

ΑΝΩΤΑΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ



Πτυχιακή εργασία

ΕΡΠΟΝΤΑ ΡΟΜΠΟΤ

Νικόλαος Μαρίνος Μαστρογιαννάκης

A.M.: 6014

Επιβλέπων Καθηγητής

Δρ. Καββουσανός Εμμανουήλ

Ηράκλειο, Μάρτιος 2019

Ευχαριστώ θερμά τους Δρ.
Καββουσανό Εμμανουήλ
και Δρ. Φασουλά Ιωάννη
για την πολύτιμη βοήθεια
και καθοδήγηση τους στην
εκπόνηση της παρούσας
πτυχιακής εργασίας.

Περίληψη

Το αντικείμενο της παρούσης πτυχιακής εργασίας, συσχετίζεται με την μελέτη των ρομπότ που επιτυγχάνουν την μετακίνησή τους με ερπετοειδή τρόπο με την βοήθεια μαθηματικής μοντελοποίησης. Επιπλέον, επεκτείνεται στο σχεδιασμό και κατασκευή πειραματικής διάταξης ρομποτικού φιδιού συνοδευόμενη από σχετικό κώδικα προγραμματισμού. Κίνητρο για την σχετική μελέτη αποτελεί ο αυξημένος αριθμός αναγκών που δημιουργείται καθημερινά σε πολλούς τομείς όπως ο ερευνητικός και η διάσχιση δυσπρόσιτου περιβάλλοντος όπου καλείται ο άνθρωπος να καλύψει. Η τεχνική υπόσταση της υλοποίησης συνάδει με πληθώρα πλεονεκτημάτων αλλά και μειονεκτημάτων τα οποία αναλύονται διεξοδικά στο δεύτερο κεφάλαιο. Στη συνέχεια γίνεται αναφορά για τις σημαντικότερες εφαρμογές όπου γίνεται χρήση των ρομποτικών φιδιών. Για την υλοποίηση του ρομπότ αλληλένδετο στοιχείο αποτελεί και η μελέτη των βιολογικών συστημάτων όπου στο έκτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά τόσο για την σκελετική κατασκευή που περιβάλλει τα βιολογικά φίδια όσο και για τους πιο γνωστούς τύπους μετακίνησης που συναντώνται στη φύση από αυτά. Ακολουθεί μία εκτενής αναφορά συνοδευόμενη από ιστορική αναδρομή στις πιο επιτυχημένες προσπάθειες κατασκευής ρομποτικών φιδιών. Στο σημείο αυτό γίνεται εισαγωγή στην μαθηματική μοντελοποίηση του ρομποτικού φιδιού. Ο σχεδιασμός του ρομπότ, πραγματοποιήθηκε τόσο σε δυσδιάστατο όσο και σε τρισδιάστατο περιβάλλον με την βοήθεια των λογισμικών σχεδίασης SolidWorks, Inventor αλλά και AutoCad. Στο δωδέκατο κεφάλαιο παρουσιάζεται η μαθηματική αποτύπωση για την επίτευξη του ελέγχου στην κίνηση του ρομπότ. Σημαντικό τμήμα αποτελεί και η ηλεκτρονική σχεδίαση του κυκλώματος καθώς και η αναφορά στη χρήση των μηχανικών εξαρτημάτων. Τέλος, αναλύονται το κατασκευαστικό μέρος και γίνεται επεξήγηση του κώδικα προγραμματισμού που χρησιμοποιείται.

Abstract

The subject of this thesis is correlated with the study of robots which achieve their locomotion with serpentine way by mathematical modeling. Moreover, it extends to design and construction experimental arrangement of robot snake that is accompanied with programming code. The motive of this study is the large number of needs that is being created every day in a lot of sectors like research and the crossing of difficult environment. The technical subsistence of the implementation contains oversupply of advantages and disadvantages that are analyzed in detail in the second unit. Furthermore, reference is made for the most important applications that robot snakes are being used to. The study of biological snakes is equally important for the optimal implementation of robot. In sixth unit is presented the skeletal structure and the most known types of locomotion that surround the snakes. Follows, an extensive report of the most successful attempts of robot snake's construction. In this specific point takes place the import of robot snake's mathematical modeling. The design of robot was held in both 2D and 3D environment with the help of design's software. In 12th unit is presented the mathematical imprint to achieve the control of robot's locomotion. An important part is the electronic circuit design and the use of mechanical components. In conclusion, is analyzed the construction part and is made an explanation of programming code.

Περιεχόμενα

1.	Εισαγωγή	10
2.	Ερπετοειδής μετακίνηση.....	11
2.1	Τεχνική προσέγγιση ερπετοειδούς μετακίνησης.....	11
2.2	Πλεονεκτήματα ερπετοειδούς ρομποτικής μετακίνησης.....	14
2.2.1	Σταθερότητα.....	15
2.2.2	Εδαφική Προσαρμοστικότητα.....	15
2.2.3	Κίνηση.....	16
2.2.4	Αποδοτικότητα	16
2.2.5	Μέγεθος	16
2.2.6	Πλεονασμός.....	17
2.2.7	Κάλυψη - Σφράγιση.....	17
2.3	Μειονεκτήματα ερπετοειδούς ρομποτικής μετακίνησης.....	17
2.3.1	Ωφέλιμα φορτία	17
2.3.2	Βαθμοί ελευθερίας.....	18
2.3.3	Θερμικός έλεγχος	19
2.3.4	Ταχύτητα	20
3.	Ανάγκη για κάλυψη νέων απαιτήσεων.....	20
4.	Εφαρμογές των "Robot - Snake"	21
4.1	Εξερεύνηση.....	21
4.2	Επιθεώρηση.....	22
4.3	Ιατρική	23
4.4	Επιβλαβή Περιβάλλοντα	24
4.5	Αναγνώριση.....	25
4.6	Χάραξη - κοίλανση.....	26
4.7	Πυρόσβεση	26
5.	Υπόβαθρο για την υλοποίηση του "Robot - Snake"	27
6.	Βιολογικά Συστήματα.....	28
6.1	Σκελετική κατασκευή	28
6.2	Τύποι μετακίνησης χωρίς την υποστήριξη τεχνικών προσαρτημάτων.....	29
6.2.1	Μετακίνηση με συσπείρωση και εκτόνωση (ακορντεόν).....	30
6.2.2	Μετακίνηση με πλευρικούς κυματισμούς	31
6.2.3	Μετακίνηση με πλαγιοδρόμηση	32
6.2.4	Μετακίνηση με ευθύγραμμες μετατοπίσεις.....	33
7.	Ρομποτικά συστήματα	34

8.	Αναφορά σε κατασκευές ρομποτικών φιδιών.....	35
8.1	G S Miller Robots (Miller,2000 - Miller, 2002).....	35
8.1.1	S3 Snake Robot Prototype.....	35
8.1.2	S4 Snake Robot Prototype.....	36
8.1.3	S5 Snake Robot Prototype.....	37
8.1.4	S7 Snake Robot Prototype (2001–2005)	37
8.1.5	Variable Geometry Truss (VGT)	38
8.2	Hirose Lab Snake – Robots (Hirose, 2009).....	39
8.2.1	Active cord Mechanism 3 (ACM III)	39
8.2.2	ACM – R3	39
8.2.3	ACM – R5	40
8.2.4	Active cord mechanism – Slime model 1 ACM – S1	41
8.3	Anna Konda - SnakeFighter (NTNU 2008)	42
8.4	Modular Robot – Uncle Sam.....	42
9.	Κινηματική ανάλυση ρομποτικών συστημάτων	43
9.1	Ορισμός	43
9.2	Ορθή κινηματική	44
9.3	Κινηματικές αλυσίδες.....	44
9.4	Θέση σημειακής μάζας και στερεού σώματος στον καρτεσιανό χώρο.....	45
9.5	Πίνακας στροφής – προσανατολισμός στερεού σώματος	46
9.6	Συμβάσεις κατασκευαστικών προδιαγραφών στην κινηματική ανάλυση	47
10.	Μοντελοποίηση ρομποτικού φιδιού	47
10.1	Ανάλυση τριβής ρομποτικού φιδιού.....	51
10.2	Απλουστευμένο μοντέλο ιξώδους τριβής.....	51
10.3	Μοντέλο τριβής Coulomb	52
10.4	Δυναμικές εξισώσεις	53
11.	Σχεδιαστικό μέρος.....	53
11.1	Γεωμετρία σχεδίασης.....	54
11.2	Ερπετοειδής κίνηση.....	55
11.3	Διαδικασία σχεδίασης.....	56
11.3.1	Άρθρωση 1 (Joint 1).....	57
11.3.2	Άρθρωση 2 (Joint 2).....	60
11.3.3	Σερβομηχανισμός (Servo)	63
11.3.4	Βάση στήριξης σερβομηχανισμών	64
11.3.5	Κεφάλι ρομποτικού φιδιού	64

11.4	Inventor	67
12.	Έλεγχος	69
12.1	Έλεγχος κλειστού βρόγχου	70
12.2	Τραπεζοειδές προφίλ ταχύτητας	71
12.3	Ομαλά επιταχυνόμενη κίνηση	71
12.4	Ομαλή ευθύγραμμη κίνηση	71
12.5	Συνολικό διάστημα κίνησης	71
12.6	Συνολικός χρόνος κίνησης.....	72
13.	Ηλεκτρικό κύκλωμα.....	73
14.	Μηχανικά εξαρτήματα	74
14.1	Σερβομηχανισμός.....	74
14.2	Υπολογιστική πλατφόρμα Arduino	80
15.	Κατασκευαστικό μέρος	82
16.	Λογισμικό	85
17.	Επίλογος	88
18.	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	89

Κατάλογος σχημάτων

Εικόνα 2.1:	ASIMO – Ανθρωπόμορφο ρομπότ.....	11
Εικόνα 2.2:	Ρομπότ σκύλος-κίνηση με βηματισμό τεσσάρων ποδιών	11
Εικόνα 2.3	UNCLE SAM - Ρομποτικό φίδι	13
Εικόνα 2.4:	Τρόποι & παράμετροι μετακίνησης	114
Εικόνα 2.5:	Κινηματική αλυσίδα με σύνδεση αρθρώσεων	119
Εικόνα 2.6:	Ρομποτικό τεχνητό προσάρτημα με αρθρώσεις	19
Εικόνα 2.7:	Ρομπότ με πολλαπλά τεχνητά προσαρτήματα.....	119
Εικόνα 3.1:	DLR KineMedic Redundant Robot - Ρομπότ ιατρικής εφαρμογής	20
Εικόνα 4.1:	Ρομποτικό φίδι - διάσχιση δυσπρόσιτου περιβάλλοντος	22
Εικόνα 4.2:	Da Vinci - ρομποτικό χειρουργικό μηχάνημα.....	24
Εικόνα 4.3:	Προσέγγιση ρομποτικού φιδιού σε συντρίμια για ανεύρεση επιζώντων	25
Εικόνα 4.4:	Εφαρμογή ρομποτικού φιδιού ως κατασβεστικό μέσο	27
Εικόνα 6.1:	Σπόνδυλοι βιολογικού φιδιού.....	29
Εικόνα 6.2:	Μετακίνηση βιολογικού φιδιού με συσπείρωση & εκτόνωση (ακορντεόν)	31
Εικόνα 6.3:	Μετακίνηση βιολογικού φιδιού με πλευρικούς κυματισμούς.....	32
Εικόνα 6.4:	Μετακίνηση βιολογικών φιδιών με πλαγιοδρόμηση	33
Εικόνα 6.5:	Μετακίνηση βιολογικού φιδιού με ευθύγραμμες μετατοπίσεις.....	33

