

Ρομποτικός βραχίονας με χρήση του μικροελεγκτή Basic Stamp της Parallax και εκπαιδευτικές δραστηριότητες

Ν. Γιαννακόπουλος

Εκπαιδευτικός ΠΕ19 - 3^ο ΓΕΛ Πάτρας, ΜΔΕ Σπουδές στην εκπαίδευση-ΕΑΠ
gianakop@gmail.com

Περίληψη

Τα σενάρια εκπαιδευτικής ρομποτικής συχνά απαιτούν από το χρήστη να προγραμματίσει ρομπότ τα οποία να πιάνουν αντικείμενα και να τα μετακινούν ή να τα τοποθετούν σε συγκεκριμένα σημεία με χρήση ρομποτικών βραχιόνων. Οι ρομποτικοί βραχίονες στην πληροφορική εκτός από αντικείμενα προγραμματισμού, έχουν αποτελέσει και αντικείμενα εκπαιδευτικών εφαρμογών- μικρόκοσμων, όπου ο χρήστης καλείται να τους κατευθύνει μέσα από εικονικά περιβάλλοντα ώστε να πετύχει κάποιο στόχο. Η παρούσα εργασία αναφέρεται στην κατασκευή και στον προγραμματισμό ενός ρομποτικού βραχίονα με χρήση του μικροελεγκτή Basic Stamp της εταιρείας Parallax. Η κατασκευή του βραχίονα ήταν πρωτότυπη και προτάθηκε μάλιστα από τον συγγραφέα για εμπορική εκμετάλλευση στην παραπάνω εταιρία και συγκεκριμένα για χρήση στο εκπαιδευτικό ρομπότ Boe-Bot. Ενδιαφέρον από πλευράς διδακτικής της πληροφορικής παρουσιάζουν οι δραστηριότητες προγραμματισμού του ρομποτικού βραχίονα ώστε να εκτελεί διάφορες εργασίες. Οι δραστηριότητες αυτές ενσωματώνουν μαθηματικά αναλυτική γεωμετρία κινηματική, φυσική και πληροφορική.

Λέξεις κλειδιά: Εκπαιδευτική ρομποτική, ρομποτικός βραχίονας, μικροελεγκτής Basic Stamp

Abstract

The educational robotic scenarios often demand the user to program robots which will be able to catch and move objects or place objects at specific locations using robotic arms. Robotic arms, apart from programming objects also constitute the theme for educational applications such as “Microworlds”. In this type of software the user has to direct the robotic arm through a virtual environment to achieve a challenge. This paper refers to the construction and the programming of a robotic arm, using the Basic Stamp Parallax’s microcontroller. The robotic arm’s construction was original and has also been recommended to Parallax by the writer for commercial use as an accessory for the educational robot “BoeBot”. Programming activities which enable the robotic arm to perform various challenges are very interesting educationally. These activities incorporate mathematics, analytic geometry, kinematics, physics and informatics.

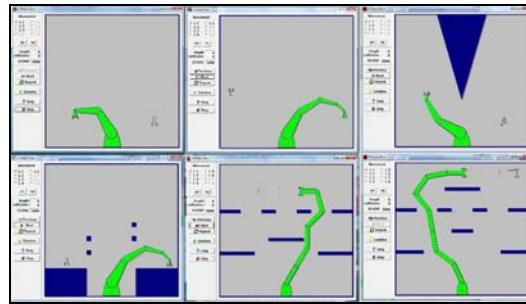
Keywords: educational robotic, robotic arm, BasicStamp microcontroller

1. Εισαγωγή

Οι ρομποτικοί βραχίονες αποτελούν χρήσιμα εργαλεία στην παγκόσμια βιομηχανία, στη διαστημική, στην Ιατρική, στην έρευνα γενικότερα και στην εκπαίδευση. Μερικά από τα χαρακτηριστικά των Ρομποτικών βραχιόνων είναι ο αριθμός των αρθρώσεων που καθορίζουν και τους βαθμούς ελευθερίας τους, οι κινητήρες που ενεργοποιούν τις αρθρώσεις τους, το εργαλείο δράσης που είναι συνήθως μία αρπάγη και ο χώρος εργασίας που είναι ο γεωμετρικός τόπος των σημείων που μπορεί να προσεγγίσει το εργαλείο δράσης (Ντίνας & Σαϊτάκης, 2003). Η μελέτη και η προσομοίωση της κίνησής τους είναι απαραίτητα για την ασφαλή λειτουργία τους αλλά και για τη βελτίωση της απόδοσής τους (Ζήκος 2005). Ένας εκπαιδευτικός μικρόκοσμος που προσομοιώνει προβλήματα κινηματικής στη ρομποτική είναι το λογισμικό Motion planning (σχήμα 1).

