

ΔΙΕΘΝΕΣ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ (ΔΙ.ΠΑ.Ε.)

**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ, ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ ΚΑΙ
ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΣΕΡΡΩΝ
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΣΤΗ ΡΟΜΠΟΤΙΚΗ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:

**ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ ΑΠΟΦΥΓΗΣ ΕΜΠΟΔΙΩΝ ΣΕ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟ
ΑΥΤΟΚΙΝΟΥΜΕΝΟ ΡΟΜΠΟΤ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ VECTOR FIELD HISTOGRAM – VFH**

Φοιτητής: Αλτιντζής Γεώργιος (Α.Μ.: 64)

Καθηγητής: Καζαρλής Σπύρος

ΣΕΡΡΕΣ, ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2023



Η παρουσίασή μου

- Οι μικροελεγκτές και το Arduino
- Οι αισθητήρες & οι περιφερειακές συσκευές του ρομπότ
- Η μέθοδος VFH
- Οι συναρτήσεις μου
- Περιγραφή της λειτουργίας του ρομπότ (κινήσεις & επικοινωνία με WiFi)



Οι μικροελεγκτές (*microcontrollers*)

- Μικροεπεξεργαστές ενσωματωμένων συστημάτων (embedded systems).

Πλεονεκτήματα έναντι των μικροεπεξεργαστών μη ενσωματωμένων συστημάτων:

- αυξημένη αξιοπιστία
- αυτονομία
- ελάχιστη κατανάλωση
- εξειδικευμένη λειτουργία
- εύκολη ανάπτυξη λογισμικού
- μέγιστη φορητότητα
- μηδαμινές ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές
- μηδαμινό πλήθος παρελκομένων
- μικρές διαστάσεις οι ίδιοι και οι τελικές συσκευές τους
- μικρομεσαίο κόστος
- χαμηλή ισχύς
- υψηλή διαθεσιμότητα αισθητήρων

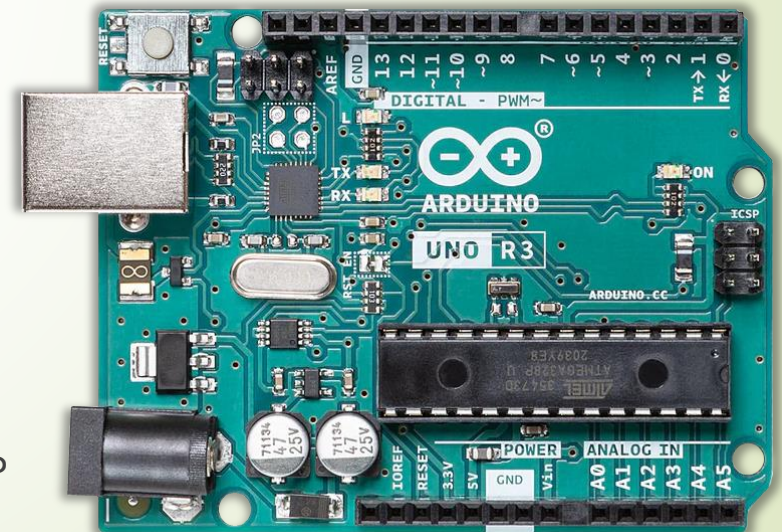
To Arduino

Arduino Uno Rev3

- ▶ Πλακέτα ενσωματωμένων συστημάτων ανοικτής αρχιτεκτονικής & κώδικα
- ▶ Γλώσσα προγραμματισμού ίδια με την C++
- ▶ Ενσωματώνει μικροελεγκτή ATmega8, ATmega328 ή ATmega168 της Atmel AVR
- ▶ Προγραμματισμός με USB ή RS-232

Arduino Uno Rev3:

- ▶ 6 αναλογικές I/O (A0-A5)
- ▶ 14 ψηφιακές I/O (D0-D13), 6 με PWM
- ▶ USB θύρα με το ολοκληρωμένο ATmega16U2
- ▶ γλώσσα μηχανής
- ▶ επεξεργαστής το ολοκληρωμένο ATmega328P
- ▶ σετ 131 εντολών του ATmega328P
- ▶ τάση DC 6 – 20V



To Arduino

Arduino Mega 2560 Rev3

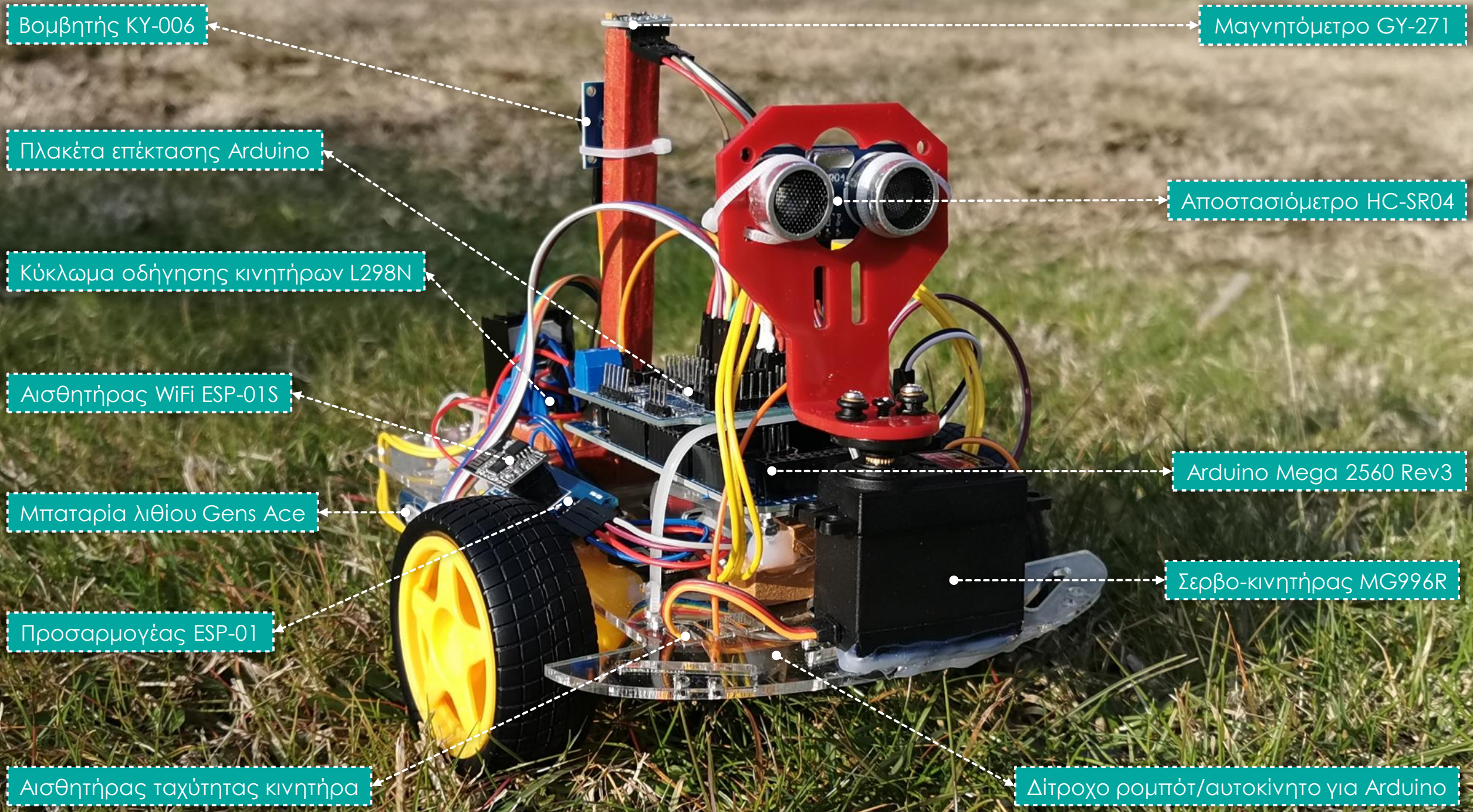


Τεχνικά χαρακτηριστικά	
Ακίδα ενσωματωμένου LED πλακέτας (LED_BUILTIN)	13
Βάρος	0.037kg
Διαστάσεις	101.52 x 53.3mm
Ένταση ρεύματος ακίδα 3.3V	50mA
Ένταση ρεύματος ανά ακίδα I/O	20mA
Μνήμη EEPROM	4KB
Μνήμη Flash	256KB
Μνήμη Flash EEPROM	32KB
Ολοκληρωμένο κύκλωμα (IC)	ATmega2560
Πλήθος αναλογικών εισόδων/εξόδων (Analog I/O ports)	16
Πλήθος ψηφιακών εισόδων/εξόδων (Digital I/O ports)	54 (15 με έξοδο PWM)
Ποσότητα μνήμης από τη μνήμη Flash για bootloader	8KB
Στατική μνήμη (SRAM)	8KB
Τάση εισόδου (προτείνεται)	DC 7 – 12V
Τάση εισόδου (όριο)	DC 6 – 20V
Τάση λειτουργίας	DC 5V
Ταχύτητα ρολογιού (Clock speed)	16MHz



Οι αισθητήρες & οι περιφερειακές συσκευές του ρομπότ

- Αισθητήρας WiFi (WiFi module) ESP-01S
- Αισθητήρας ταχύτητας κινητήρα (IR slotted optical speed measuring sensor)
- Αποστασιόμετρο (Ultrasonic distance sensor) HC-SR04
- Βομβητής (Buzzer) KY-006
- Δίτροχο ρομπότ/αυτοκίνητο για Arduino (2WD Robot car chassis kit for Arduino)
- Κύκλωμα οδήγησης κινητήρων (Dual motor driver module) L298N
- Μαγνητόμετρο (Magnetic field sensor) GY-271
- Μπαταρία λιθίου (LiPo battery pack) Gens Ace
- Πλακέτα επέκτασης Arduino (Sensor shield v5.0)
- Προσαρμογέας ESP-01 (Adapter module ESP8266 3.3V/5V)
- Σερβο-κινητήρας (Metal gear servo) MG996R
- Φορτιστής/Αποφορτιστής μπαταριών (Battery charger/discharger) iMAX B6AC