Εικόνα 8.1:S3 Snake Robot Prototype.....	36
Εικόνα 8.2:Διάγραμμα λειτουργίας κινητήρων	36
Εικόνα 8.3:S4 Snake Robot Prototype	37
Εικόνα 8.4:S5 Snake Robot Prototype.....	37
Εικόνα 8.5:S7 Snake Robot Prototype.....	38
Εικόνα 8.6:Variable Geometry Truss	38
Εικόνα 8.7:Active Cord Mechanism (ACM)III	39
Εικόνα 8.8:Active Cord Mechanism (ACM)R3	40
Εικόνα 8.9:Active Cord Mechanism Slime Model 1 ACM - S1	41
Εικόνα 8.10:Anna Konda SnakeFighter (NTNU 2008).....	42
Εικόνα 8.11:Modular Robot Uncle Sam	43
Εικόνα 9.1:Ανοικτή κινηματική αλυσίδα	45
Εικόνα 9.2:Επίπεδος παράλληλος μηχανισμός - παράδειγμα κλειστής κινηματικής αλυσίδας.....	45
Εικόνα 10.1:Κινηματικοί παράμετροι ρομποτικού φιδιού	48
Εικόνα 10.2:Διάγραμμα ελευθέρου σώματος συνδέσμου robot snake.....	48
Εικόνα 11.1:Λόγος πλευράς συνδέσμου & γωνίας άρθρωσης σε γεωμετρικό τόξο ...	54
Εικόνα 11.2:Δεξιά στροφή ρομποτικού φιδιού σε διάδρομο.....	54
Εικόνα 11.3:Τρισδιάστατο σχέδιο άρθρωσης 1 (SolidWorks).....	57
Εικόνα 11.4:Δυσδιάστατο σχέδιο άρθρωσης 1 (AutoCad).....	57
Εικόνα 11.5:Διαμόρφωση καμπυλοτήτων άρθρωσης 1 (SolidWorks).....	58
Εικόνα 11.6:Σύνδεση αρθρώσεων με RC SERVO σε διαδοχικούς συνδέσμους (SolidWorks).....	58
Εικόνα 11.7:Τρισδιάστατο σχέδιο βίδας σύνδεσης άρθρωσης 1 (SolidWorks).....	58
Εικόνα 11.8:Τρισδιάστατο σχέδιο φλάντζας (solidWorks).....	59
Εικόνα 11.9:Τρισδιάστατο σχέδιο βίδας για σύνδεση με RC SERVO (SolidWorks).....	59
Εικόνα 11.10:Σύνδεση άρθρωσης 1 με βάση στήριξης στο κάτω μέρος (SolidWorks)	59
Εικόνα 11.11:Τρισδιάστατο σχέδιο άρθρωσης 2 (SolidWorks).....	61
Εικόνα 11.12: Δυσδιάστατο σχέδιο άρθρωσης 2 (AutoCad).....	61
Εικόνα 11.13:Διαμόρφωση καμπυλοτήτων άρθρωσης 2 (SolidWorks).....	62
Εικόνα 11.14:Σύνδεση δύο διαδοχικών συνδέσμων με αρθρώσεις & RC SERVO (SolidWorks).....	62
Εικόνα 11.15:Οπές σύνδεσης μεταξύ των αρθρώσεων των γειτονικών συνδέσμων ..	63
Εικόνα 11.16:Τρισδιάστατο σχέδιο RC SERVO (SolidWorks).....	63
Εικόνα 11.17:Κάτω βάση σερβομηχανισμού	64
Εικόνα 11.18:Τρισδιάστατη σχεδίαση βάσης στήριξης σερβομηχανισμών (SolidWorks).....	64
Εικόνα 11.19:Τρισδιάστατο σχέδιο κεφαλιού (SolidWorks)	65
Εικόνα 11.20:Δυσδιάστατο σχέδιο κεφαλιού (AutoCad).....	65
Εικόνα 11.21:Πλάγια όψη Α τρισδιάστατης σχεδίασης ρομποτικού φιδιού (SolidWorks).....	66
Εικόνα 11.22: :Πλάγια όψη Β τρισδιάστατης σχεδίασης ρομποτικού φιδιού (SolidWorks).....	66

Εικόνα 11.23:Συναρμολόγηση αρθρώσεων συνδέσμου (AutoCad).....	67
Εικόνα 11.24:Άνω όψη τρισδιάστατης σχεδίασης ρομποτικού φιδιού (SolidWorks).67	
Εικόνα 11.25:Βάση στήριξης (Inventor)	68
Εικόνα 11.26:Συναρμολόγηση τμημάτων (Inventor)	68
Εικόνα 12.1:Διάγραμμα τραπεζοειδούς προφίλ ταχύτητας.....	72
Εικόνα 13.1:Σχέδιο ηλεκτρικού κυκλώματος (fritzing)	74
Εικόνα 14.1:Μηχανικό υποσύστημα RC SERVO	75
Εικόνα 14.2:Τυποποίηση καλωδίων συνδεσμολογίας RC SERVO	75
Εικόνα 14.3:Τυπική συνδεσμολογία RC SERVO με Arduino	76
Εικόνα 14.4:Schematic συνδεσμολογίας RC SERVO	76
Εικόνα 14.5:RC SERVO MG 996R	78
Εικόνα 14.6:Χαρακτηριστικά μεγέθη παλμού PWM	79
Εικόνα 14.7:Duty Cycle παλμού PWM.....	79
Εικόνα 14.8:Σχήμα ελέγχου RC SERVO	80
Εικόνα 14.9:Υπολογιστική πλατφόρμα Arduino.....	82
Εικόνα 15.1:Συνολική κατασκευαστική διάταξη	82
Εικόνα 15.2:Ενιαίος μεταλλικός σύνδεσμος	83
Εικόνα 15.3:Κοχλίες συνδεσμολογίας αρθρώσεων	84
Εικόνα 15.4:Οπή όδευσης καλωδιώσεων	84
Εικόνα 15.5:Πλαστικό παρέμβυσμα μεταξύ άρθρωσης και βάσης	84
Εικόνα 15.6:Τοποθέτηση σερβομηχανισμού με θερμοκόλληση	85
Εικόνα 16.1:Βιβλιοθήκες, παράμετροι & ονομασίες servo	86
Εικόνα 16.2:Θέσεις σύνδεσης κινητήρων	87
Εικόνα 16.3:Συνθήκη οριζόντιου & κάθετου κυματισμού	87
Εικόνα 16.4:Συνάρτηση for κάθετου κυματισμού	88

1. Εισαγωγή

Το έναυσμα για την παρούσα μελέτη και ανάλυση δεν θα μπορούσε να αντληθεί από αλλού παρά μόνο από την ίδια τη φύση. Δεν είναι τυχαίο άλλωστε που οι φυσικοί μηχανισμοί έχουν επιβιώσει στο πέρασμα των αιώνων έχοντας αντιμετωπίσει σε υπέρμετρο βαθμό όλες τις αντιξοότητες και τις δυσμενείς συνθήκες που τους περικλείουν.

Πιο συγκεκριμένα, τα βιολογικά φίδια ανήκουν στην κατηγορία των ερπετοειδών και βρίσκονται σε ολόκληρο τον πλανήτη. Είναι γνωστό, ότι η φυσιολογία καθώς και η ανατομία τους, τους επιτρέπει να προσαρμόζονται σε πολλά και ποικίλα εδάφη καθώς και να μπορούν να κατοικούν σε ένα ευρέως φάσμα κλιματολογικών και περιβαλλοντικών συνθηκών. Ένα αλληλένδετο στοιχείο με τα προαναφερθείσα χαρακτηριστικά είναι οι αρκετοί τρόποι μετακίνησης που διαθέτουν.

Στη διάρκεια της επιστημονικής πορείας των τελευταίων χρόνων έχουν μελετηθεί σε μεγάλο βαθμό τα τροχήλατα καθώς και τα προσομοιωμένα σε ανθρωπομορφική κίνηση ρομπότ. Είναι εύκολο να χαρακτηριστεί ότι η χρήση τους είναι περιορισμένη για τα διάφορα είδη του εδάφους που δημιουργείται η ανάγκη στον άνθρωπο να διασχίσει. Τα τελευταία χρόνια σημειώνεται μια ραγδαία και απότομη μεταβατικότητα σε πολλούς τομείς με τον τεχνολογικό να έχει πρωταρχικό ρόλο στην ανιούσα αυτή εκθετική καμπύλη. Είναι λογικό να θεωρηθεί ότι ο άνθρωπος αναγκάζεται να συμβαδίζει και να προσαρμόζεται κάθε φορά με την εξέλιξη αυτή με αποτέλεσμα να μην την αντιλαμβάνεται άμεσα και να συμμορφώνεται ασυναίσθητα με ό,τι επιδράσεις επιφέρει εκείνη.

Για το λόγο αυτό, καθημερινά προκύπτουν νέες ανάγκες οι οποίες συνοδεύονται κι από αυξημένες απαιτήσεις τις οποίες καλείται ο άνθρωπος να καλύψει. Μερικές από αυτές τις ανάγκες συναντώνται σε εφαρμογές οι οποίες ανταποκρίνονται στον ερευνητικό τομέα, στην εισχώρηση σε επιβλαβή περιβάλλοντα, στην εποπτεία διαφόρων ειδών συστημάτων όπως εκείνα που λειτουργούν στις βιομηχανίες καθώς και στις ιατρικές μεθόδους.

Μια αξιολογη λύση στο ζήτημα αυτό φαίνεται να αποδίδει μια καινοφανής μορφή ρομπότ το οποίο ονομάζεται "robot snake". Το ρομπότ αυτό αξιοποιείται σε ένα μεγάλο εύρος εφαρμογών του επιστημονικού κλάδου όπως αυτές που έχουν ήδη προαναφερθεί. Ένα από τα θεμελιώδη ζητήματα είναι να αποδοθεί η κατανόηση και η συσχέτιση της μετακίνησης του ρομπότ συναρτήσει των βιολογικών φιδιών. Στα συνήθη ρομπότ θεωρείται κατανοητός ο μηχανισμός κίνησης. Στο συγκεκριμένο ρομπότ τα αποτελέσματα δεν είναι τόσο πρόδηλα κι αυτό αποτυπώνεται και στη διαδικασία της υλοποίησής του.

Για τη δημιουργία του ρομπότ απαιτείται η πλήρης σχεδίασή του κυρίως σε τρισδιάστατη αποτύπωση προκειμένου να είναι εμφανής κάθε κατασκευαστική λεπτομέρεια προκειμένου να αποδώσει το σχετικό υπόβαθρο αλλά και κίνητρο ως μελλοντική επέκταση του θέματος για την κατασκευή του. Επιπλέον, αναπόσπαστο κομμάτι αποτελεί και ο προσανατολισμός για τη σύνθεση της κατάλληλης ηλεκτρονικής διάταξης μέσω καλωδίων, σερβο - κινητήρων, αισθητήρων κ.α. Από το υπόβαθρο αυτό δεν θα μπορούσε να εκλείψει ο προγραμματισμός ο οποίος μέσω του

κατάλληλου κώδικα θα αποδίδει τις κατευθυντήριες εντολές για την άρτια λειτουργία του ρομπότ. Αποφαινεται λοιπόν, η συρροή και συνύπαρξη πολλών επιστημών για την υλοποίηση του ρομπότ κάτι το οποίο μπορεί να θεωρηθεί ως κίνητρο για κάθε μηχανικό και όχι μόνο, ο οποίος επιθυμεί να ασχοληθεί με τον κλάδο της ρομποτικής.

2. Ερπετοειδής μετακίνηση

2.1 Τεχνική προσέγγιση ερπετοειδούς μετακίνησης

Αποτελεί σύννηθες γεγονός κατά τη διάρκεια αναφοράς σε ρομποτικά κατασκευάσματα η προσομοίωση τους με την εξωτερική εικονική ανάκλαση της ανθρώπινης φιγούρας ή κάποιων ζώων. Για τα περισσότερα από αυτά τα ζώα κατανοείται σε μεγάλο βαθμό από τον άνθρωπο τόσο η πορεία κατασκευής τους όσο και η φιλοσοφία λειτουργίας των μηχανισμών οι οποίοι συμμετέχουν στη δημιουργία της κίνησης σε ένα τέτοιου είδους αυτόματο σύστημα όπως είναι το ρομπότ. Ο λόγος συσχετίζεται με την ταύτιση των φυσικών ιδιοτήτων που διέπουν την ύλη και το περιβάλλον τόσο των βιολογικών όσο και των μηχανικών συστημάτων.



Εικόνα 2.1: ASIMO – Ανθρωπόμορφο ρομπότ



Εικόνα 2.2: Ρομπότ σκύλος-κίνηση με βηματισμό τεσσάρων ποδιών

Παρόλα αυτά θεωρείται χρήσιμο να επισημανθεί ότι δεν κρίνεται πάντοτε αποτελεσματική η χρήση ρομπότ τα οποία συνοδεύονται από τα χαρακτηριστικά που προαναφέρθηκαν παραπάνω. Πιο συγκεκριμένα, οι δυσμενείς συνθήκες στις οποίες καλείται να ανταποκριθεί ένα ρομπότ επηρεάζουν άμεσα τα φυσιογνωμικά γνωρίσματα τα οποία πρόκειται να του αποδοθούν και θα έχουν συμμετοχή στην αναμενόμενη λειτουργικότητά του. Από το γεγονός αυτό πηγάζει η δημιουργία κινήτρου για το σχεδιασμό και την υλοποίηση νέων μοντέλων που θα προσεγγίζουν με μεγαλύτερη ευκολία την επιζητούμενη λύση.