Μία από τις τέσσερις ενότητες του με τίτλο “A robot Arm” εστιάζει ακριβώς στο πρόβλημα που καλείται να αντιμετωπίσει ο χρήστης- προγραμματιστής προσπαθώντας να χειριστεί ένα ρομποτικό βραχίονα με διάφορους βαθμούς ελευθερίας προκειμένου να επιτύχει ένα στόχο που είναι να πιάσει ένα συγκεκριμένο αντικείμενο. Η παρούσα εργασία περιγράφει την υλοποίηση ενός πραγματικού πρωτότυπου μοντέλου ρομποτικού βραχίονα με χρήση του μικροελεγκτή BasicStamp της Parallax. Ο προγραμματισμός του βραχίονα έγινε με τη γλώσσα προγραμματισμού Pbasic αφού προηγήθηκε μία ανάλυση της κίνησης που έπρεπε να εκτελέσει ο βραχίονας προκειμένου να πιάσει και να μετακινήσει μία μπάλα. Το λογισμικό Motion planning, σε συνδυασμό με το υλοποιημένο μοντέλο

της εργασίας, μπορούν να αποτελέσουν εκπαιδευτικό υλικό για προσομοίωση της κίνησης του βραχίονα σε πρώτο στάδιο και για πρακτική εφαρμογή σε δεύτερο στάδιο αντίστοιχα.



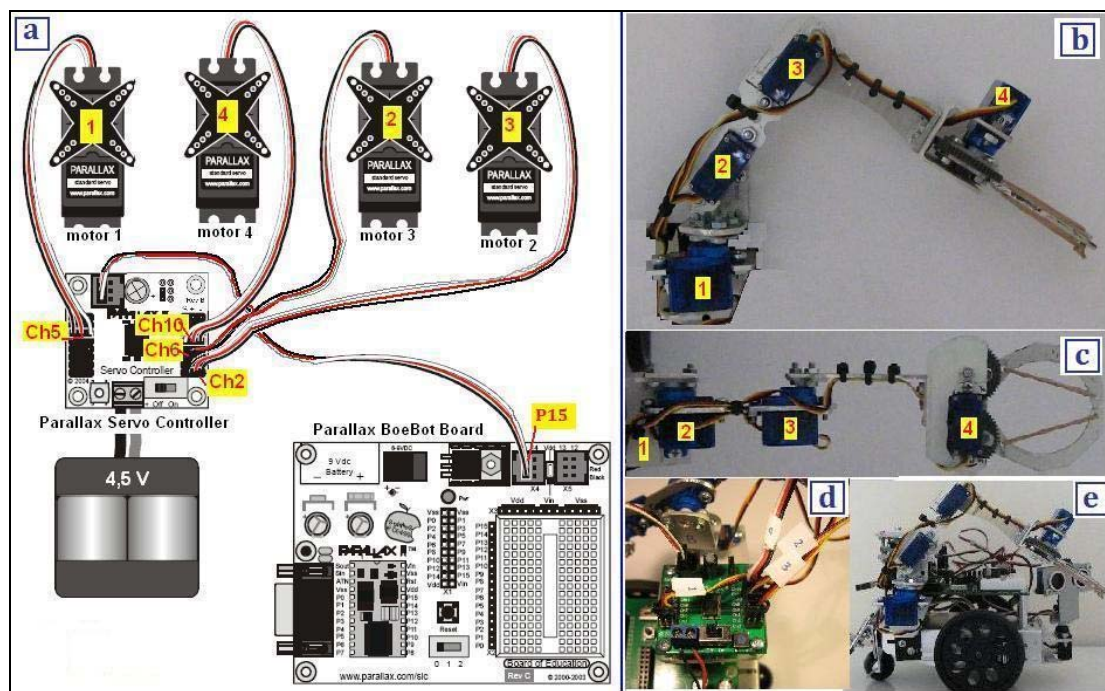
Σχήμα 1: Λογισμικό προσομοίωσης ρομποτικού βραχίονα Motion planning