Βομβητής KY-006

Μαγνητόμετρο GY-271

Πλακέτα επέκτασης Arduino

Αποστασιόμετρο HC-SR04

Κύκλωμα οδήγησης κινητήρων L298N

Αισθητήρας WiFi ESP-01S

Arduino Mega 2560 Rev3

Μπαταρία λιθίου Gens Ace

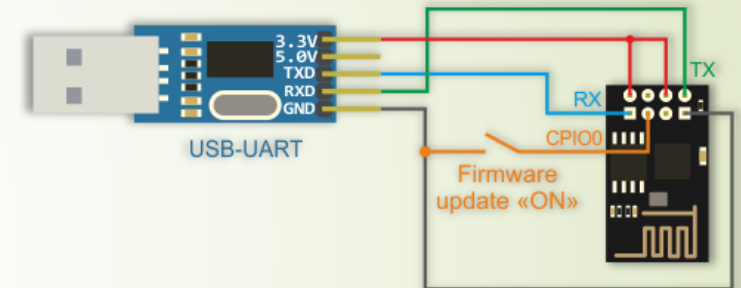
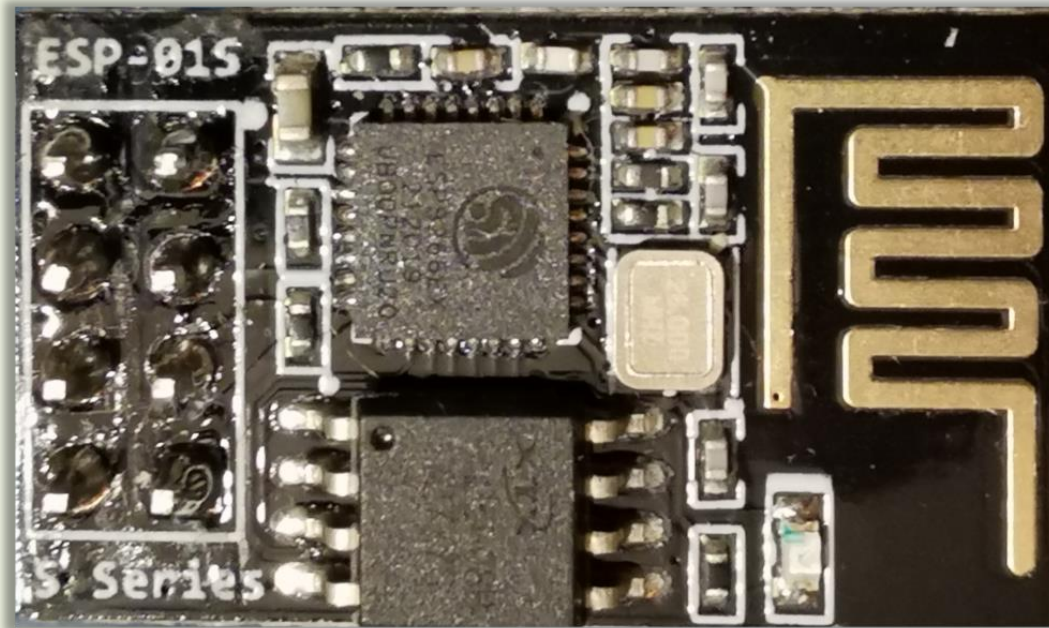
Σερβο-κινητήρας MG996R

Προσαρμογέας ESP-01

Δίτροχο ρομπότ/αυτοκίνητο για Arduino

Αισθητήρας ταχύτητας κινητήρα

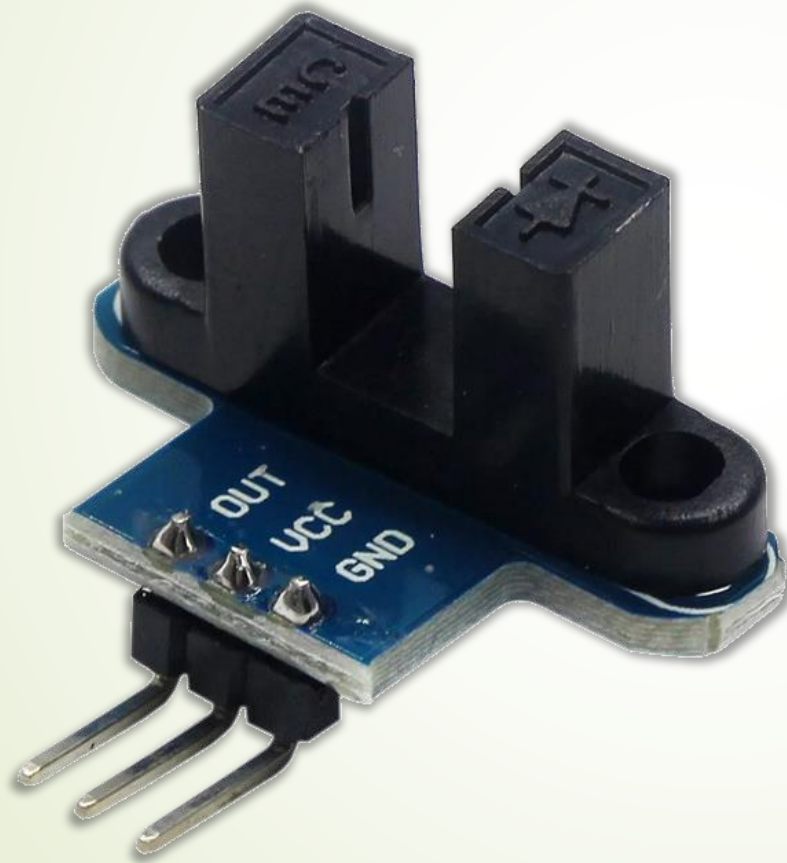
Αισθητήρας WiFi (WiFi module) **ESP-01S**



Τεχνικά χαρακτηριστικά

Αρχιτεκτονική επεξεργαστή	RISC
Διαστάσεις	11.5 x 11.5mm
Ένταση ρεύματος	0.5μA – 215mA
Θερμοκρασία λειτουργίας	-40° – 125°C
Μνήμη RAM διαθέσιμη για δεδομένα	96KB
Μνήμη RAM διαθέσιμη για εντολές	64KB
Ολοκληρωμένο κύκλωμα (IC)	ESP8266
Συχνότητα λειτουργίας	80MHz
Τάση λειτουργίας	DC 3.3V
Τύπος WiFi	2.4 GHz, 802.11 b/g/n

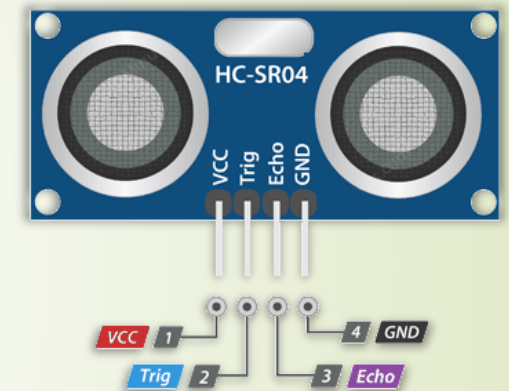
Αισθητήρας ταχύτητας κινητήρα (IR slotted optical speed measuring sensor)



Τεχνικά χαρακτηριστικά

Βάρος	0.01kg
Διαστάσεις κωδικοποιητή δίσκου	32 x 14mm
Μορφή εξόδου	Έξοδος ψηφιακής μεταγωγής (0 και 1)
Ολοκληρωμένο κύκλωμα (IC)	LM393
Πλάτος υποδοχής	5mm
Τάση λειτουργίας	DC 3.3 – 5V

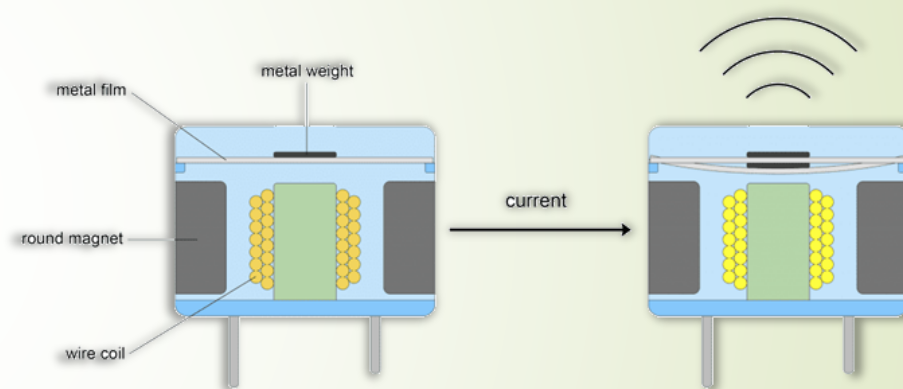
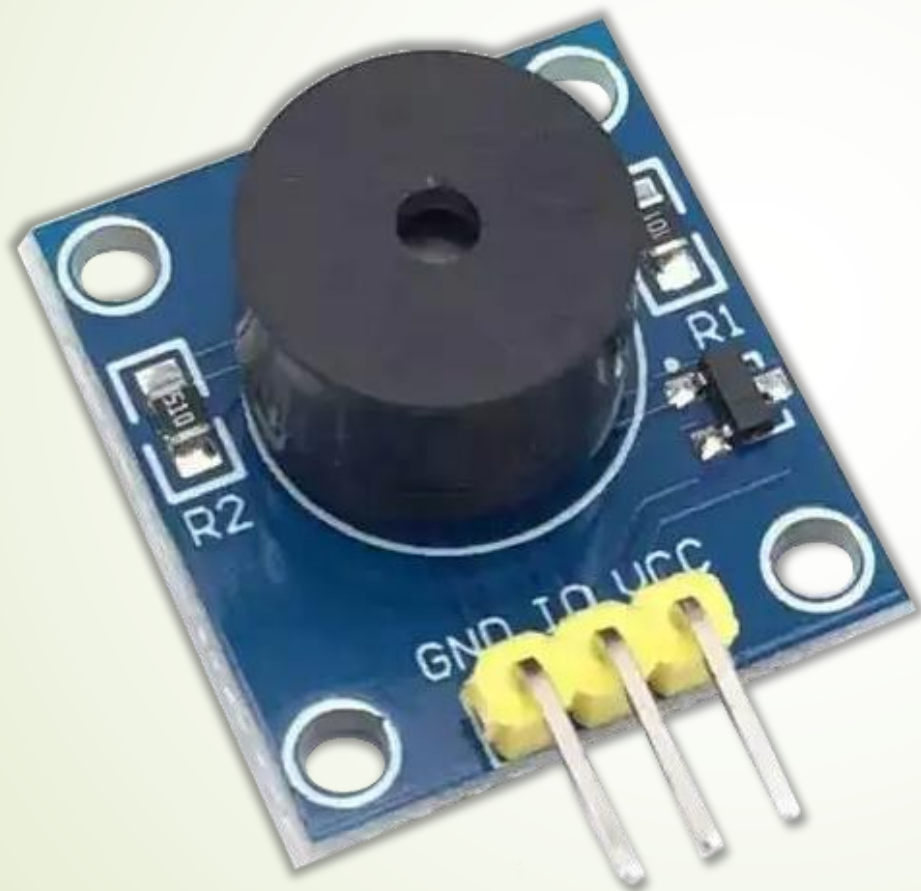
Αποστασιόμετρο (Ultrasonic distance sensor) **HC-SR04**