Ένα περιβάλλον το οποίο χαρακτηρίζεται ως δυσμενή συνθήκη μπορεί να εμπεριέχει στενούς χώρους όπου απαιτείται η διάσχιση τους χωρίς να προκληθεί κάποιο πρόβλημα στα συνδεδεμένα μέρη που απαρτίζουν το μηχανισμό μέσα σε ένα εύλογο χρονικό διάστημα, εμπόδια στα οποία κρίνεται επιτακτική ανάγκη για προσπέλασή τους ή κάποιο στοιχειώδη ελιγμό, μια απρόβλεπτη αναρρίχηση καθώς κι άλλου είδους πανομοιότυπα προβλήματα. Έτσι, γίνεται αντιληπτό, ότι τα παραδοσιακά ρομπότ σε αυτές τις περιπτώσεις φέρουν περιττά προσαρτήματα όπως τροχούς ή άλλα μηχανικά μέρη τα οποία δεν συνεισφέρουν στην ευδόκιμη προσέγγιση τέτοιων συνθηκών περιβάλλοντος. Για το λόγο αυτό, αντλούνται απαιτήσεις οι οποίες είναι αλληλένδετες με το περιεχόμενο του κινήτρου και οι οποίες συσχετίζονται με τη σχεδίαση, την κατασκευή και τον έλεγχο των μηχανισμών.

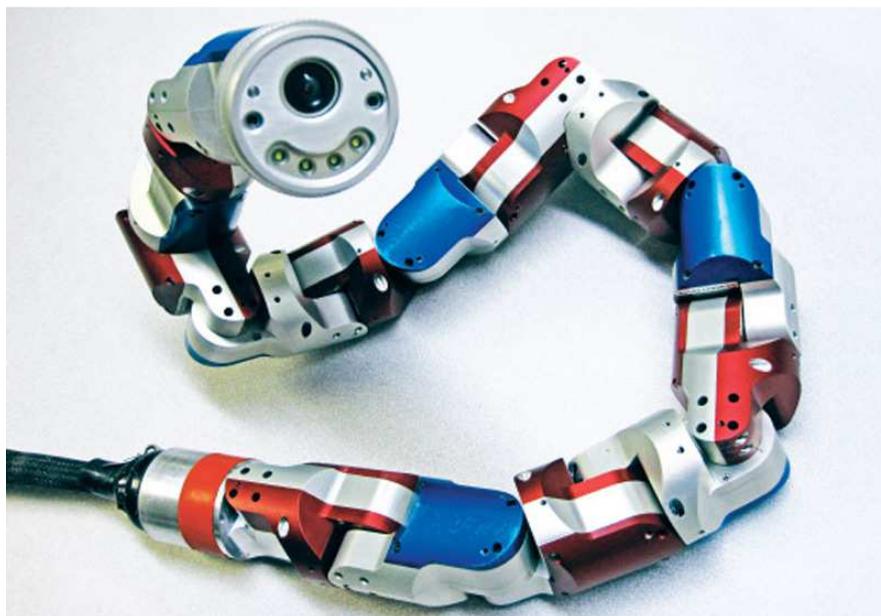
Πιο αναλυτικά, η σχεδίαση αυτούσια δεν αποτελεί αποθαρρυντικό παράγοντα για την υλοποίηση του έργου διότι τα τελευταία χρόνια έχουν αυξηθεί οι ικανότητες των σχεδιαστικών προγραμμάτων όπου προσφέρουν στο χρήστη τη δυνατότητα να προβεί στο επιθυμητό αποτέλεσμα με τον πλέον εύρηστο τρόπο χωρίς τη δαπάνη μεγάλου χρονικού διαστήματος. Επιπλέον μέσω της σχεδίασης σε περιβάλλον τρισδιάστατης απεικόνισης μπορεί να διεξαχθεί ο απαιτούμενος κώδικας προκειμένου να υλοποιηθεί η κατασκευή σε ρομποτικά κοπτικά μηχανήματα. Η δυσκολία στο παρόν ζήτημα επέρχεται κατά τη διαδικασία λήψης και αξιολόγησης των διάφορων ιδεών οι οποίες πρέπει να χαρακτηριστούν ως κατάλληλες με την πλήρη τεκμηρίωση που υφίσταται προτού προβούν στην έναρξη της κατασκευής.

Στον τομέα της κατασκευής μπορεί να θεωρηθεί ότι οι απαιτήσεις είναι ακόμα πιο αυξημένες επειδή συνυπάρχουν σε ανάλογο μέγεθος οι γνώσεις και οι τεχνικές που διατίθενται τα τελευταία χρόνια. Νέα υλικά, με καινούργιες ιδιότητες και βελτιωμένα χαρακτηριστικά αποβαίνουν σε πασιφανή αποδοτικότερα αποτελέσματα. Καινοφανείς μέθοδοι όπου συντρέχουν με την ολοένα και αυξανόμενη παραγωγή νέων μηχανημάτων που αδιαμφισβήτητα έχουν φέρει την επανάσταση στον κλάδο των κατασκευών συνεισφέρουν σημαντικά στην εύρεση περισσότερων διεξόδων στα επερχόμενα προβλήματα που προκύπτουν.

Δεν θα μπορούσε να παραληφθεί κατά την αναφορά σε ρομποτικά συστήματα και ο επιδιωκόμενος έλεγχος των μηχανισμών. Η δραστηριότητα αυτή ποικίλει σε βαθμό δυσκολίας ο οποίος συσχετίζεται κάθε φορά με την ακρίβεια ελέγχου και το πλήθος των μηχανισμών που συμμετέχουν στην κατασκευή και υπόκεινται σε έλεγχο. Τα συστήματα ελέγχου έχουν αναπτυχθεί εντατικά προσφέροντας ένα μεγάλο εύρος πλεονεκτημάτων αποτρέποντας πιθανές αστοχίες που μπορούν να προκληθούν κατά τη λειτουργία των μηχανημάτων. Ο έλεγχος των συστημάτων είναι άρρηκτα συνδεδεμένος με την άρτια λειτουργία της κατασκευής καθώς και με ένα σημαντικό παράγοντα που φέρει τον τίτλο "ασφάλεια".

Είναι εύκολο να διαπιστωθεί ότι για την υλοποίηση οποιασδήποτε κατασκευής συρρέουν και οι τρεις τομείς που προαναφέρθηκαν με την αλληλένδετη σύνδεση μεταξύ τους να αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για την άρτια και ομαλή λειτουργία του συστήματος γνωστοποιώντας άμεσα τις επιδράσεις που δημιουργούνται από τον ένα τομέα και καταλήγουν βαθμιαία σε κάποιον άλλο. Προκύπτει συνεπώς το συμπέρασμα, ότι οι θεμελιώδη λίθοι που στελεχώνουν την πορεία και την εξέλιξη μιας κατασκευής εμπεριέχονται σε ένα πλαίσιο ικανοτήτων το οποίο επιτρέπει τη δημιουργία ενός ρομπότ όπου θα κινείται χωρίς τα τετριμμένα μοντέλα που βρίσκονται στο υποσυνείδητο υπόβαθρο της ανθρώπινης σκέψης και θα του επιτρέπουν να εκτελεί όλες τις εντολές που θα του ανατίθενται.

Επομένως, μετά την έγκριτη διαπίστωση ότι επαρκούν οι διατιθέμενες προδιαγραφές στην απαιτούμενη τεχνογνωσία μπορεί η σύλληψη της ιδέας για την κατασκευή ενός ρομπότ που θα προσομοιώνει την ερπετοειδή κίνηση να μεταφερθεί στην πραγματική διάσταση. Από τον κάθε τομέα που συντελεί στην υλοποίηση του ρομπότ εμπεριέχονται κάποια βασικά δεδομένα όπου με την εκτενή αξιοποίησή τους μπορεί να προωθηθεί η επιθυμητή μορφή του "ρομπότ φιδιού" ("robot snake").

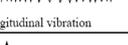


Εικόνα 2.3: UNCLE SAM - Ρομποτικό φίδι

Μερικά από αυτά τα δεδομένα συντελούν στη διαμόρφωση της διάταξης η οποία μπορεί να προσδιορίσει τόσο τη γεωμετρία του συστήματος όσο και τα βασικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα των ενεργοποιητών όπως το πλήθος και η διευθέτησή τους. Η γεωμετρία θεωρείται πρόδρομος των δυνατοτήτων που διαθέτει το ρομπότ προκειμένου να μπορεί να χρησιμοποιηθεί στις επιζητούμενες εφαρμογές αλλά προδιαγράφει σε μεγάλο ποσοστό και τον επερχόμενο βαθμό δυσκολίας για την υλοποίηση της κατασκευής. Τα δεδομένα αυτά μπορούν να χαρακτηριστούν και ως προκλήσεις αφού ως οδοιπορικό μοτίβο ακολουθείται η δημιουργία μίας καινοτόμου κατασκευής κάτι το οποίο προδιαγράφει σε κάποιους τομείς την εμβρυακή ενασχόληση και εξειδίκευση.

Πιο συγκεκριμένα, ο τρόπος μετακίνησης αποτελεί ένα τέτοιο χαρακτηριστικό τομέα αφού στο παρελθόν δεν έχει γίνει κάποια στοιχειώδη προσπάθεια για να αποδοθεί ένα είδος ερπετοειδούς μετακίνησης σε κάποιο αυτόματο ρομποτικό σύστημα. Έτσι, κρίνεται σκόπιμο να μελετηθεί επαρκέστατα η ανατομία των βιολογικών φιδιών και πως αυτά μετακινούνται. Ταυτίζοντας τα δεδομένα από την ανάλυση, διεξάγεται ένα πρότυπο μετακίνησης το οποίο βασίζεται στην δομή τμηματικών αλυσίδων με συνδεδεμένα μεταλλικά μέρη από αρθρώσεις με την κίνησή τους να επέρχεται από τη λειτουργία ενεργοποιητών υποτεινώντας τα τμήματα του συστήματος σε μικρές κυρτώσεις όπως κάνουν και τα βιολογικά φίδια με την αξιοποίηση των μικρών σπονδύλων τους.

Σε μία γρήγορη σύγκριση μπορεί να παρατηρηθεί ότι τα πλέον παραδοσιακά ρομπότ έχουν αναπτυχθεί έπειτα από εκτεταμένες και λεπτομερείς μελέτες θέτοντας κάποια τετριμμένα όρια στο εύρος της πραγματοποιήσιμης χρήσης τους. Η αποδοτικότητά τους είναι αξιόλογη παραχωρώντας πάντοτε επιδεκτικά χώρο για βελτίωση σε τομείς όπως είναι η κλίμακα και το είδος του εδάφους όπου καλείται να προσεγγίσει το ρομπότ. Τα τροχήλατα αυτόματα μηχανήματα προσφέρουν μια ομαλή και λυσιτελής μετακίνηση για δεδομένους χώρους καθώς συχνά απαιτούνται τροποποιήσεις για την προσιτή προσαρμογή τους στα εκάστοτε εδάφη. Τα ρομπότ που χρησιμοποιούν την φιλοσοφία του βαδίσματος προσφέρουν ένα μεγάλο εύρος εδαφικής προσαρμοστικότητας με κύριο χαρακτηριστικό τη διακριτή συντήρηση προς όφελος της αποδοτικότητάς τους. Η διάσχιση των προσπελάσιμων χώρων ταυτίζεται με την κλίμακά τους καθώς τα τεχνικά προσαρτήματα του ρομπότ, όπως τα πόδια μπορούν να περιορίσουν αισθητά την χρήση τους σε περιβάλλον που περικλείεται από αυτά τα στοιχεία.

Type of motion	Resistance to motion	Basic kinematics of motion
Flow in a Channel 	Hydrodynamic forces	Eddies 
Crawl 	Friction forces	Longitudinal vibration 
Sliding 	Friction forces	Transverse vibration 
Running 	Loss of kinetic energy	Oscillatory movement of a multi-link pendulum 
Jumping 	Loss of kinetic energy	Oscillatory movement of a multi-link pendulum 
Walking 	Gravitational forces	Rolling of a polygon (see figure 2.2) 

Εικόνα 2.4 Τρόποι & παράμετροι μετακίνησης

2.2 Πλεονεκτήματα ερπετοειδούς ρομποτικής μετακίνησης

Στο παρόν παράρτημα παρουσιάζεται ένα καταμερισμός των πλεονεκτημάτων που απαρτίζουν ένα "robot snake" και πως επικαλύπτουν επαρκώς ένα ευρύ φάσμα δεξιοτήτων έναντι των συνηθισμένων ρομποτικών μηχανισμών όπου η κατασκευή τους αποτελείται από τροχούς ή εξαρτήματα που αντικαθιστούν τα πόδια.