2. Περιγραφή του Βραχίονα

2.1 Μηχανικό μέρος συνδεσμολογία

Ο συγκεκριμένος ρομποτικός βραχίονας έχει τρεις αρθρώσεις – συνδέσμους και χρησιμοποιεί τέσσερις τυπικούς σερβοκινητήρες (standard servos) (σχήμα 2a, 2b, 2c). Προκειμένου να υπάρχει δυνατότητα ταυτόχρονης λειτουργίας και των τεσσάρων σερβοκινητήρων χρησιμοποιήθηκε για τον έλεγχό τους ο Parallax Servo Controller (#28023) (Parallax 2005) (σχήμα 2a, 2d).

Το κύκλωμα με τη συνδεσμολογία των σερβοκινητήρων του βραχίονα φαίνεται παρακάτω στο σχήμα 2a:



Σχήμα 2: Κύκλωμα συνδεσμολογίας σερβοκινητήρων & ρομποτικός βραχίονας στο BoeBot της Parallax

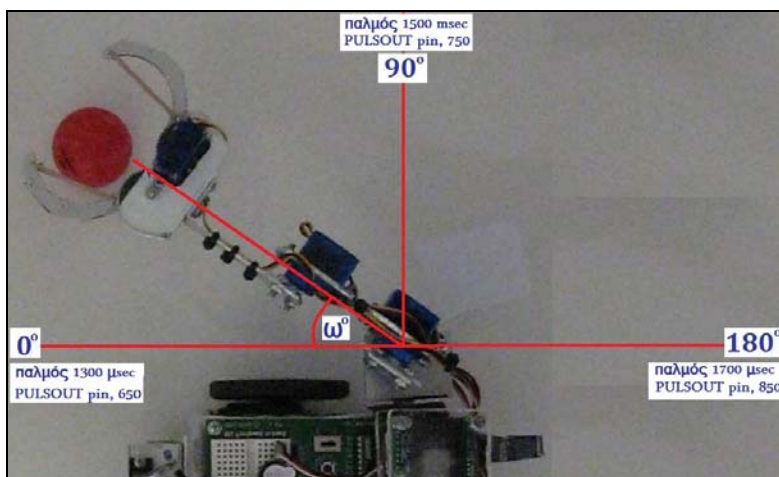
Η συνδεσμολογία που χρησιμοποιήθηκε και συμφωνεί με τον κώδικα προγραμματισμού του βραχίονα ήταν η ακόλουθη: Οι σερβοκινητήρες 1, 2, 3 και 4 συνδέθηκαν με τα κανάλια ch5, ch6, ch2 και ch10 του servo controller αντίστοιχα (σχήμα 2 a,d). Ο servo controller συνδέθηκε με την κεντρική πλακέτα, Parallax BoeBot Board, στην υποδοχή X4 δεσμεύοντας τη θύρα P15 και τροφοδοτήθηκε με τάση 4,5 V η οποία ήταν κατάλληλη για τα standard mini servo (σχήμα 2 a). Η θέση των κινητήρων πάνω στο μηχανικό σκελετό του βραχίονα ήταν αυτή που φαίνεται στο σχήμα 2 b,c.

Ο κινητήρας 1 τοποθετήθηκε στη βάση του βραχίονα, οι κινητήρες 2 και 3 στο ενδιάμεσο τμήμα του βραχίονα και ο κινητήρας 4 στην αρπάγη (gripper) σχήμα 2 b,c. Ολόκληρος ο βραχίονας προσαρμόστηκε επάνω στο εκπαιδευτικό ρομπότ Boe-Bot της Parallax (σχήμα 2e).

2.2 Ανάλυση Προβλήματος - εντολή Pulsout

Ας υποθέσουμε ότι ο βραχίονας βρίσκεται σε μία αρχική γνωστή σε εμάς θέση και πρέπει να πιάσει ένα συγκεκριμένο αντικείμενο, για παράδειγμα μία μπάλα η οποία βρίσκεται εντός των ορίων των δυνατοτήτων του. Για να γίνει αυτό πρέπει οι τέσσερις σερβοκινητήρες να στρίψουν ο καθένας σε συγκεκριμένη θέση ώστε να αναγκάσουν το σκελετό του ρομποτικού βραχίονα να πάρει το ανάλογο σχήμα ώστε να πιάσει τη μπάλα (σχήμα 5). Έτσι το πρώτο που πρέπει να εξετάσει κανείς είναι η συμπεριφορά και ο έλεγχος ενός τυπικού σερβοκινητήρα (standard servo).