Τεχνικά χαρακτηριστικά

Ακρίβεια μέτρησης	3mm
Γωνία μέτρησης	15°
Διαστάσεις	45 x 20 x 15mm
Ελάχιστο εύρος	2cm
Ένταση ρεύματος	15mA
Μέγιστο εύρος	4m
Σήμα εισόδου ενεργοποίησης	Παλμός 10μs TTL
Συχνότητα λειτουργίας	40kHz
Τάση λειτουργίας	DC 5V

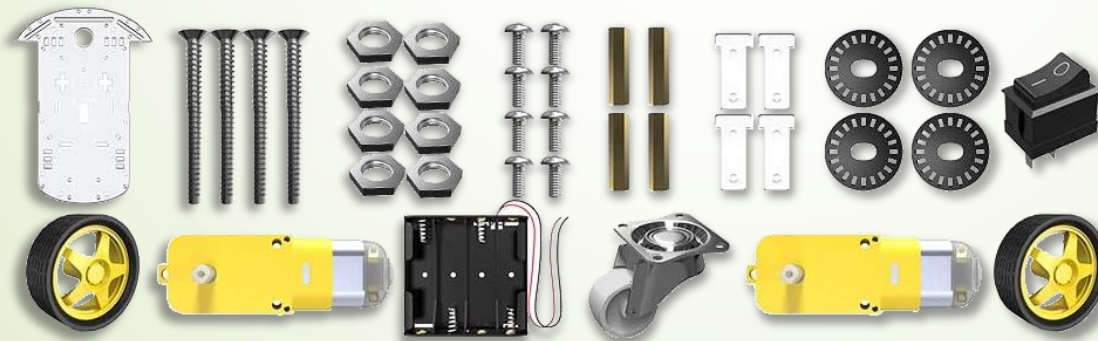
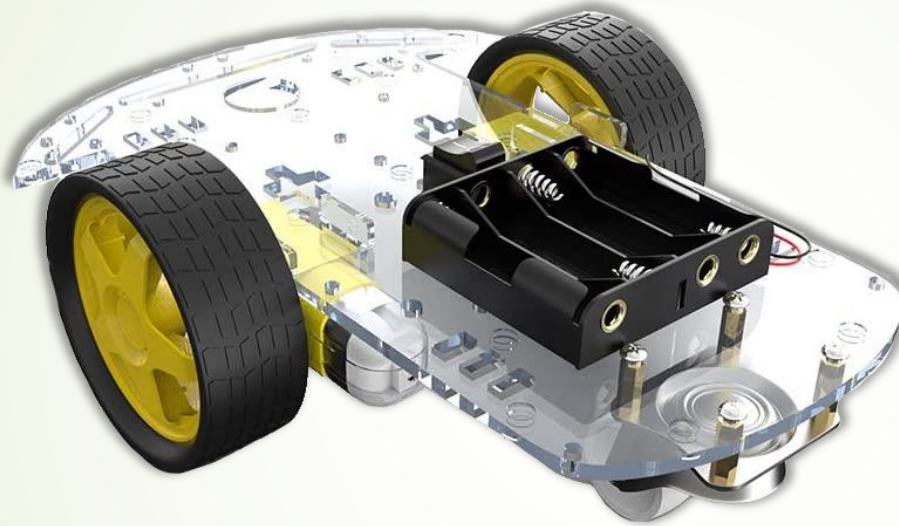
Βομβητής (Buzzer) **KY-006**



Τεχνικά χαρακτηριστικά

Διαστάσεις	20 x 15mm
Είδος & συχνότητα κύματος οδήγησης	τετραγωνικό κύμα 2 – 5kHz
Τάση λειτουργίας κινητήρων	DC 3.3 – 5V
Τρανζίστορ	9012

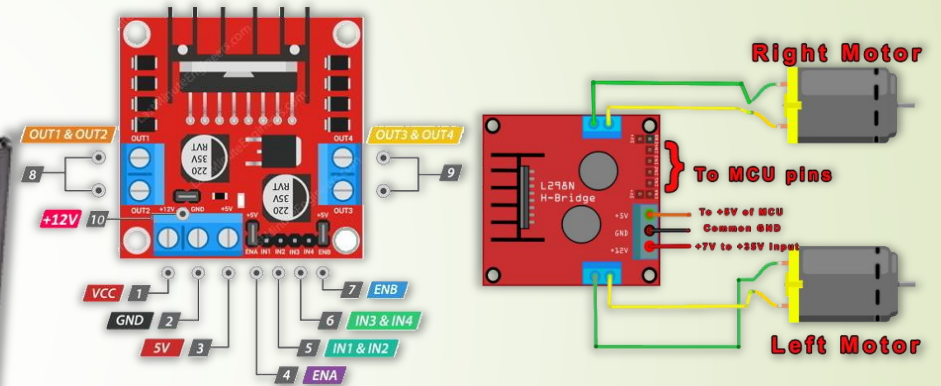
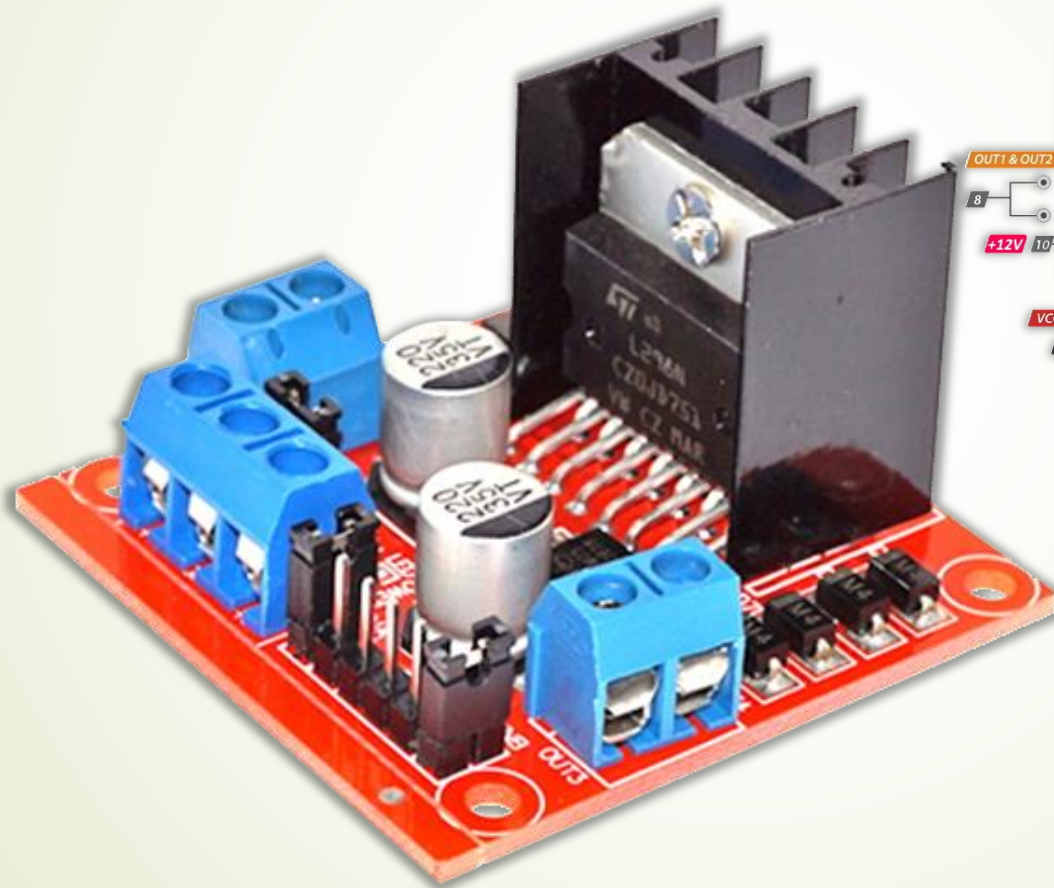
Δίτροχο ρομπότ/αυτοκίνητο για Arduino (2WD Robot car chassis kit for Arduino)