2.2.1 Σταθερότητα

Αρκετές φορές κρίνεται επιτακτική η ανάγκη να χρησιμοποιηθούν μηχανήματα σε δύσβατες περιοχές όπου η διαμόρφωση του περιβάλλοντα χώρου δεν ευνοεί την εύκολη διάσχισή τους. Τα "robot snake" έχουν την δυνατότητα, όποτε θεωρείται σκόπιμο να ολισθαίνουν ελεγχόμενα από απόκριμες περιοχές χωρίς αυτό να επιφέρει κάποιο κίνδυνο στον έλεγχό τους σε αντίθεση με τα τροχήλατα και τα βαδίζοντα ρομπότ όπου σε ανώμαλα εδάφη παρουσιάζουν προβλήματα στην ισορροπία τους και έτσι είναι αυξημένες οι πιθανότητες για μια ενδεχόμενη πτώση. Η βασική φιλοσοφία των οχημάτων είναι ότι όταν έρχονται σε επαφή με το έδαφος σχηματίζεται μία συνοχή από σημεία αποτυπώνοντας μία δεδομένη επιφάνεια όπου αν το κέντρο της ελκτικής τάσης κινηθεί πέρα από τα επιτρεπόμενα όρια όπου ένα κυρτό πολύγωνο έχει σχηματιστεί από αυτά τα σημεία και αποτυπώνει τη μορφή του, τότε αυτό ανατρέπεται. Ένα ερπετοειδές ρομπότ έχει τη δυνατότητα να διατηρεί σε χαμηλά επίπεδα την απαιτούμενη ενέργεια εξαλείφοντας έτσι τις ανησυχίες για τη σταθερότητα και την οποιαδήποτε τεχνική υποστήριξη από εξαρτήματα όπως τροχούς, πόδια κλπ. Ακόμα και στην εκδοχή ενός πιθανού σεναρίου μίας ενδεχόμενης ελεύθερης πτώσης τα ερπετοειδή ρομπότ έχουν πιο αυξημένα ποσοστά επιτυχούς ανταπόκρισης στην κρούση διότι οι διασυνδέσεις των σημείων μεταξύ του σώματος και των υπόλοιπων προσαρτημάτων όπου απαρτίζουν τα παραδοσιακά ρομπότ δεν μπορούν να διατηρηθούν ανεπηρέαστα, προκαλώντας έτσι πρόβλημα στη σύσταση της σκελετικής τους δομής.

2.2.2 Εδαφική Προσαρμοστικότητα

Η ικανότητα ενός οχήματος να μπορεί να διασχίσει ανώμαλα και τραχεία εδάφη ονομάζεται εδαφική προσαρμοστικότητα. Η τραχύτητα του εδάφους χαρακτηρίζεται από την κλίμακα των χαρακτηριστικών που διέπουν το εκάστοτε περιβάλλον, από την πυκνότητα της φασματοσκοπικής ενέργειας που αυτό εκλύει, από τον καταμερισμό των διάφορων εμποδίων όπως πέτρες, βράχια, κλπ., καθώς και από την γενική γεωγραφική μορφολογία που διαθέτει. Έναντι όλων αυτών των ιδιαιτεροτήτων οι ερπετοειδείς μηχανισμοί διαθέτουν την ικανότητα της κυκλοτερούς πρόσδεσης με κύριο σκοπό την εγκάρσια αναρρίχηση και την δίοδο από δυσπρόσιτα περάσματα όπου τα τροχήλατα και τα βαδίζοντα ρομπότ αδυνατούν να διασχίσουν και να προσπελάσουν. Επιπροσθέτως, ένα "robot snake" μπορεί να αναρριχηθεί σε σκαλοπάτια όπου το ύψος τους προσεγγίζει τη μέγιστη ευθύγραμμη διάστασή τους. Την ιδιότητα αυτή τη διαθέτουν ελάχιστα τροχήλατα και βαδίζοντα ρομπότ κάτι το οποίο περιορίζει αισθητά το εύρος χρήσης τους και τη λίστα των πλεονεκτημάτων τους. Ένας ακόμα ισχυρισμός για την υπεροχή των ερπετοειδών μηχανισμών μπορεί να αποδοθεί και στη δυνατότητα μετακίνησής τους πάνω από μαλακά και παχύρευστα υλικά, ένα εμφανώς ιδιαίτερο γνώρισμα όπου μπορεί να βρει χρήση σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών. Επιπλέον, η έλλειψη προσαρτημάτων από τους ερπετοειδείς μηχανισμούς τους προσδίδει την ιδιότητα να διασχίζουν ανεμπόδιστα εδάφη όπου διαθέτουν τρύπες και άλλου τέτοιου είδους γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά όπου στα τροχήλατα και βαδίζοντα ρομπότ δημιουργούν αισθητά προβλήματα στην δομική συνοχή τους αφού μπορεί εύκολα να καταστραφεί κάποιο από τα συνδεδεμένα εξαρτήματά τους καθώς και στην επιθυμητή διάβασή τους.

2.2.3 Κίνηση

Η κίνηση προέρχεται από τη δύναμη που μπορεί να εφαρμοστεί στο όχημα και θα του προσδίδει μια εμπρόσθια ώθηση. Η κίνηση συνήθως περιορίζεται από κάποιες παραμέτρους όπως είναι το προϊόν της σύνθεσης του οχήματος, το βάρος του καθώς και ο ασκούμενος συντελεστής τριβής. Οι εφαρμοζόμενες δυνάμεις κίνησης μπορούν να έχουν πολύ υψηλές τιμές για τα φυσικά φίδια όπου προσεγγίζουν έως και τρεις φορές το βάρος τους. Ο καταμερισμός της μάζας του φιδιού πάνω από μία εκτενής περιοχή, σε σύγκριση με τη μάζα που ισοδυναμεί στα τροχήλατα ή βαδίζοντα μηχανήματα, έχει ως αποτέλεσμα οι δυνάμεις να μπορούν να είναι κάτω από το κατώφλι της πλαστικής παραμόρφωσης του χώματος όπως αυτό μπορεί να αποτυπωθεί στη σχετική γραφική παράσταση. Παράλληλα, η συγκέντρωση του φορτίου αποβαίνει στο σχεδιασμό των περισσότερων τροχήλατων και βαδίζόντων ρομπότ όπου επιδρούν στην εδαφική απασχόληση. Εξαιτίας της μεγάλης επαπτόμενης επιφάνειας, τα ερπετοειδή οχήματα μπορούν να συνεισφέρουν σε λιγότερη έως και καθόλου εδαφική απασχόληση. Εάν η μετακίνηση των φυσικών φιδιών περιορίζεται από συγκεκριμένους τρόπους και συρμούς τότε αυτά μπορούν να συγκρατήσουν μία έλξη τέσσερις έως και πέντε φορές το βάρος τους. Η μετακίνηση χωρίς συνδεόμενα προσαρτήματα αποδεικνύει μία ανωτερότητα στην διάσχιση περιθωριακών ή μαλακών εδαφών όπου δραστηριότητες άρσης και ψαλιδίσματος περιορίζουν την τροχήλατη κινητικότητα.

2.2.4 Αποδοτικότητα

Τα φίδια επιτυγχάνουν αποτελεσματικότητα και δραστηριότητα όπου είναι ισοδύναμη με τους βιομηχανισμούς παρόμοιας κλίμακας και μάζας. Οι λόγοι που συμπεριλαμβάνουν μειωμένο κόστος συσχετίζονται με τις απαιτήσεις για λιγότερη ανύψωση του κέντρου της ελκτικής τάσης σε σύγκριση με τα βαδίζοντα ζώα όπου εξαλείφουν την επιτάχυνση ή την επιβράδυνση των άκρων του σώματος και το χαμηλό κόστος για τη υποστήριξη του σώματος. Δικαίως μπορεί να δημιουργηθεί το ερώτημα γιατί τα φυσικά φίδια δεν μπορούν να είναι πιο αποδοτικά από τα παρόμοια σε μέγεθος ζώα. Η απάντηση προκύπτει από το ότι η δαπανώμενη ενέργεια στα φίδια περιλαμβάνει μεγαλύτερες τριβόμενες απώλειες προς το έδαφος, πλευρικές επιταχύνσεις του σώματος όπου δεν συνεισφέρουν στην εμπρόσθια κίνηση και το κόστος του σώματος για την μεροληπτική υποστήριξη των ανυψώσεων που αυτό υποβάλλεται κατά τη διάρκεια της κίνησης. Αυτά τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα εμφανίζουν την ισορροπία της συνολικής ενέργειας όπου χρησιμοποιείται σε ένα συγκρίσιμο βαθμό όπως στα ζώα με παρόμοια μάζα.

2.2.5 Μέγεθος

Η μικρή μπροστινή όψη των μηχανισμών του "robot snake", εξαρτώμενη από τη μηχανική σχεδίαση επιτρέπει τη διεξόδου με μικρότερες εγκάρσιες τομές περιοχών σε σύγκριση με ισοδύναμες μάζες των τροχήλατων ή βαδίζόντων ρομποτικών οχημάτων. Αν ο όγκος ενός φιδιού όπου έχει αποκτήσει κυλινδρική μορφή διατηρείται το ίδιο και η διάμετρος είναι μειωμένη στο μισό, τότε το μήκος του φιδιού μπορεί να γίνει έως και τέσσερις φορές μεγαλύτερο. Πρέπει να επισημανθεί ότι οι περιοχές των εγκάρσιων τομών των μηχανισμών όπου διαθέτουν παρόμοια πυκνότητα και μάζα μπορεί να προκύψει σε οχήματα με μεγαλύτερη διάσταση μήκους.

2.2.6 Πλεονασμός

Ένας ερπετοειδής αυτόματος μηχανισμός έχει την ικανότητα να εκτελεί ποικίλους σχηματισμούς με τη βοήθεια των κινητήρων που διαθέτει. Μερικές από αυτές τις υποψήφιες διαμορφώσεις μπορούν να απασχολούν σε απλοϊκό βαθμό τους ενεργοποιητές σε μία συνθήκη διαδοχικών επιδιωκόμενων κινήσεων. Κατά τη διάρκεια της λειτουργίας μια ενδεχόμενη απώλεια μικρών τμημάτων του συνδεόμενου εξοπλισμού ή μία αποτυχία στη λειτουργία των κινητήρων μπορεί να συνεχίσει να επιτρέπει την δυνατότητα για κίνηση και να του αποδίδει ακόμα την ικανότητα να εκτελεί κάποιους ελιγμούς. Αποδεδειγμένα, η ιδιότητα αυτή συγκαταλέγεται στη λίστα των πλεονεκτημάτων παρόλα αυτά είναι αναπόφευκτη η κύρωση η οποία συσχετίζεται με την μειωμένη απόδοση στην κινητικότητα.

2.2.7 Κάλυψη - Σφράγιση

Τα "robot snake" επικαλύπτονται από μια αδιάτρητη επιφάνεια όπου δεν περιλαμβάνονται επιπρόσθετα προσαρτήματα στην κατασκευαστική τους δομή. Η συνεισφορά στην συγκεκριμένη όψη του ερπετοειδούς μηχανισμού αποτρέπει την οποιαδήποτε παρεμπόδιση της εξέλιξης και της προόδου του ή την έκθεση σε κίνδυνο των περιφερειακών τμημάτων του "robot snake". Η παράθεση αυτή επιτρέπει την καλύτερη επικάλυψη μεταξύ των ενδότερων μηχανισμών και του περιβάλλοντος. Κατά αυτό τον τρόπο εξασφαλίζεται ένα σημαντικό πλεονέκτημα στην εισχώρηση σε περιβάλλοντα όπου υπόκεινται σε συνθήκες ενάντιες με την άρτια λειτουργία των μηχανισμών και μπορούν εύκολα να τους επιφέρουν επιζήμια αποτελέσματα. Τέτοιου είδους περιβάλλοντα χαρακτηρίζονται από αυξημένα ποσοστά υγρασίας ή σκόνης όπου προκαλούν διάσπαση του συντονισμού των ηλεκτρονικών κυκλωμάτων και των κινητήρων του robot.

2.3 Μειονεκτήματα ερπετοειδούς ρομποτικής μετακίνησης

Είναι πρόδηλο ότι με το πλήθος των πλεονεκτημάτων που έχουν αναφερθεί έως τώρα μπορεί εύκολα και αβίαστα να προκύψει το ερώτημα γιατί δεν κατασκευάζονται σε μεγαλύτερο αριθμό τα ερπετοειδή ρομπότ. Η πιο άμεση απάντηση η οποία μπορεί να αποδοθεί συσχετίζεται με τις εκτενείς απαιτήσεις που προκύπτουν στο σχεδιασμό, την κατασκευή καθώς και τον έλεγχο τους. Παρόλα αυτά είναι δεδομένο ότι οποιαδήποτε κατασκευή υλοποιηθεί εμπεριέχει και μια σειρά από μειονεκτήματα. Το γεγονός αυτό οφείλεται στον άνισο καταμερισμό των επιθυμητών λειτουργιών όπου επιδιώκονται κάθε φορά να επιτευχθούν από τους ενδιαφερόμενους επιβαρύνοντας έτσι δυσμενώς κάποιες άλλες ιδιότητες του ρομπότ. Ένα τέτοιου είδους χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η αύξηση της σταθερότητας όπου τις περισσότερες φορές προϋποθέτει και αύξηση της μάζας επομένως αυτό επηρεάζει άμεσα με τη σειρά του και την κινητικότητα του ρομπότ συναρτήσει της ταχύτητάς του και της κατανάλωσης της απαιτούμενης ενέργειας.