Ένας τυπικός σερβοκινητήρας (standard servo) μπορεί να στραφεί στα όρια από 0ο έως 180ο καθώς έχει μια ειδική ασφάλεια η οποία τον αναγκάζει να σταματάει οποιαδήποτε κίνηση πέρα από αυτό το διάστημα. Ας εξετάσουμε το σερβοκινητήρα 1 που βρίσκεται στη βάση του ρομποτικού βραχίονα που είναι προσαρτημένη στο σώμα του ρομπότ και αναγκάζει το βραχίονα να στρέφει από αριστερά προς τα δεξιά και αντίστροφα, σχηματίζοντας γωνίες από 0° έως 180° με το σώμα του ρομπότ (σχήμα 3).



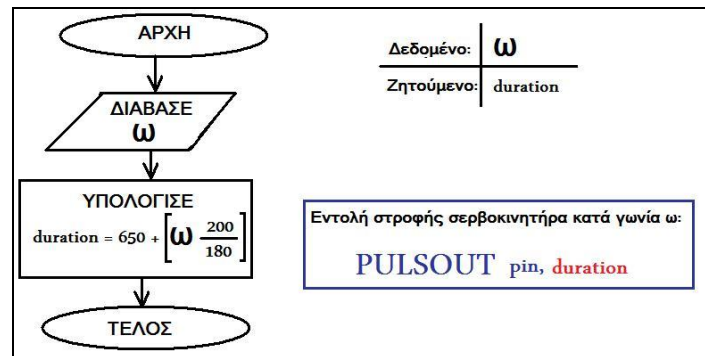
Σχήμα 3: Περιστροφή κανονικού σερβοκινητήρα (standard servo) σε σχέση με παλμό και εντολή PULSOUT

Η οδήγηση του σερβοκινητήρα γίνεται με παλμούς και συγκεκριμένα με την εντολή PULSOUT. Η εντολή PULSOUT παράγει έναν τετραγωνικό παλμό στον ακροδέκτη που θα ορίσει ο προγραμματιστής με συγκεκριμένη διάρκεια. Η σύνταξη της είναι : **PULSOUT Pin, Duration** όπου Pin η θύρα του μικροελεγκτή (0-15) στην οποία συνδέουμε τον κινητήρα και Duration η διάρκεια του παλμού (εύρος 0-65535) που εκφράζεται σε μονάδες των 2 μs (Parallax 2007).

Ένας παλμός για παράδειγμα της τάξης του 1.5 millisecond, θα αναγκάσει τον κινητήρα να στραφεί στη θέση των 90°. Αν ο παλμός είναι μικρότερος του 1.5 millisecond ο κινητήρας θα στραφεί προς τη θέση των 0°. Αν ο παλμός που θα σταλεί από τον Basic Stamp 2 είναι μεγαλύτερος του 1.5 millisecond τότε ο κινητήρας θα στραφεί σε κάποια θέση κοντινότερα στη θέση των 180° (Lindsay 2003a). Στο σχήμα 3 φαίνεται η θέση του κινητήρα της βάσης και κατ' επέκταση όλου του βραχίονα σε σχέση με το πλάτος των παλμών. Για παράδειγμα μία γωνία ω° μεταξύ 0° και 90° σχηματίζεται με παλμό μεταξύ 1,3 και 1,5 millisecond (σχήμα 3).

Στην εντολή PULSOUT, όπως αναφέρθηκε η παράμετρος Duration ορίζει τη χρονική διάρκεια παλμού και εκφράζεται σε χρονικές μονάδες των 2 μsec. Έτσι για να στείλουμε σε ένα σερβοκινητήρα παλμό πλάτους 1.5 millisecond (όπου 1.5millisecond= 1500μsecond), ώστε ο άξονάς του να τοποθετηθεί στην κατακόρυφη θέση ($\theta=90^\circ$), πρέπει να δώσουμε στην παράμετρο duration τιμή ίση με $1500/2 = 750$. Αντίστοιχα για τη θέση 0° μοιρών θα είναι duration = $1300/2=650$ (1.3 milliseconds) και για τη θέση των 180° μοιρών αντίστοιχα θα είναι $1700/2=850$ (1.7milliseconds), (Lindsay 2003b). Για οποιαδήποτε άλλη ενδιάμεση γωνία (ω°), ο παρακάτω απλός αλγόριθμος στο