Τεχνικά χαρακτηριστικά

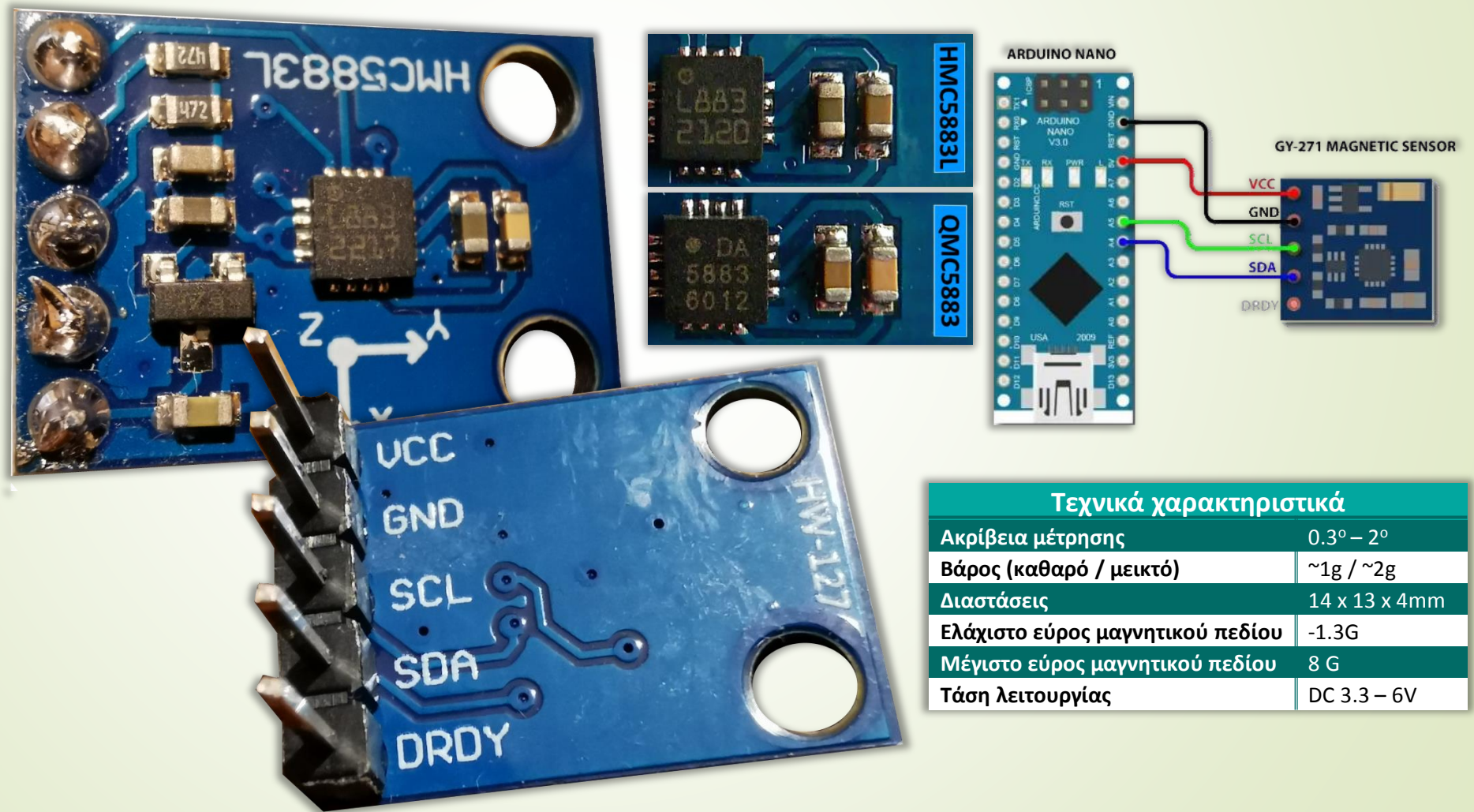
Βάρος	0.289kg
Διαστάσεις	221 x 155 x 39mm
Τάση λειτουργίας κινητήρων	DC 3 – 6V

Κύκλωμα οδήγησης κινητήρων (Dual motor driver module) **L298N**



Τεχνικά χαρακτηριστικά	
Βάρος (καθαρό / μεικτό)	0.026kg / 0.036kg
Διαστάσεις	55 x 60 x 30mm
Ένταση ρεύματος / κανάλι	2A
Ένταση ρεύματος λογικού τμήματος	36mA
Θερμοκρασία λειτουργίας	-25° – 130°C
Μέγιστη κατανάλωση ισχύος	25W
Ολοκληρωμένο κύκλωμα (IC)	L298N
Τάση εισόδου λογικού τμήματος	DC 4.5 – 5.5V
Τάση εξόδου κινητήρα	DC 5 – 35V
Τάση εξόδου κινητήρα (προτείνεται)	DC 7 – 12V

Μαγνητόμετρο (Magnetic field sensor) **GY-271**



Τεχνικά χαρακτηριστικά	
Ακρίβεια μέτρησης	0.3° – 2°
Βάρος (καθαρό / μεικτό)	~1g / ~2g
Διαστάσεις	14 x 13 x 4mm
Ελάχιστο εύρος μαγνητικού πεδίου	-1.3G
Μέγιστο εύρος μαγνητικού πεδίου	8 G
Τάση λειτουργίας	DC 3.3 – 6V

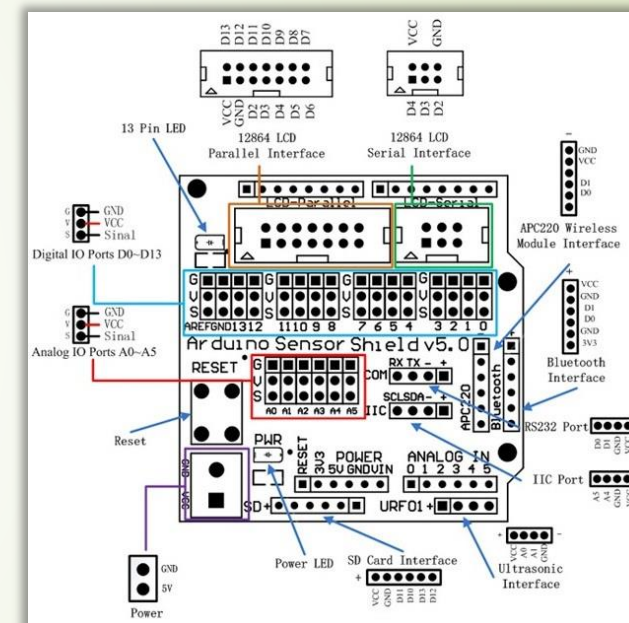
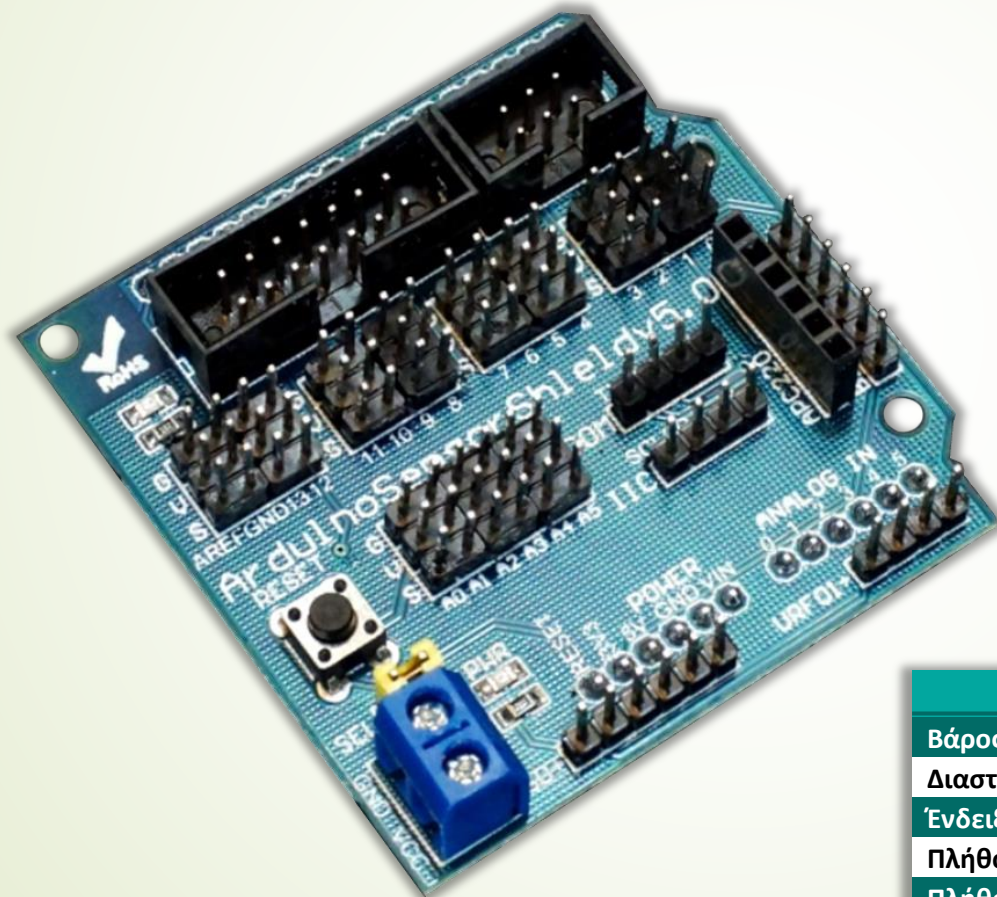
Μπαταρία λιθίου (LiPo battery pack) **Gens Ace**



Τεχνικά χαρακτηριστικά

Βάρος	0.102kg
Διαστάσεις	105 x 35 x 14mm
Ρυθμός εκφόρτισης	45C
Τάση	7.4V / 2S
Χωρητικότητα	1600mAh

Πλακέτα επέκτασης Arduino (Sensor shield v5.0)

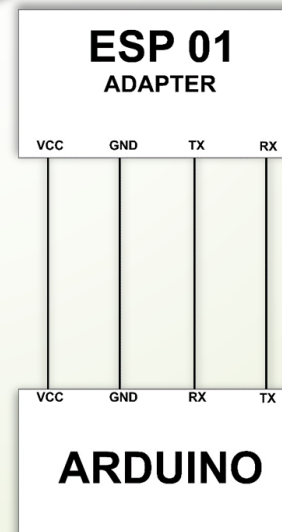
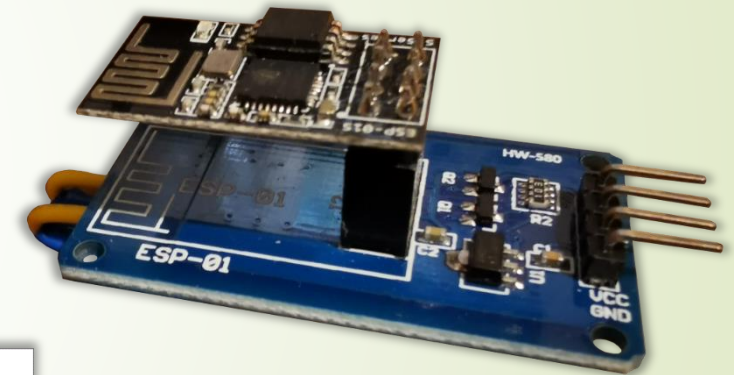
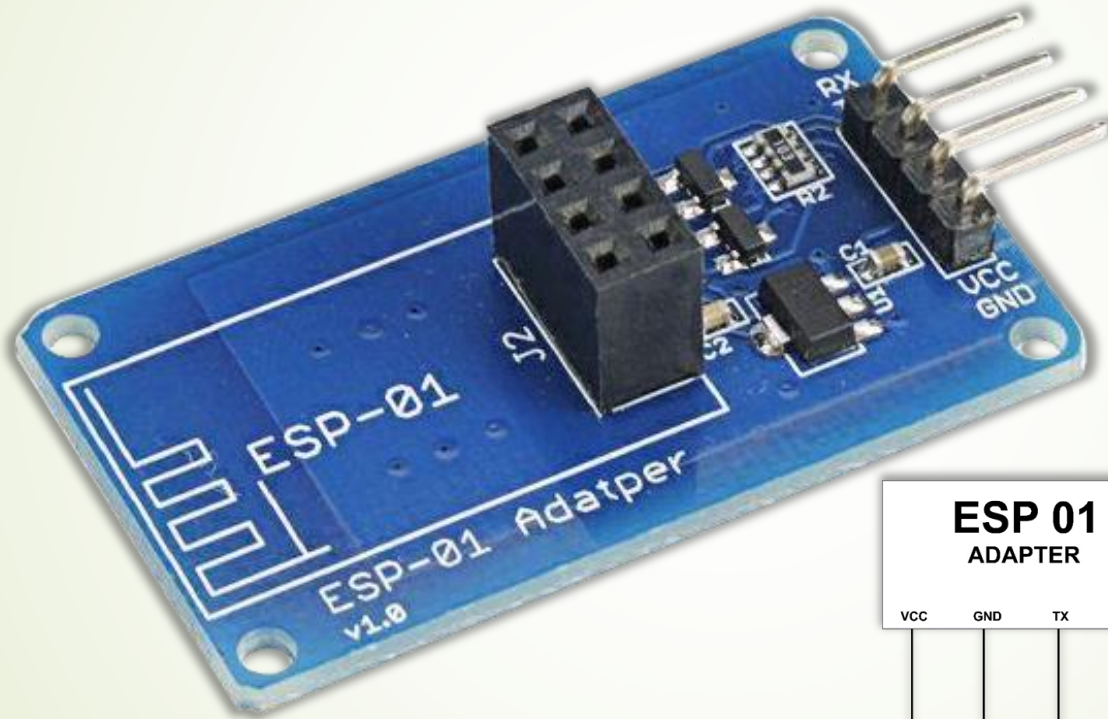