2.3.1 Ωφέλιμα φορτία

Οι επιπρόσθετες ανάγκες για μετακίνηση συνυπάρχουν με την διεκπεραίωση εργασιών που προϋποθέτουν ικανότητες κίνησης οι οποίες θα συμβάλλουν στην αποτελεσματική μεθόδευση των καθηκόντων που αποδίδονται κάθε φορά. Πιο συγκεκριμένα, η

εκτέλεση μίας τέτοιας εργασίας είναι η μεταφορά ωφέλιμων φορτίων από ένα συγκεκριμένο σημείο σε ένα τελικό προορισμό εναπόθεσης. Ωφέλιμα φορτία μπορούν να θεωρηθούν υλικά τα οποία είναι αναγκαίο να μεταφερθούν στο επιθυμητό μέρος. Συνεπώς, είναι πασιφανές ότι ένα "robot snake" δεν διαθέτει την κατάλληλη κατασκευαστική δομή η οποία θα του επιτρέψει να διαθέτει το πλεονέκτημα αυτό της μεταφοράς. Ενατενίζοντας πιθανές μεθόδους μεταφοράς υλικών παρατηρείται ότι δεν υπάρχει κάποιο είδος επισυναπτόμενης ολοκληρωμένης πλατφόρμας η οποία θα συμβάλλει στη διεργασία αυτή. Μια προοπτική συγκαλείται με τη χρήση ενός ολοκληρωμένου αγωγού ο οποίος θα είναι ικανός να αποθηκεύει υλικά ή ακόμα και ρευστά ανάλογα με τις εκάστοτε απαιτήσεις. Παρόλα αυτά πρέπει να επισημανθεί ότι στο στάδιο αυτό δεν έχει υλοποιηθεί σε ικανοποιητικό βαθμό η προσάρτηση αυτής της ικανότητας μετακίνησης επομένως αυτό το στοιχείο αποτελεί ένα από τα μειονεκτήματα της χρήσης των ερπετοειδών ρομπότ.

2.3.2 Βαθμοί ελευθερίας

Έχει ήδη επισημανθεί ότι ο τρόπος μετακίνησης ενός "robot snake" επιτυγχάνεται με τις μικρές διαδοχικές κυρτώσεις στις οποίες προβάλλονται τα συνδεδεμένα μηχανικά μέρη που το απαρτίζουν. Για την εκτέλεση αυτών των κινήσεων ευθύνονται οι κινητήρες που διαθέτει το ρομποτικό σύστημα και το πλήθος τους εξαρτάται από το μέγεθος της κατασκευής και την πολυπλοκότητα των σχηματισμών από τη λήψη των εντολών για την εκτέλεση των διεργασιών. Οι απαιτήσεις για τη χρήση των κινητήρων είναι περισσότερες από εκείνες που περικλείουν τα ρομποτικά τροχήλατα ή βαδίζοντα ρομπότ. Αλληλένδετη πληροφορία με τους ενεργοποιητές είναι και οι προκείμενοι βαθμοί ελευθερίας που συντελούν στην απόδοση του εύρους και των δυνατοτήτων της κινητικότητας. Με αναφορά σε στατιστικά στοιχεία είναι γνωστό ότι οι βαθμοί ελευθερίας για τα παραδοσιακά ρομποτικά οχήματα κυμαίνονται από δύο έως δεκαοχτώ και για κάποια βαδίζοντα ενδεχομένως να υπερβαίνει το παρόν όριο.

Προκύπτει λοιπόν, ότι για την άρτια λειτουργία ενός "robot snake" απαιτούνται περισσότεροι βαθμοί ελευθερίας όπου συσχετίζονται άμεσα με τις υπάρχουσες αρθρώσεις και τα συνδεδεμένα μηχανικά μέρη. Επήρεια της σχετικής ιδιομορφίας των κινήσεων και του ελέγχου είναι η παρουσίαση του προβλήματος για την ακέραιη λειτουργία όλου του συνδεδεμένου εξοπλισμού. Πιο συγκεκριμένα, ένα πιθανό πρόβλημα μπορεί να προκύψει όταν ένας από τους κινητήρες κάνει λήψη μίας λανθασμένης τιμής. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, όταν η κατασκευή έχει μεγάλο μέγεθος, να αυξάνονται οι πιθανότητες όλα τα αποτελούμενα τμήματα να επηρεαστούν από το σφάλμα αυτό.

Ακόμα όμως και στη πραγματοποίηση αυτού του πιθανό σεναρίου, οι ερπετοειδείς μηχανισμοί διαθέτουν σε πολύ ικανοποιητικό βαθμό ένα πλεόνασμα από ρυθμιστικές λειτουργίες όπου τους επιτρέπουν να συνεχίσουν την λειτουργία τους κάτω από ένα συγκεκριμένο και περιορισμένο τρόπο. Ο ολοκληρωτικός έλεγχος ενός "robot snake" καταμερίζεται στον έλεγχο πολλών τμηματικών κινήσεων και αυτό το στοιχείο αποτελεί μία πρόκληση για την υλοποίησή του. Αναφορικά με το παρόν ζήτημα βασικά βήματα θεωρούνται η σχεδίαση και η δομή ανθεκτικών κινητήρων και κατασκευαστικών μορφών όπου θα συνδυάζουν παράλληλα την αποδοτικότητα και την καλαισθητή εμφάνιση εμπεριέχοντας υψηλές τιμές δυνάμεων σε μικρά τμήματα. Η συσχέτιση αυτή δεν αποτελεί αποκλειστική ανάγκη των ερπετοειδών ρομποτικών

συστημάτων αλλά αναμένεται η εμφάνιση αυτής της χρήσης των κινητήρων και σε άλλες εφαρμογές.



Εικόνα 2.5 Κινηματική αλυσίδα με σύνδεση αρθρώσεων



Εικόνα 2.6 Ρομποτικό τεχνητό προσάρτημα με αρθρώσεις

2.3.3 Θερμικός έλεγχος

Η σκελετοδομή των φιδιών δεν προσεγγίζει την σφαιρική όψη κι αυτό εμπίπτει στην κακή αναλογία του κατανεμημένου όγκου στην επιφάνεια του και η οποία είναι χειρότερη από εκείνη των ζώων που διαθέτουν προ εξαγόμενα συνδεδεμένα μέρη με την αντίστοιχη μάζα. Πρέπει να επισημανθεί ότι ο προσδιορισμός των βασικών χαρακτηριστικών τα οποία συσχετίζονται με την περιοχή της επιφάνειάς τους καθώς και με τη μάζα τους περιγράφονται άμεσα από την μαθηματική σχέση η οποία ονομάζεται συντελεστής Meech και αποτυπώνεται ως ακολούθως: $S = k * M^{0.67}$ όπου το S περιγράφει την περιοχή της επιφάνειας και το M αναφέρεται στη μάζα του σώματος, η οποία είναι μεγαλύτερη στα φίδια από ό,τι στα υπόλοιπα θηλαστικά και ψάρια. Η επίδραση που μπορεί να προέλθει από το παρόν ζήτημα συρρέει άμεσα με τη δυσκολία του θερμικού ελέγχου στους ερπετοειδούς μηχανισμούς. Από την άλλη πλευρά είναι αξιοσημείωτο, ότι αν η εκάστοτε εφαρμογή επιτρέπει την χρήση και την εισχώρηση σε περιβάλλοντα που χαρακτηρίζονται ως καταγώγια υψηλής θερμικής ενέργειας ή από πηγές αντίστοιχης θερμότητας τότε αυτό θεωρείται ευνοϊκή συνθήκη για τα ερπετοειδή καθώς αποτελεί και όφελος για το σύστημα των ενεργοποιητών τους.



Εικόνα 2.7: Ρομπότ με πολλαπλά με τεχνητά προσάρτηματα

2.3.4 Ταχύτητα

Τα ταχύτερα βιολογικά φίδια κάτω από ιδανικές συνθήκες μπορούν να προσεγγίσουν ταχύτητα της τάξης των 3 [m/sec] και εμφανίζεται να έχουν μια αναλογία στο μήκος της περιφέρειάς τους που να κυμαίνεται από 10 έως 12. Αποφαινεται δύσκολο στο άμεσο μέλλον τα ερπετοειδή ρομποτικά συστήματα να κινούνται με ταχύτητα αυτού ή προσεγγιστικού μεγέθους. Η μετακίνηση των περισσότερων φιδιών χαρακτηρίζεται ως αργή αλλά παρόλα αυτά η κίνηση είναι παραπλανητικά πιο γρήγορη κι αυτό οφείλεται στις πλευρικές κινήσεις του σώματος όπου συχνά δίνει την εντύπωση στο θεατή ότι δημιουργούνται υψηλότερες τιμές. Το διακριτικό σημείο στη συσχέτιση αυτή είναι ότι τα ρομποτικά φίδια πιθανόν να είναι πιο αργά από τα πανομοιότυπα βιολογικά πρότυπα ακόμα και στο άμεσο μέλλον.

3. Ανάγκη για κάλυψη νέων απαιτήσεων

Παρατηρείται τα τελευταία χρόνια μια επεκτατική διάνοιξη των οριζόντων σε πολλούς τομείς του τεχνολογικού κλάδου εμπεριέχοντας πολλά οφέλη από τη προσκόμιση των αποτελεσμάτων των σχετικών ερευνών. Είναι γνωστό, ότι η επιδιωκόμενη βελτίωση η οποία αποτελούσε τόσο το κίνητρο όσο και το επιθυμητό αποτέλεσμα από τις διεξαγόμενες έρευνες δεν ήταν πάντοτε εφικτή. Αυτός ο περιορισμός πήγαζε από τον διατιθέμενο εξοπλισμό και τεχνολογία όπου συνόδευαν τις προσπάθειες των επιστημόνων. Η νεογιλή τεχνογνωσία αποτελούσε φραγμό για την προσέγγιση πολλών εφαρμογών όπως η εισχώρηση και μετακίνηση σε περιβάλλον με δυσμενείς συνθήκες, η άρτια συμμετοχή ρομποτικών μηχανημάτων στην ιατρική κλπ.



Εικόνα 3.1: DLR KineMedic Redundant Robot - Ρομπότ ιατρικής εφαρμογής

Το γεγονός αυτό οφειλόταν σε ένα μεγάλο ποσοστό στα τετριμμένα πλαίσια των κατασκευαστικών δομών από τα οποία προκύπταν τα ρομπότ. Μία συχνή παγίδα στην οποία "έπεφτε" αβίαστα ο τεχνολόγος - επιστήμονας που επιθυμούσε να υλοποιήσει μία ρομποτική μηχανή ήταν να της αποδώσει την ανθρωπόμορφη ή την τροχήλατη κίνηση. Συχνά συναντούσε προβλήματα και κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας

αφού η σταθερότητα, η εδαφική προσαρμοστικότητα και το μέγεθος ήταν μερικά από τα κύρια εμπόδια τα όποια καλούταν να προσπελάσει.

Έπειτα από τη διαπίστωση αυτή ακολούθησε μία έντονη δραστηριοποίηση στον επιστημονικό - τεχνολογικό κλάδο η οποία είχε ως κύριο στόχο την διατύπωση καινοφανών ιδεών για τη δημιουργία νέων ρομπότ όπου θα επιτρέπουν στον άνθρωπο να εισχωρεί σε νέες εφαρμογές προς όφελός του. Στην διαδικασία αυτή συνετέλεσε και η απόκτηση γνώσεων η οποία επέφερε πρόοδο στην επιστήμη του ελέγχου, των αισθητήρων και της κατασκευαστικής ανάπτυξης των μηχανημάτων. Η συρροή όλων αυτών των παραγόντων επέφερε την υλοποίηση των ρομπότ με τα απαραίτητα χαρακτηριστικά όπου αυξάνουν τη λειτουργικότητα και την αποδοτικότητά τους και επιτρέπουν τη χρήση τους σε εφαρμογές όπου στο παρελθόν ήταν αδύνατο να πραγματοποιηθεί με τον υπάρχοντα τεχνολογικό εξοπλισμό.