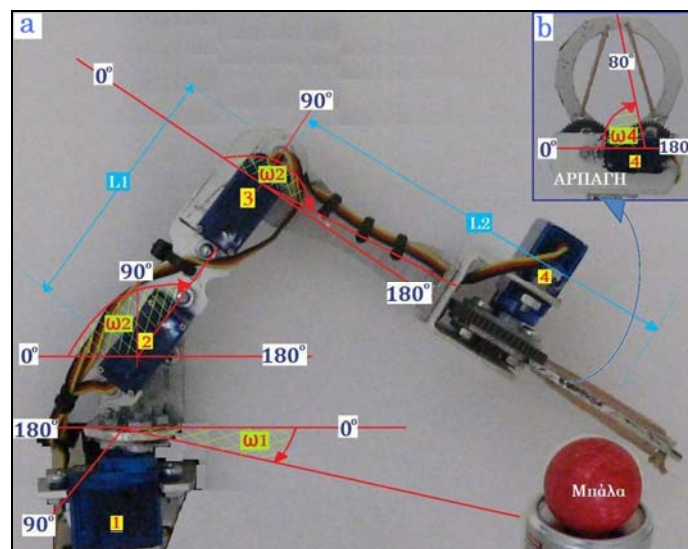
σχήμα 4, μπορεί να μας υπολογίσει την παράμετρο duration που πρέπει να δοθεί στην εντολή PULSOUT:



Σχήμα 4: Αλγόριθμος υπολογισμού διάρκειας παλμού σερβοκινητήρα (duration) για την εντολή PULSOUT

Το ζητούμενο λοιπόν είναι να υπολογιστούν οι γωνίες που πρέπει να στραφούν οι τέσσερις σερβοκινητήρες ώστε να επιτύχουμε το επιθυμητό αποτέλεσμα, το οποίο είναι να πιάσει την μπάλα σχήμα 5.

Συγκεκριμένα πρέπει να υπολογιστούν οι γωνίες ω_1 , ω_2 και ω_3 που αντιστοιχούν στους κινητήρες 1, 2 και 3 αντίστοιχα σχήμα 5a. Η γωνία ω_4 που θα πρέπει να περιστραφεί ο κινητήρας 4 ο οποίος είναι ο κινητήρας που ανοιγοκλείνει την αρπάγη (gripper) δε χρειάζεται να υπολογιστεί γιατί είναι πάντα σταθερή αφού για να κλείσει η αρπάγη η γωνία είναι συγκεκριμένη $\omega_4=80^\circ$ και δεν αλλάζει ενώ για να ανοίξει είναι $\omega_4=180^\circ$ σχήμα 5b.



Σχήμα 5: Υπολογισμός των τεσσάρων γωνιών του ρομποτικού βραχίονα προκειμένου να πιάσει μία μπάλα

Ο υπολογισμός των γωνιών ω_1 , ω_2 και ω_3 εξαρτάται από τη θέση του αντικειμένου ως προς τη βάση του βραχίονα καθώς και από τα φυσικά χαρακτηριστικά του βραχίονα, όπως τα μήκη L_1 και L_2 των τμημάτων του σκελετού του.

Η συνολική κίνηση του βραχίονα αφού υπολογιστούν αυτές οι γωνίες είναι ένα πρόβλημα κινηματικής. Προκειμένου μάλιστα να υπάρχει ομαλή και συνεχής κίνηση του βραχίονα ήταν απαραίτητη η ταυτόχρονη λειτουργία και των τεσσάρων σερβοκινητήρων πράγμα που επιτεύχθηκε με τη χρήση του Parallax Servo Controller (#28023) (Parallax 2005) και της εντολής SEROUT (Parallax 2007 & Pientak, 2003).

