροχούς, με αποτέλεσμα την κίνηση του οχήματος σε ευθεία κατεύθυνση, ενώ πάτημα του πλήκτρου “3” έχει ως επακόλουθο στροφή του οχήματος προς την αριστερή κατεύθυνση. Τάση ρεύματος παρέχεται καθ’ όλη τη διάρκεια πατήματος του αντίστοιχου πλήκτρου, γεγονός που επιτυγχάνεται μέσω του ατέρμονου βρόγχου που εκτελεί ο αλγόριθμος ελέγχου κίνησης.

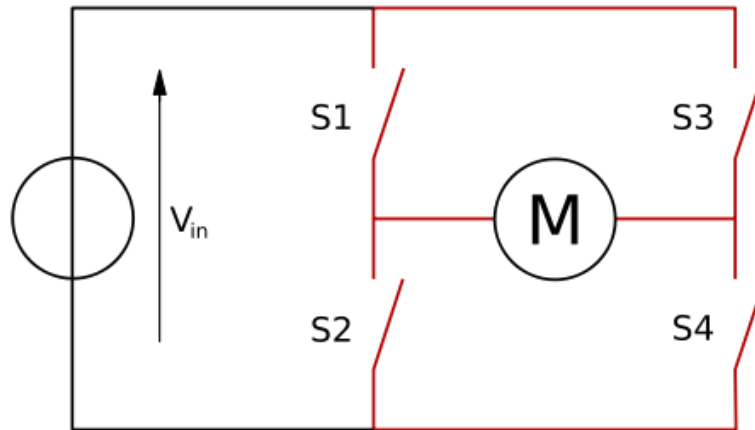
Το λογισμικό που απαιτήθηκε για την ανάπτυξη του αλγορίθμου είναι το ολοκληρωμένο περιβάλλον ανάπτυξης Arduino.

3

Μελλοντική επέκταση

3.1. Ενσωμάτωση γέφυρας H

Η γέφυρα H (*H bridge*) αποτελεί ηλεκτρονικό κύκλωμα που επιτρέπει σε μια παρεχόμενη τάση ρεύματος να εφαρμοστεί προς οποιαδήποτε κατεύθυνση. Ο όρος προκύπτει από την τυπική γραφική αναπαράσταση του κυκλώματος. Η δομή ενός τέτοιου κυκλώματος παρουσιάζεται στο Σχήμα 02. Μια γέφυρα H κατασκευάζεται από τέσσερις διακόπτες. Όταν οι διακόπτες S1 και S4 είναι κλειστοί, με τους διακόπτες S2 και S3 να είναι ανοιχτοί, εφαρμόζεται θετική τάση ρεύματος στον ηλεκτρικό κινητήρα. Με το άνοιγμα των S1 και S4 και αντίστοιχο κλείσιμο των S2 και S3, η τάση αντιστρέφεται επιτρέποντας την ανάστροφη λειτουργία του ηλεκτρικού κινητήρα. Καθίσταται σαφές ότι οι διακόπτες S1 και S2 δεν πρέπει να κλείσουν ταυτόχρονα, καθώς κάτι τέτοιο θα έχει ως συνέπεια βραχυκύκλωμα στην πηγή τάσης εισόδου. Το ίδιο ισχύει και για τους διακόπτες S3 και S4.



Σχήμα 02: Γέφυρα H.

3.1.1. Λειτουργία γέφυρας H

Βασική λειτουργία της γέφυρας H, αποτελεί η αναστροφή της πολικότητας του ηλεκτρικού κινητήρα, και κατά συνέπεια η οπίσθια κίνηση του οχήματος σε περίπτωση εφαρμογής και στους δύο ηλεκτρικούς κινητήρες, αλλά μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί και ως τροχοπέδη. Ο Πίνακας 02, συνοψίζει την λειτουργία με τους διακόπτες S1-S4 να αντιστοιχούν με αυτούς της παραπάνω δομής κυκλώματος.

| S1 | S2 | S3 | S4 | Λειτουργία |
|----|----|----|----|---|
| 1 | 0 | 0 | 1 | Δεξιόστροφη κίνηση ηλεκτρικού κινητήρα |
| 0 | 1 | 1 | 0 | Αριστερόστροφη κίνηση ηλεκτρικού κινητήρα |
| 0 | 0 | 0 | 0 | Ελεύθερη κίνηση ηλεκτρικού κινητήρα |
| 0 | 1 | 0 | 1 | Φρενάρισμα ηλεκτρικού κινητήρα |
| 1 | 0 | 1 | 0 | Φρενάρισμα ηλεκτρικού κινητήρα |
| 1 | 1 | 0 | 0 | Βραχυκύκλωμα |
| 0 | 0 | 1 | 1 | Βραχυκύκλωμα |
| 1 | 1 | 1 | 1 | Βραχυκύκλωμα |

Πίνακας 02: Λειτουργίες γέφυρας H.

Οι γέφυρες Η διατείνονται ως ολοκληρωμένα κυκλώματα, αλλά μπορούν και να κατασκευαστούν από διακριτά συστατικά. Η ενσωμάτωση δύο γεφυρών Η στο προαναφερθέν κύκλωμα του συστήματος, θα προσδώσει πλήρη κατευθυνσιμότητα στο όχημα και επιπρόσθετο έλεγχο φρεναρίσματος.

Βιβλιογραφία

Η βιβλιογραφία παρουσιάζεται σε αλφαβητική σειρά κατά το ελληνικό και αγγλοσαξονικό αλφάβητο.

[1] Βιτζηλαίος, Ν., Τσουρβελούδης, Ν. *Αυτόνομη Πλοήγηση μη Επανδρωμένων Ελικοπτέρων*, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής & Διοίκησης, 2009

[2] *Μικροεπεξεργαστής*, wikipedia.org

[3] *Arduino*, wikipedia.org

[4] *Arduino Uno*, arduino.cc

[5] *Bluetooth*, wikipedia.org

[6] *H bridge*, wikipedia.org

[7] Wolf, W. *Οι Υπολογιστές ως Συστατικά Στοιχεία - Αρχές Σχεδίασης Ενσωματωμένων Υπολογιστικών Συστημάτων*, Πρώτη Έκδοση. Εκδόσεις Νέων Τεχνολογιών, 2008

Χρησιμοποιήθηκε φωτογραφικό υλικό από:

[1] Laboratório de Garagem

[2] SparkFun Electronics

[3] Wikipedia