Μία από τις μεγαλύτερες προκλήσεις παρουσιάστηκε στην εύρεση νέων τρόπων μετακίνησης. Τη λύση στο ζήτημα αυτό φαίνεται να έχει δώσει η δημιουργία ρομπότ τα οποία διαθέτουν μηχανισμούς που τους αποδίδουν ερπετοειδή τρόπο μετακίνησης. Είναι πρόδηλο ότι οι ιδέες προέρχονται από την ίδια τη φύση καθώς στο πέρασμα των χρόνων οι οργανισμοί της ανταπεξέρχονται σε όλες τις αντίξοες συνθήκες. Το επόμενο βήμα ήταν να πραγματοποιηθεί μία εμπειριστατωμένη δοκιμή για την επαλήθευση ή τη διάψευση όλων των διατυπωμένων ισχυρισμών. Τα αποτελέσματα καθώς και η ολοένα αυξανόμενη χρήση των ρομπότ αυτών έδειξαν την επαρκέστατη ικανοποίηση του τεχνολογικού κλάδου στην μελέτη αυτή. Πρέπει να σημειωθεί, ότι οι εφαρμογές στις οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν είναι πολλές και δημιουργούν μεγάλο ενδιαφέρον προς εξέταση. Παρόλα αυτά, οι προκλήσεις συμβαδίζουν με την εξέλιξη καθώς ο χώρος για βελτίωση αποτελεί πάντα αναλλοίωτο μοτίβο για το οποιοδήποτε τεχνολογικό επίτευγμα που κατορθώνεται. Παρακάτω, παρουσιάζονται μερικές από τις εφαρμογές των ερπετοειδών ρομπότ στις οποίες δεν μπορούν να ανταπεξέλθουν επαρκώς τα μέχρι τώρα γνωστά βαδίζοντα και τροχήλατα ρομπότ.

4. Εφαρμογές των "Robot - Snake"

4.1 Εξερεύνηση

Υπάρχουν περιβάλλοντα τα οποία ο άνθρωπος επιθυμεί να προσεγγίσει και να αφήσει το αποτύπωμά του όμως λόγω της γεωμορφολογικής τους δομής χαρακτηρίζονται ως απρόβλεπτα υψώνοντας ένα τείχος με κύριο "δομικό" στοιχείο την ανασφάλεια για τη συνάντηση άγνωστων καταστάσεων. Ένα "robot snake" έχει τη δυνατότητα να κάνει ένα καταμερισμό της μάζας του πάνω από μία εκτενής επιφάνεια την οποία διασχίζει.

Όπως έχει ήδη προαναφερθεί παραπάνω ένα από τα πλεονεκτήματα αυτού του είδους των ρομπότ είναι ο πλεονασμός στην υποστήριξη των συνδεδεμένων μηχανικών μερών από τα οποία απαρτίζεται. Αυτό το γεγονός του επιτρέπει να συνεχίσει να λειτουργεί κανονικά με μία ενδεχόμενη μείωση της αποδοτικότητάς του ακόμα κι αν προκύψει κάποια βλάβη στον ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό του ρομπότ. Η εκμετάλλευση του συγκεκριμένου οφέλους καθιστά ικανή τη χρήση των "robot snake" σε ένα ευρύ φάσμα από τέτοιου είδους περιβάλλοντα όπως είναι οι πλανητικές επιφάνειες, ανώμαλα εδάφη που περιέχουν διάσπαρτες ακατέργαστες μάζες από πέτρες και βράχια καθώς και σε απότομες κατωφέρειες σε προσκείμενες πλαγιές.



Εικόνα 4.1: Ρομποτικό φίδι - διάσχιση δυσπρόσιτου περιβάλλοντος

4.2 Επιθεώρηση

Ο επιστάμενος έλεγχος στις βιομηχανίες και στις ιατρικές εφαρμογές αποτελεί θεμελιώδη λίθο για την άρτια λειτουργία τους και την εξακρίβωση του αναμενόμενου αποτελέσματος καταρρίπτοντας κάθε πιθανή εστία δημιουργίας κινδύνου ή βλάβης όπου θα επιφέρει επιζήμιες επιπτώσεις. Πολλές τεχνικές επιθεώρησης σε αυτούς τους τομείς στηρίζονται στους μηχανισμούς οι οποίοι αποτελούνται από σταθερές βάσεις όπως είναι τα βιντεοσκόπια κ.α. Αυτές οι διατάξεις χρησιμοποιήθηκαν αρχικά για την εποπτεία κοιλοτήτων όπου η άμεση παρακολούθηση με τον οφθαλμό δεν ήταν δυνατή. Οι εφαρμογές επισκόπησης περιλαμβάνουν συντήρηση μηχανών με εναέριες καλωδιώσεις, ποιοτικό έλεγχο στον βιομηχανικό τομέα καθώς και διαδικασία παρακολούθησης και εποπτείας σε χρήσιμες συνθέσεις εγκαταστάσεων (αερισμού, φωτισμού κ.α.) αλλά και για την εξέταση της ορθής λειτουργίας μηχανημάτων με πολλά παρελκόμενα μέρη.

Συχνά στο χώρο των βιομηχανιών συναντώνται σύνθετα και μεγάλα δίκτυα εγκαταστάσεων σωληνώσεων όπου απαιτούν τακτική επιθεώρηση τόσο για τη συντήρηση και τον έλεγχό τους όσο και για την ενδεχόμενη αποκατάσταση ενός προβλήματος όπως είναι η απόφραξη των σωληνώσεων. Η ανόρυξη χαρακωμάτων για την επιδιόρθωση της επικείμενης βλάβης αποτελεί μία μεγάλη δαπάνη για την οποιαδήποτε επιχείρηση χωρίς να παραλείπεται σαφώς η μεγάλη κοστολόγηση που προέρχεται από τη διακοπή της λειτουργίας για την επισκευή του συγκεκριμένου δικτύου.

Υπάρχουν εταιρείες οι οποίες διαθέτουν τις απαραίτητες για αυτή τη χρήση συσκευές όπου μπορούν να εισχωρήσουν κατά μήκος των σωληνώσεων αλλά έχει παρατηρηθεί ότι η χρήση τους είναι περιορισμένη. Ένας ρομποτικός μηχανισμός που θα διαθέτει μικρό μέγεθος και θα κινείται με ερπετοειδή τρόπο μπορεί να αποτελέσει ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο αφού μπορεί να προσδιορίσει με ακρίβεια τη βλάβη που έχει δημιουργηθεί ελαττώνοντας με αυτόν τον τρόπο το κόστος επιδιόρθωσης αλλά και το

"νεκρό χρόνο" στον οποίο δεν θα πραγματοποιείται η παραγωγική διαδικασία της βιομηχανικής μονάδας.

Οι δημιουργοί του εξοπλισμού επιθεώρησης έχοντας επίγνωση του περιορισμού των συσκευών που προάγουν εκδηλώνουν έντονο ενδιαφέρον για τη μελέτη και την ανάπτυξη συσκευών με αυτονομία στην κίνησή τους. Είναι γνωστό όμως, ότι οι απαιτήσεις της βιομηχανίας είναι υψηλές και αυτό μεταφέρεται και στους παραγωγούς του αντίστοιχου εξοπλισμού. Η προσκόμιση θετικών στοιχείων όπως η δημιουργία ποικίλων μηχανισμών, η ταχύτερη ανταπόκριση τους από τη λήψη των εντολών αλλά και η βελτίωση των τεχνικών χαρακτηριστικών τους αυξάνει σε μεγάλο ποσοστό τις πιθανότητες επίλυσης τέτοιων ζητημάτων σε μικρότερο χρονικό διάστημα. Η ένδειξη του ενδιαφέροντος τους επεκτείνεται στην ανάπτυξη μιας σειράς από πατέντες βαδίζόντων και αυτόνομων ως προς την κίνηση βιντεοσκοπίων αλλά οι συσκευές αυτές δεν θεωρούνται ακόμα τεχνολογικά ώριμες.

4.3 Ιατρική

Τα "robot snake" επιδέχονται τη λήψη της προσοχής ως εν δυνάμει ιατρική τεχνολογία. Με τη χρήση του συγκεκριμένου ρομποτικού μηχανισμού επιδιώκεται και επιτυγχάνεται η ελαχιστοποίηση των επίπονων και καταχρηστικών εγχειρήσεων διότι περιορίζονται οι ανάγκες για τη διάνοιξη μεγάλων τομών στο δέρμα και στους ιστούς. Με εκτιμώμενους υπολογισμούς από την παράθεση στατιστικών στοιχείων παρατηρείται ότι το 35% από τις 21000000 εγχειρήσεις που επιτελούνται κάθε χρόνο θα μπορούσαν να διεκπεραιώνονται με την ελαχιστοποίηση των καταχρηστικών τεχνικών που χρησιμοποιούνται κατά τη διάρκειά τους.

Η ωφέλεια από τη χρησιμοποίηση του συγκεκριμένου είδους των ρομπότ στις ιατρικές επεμβάσεις δύναται να αποτυπωθεί στον περιορισμό της παραμονής στα νοσοκομεία μετά το πέρας της επέμβασης, στην αισθητή μείωση του πόνου αφού όπως προαναφέρθηκε οι τομές θα είναι μικρότερης έκτασης καθώς και η μείωση του κόστους.

Οι συσκευές που χρησιμοποιούνται στην λαπαροσκόπηση, οι οποίες αποτελούνται από άκαμπτα εργαλεία εισχωρούν στο τοιχίο των κοιλότητων του οργανισμού καθώς και τα μηχανήματα για την ενδοσκοπία χρησιμοποιούνται σε αυτό το είδος των χειρουργικών διαδικασιών. Ένα "robot snake" μπορεί να υποτείνει σε κυρτώσεις στα εσωτερικά όργανα της θωρακοκοιλιακής κοιλότητας των ιστών και να διευκολύνει σε μία καλύτερη διάγνωση και μία πιο στοχευόμενη θεραπεία.



Εικόνα 4.2: Da Vinci - ρομποτικό χειρουργικό μηχάνημα

Τα τελευταία χρόνια τεχνικές χωρίς καταχρηστικές ιδιότητες φαίνεται να έχουν τα επιθυμητά αποτελέσματα. Είναι άξιο να αναφερθεί ότι τα χειρουργικά εργαλεία του εμπορίου παρουσιάζουν μια δυσκολία ως προς τη διαχείρισή τους για το λόγο ότι συνοδεύονται από κάποιους περιορισμούς. Τα στοιχεία δείχνουν ελπιδοφόρα μηνύματα για την εξέλιξη των ιατρικών επεμβάσεων με την συνύπαρξη της προόδου στον ρομποτικό τομέα.

4.4 Επιβλαβή Περιβάλλοντα

Η επέκταση της ανθρώπινης δραστηριότητας στον τομέα της έρευνας αλλά και στην παρουσίαση των καθημερινών αναγκών που εμφανίζονται στους βιομηχανικούς χώρους καλείται να αντιμετωπίσει πολλές αντίξοες συνθήκες στα περιβάλλοντα που περικλείονται από τις δραστηριότητες αυτού του είδους. Τα περιβάλλοντα αυτά μπορεί να χαρακτηρίζονται από υπέρτατο βαθμό ακτινοβολίας ή ραδιενέργειας, ακραίες θερμοκρασίες, χημική τοξικότητα, υψηλή πίεση ή κατασκευαστικές αδυναμίες τις οποίες δυσκολεύονται να διαχειριστούν άλλα είδη ρομπότ. Έναντι όλων αυτών των δύσκολων καταστάσεων κρίνεται αναγκαίο να εξερευνηθούν και να εξεταστούν αυτές οι περιοχές προκειμένου να διαπιστωθεί ότι παρέχεται η απαιτούμενη ασφάλεια για την πρόελευση στους χώρους αυτούς.

Μέχρι πρωτίστως, οι ανάγκες αυτές καλύπτονταν από τα συνήθη τροχήλατα ή βαδίζοντα ρομποτικά μηχανήματα τα οποία συνοδεύονταν από πρόδηλους περιορισμούς ως προς την ικανότητα μετακίνησής τους σε δύσβατα εδάφη.

Μία άλλη κατηγορία επικίνδυνα προσβάσιμων περιοχών είναι εκείνες που προέρχονται από φυσικές καταστροφές και περιλαμβάνουν τις εμφανείς επιπτώσεις τους, όπως είναι οι σεισμοί, οι εκρήξεις, οι κατολισθήσεις, Οι τυφώνες καθώς και οι πυρκαγιές. Ως αποτέλεσμα αυτών των φαινομένων, είναι η διάσπαρτη συσσώρευση μάζας όπου παρεμποδίζει τις προσπάθειες για μετακίνηση των ερειπίων και ανεύρεση των

επιζώντων. Για το λόγο αυτό γίνεται η χρήση των "robot snake" με τα οποία επιτυγχάνεται η προσπέλασή των εμποδίων με ευέλικτες κινήσεις. Τα "robot snake" είναι εφοδιασμένα με φωτοηλεκτρικούς αισθητήρες καθώς και αισθητήρες αμμωνίας οι οποίοι είναι ικανοί να ανιχνεύουν την παρουσία ανθρώπου κάτω από τα χαλάσματα που τους καλύπτουν. Με την συμβολή αυτών των εφαρμογών αποτρέπεται η χρήση εναλλακτικών μεθόδων με τη χρήση βαρέως τύπου εξοπλισμού για την ανέγερση και την μετακίνηση του διάσπαρτου όγκου της μάζας που περιβάλλει την τοποθεσία του δυστυχήματος και θέτει σε κίνδυνο τους χρήστες του.