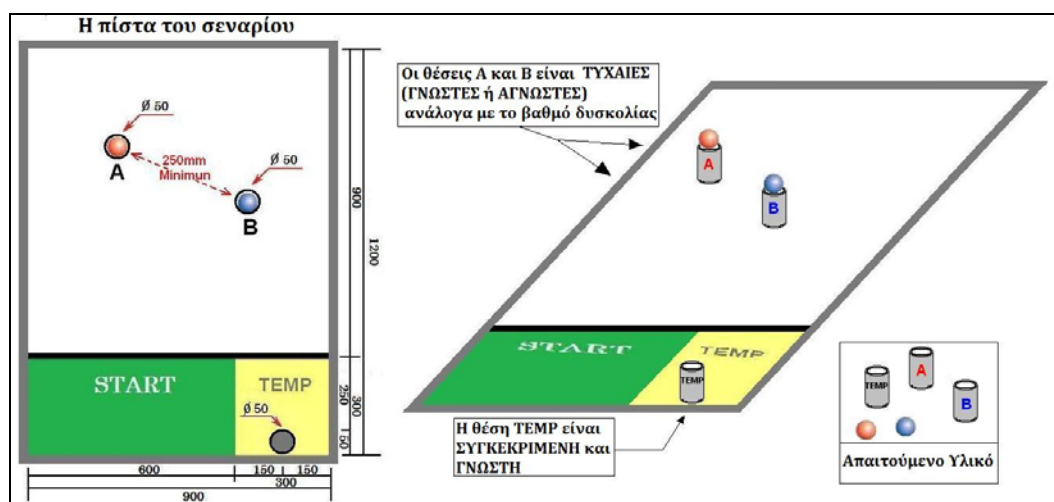
Το σχετικό video με τον παραπάνω ρομποτικό βραχίονα προσαρτημένο πάνω στο εκπαιδευτικό ρομπότ Boe-Bot της Parallax ενώ πιάνει και μετακινεί κάποιες μπάλες από συγκεκριμένο σημείο, βρίσκεται στην παρακάτω διεύθυνση: <http://www.youtube.com/user/ngyt40#p/u/1/P7peM12R8so> ή κάνοντας αναζήτηση το video με τίτλο: "Boe bot gripper controlled by Parallax servo controller".

2.4 Δραστηριότητες-εκπαιδευτικά σενάρια

Ένα σενάριο εκπαιδευτικής ρομποτικής με χρήση του ρομποτικού βραχίονα είναι η δραστηριότητα «Αντιμετάθεση» η οποία καλεί ένα εκπαιδευτικό ρομπότ να εκτελέσει μία προσομοίωση της αντιμετάθεσης των τιμών δύο μεταβλητών, χρησιμοποιώντας μπάλες στο ρόλο των τιμών, τοποθετημένες σε ειδικές θέσεις στο ρόλο των μεταβλητών (Giannakoroulos, 2009).

Η δραστηριότητα αυτή απευθύνεται κυρίως σε μαθητές Λυκείου και μπορεί να τεθεί ως θέμα διαγωνισμού ή απλώς στα πλαίσια ομαδικών δραστηριοτήτων. Και στις δύο περιπτώσεις συνίσταται να γίνει χωρισμός σε ομάδες εργασίας δύο ή τριών ατόμων με πιθανούς ρόλους όπως του προγραμματιστή και του συναρμολογητή του ρομπότ. Οι στόχοι της σε αυτή την περίπτωση είναι οι εμπλεκόμενοι μαθητές να αναλύσουν το πρόβλημα, να κατασκευάσουν το κατάλληλο ρομπότ και να σχεδιάσουν τα βήματα της λύσης. Μακροπρόθεσμος στόχος είναι να μπορούν να εξηγούν και να περιγράφουν τα βήματα της αντιμετάθεσης με μορφή αλγορίθμου σε διάγραμμα ροής ή σε ψευδογλώσσα (Ματραλής, 1999).

Το εκπαιδευτικό πλαίσιο που μπορεί να ενταχθεί απλά και μόνο σαν δραστηριότητα ρομποτικής είναι στο μάθημα «Εφαρμογές Πληροφορικής/Υπολογιστών» της Α' και Β' Λυκείου στην ενότητα «Διερευνώ-Δημιουργώ-Ανακαλύπτω». Σαν ολοκληρωμένη πια δραστηριότητα σε βιντεοσκοπημένη μορφή μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν εποπτικό υλικό στο μάθημα «Ανάπτυξη εφαρμογών σε προγραμματιστικό περιβάλλον» της Γ' Λυκείου για κατανόηση της έννοιας της αντιμετάθεσης.