Τεχνικά χαρακτηριστικά

Βάρος	0.025kg
Διαστάσεις	57 x 19 x 57mm
Ένδειξη λειτουργίας LED	ενσωματωμένη
Πλήθος αναλογικών εισόδων/εξόδων (Analog I/O ports)	6
Πλήθος ψηφιακών εισόδων/εξόδων (Digital I/O ports)	14

Προσαρμογέας ESP-01

(Adapter module ESP8266 3.3V/5V)



Τεχνικά χαρακτηριστικά	
Διαστάσεις	47.5 x 24 x 11.5mm
Ένταση ρεύματος	240mA
Συμβατότητα με ESP8266	ESP-01 / ESP-01S
Τάση λειτουργίας	DC 4.5 – 5V

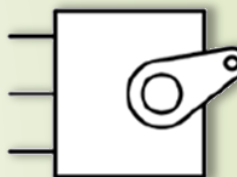
Σερβο-κινητήρας (Metal gear servo) **MG996R**



PWM=Orange (ΠΛΓ)

Vcc = Red (+)

Ground=Brown (-)



Τεχνικά χαρακτηριστικά

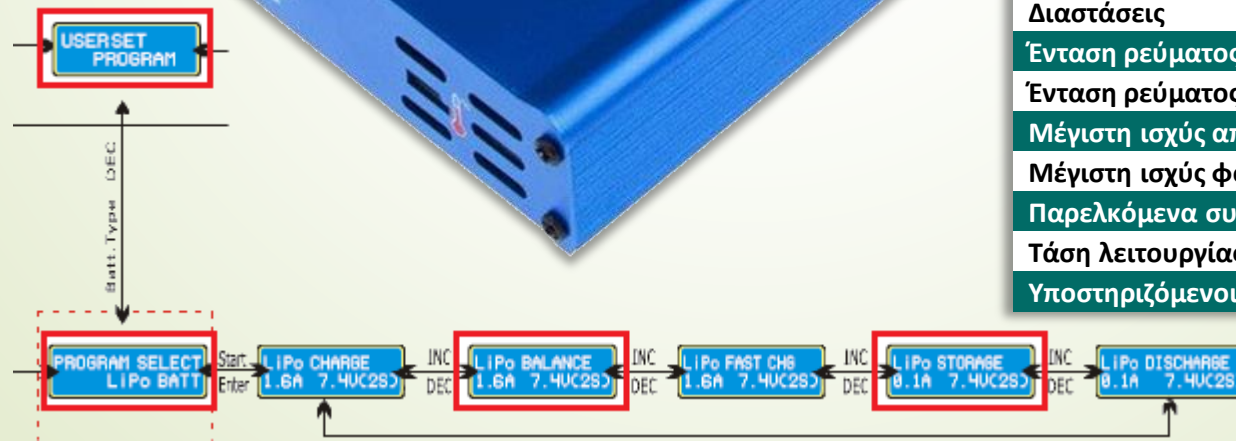
Βάρος	0.055kg
Γωνία περιστροφής	180°
Διαστάσεις	40.7 x 19.7 x 42.9mm
Ένταση ρεύματος λειτουργίας	500 – 900mA (6V)
Ένταση ρεύματος ροπής	2.5A (6V)
Θερμοκρασία λειτουργίας	0° – 55°C
Πλάτος νεκρής ζώνης	5μs
Ροπή	9kg/cm (4.8V) – 11kg/cm (6V)
Τάση λειτουργίας	DC 4.8 – 6V
Ταχύτητα λειτουργίας	0.17s/60° (4.8V) – 0.14s/60° (7.2V)

Φορτιστής/Αποφορτιστής μπαταριών (Battery charger/discharger) **iMAX B6AC**



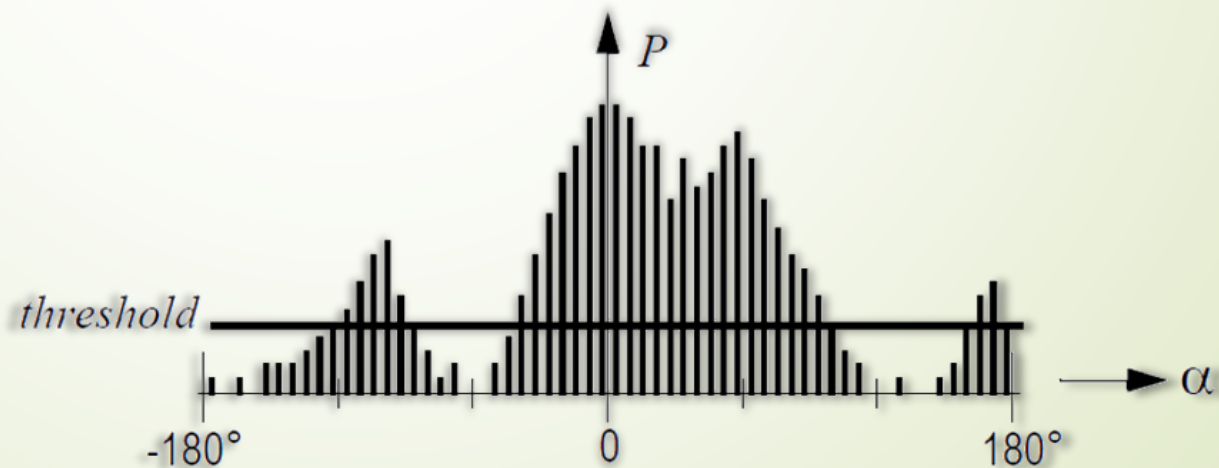
Τεχνικά χαρακτηριστικά

Βάρος	0.531kg
Διαστάσεις	134 x 142 x 36mm
Ένταση ρεύματος αποφόρτισης	0.1 – 1.0A
Ένταση ρεύματος φόρτισης	0.1 – 5.0A
Μέγιστη ισχύς αποφόρτισης	5W
Μέγιστη ισχύς φόρτισης	50W
Παρελκόμενα συσκευασίας	6 x Καλώδια
Τάση λειτουργίας	DC 11 – 18V / AC 110 – 220V
Υποστηριζόμενοι τύποι μπαταρίας	LiFe, LiLo, LiPo, Pb, NiCD, NiMH



Η μέθοδος «Ιστογράμματος Διανυσμάτων Πεδίου» (*Vector Field Histogram*) **VFH**

- Αισθητήρες απόστασης
- Πιθανοτικό πλέγμα (occupancy grid)
- Πίνακας πιθανοτήτων σύγκρουσης
- Ιστόγραμμα (οριζόντια: γωνίες, κάθετα: 0 έως 1)
- Κατώφλι συνδυαστικά με πραγματικές διαστάσεις του ρομπότ
- Νέος πίνακας πιθανοτήτων σύγκρουσης με χρήση κατωφλίου



Η μέθοδος «Ιστογράμματος Διανυσμάτων Πεδίου» (*Vector Field Histogram*) **VFH**

Απόφαση για την επιλογή της καλύτερης διαδρομής:

- ▶ μονοπάτι ακριβώς μπροστά
- ▶ μονοπάτι δεξιά ή αριστερά από τη μέση
- ▶ 2 ή περισσότερα μονοπάτια δεξιά και αριστερά από τη μέση:

Χρήση της συνάρτησης κόστους **G**:

$$G = a * target_direction + b * wheel_orientation + c * previous_direction$$

Λόγω του μοντέλου κίνησης των 2 τροχών με castor του ρομπότ της κατασκευής μας, αντί 4 τροχών και λόγω της επιλογής συγκεκριμένων βαρών, η δική μου συνάρτηση κόστους παίρνει την μορφή:

$$G = 0.67 * target_direction + 0.33 * previous_direction$$

Το ρομπότ: Κινήσεις & επικοινωνία

- ▶ Ρύθμιση του ESP8266:
 - ▶ ως ασύρματος σταθμός (WIRELESS STATION MODE):
 - ▶ Πρόσβαση από μια δυναμική διεύθυνση του τοπικού δικτύου μας
 - ▶ ή ως σημείο πρόσβασης (ACCESS POINT):
 - ▶ Πρόσβαση από την διεύθυνση **192.168.4.1**

Robot Car by Altintzis Georgios

AVOID

AVOID*

RETURN

- ▶ Με την επιλογή **AVOID**, το ρομπότ αποφασίζει για την καλύτερη διαδρομή και αποφεύγει τα εμπόδια κάθε φορά.
- ▶ Με την επιλογή **AVOID***, το ρομπότ πράττει ό,τι κάνει και η AVOID αλλά τα εμπόδια είναι εικονικά και τυχαία.
- ▶ Με την επιλογή **RETURN**, το ρομπότ επιστρέφει στη βασική ευθεία κίνησης.