Μία άμεση εφαρμογή που εμπεριέχει τις επιπτώσεις των προαναφερθεισών καταστροφών είναι ένα ατύχημα που μπορεί να προέλθει από την καθίζηση ενός ορυχείου. Ακόλουθες επιπτώσεις μπορεί να είναι μία ενδεχόμενη κατολίπηση στο βουνό που εδραιώνεται η υφιστάμενη εγκατάσταση ή κατάρρευση της στέγης. Με την παρεμβολή μίας έναρθρης μικρού μεγέθους ρομποτικής συσκευής μπορεί να διαπεραστούν τα συντρίμια ανάμεσα από τα διάσπαρτα υλικά προκειμένου να επέλθει η επικοινωνία με τους επιζήσαντες και να επιτευχθεί η διάσωση σε σύντομο χρονικό διάστημα.



Εικόνα 4.3: Προσέγγιση ρομποτικού φιδιού σε συντρίμια για ανεύρεση επιζώντων

4.5 Αναγνώριση

Η διασφάλιση πληροφοριών για την διατήρηση της νομικής ισορροπίας την οποία καλούνται να επιβλέπουν αλλά και να διασφαλίζουν οι κρατικές υπηρεσίες είναι μία δραστηριότητα η οποία αποβαίνει στη δημιουργία μίας καινοτόμου εφαρμογής. Η ενίσχυση των υπηρεσιών αυτών επιτυγχάνεται με την συμμετοχή εξελεγχόμενων αισθητηρίων που απαρτίζουν τον ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό του ρομπότ και

παρέχουν δυνατότητα όρασης και λήψης ήχου ακόμα και μέσω της διείσδυσης από συμπαγή βλάστηση. Η δυνατότητα αυτή φαίνεται δύσκολο να αντληθεί από άλλου είδους ρομποτικό μηχανισμό το οποίο διαθέτει τους συνήθεις τρόπους μετακίνησης.

4.6 Χάραξη - κοίλανση

Η δομική συγκρότηση πολλών χώρων απαιτεί συχνά τη διάνοιξη αυλακωμάτων για την επιθυμητή διέλευση των καλωδίων και γραμμών δικτύων πίσω από τους υφιστάμενους τοίχους ή κατά μήκος σωλήνων. Η συγκεκριμένη δραστηριότητα μπορεί να υλοποιηθεί από ένα μεγάλο πλήθος χειροκίνητων εργαλείων τα οποία μπορούν να είναι χρήσιμα για μικρές διαδρομές. Η εφαρμογή τους σε μεγαλύτερες εκτάσεις παρουσιάζει ένα αυξημένο βαθμό δυσκολίας λόγω της χρήσης τους σε θέσεις όπου δεν θεωρούνται άνετες και εύκολα προσβάσιμες για την συγκεκριμένη εργασία. Στη άμεση εφαρμογή τα "robot snake" έχουν την ικανότητα να ελίσσονται ανάμεσα από ένα πλήρες σύστημα καλωδίων και να υλοποιούν τις τεχνικές ραφές συγκόλλησης για την επίτευξη της συναρμογής τους.

4.7 Πυρόσβεση

Έχει προαναφερθεί η μεγάλη ικανότητα που διαθέτουν τα ερπετοειδή ρομπότ να μετακινούνται σε χώρους όπου καλύπτονται από δυσπρόσιτα εδάφη με μεγάλη δυσκολία προσβασιμότητας. Το πλεονέκτημα αυτό, παρουσιάζεται σε πολλές εφαρμογές με τη χρήση ποικίλου απαρτιζόμενου μηχανολογικού εξοπλισμού που του επιτρέπει να ανταποκρίνεται στις εκάστοτε συνθήκες. Η χρήση αισθητήρων είναι καθοριστική για την άρτια λειτουργία του ρομποτικού μηχανήματος. Πρέπει να επισημανθεί ότι ένα από τα πολύ σημαντικά στοιχεία των ρομπότ είναι ο αποληκτήριο επενεργητής με τη χρήση του οποίου καθορίζεται η εικόνα της λειτουργίας του.

Τα ρομπότ που χρησιμοποιούνται σε βιομηχανικές εφαρμογές είναι δυνατή η πολλαπλή χρήση και αλλαγή της αποκαλούμενης " αρπάγης" του ρομπότ όπου έχει το ρόλο του αποληκτηρίου επενεργητή. Οι περισσότερες εργασίες συσχετίζονται με την ηλεκτροσυγκόλληση των συνδεδεμένων μεταλλικών στοιχείων, την βαφή, την παραλαβή, μετακίνηση και εναπόθεση φορτίων κλπ.

Με τη λογική αυτή μπορεί να γίνει η προσθήκη ενός υδραυλικού συστήματος όπου σε συνδυασμό με τον κατάλληλο αποθηκευτικό χώρο να γίνεται η ρίψη νερού ή άλλου κατασβεστικού μέσου. Το ρομπότ για την πλήρη ολοκλήρωσή του χρειάζεται ένα σύστημα από αισθητήρες το οποίο θα του επιτρέπει την ελεγχόμενη ρίψη νερού στο κατάλληλο σημείο. Κατά μήκος του ρομπότ μπορεί να εκτείνεται ένας σωλήνας της απαιτούμενης διατομής ο οποίος θα αντλεί νερό από τον αποθηκευτικό χώρο που θα διαθέτει. Ως μειονέκτημα της παρούσας εφαρμογής μπορεί να θεωρηθεί η ελάττωση της ταχύτητάς τους λόγω της αύξησης της μάζας και κατά συνέπεια το βάρος του χρησιμοποιούμενου εξοπλισμού.

Η συγκεκριμένη εφαρμογή λειτουργεί αποτελεσματικά σε χώρους όπου έχουν δημιουργηθεί εστίες πυρκαγιάς και η προσέγγισή τους κρίνεται επικίνδυνη και δύσκολη λόγω της συγκρότησης που επικρατεί στα δομικά στοιχεία όπου ενδέχεται να υφίστανται μετατροπές μετά την εκτύλιξη της φωτιάς. Με τον τρόπο αυτό, εντοπίζεται

έγκαιρα το ακριβές σημείο της φωτιάς κι έτσι ελαχιστοποιείται ο χρόνος εξέλιξής της και αυξάνονται οι πιθανότητες για την έγκαιρη κατάσβεσή της.



Εικόνα 4.4: Εφαρμογή ρομποτικού φιδιού ως κατασβεστικό μέσο

5. Υπόβαθρο για την υλοποίηση του "Robot - Snake"

Τα φίδια αποτελούν το πιο χαρακτηριστικό παράδειγμα για την μετακίνηση ζώων τα οποία δεν χρησιμοποιούν βοηθητικά προσαρτήματα για την κίνησή τους όπως είναι τα πόδια. Η "βιολογική" τους ιστορία δεν προσφέρει κατευθυντήριες οδηγίες για το σχεδιασμό τους και τη λειτουργικότητα που αναμένεται αλλά μια σπουδαία πρόκληση για την επίτευξη αυτού του είδους τη μετακίνηση και την ποικιλία που αυτή εμπεριέχει. Η μελέτη για τα φυσιολογικά χαρακτηριστικά που διέπουν τα βιολογικά φίδια θεωρείται πρωταρχική εργασία για την υλοποίηση του αντίστοιχου ρομπότ. Με τον τρόπο αυτό γίνεται αντιληπτό τα προβλήματα που συναντούν τα φίδια κατά τη διάρκεια της μετακίνησής τους αλλά και τους μηχανισμούς που διαθέτουν για την αντιμετώπισή τους.

Επιπλέον, παρουσιάζονται στην επιφάνεια κάποια ζητήματα τα οποία δεν διακρίνονται εκ πρώτης όψεως και είναι πιθανόν να δημιουργήσουν προβλήματα στα τελικά στάδια της κατασκευής του. Έτσι, αποτρέπονται οι δημιουργούμενες συγχύσεις από τα πρωταρχικά στάδια και γίνεται μια καλύτερη προετοιμασία η οποία εξοπλίζει με εφόδια τη μελέτη των τεχνολόγων. Το γεγονός αυτό επιφέρει μείωση του κόστους κατασκευής και αστοχίας από λανθασμένες εκτιμήσεις, τη βελτιστοποίηση στη μελέτη και το σχεδιασμό καθώς και την αντίληψη για τα πιθανά σενάρια που πρόκειται να συναντήσει το ρομπότ. Άλλωστε πρέπει να σημειωθεί ότι στο πέρασμα των χρόνων η φύση έχει διατηρήσει στο βέλτιστο τη λειτουργία των μηχανισμών της οπότε δεν

υπάρχουν περιθώρια για την αμφισβήτησή τους και την εντατική χρήση τους σε πολλές εφαρμογές.

Η διορατικότητα και η προβλεπτικότητα πηγάζουν και συνυπάρχουν από τη μελέτη των βιολογικών συστημάτων και την προσομοίωσή τους μέσω της σχεδίασης η οποία προσδίδει την απαιτούμενη γνώση για τις επερχόμενες αντιδράσεις του ρομποτικού μηχανισμού στα εμπόδια που θα συναντήσει. Παρακάτω παρουσιάζεται μία εκτενής αναφορά στα βιολογικά συστήματα προκειμένου να αποδοθεί με σαφήνεια η φιλοσοφία που διέπουν τους μηχανισμούς οι οποίοι συνδράμουν για την δημιουργία της κίνησης στα βιολογικά φίδια.

6. Βιολογικά Συστήματα

Μέσα από τη μελέτη των βιολογικών φιδιών μπορούν να διεξαχθούν πολύτιμα συμπεράσματα και να γίνει ένας καταμερισμός πληροφοριών ο οποίος θα συμβάλει στην άρτια υλοποίηση του "robot snake". Οι ιδέες συσχετίζονται άμεσα τόσο με τη σχεδίαση όσο και με τη λειτουργικότητα του ρομποτικού συστήματος. Η ενασχόληση με την εξέταση της ανατομίας και της μορφολογίας συντελεί στην καθοδήγηση για τη δημιουργία των ρομποτικών μηχανισμών οι οποίοι θα είναι υπεύθυνοι για την απόδοση της κίνησης.

Η δυσκολία παρουσιάζεται στην αποκωδικοποίηση των βιολογικών μηχανισμών που διέπουν τον οργανισμό των ζώων και η μετάβαση στη δημιουργία μηχανισμών από τον άνθρωπο. Στο σημείο αυτό, πρέπει να επισημανθεί ότι ελλοχεύει ο κίνδυνος για τη λήψη στοιχείων από την εξέλιξη των βιολογικών δομών τα οποία δεν συνεισφέρουν στην κατασκευαστική συνοχή και την αποδοτικότητα.

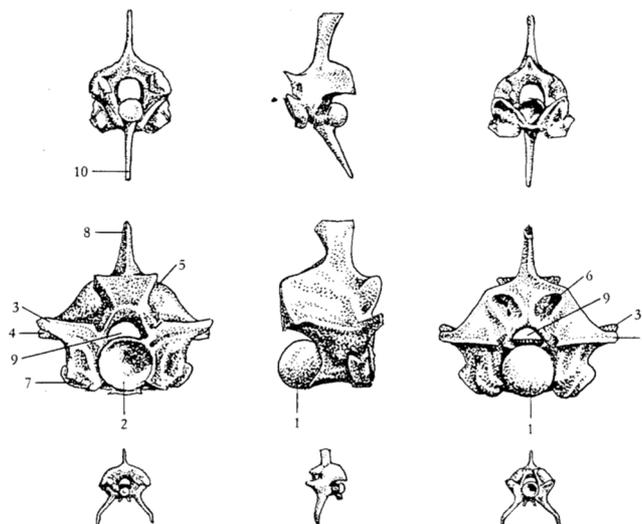
Ένα σημαντικό ζήτημα το οποίο τίθεται στο στάδιο της σχεδίασης και της κατασκευής είναι η κλίμακα στην οποία θα υλοποιηθεί το ρομπότ διότι μέσω αυτής της επιλογής υπόκειται σε κάποιους συμβιβασμούς οι οποίοι συσχετίζονται άμεσα με τα τεχνικά χαρακτηριστικά του γνωρίσματα. Η ταχύτητα και η ευελιξία στην κίνησή του καθώς και οι μηχανικές καταπονήσεις που θα επιδρούν σε αυτό είναι επήρεια της συνολικής μάζας, του τρόπου με τον οποίο αυτή θα κατανεμηθεί στο ρομπότ και των ιδιοτήτων των υλικών που θα επιλεγούν για την κατασκευή του. Το συνολικό μέγεθος του "robot snake" είναι εκείνο που θα του καθορίσει και τις εφαρμογές στις οποίες θα μπορεί να χρησιμοποιείται αλλά θα αποδίδει παράλληλα και πληροφορίες για την αναμενόμενη αποδοτικότητά του συναρτήσει των τεχνικών προδιαγραφών που το περικλείουν.