Σχήμα 6: Σενάριο εκπαιδευτικής ρομποτικής δραστηριότητας «ΑΝΤΙΜΕΤΑΘΕΣΗ»

Στο σχήμα 6 φαίνεται η πίστα για αυτό το εκπαιδευτικό σενάριο στο οποίο ο χρήστης πρέπει να προγραμματίσει το ρομπότ ώστε να αλλάξει τη θέση σε δύο μπάλες σύμφωνα με κάποιους κανόνες:

- Όλες οι διαστάσεις της πίστας δίνονται σε mm. Οι θέσεις A και B είναι τυχαίες αλλά πρέπει πάντα να βρίσκονται στη λευκή περιοχή. Η ελάχιστη απόσταση μεταξύ των θέσεων A και B μπορεί να είναι 250 mm και αυτό για να μπορεί το ρομπότ να κινηθεί ανάμεσά τους. Οι διαγωνιζόμενοι μπορούν να γνωρίζουν εκ των προτέρων ή όχι τις ακριβείς θέσεις των A και B ανάλογα με το βαθμό δυσκολίας που θέλουμε να δώσουμε στη δραστηριότητα. Η θέση TEMP είναι πάντοτε γνωστή και βρίσκεται στο κάτω μέρος και στη μέση της κίτρινης περιοχής. Οι μπάλες που χρησιμοποιούμε είναι κοινές μπάλες του πινγκ-πονγκ διαμέτρου 40mm. Για τις θέσεις A, B και TEMP χρησιμοποιήθηκαν αδειανά κουτάκια αναψυκτικών 150ml (διαμέτρου 50mm και ύψους 90mm) τα οποία μπορούν να ανιχνευτούν από αισθητήρες του ρομπότ και πάνω στα οποία τοποθετήθηκαν οι μπάλες.
- Το ρομπότ πρέπει να ξεκινήσει από οποιαδήποτε θέση μέσα στην πράσινη περιοχή. Μετά πρέπει να αλλάξει τις μπάλες που βρίσκονται στις θέσεις A και B χρησιμοποιώντας το βραχίονα και την προσωρινή θέση TEMP. Δεν επιτρέπεται καθόλου να αφήσει τις μπάλες εκτός από τα σημεία A, B και TEMP. Αφού το ρομπότ τελειώσει την εργασία του επιστρέφει στο σημείο της έναρξης. Σε περίπτωση που η δεξιότητα δοθεί σε διαγωνισμό, νικητής είναι αυτός που εκπληρώνει το στόχο στο συντομότερο χρόνο.

Μία ενδεικτική εκτέλεση του παραπάνω σεναρίου έχει υλοποιηθεί με το ρομπότ του εκπαιδευτικού πακέτου Lego Mindstorm NXT με το χρήστη να γνωρίζει εκ των προτέρων τις θέσεις Α και Β. Μπορεί κανείς να δει τη σχετική εκτέλεση της δραστηριότητας στην παρακάτω διεύθυνση: http://www.youtube.com/user/ngyt40#p/u/0/eQ6RxJa_OvI ή κάνοντας αναζήτηση το video με τίτλο: "Lego NXT and Swap activity".

3. Συμπεράσματα

Η κατασκευή και ο προγραμματισμός ενός ρομποτικού βραχίονα είναι ένα θέμα που πέρα από τις κατασκευαστικές και τεχνικές προκλήσεις προσφέρει ένα πεδίο προγραμματιστικών προκλήσεων στον προγραμματιστή που καλείται να αναλύσει το πρόβλημα να σχεδιάσει και να υλοποιήσει αλγοριθμικές λύσεις συνδυάζοντας γνώσεις από διάφορα επιστημονικά πεδία προκειμένου να πετύχει το σκοπό του. Επίσης δίνει τη δυνατότητα στον εκπαιδευτικό να σχεδιάσει και να υλοποιήσει διάφορες εκπαιδευτικές δραστηριότητες. Ιδιαίτερα ο προγραμματισμός με τη χρήση του μικροελεγκτή BasicStamp καθώς και του Parallax servo controller μας δίνει τη δυνατότητα να προγραμματίσουμε ταυτόχρονα περισσότερους από ένα σερβοκινητήρες υλοποιώντας και προγραμματίζοντας όχι μόνο ρομποτικούς βραχίονες αλλά και άλλες ενδιαφέρουσες και εντυπωσιακές αρθρωτές ρομποτικές κατασκευές, όπως για παράδειγμα ρομπότ ταξινομητές χρωματισμένων αντικειμένων (color sorting robots), ρομποτικά εξάποδα και να δημιουργήσουμε αλγόριθμους για την κίνησή τους.