Το ρομπότ: Κινήσεις & επικοινωνία

Τα βήματα της λειτουργίας του

Αποφυγή εμποδίων (επιλογή **AVOID**)

- Αναγνώριση εμποδίων σε συγκεκριμένο εύρος εμπρός:
 - Σάρωση εμποδίων σε ακτίνα 80° εμπρός (50° - 130°) ανά 5° – `scanArea()` και αποθήκευση των αποστάσεων από τα εμπόδια σε πίνακα
- Επιλογή βέλτιστης διαδρομής:
 - Υπολογισμός των πιθανοτήτων σύγκρουσης με δυναμικό κατώφλι χρησιμοποιώντας τον πίνακα των αποστάσεων από τα εμπόδια – `createProbabilityArrays()`
 - Εύρεση του καλύτερου κενού για την διέλευση του ρομπότ – `findBestGap()`
- Στροφή του ρομπότ προς την διέξοδο ανάμεσα στα εμπόδια – `turnByAngle()`
- Ευθεία κίνηση του ρομπότ μέχρι να ξεπεράσει τα εμπόδια – `go()`
- Παραλληλοποίηση του ρομπότ ως προς τη βασική ευθεία κίνησης – `turnByAngle()`
(επαναλαμβάνουμε την αποφυγή εμποδίων όσες φορές το επιθυμούμε)

Επιστροφή (επιλογή **RETURN**)

- Στροφή του ρομπότ προς τη βασική ευθεία κίνησης – `turnByAngle()`
- Ευθεία κίνηση του ρομπότ μέχρι τη βασική ευθεία κίνησης – `go()`
- Παραλληλοποίηση του ρομπότ ως προς τη βασική ευθεία κίνησης – `turnByAngle()`

Οι συναρτήσεις μου

Βασικές συναρτήσεις

void setup ()	Υπορουτίνα αρχικοποίησης πλακέτας Arduino (setup)
void loop ()	Υπορουτίνα επανάληψης (loop)
void Left_ISR ()	Διακοπή (interrupt) αριστερού κινητήρα
void Right_ISR ()	Διακοπή (interrupt) δεξιού κινητήρα

Βοηθητικές συναρτήσεις

float deg2rad (float degrees)	Υπορουτίνα υπολογισμού ακτινίων από μοίρες
void playBuzzer (String buzzerStatus)	Υπορουτίνα αναπαραγωγής ήχων
float rad2deg (float radians)	Υπορουτίνα υπολογισμού μοιρών από ακτίνια

Συναρτήσεις VFH

int calcChordLength (byte leftLimit, byte rightLimit, word &angle, word &r)	Υπορουτίνα υπολογισμού χορδής νοητού κύκλου
float calcProbability (int previous, int current, int next)	Υπορουτίνα υπολογισμού πιθανοτήτων σύγκρουσης
char chooseBetweenGaps (int angleLeft, int angleRight)	Υπορουτίνα απόφασης G για την καλύτερη διαδρομή
void createProbabilityArrays ()	Υπορουτίνα δημιουργίας πίνακα πιθανοτήτων σύγκρουσης
bool findBestGap (word &chordLength, word &angle, word &r)	Υπορουτίνα εύρεσης του καλύτερου κενού για διέλευση του ρομπότ
word readDistance ()	Υπορουτίνα μέτρησης απόστασης με χρήση του αποστασιόμετρου
void readNextDistance ()	Υπορουτίνα μέτρησης απόστασης ανά γωνία εμπρός
void scanArea ()	Υπορουτίνα σάρωσης περιοχής
void scanVirtualArea ()	Υπορουτίνα εικονικής σάρωσης περιοχής

Συναρτήσεις ασύρματης επικοινωνίας με WiFi

String buildAWebpage (String aReply)	Υπορουτίνα αποστολής ιστοσελίδας στο ESP8266 με δυνατότητα λήψης εντολής από τη συσκευή-πελάτη
bool initESP8266 ()	Υπορουτίνα αρχικοποίησης του ESP8266
bool initWiFi (byte CWMODE)	Υπορουτίνα αρχικοποίησης της σύνδεσης του ESP8266 σε ασύρματο δίκτυο WiFi
bool sendACommand (String command, const char* reply, unsigned int waitA, unsigned int waitB, boolean debug)	Υπορουτίνα αποστολής εντολών στο ESP8266 με δυνατότητα ελέγχου της απάντησης του ESP8266
bool sendAWebPage (int connectionId, String webpage, word timeDelay)	Υπορουτίνα αποστολής ιστοσελίδας στο ESP8266

Συναρτήσεις θέσης

word calcDistanceToStop (int curAngle)	Υπορουτίνα υπολογισμού υποτείνουσας κίνησης στην θέση (0,y)
void calcPosXY (int targetAngle, word distance)	Υπορουτίνα υπολογισμού συντεταγμένων
word recalTargetAngle (int targetAngle, word r)	Υπορουτίνα επαναυπολογισμού γωνίας περιστροφής λόγω ασυμμετρίας κατασκευής

Συναρτήσεις κίνησης

void go (byte dirAngle, byte speedInit, word targetDistance)	Υπορουτίνα κίνησης προς συγκεκριμένη κατεύθυνση
void moveForward (byte speedRight, byte speedLeft)	Υπορουτίνα κίνησης προς τα μπροστά
void startMoving ()	Υπορουτίνα εκκίνησης κινητήρων
void stopMoving ()	Υπορουτίνα σταματήματος
int turnByAngle (int endAngle, byte speed)	Υπορουτίνα περιστροφής

Συναρτήσεις μαγνητικού πεδίου

int calcAzimuthFix ()	Υπορουτίνα υπολογισμού απόκλισης μαγνητικού πεδίου σε σχέση με τον προσανατολισμό του ρομπότ ώστε το ρομπότ να ξεκινάει πάντα με γωνία 90°
int getFixedAzimuth ()	Υπορουτίνα διόρθωσης τιμής μαγνητικού πεδίου
int getAzimuth ()	Υπορουτίνα λήψης απόκλισης σε μοίρες από τον Βορρά
void initCompass ()	Υπορουτίνα αρχικοποίησης μαγνητόμετρου

Το ρομπότ: Κινήσεις & επικοινωνία

Περίπτωση 1^η: **κίνηση χωρίς εμπόδια**



Robot Car by Altintzis Georgios

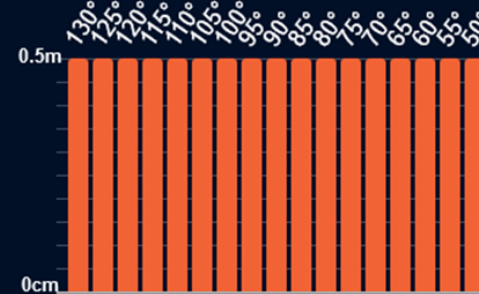
AVOID

AVOID*

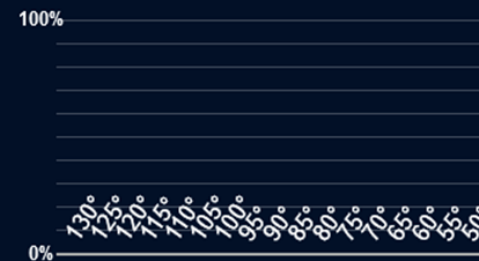
RETURN

ARDUINO SAYS:

Distances Bar Chart



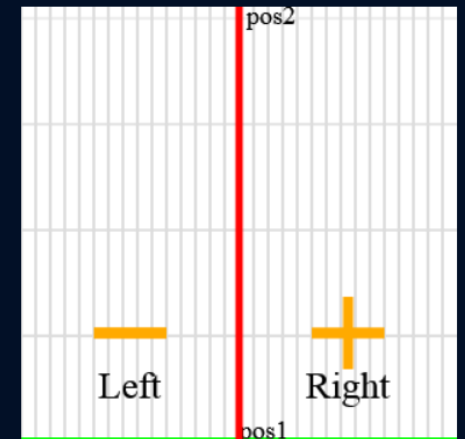
Collisions Probability Bar Chart



Robot Route

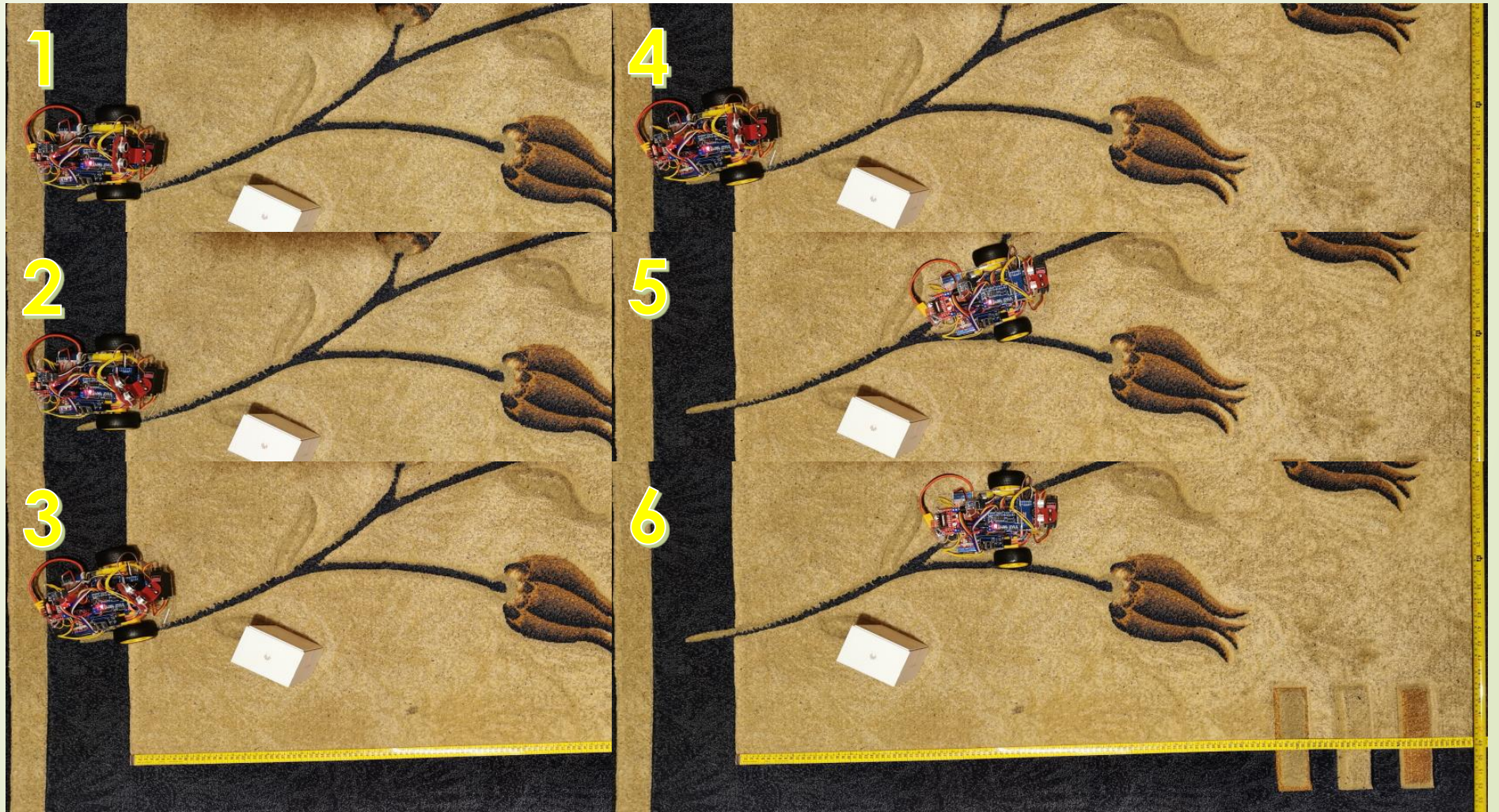
pos1 (0, 0), turn 90° (90°), go 50cm (50cm)

pos2 (0, 50), turn 90° (90°)