Ευχαριστίες

Με την ευκαιρία αυτής της δημοσίευσης θα ήθελα να ευχαριστήσω την ομάδα των τεχνικών (tech team) της εταιρείας Parallax, οι οποίοι παρέλαβαν και μελέτησαν τον παραπάνω ρομποτικό βραχίονα και τη δυνατότητα της εμπορικής του εκμετάλλευσης. Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τις: κ. Jessica Uelmen (Education Associate) για τις χρήσιμες υποδείξεις της σε θέματα προγραμματισμού του μικροελεγκτή BasicStamp καθώς και την κ. Lauren Davis (Marketing Manager) για το ενδιαφέρον τους για το ρομποτικό βραχίονα.

Βιβλιογραφία

- Giannakopoulos, N. (2009). *Experiences from WRO 2009 competition and verifications about the robotics incorporation in the school*. In Half day Conference organized by ASPETE and the TERECoP Project: «Lessons Learnt From The Terecop Project And New Pathways Into Educational Robotics Across Europe», N. Heraklion, Athens, 22 September 2009, ASPETE, pp.33-35. Ανακτήθηκε 21/12/2009 από το δικτυακό τόπο: <http://www.terecop.eu/downloads/book-of-abstracts-TERECOP-1.zip>.
- Lindsay, A. (2003a). *What's a Microcontroller - Student Guide Version 2.0*, Parallax Inc, pp. 113-117. Ανακτήθηκε 21/12/2009 από το δικτυακό τόπο: <http://www.parallax.com/tabid/535/Default.aspx>.
- Lindsay, A. (2003b). *Robotics with the Boe-Bot - Student Guide Version 2.2*, Parallax Inc, pp. 53-70, 66-81. Ανακτήθηκε 21/12/2009 από το δικτυακό τόπο: <http://www.parallax.com/tabid/535/Default.aspx>.
- Parallax, (2005). *Parallax servo controller 28023 –REV B Ver2.4*, PARALLAX Inc, pp. 1-9. Ανακτήθηκε 21/12/2009 από το δικτυακό τόπο: http://www.parallax.com/Portals/0/Downloads/docs/prod/motors/ServoControllerManualRev%20B%20v2_4.pdf
- Parallax, (2007). *BASIC Stamp Syntax and Reference Manual Version 2.2*, Parallax Inc, pp. 374, 415. Ανακτήθηκε 21/12/2009 από το δικτυακό τόπο: <http://www.parallax.com/dl/docs/prod/stamps/web-BSM-v2.2.pdf>.
- Pientak, D. (2003). *Understanding Signals - Student Guide Version 1.0* Parallax Inc., pp. 76-78. Ανακτήθηκε 21/12/2009 από το δικτυακό τόπο: <http://www.parallax.com/tabid/535/Default.aspx>.
- Ζήκος, Ν. (2005). Διπλωματική εργασία: *Εικονικός ρομποτικός βραχίονας*. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών, σελ. 4-34. Ανακτήθηκε 21/12/2009 από το δικτυακό τόπο: <http://vivliothmmy.ee.auth.gr/183/1/Diplomatiki.pdf>.
- Ματραλής, Χ. (1999). Σκοπός και Προσδοκώμενα Αποτελέσματα. Στο: Α. Κόκκος, Α. Λιοναράκης, Χ. Ματραλής & Χ. Παναγιωτακόπουλος Χ. (επιμ.) «Ανοικτή και εξ αποστάσεως εκπαίδευση: Το εκπαιδευτικό υλικό και οι νέες τεχνολογίες» τόμος Γ' (σελ. 51-67). Ε.Α.Π., Πάτρα.
- Ντίνας, Ν. & Σαϊτάκης, Ε. (2003). *Μελέτη και κατασκευή ρομποτικού βραχίονα με ψηφιακά συστήματα*. ΑΤΕΙ Κοζάνης- Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών-Τμήμα Βιομηχανικού Σχεδιασμού. Ανακτήθηκε 21/12/2009 από το δικτυακό τόπο: http://eprints.teikoz.gr/25/1/BS4_2003.pdf