Το ρομπότ: Κινήσεις & επικοινωνία

Περίπτωση 2^η: **αποφυγή εμπόδιου στα δεξιά**



Το ρομπότ: Κινήσεις & επικοινωνία

Περίπτωση 2^η: αποφυγή εμποδίου στα δεξιά

Robot Car by Altintzis Georgios

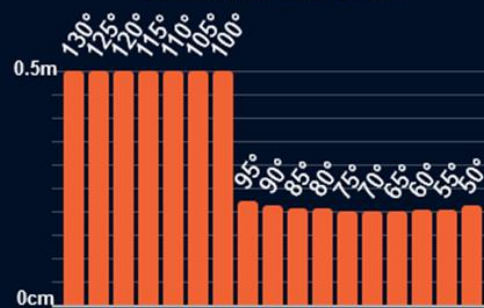
AVOID

AVOID*

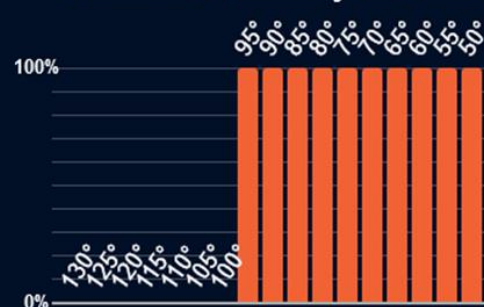
RETURN

ARDUINO SAYS:

Distances Bar Chart



Collisions Probability Bar Chart



Robot Route

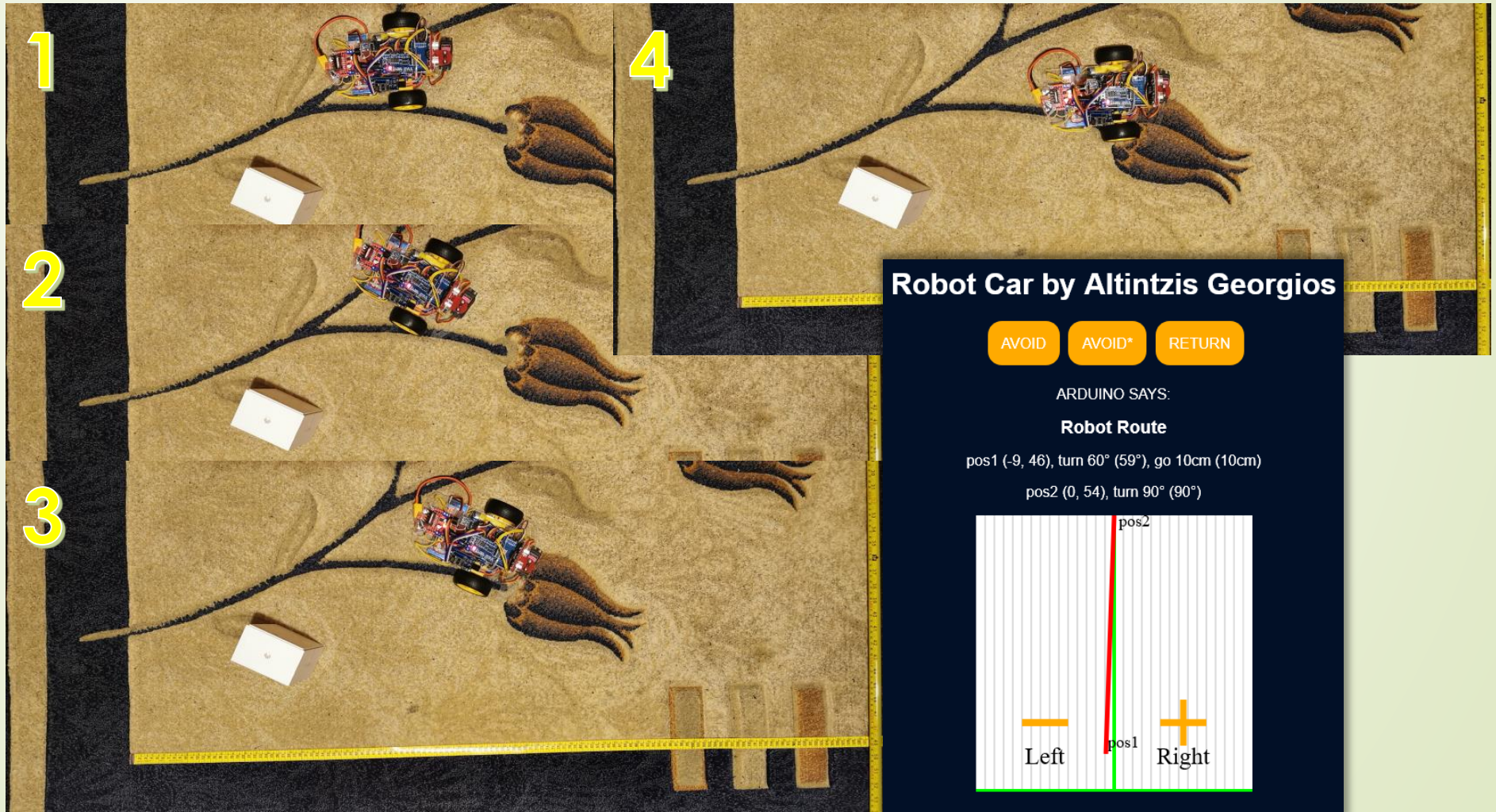
pos1 (0, 0), turn 99° (100°), go 44cm (46cm)

pos2 (-9, 46), turn 90° (90°)



Το ρομπότ: Κινήσεις & επικοινωνία

Περίπτωση 2^η: **ΕΠΙΣΤΡΟΦΗ**



Robot Car by Altintzis Georgios

AVOID

AVOID*

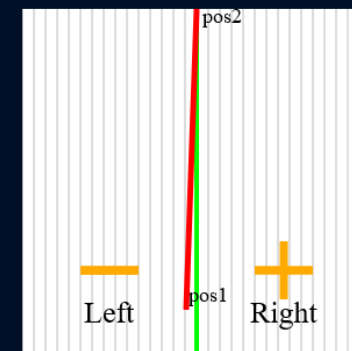
RETURN

ARDUINO SAYS:

Robot Route

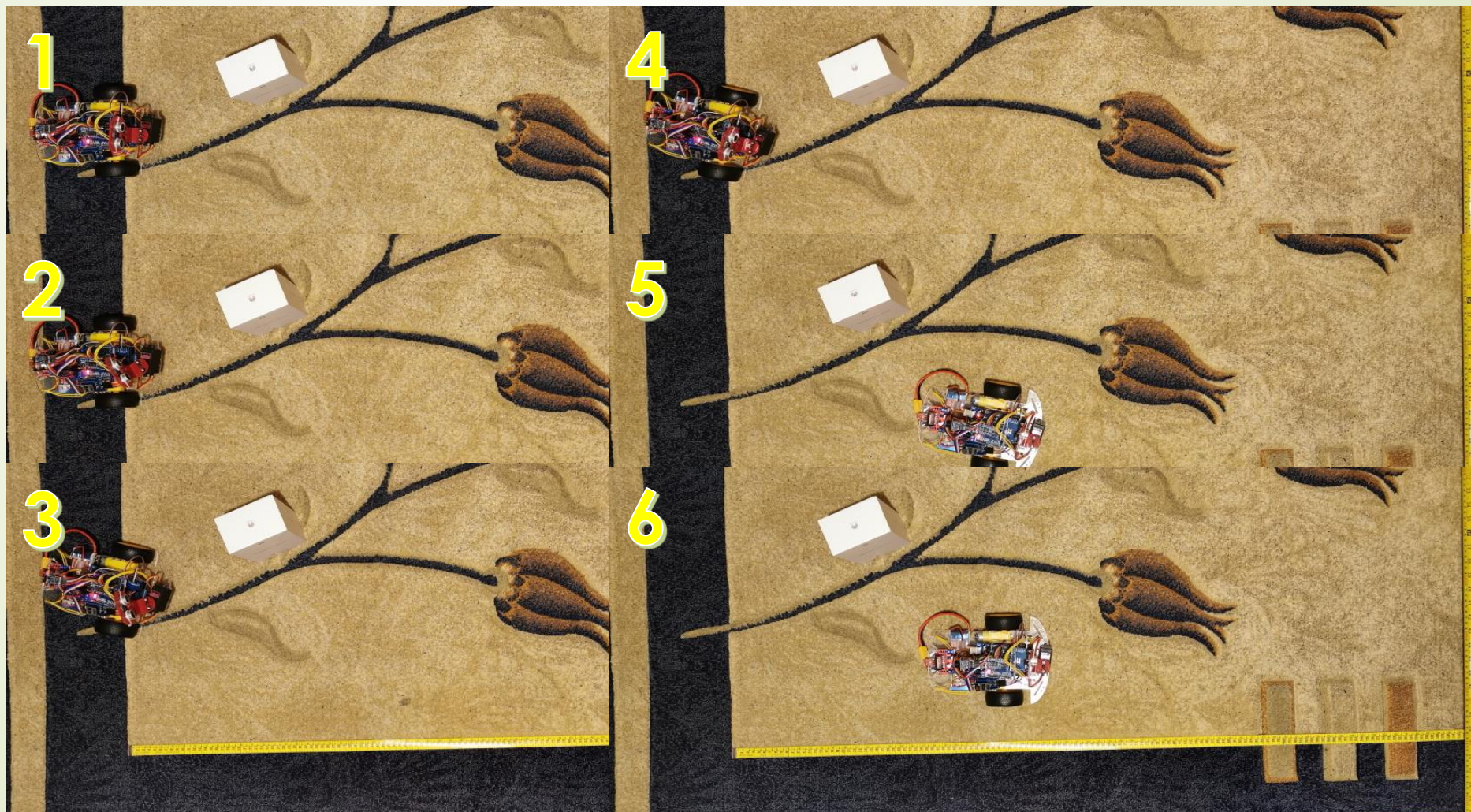
pos1 (-9, 46), turn 60° (59°), go 10cm (10cm)

pos2 (0, 54), turn 90° (90°)



Το ρομπότ: Κινήσεις & επικοινωνία

Περίπτωση 3^η: **αποφυγή εμποδίου στα αριστερά**



Το ρομπότ: Κινήσεις & επικοινωνία

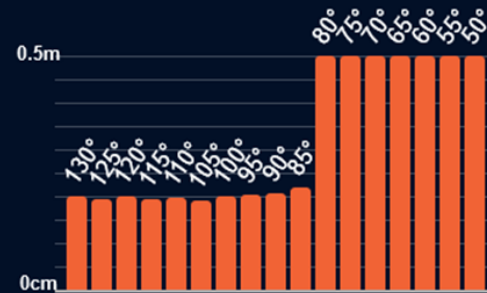
Περίπτωση 3^η: **αποφυγή εμποδίου στα αριστερά**

Robot Car by Altintzis Georgios

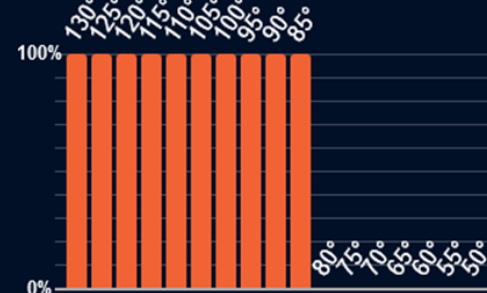
AVOID AVOID* RETURN

ARDUINO SAYS:

Distances Bar Chart



Collisions Probability Bar Chart



Robot Route

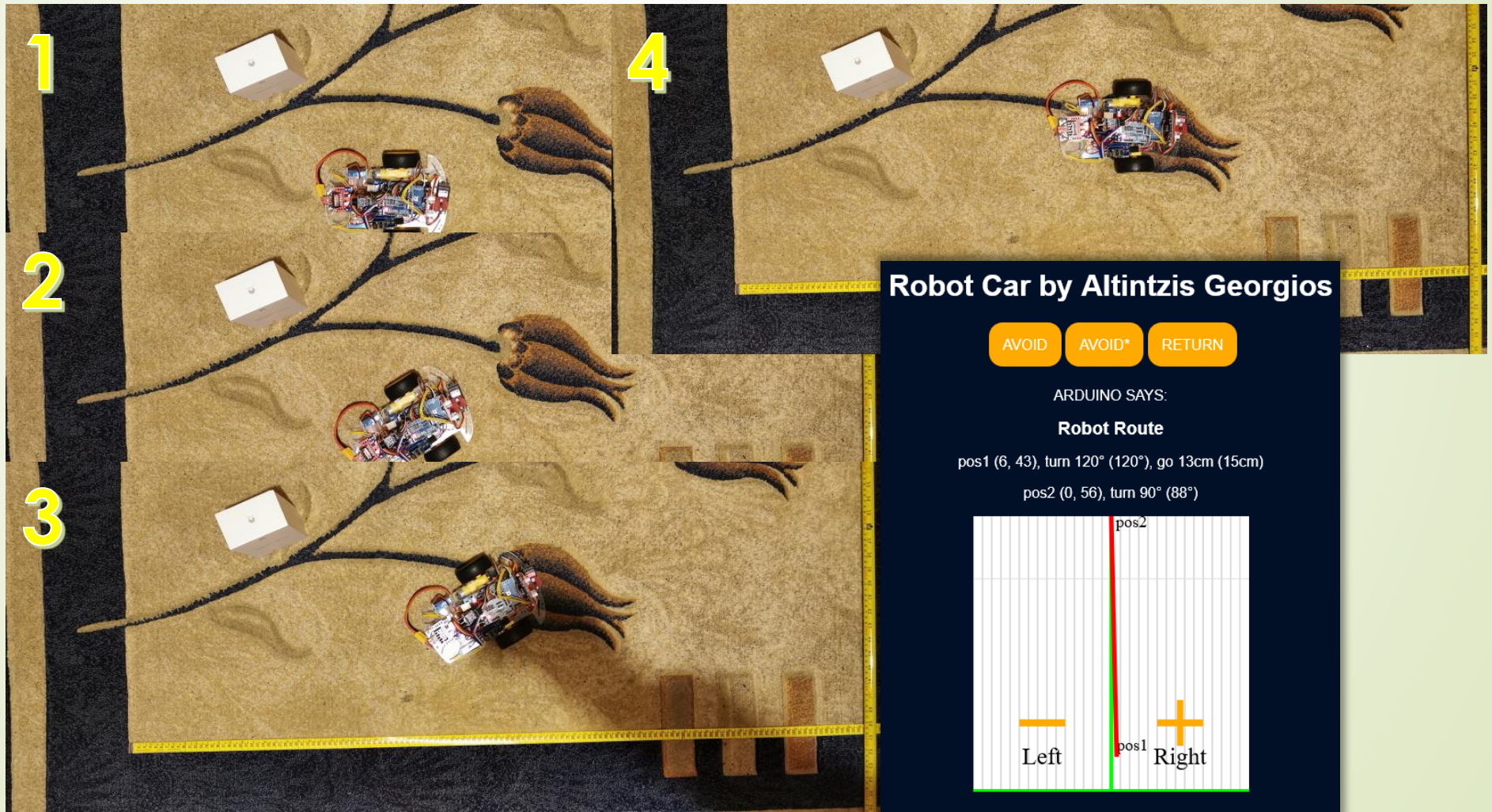
pos1 (0, 0), turn 81° (80°), go 44cm (44cm)

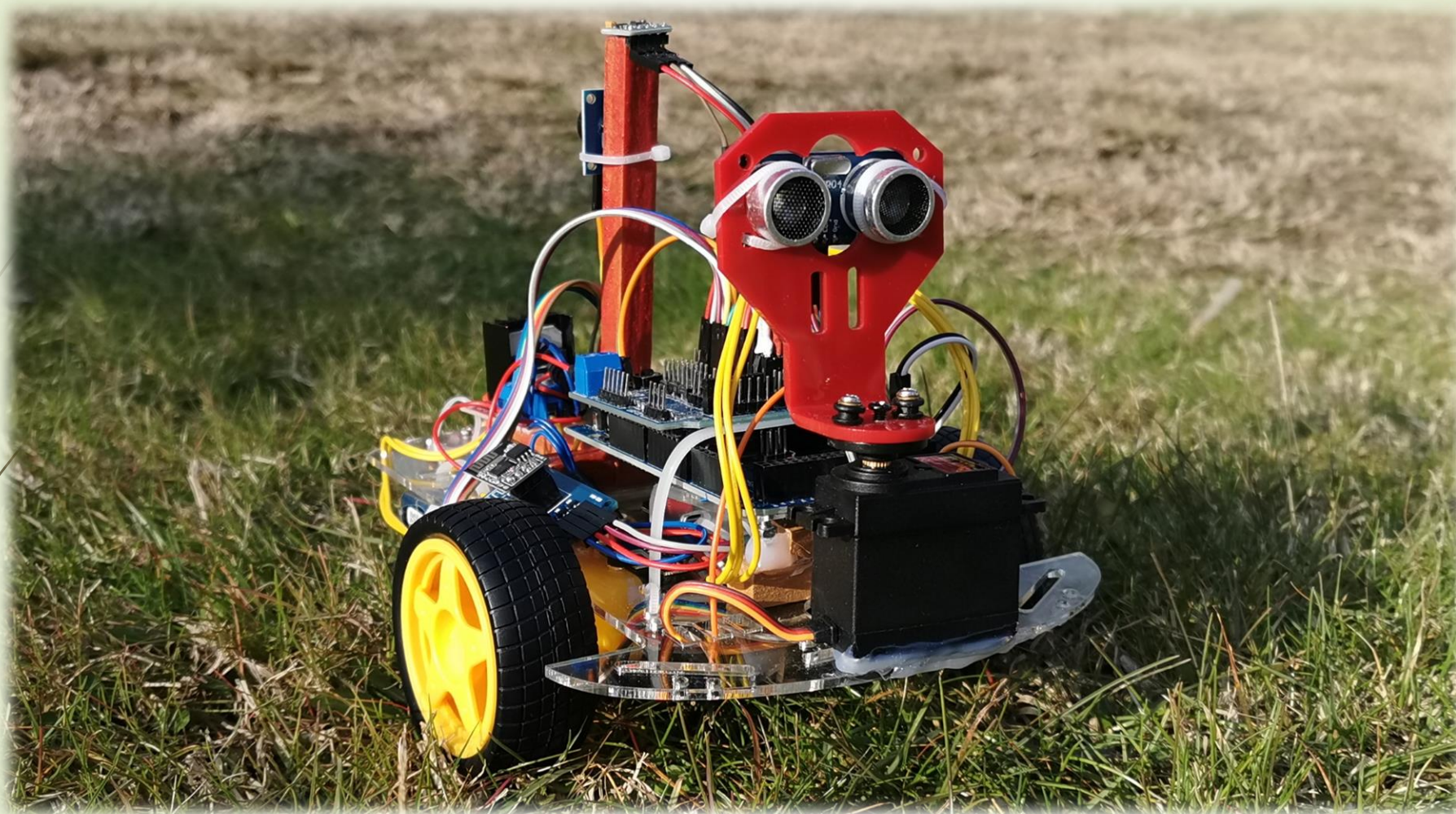
pos2 (6, 43), turn 90° (88°)



Το ρομπότ: Κινήσεις & επικοινωνία

Περίπτωση 3^η: **ΕΠΙΣΤΡΟΦΗ**





Ευχαριστώ για την προσοχή σας!