6.1 Σκελετική κατασκευή

Το φίδι ανήκει στην κατηγορία των σπονδυλωτών ζώων αφού το βασικό χαρακτηριστικό τους είναι η ύπαρξη σπονδυλικής στήλης και διαθέτει το μεγαλύτερο αριθμό από σπονδύλους έναντι όλων των υπόλοιπων ζώων και ο αριθμός τους κυμαίνεται μεταξύ 100 - 400 σπονδύλους, όπου το εύρος αυτό είναι αλληλένδετο με το είδος του φιδιού. Η σκελετική διάρθρωση του φιδιού αποτελεί μία από τις πιο πολύπλοκες συναρτήσεις των υπόλοιπων σπονδυλωτών. Μολονότι, είναι εφικτό να πραγματοποιείται μόνο ένας μικρός αριθμός από περιορισμένες κινήσεις και εκτάσεις μεταξύ των γειτονικών συνδέσμων η αλληλουχία αυτών των σκελετικών

διασυνδέσεων είναι ικανή να παράγει μεγάλο αριθμό γωνιακών παρεμβάσεων στην τροπή των κινήσεων.

Οι σπόνδυλοι του φιδιού αποτελούνται από σφαιρική και κοίλη μορφή με επιπρόσθετες προβολές οι οποίες εξαλείφουν την στρεπτική κίνηση προκειμένου να προστατεύσουν το νωτιαίο μυελό. Η προστασία αυτή εξασφαλίζεται με τη χρήση μίας σειράς επιφανειών οι οποίες επιτρέπουν περιορισμένες πλευρικές και κοιλιακές παρεμβάσεις αλλά εξαλείφουν τη συστροφή η οποία κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες θα επηρέαζε τη σπονδυλική στήλη με την επιδίωξη της στρέψης της.



Εικόνα 6.1: Σπόνδυλοι βιολογικού φιδιού

Το τέντωμα το οποίο υφίσταται η σπονδυλική στήλη των φιδιών θεωρείται μικρής έκτασης και αυτό υποδηλώνεται από την έλλειψη της ελαστικότητας, καθώς αυτό προσυπογράφει τη διατήρηση του σταθερού μήκους τους, ένα χαρακτηριστικό που διαθέτουν τα περισσότερα σπονδυλωτά ζώα. Σε αντίθεση με τα σπονδυλωτά που χρησιμοποιούν τα μέλη τους προκειμένου να επιτύχουν την επιθυμητή μετακίνηση, η σκελετική δομή των φιδιών παρουσιάζεται πιο απλουστευμένη διότι αποτελείται μόνο από τα ακόλουθα τρία βασικά μέρη: το κρανίο, τους σπονδύλους και τις πλευρικές ραβδώσεις τους οι οποίες συνεισφέρουν αποτελεσματικά στον τρόπο μετακίνησής τους.

Από τη σκελετική συγκρότηση που διέπει τη δομή των βιολογικών φιδιών μπορούν να αντληθούν χρήσιμες πληροφορίες εκπαιδευτικού χαρακτήρα για την σχετικότητα αλλά και το εύρος των κινήσεων που πραγματοποιούνται μεταξύ των γειτονικών συνδέσμων με επαναλαμβανόμενες δομές όμοιων τμημάτων όπου υπόκεινται σε μία διαδικασία αξιολόγησης και εφαρμογής στη μηχανολογική σχεδίαση.

6.2 Τύποι μετακίνησης χωρίς την υποστήριξη τεχνικών προσαρτημάτων

Η μελέτη της μετακίνησης των φιδιών και άλλων συναφών ερπετοειδών συγκεντρώνει εδώ και αρκετά χρόνια το επιστημονικό ενδιαφέρον και διεγείρει τα κινητήρια στοιχεία που θα συντελέσουν στην λήψη χρήσιμων πληροφοριών με σκοπό την αξιοποίησή τους

τόσο σε τεχνολογικές εφαρμογές όσο και στην επέκταση των γνώσεων των βιολογικών συστημάτων. Υπάρχει ακόμα μεγάλη απόσταση που καλούνται οι επιστήμονες να διανύσουν προκειμένου να καλύψουν ένα αξιοσημείωτο φάσμα πληροφοριών.

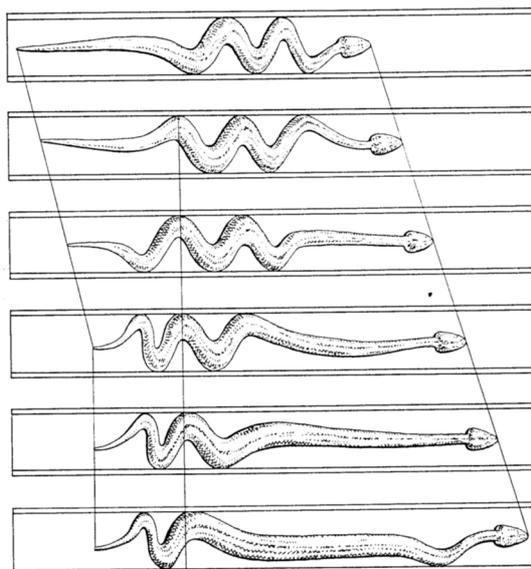
Στο σημείο αυτό, θα γίνει μία αναφορά στα είδη μετακίνησης που έχουν παρατηρηθεί και μελετηθεί στα βιολογικά φίδια και πως αυτά εκτείνονται στη μηχανολογική σχεδίαση και την κατασκευαστική συγκρότηση. Πιο συγκεκριμένα, μερικοί από τους πιο γνωστούς τύπους μετακίνησης είναι οι ακόλουθοι:

- Με συσπείρωση και εκτόνωση (ακορντεόν)
- Με πλευρικούς κυματισμούς
- Με δημιουργία πλευρικών εκτυλίξεων (πλαγιοδρόμηση)
- Εκτελώντας ευθύγραμμες μετατοπίσεις.

Αυτά τα είδη μετακινήσεων μπορούν να συσχετιστούν και να παρουσιάσουν μία ομαλή ταύτιση με ομαδοποιημένα είδη βηματισμών που χρησιμοποιούν τα βαδίζοντα ζώα. Οι βηματισμοί μπορούν να χαρακτηριστούν ως επαναλαμβανόμενα πρότυπα κίνησης τα οποία έχουν απήχηση στην προσαρμοστικότητα του εδάφους, τη μεταβολή της ταχύτητας του κινούμενου σώματος καθώς και στην βελτίωση της σταθερότητάς τους κάτι το οποίο συντελεί σε μία πιο οικονομική επιλογή κατά την εξέταση των συνθηκών σε μεμονωμένες καταστάσεις. Παρακάτω, παρουσιάζεται μία πιο εκτενής ανάλυση για κάθε είδος μετακίνησης των ερπετοειδών που αναφέρθηκαν παραπάνω επιγραμματικά.

6.2.1 Μετακίνηση με συσπείρωση και εκτόνωση (ακορντεόν)

Ένας χαρακτηριστικός τρόπος μετακίνησης των βιολογικών φιδιών είναι εκείνος με τον τύπο του "ακορντεόν" όπου εύλογα φέρει το όνομά του από το μουσικό όργανο λόγω του σχήματος που εκλαμβάνει το σώμα του φιδιού κατά τη διάρκεια της κίνησης. Η εμπρόσθια πορεία επιτυγχάνεται με την επαναλαμβανόμενη κυκλοτερής διαδικασία κατά την οποία το ένα μέρος εκτείνεται ευθύγραμμα εμπρόσθια και το άλλο καμπυλώνεται προκειμένου να δημιουργούνται σε κάθε φάση οι απαραίτητες δυνάμεις στήριξης.



Εικόνα 6.2: Μετακίνηση βιολογικού φιδιού με συσπείρωση & εκτόνωση (ακορντεόν)

Πιο συγκεκριμένα, κατά την καμπύλωση και την εκτόνωση του σώματος του φιδιού ασκούνται και υψηλές δυνάμεις λόγω της βάσης στήριξης που δημιουργεί το καμπυλωμένο τμήμα του φιδιού και στις οποίες επιδρά ο στατικός συντελεστής τριβής αλλά και χαμηλές δυνάμεις στο εκτεινόμενο τμήμα λόγω του δυναμικού συντελεστή τριβής. Η συσχέτιση αυτή των συντελεστών, αποτελεί τον καθοριστικό παράγοντα για την μετακίνηση.

Πρέπει να επισημανθεί όμως, ότι χαρακτηρίζεται ως ανεπαρκής τρόπος μετακίνησης λόγω της ωστικής δύναμης που ασκείται, της στατικής τριβής και των χαμηλότερων ταχυτήτων που μπορεί να αναπτύξει. Παρόλα αυτά, η χρήση του προτιμάται σε περιορισμένους χώρους (π.χ. σήραγγες), όπου η αξιοποίηση άλλου είδους βηματισμού δεν αποτελεί λύση.

6.2.2 Μετακίνηση με πλευρικούς κυματισμούς

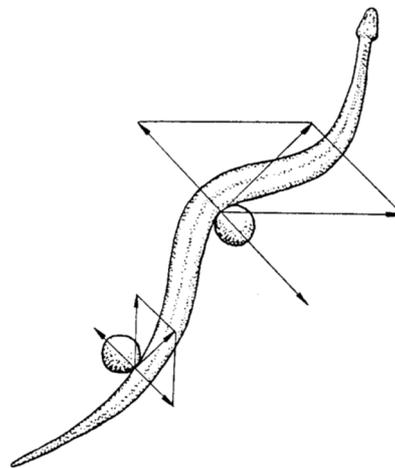
Ο πιο σύνηθες τρόπος μετακίνησης που συναντάται στα φίδια είναι εκείνος με την επίτευξη πλευρικών κυματισμών. Οι κυματισμοί αυτοί συντελούν στον συγχρονισμό όλων των τμημάτων που συμμετέχουν στη δημιουργία της κίνησης διατηρώντας συνεχώς την ολισθαίνουσα επαφή με το έδαφος. Κατά τη διάρκεια διάδοσης των κυματισμών, τα τμήματα του φιδιού τα οποία ευθύνονται για την μετακίνησή του αποκτούν την ίδια ταχύτητα και κατά συνέπεια η εξέταση μεμονωμένων σημείων στο σώμα του φιδιού κατά τη διεύθυνση του ίδιου φορέα θα προσδίδουν αποτελέσματα που θα συνεπάγονται από τη δεδομένη γεωμετρία στην οποία υπόκεινται το φίδι τη κάθε χρονική στιγμή ανάλογα με το περιβάλλον που διασχίζει.

Σε μία αποστασιοποιημένη εικόνα μπορεί να θεωρηθεί ότι επειδή η ολίσθηση και η τριβή ασκούνται κατά μήκος όλου του σώματος του φιδιού σε αντίθεση με τα βαδίζοντα ζώα όπου ένα μέρος της επιφάνειάς τους βρίσκεται σε επαφή με το έδαφος, εκείνο των πελμάτων των ποδιών, θα χαρακτηρίζονται και από αντίστοιχα μεγάλα ποσά κατανάλωσης ενέργειας. Παρόλα αυτά στοιχεία μελετών αποδεικνύουν ότι η κατανάλωση ενέργειας που δαπανάται για την μετακίνηση των φιδιών είναι συγκρίσιμη με βαδίζοντα ζώα όμοιας κλίμακας.

Η μετακίνηση με πλευρικούς κυματισμούς αποτελεί το μοναδικό τύπο ο οποίος δεν χρησιμοποιεί τη στατική επαφή μεταξύ του φιδιού και του υποστρώματος. Η ολίσθηση του φιδιού μπορεί να θεωρηθεί ότι πραγματοποιείται στα πλαίσια ενός ιδανικού μονοπατιού κατά μήκος του οποίου επιτυγχάνεται η μοναδική τροχιά. Η μετακίνηση με πλευρικούς κυματισμούς απαιτεί την ελάχιστη ύπαρξη των τριών σημείων όπου στα οποία θα συντελείται η απαιτούμενη επαφή προκειμένου να διατηρείται η συνεχόμενη προοδευτική κίνηση. Τα δύο σημεία είναι υπεύθυνα για την δημιουργία της δύναμης και το τρίτο για την ισορροπία των δυνάμεων προκειμένου να υφίσταται μία ομοιόμορφη κίνηση σε μία δεδομένη κατεύθυνση.

Οι πλευρικοί κυματισμοί θεωρούνται ακατάλληλο είδος μετακίνησης για επίπεδες, με χαμηλά ποσοστά τριβής επιφάνειες και στενούς διαδρόμους. Επιπλέον, δεν μπορεί να θεωρηθεί ταιριαστή για φίδια με βαριά σκελετική δομή διότι δεν κρίνονται ικανά να υποβάλλουν το σώμα τους στις απαιτούμενες κυρτώσεις καθώς υποχρεούνται να ανταπεξέλθουν στις απαιτητικές ανάγκες στις οποίες εμπίπτουν λόγω του περιβάλλοντος στο οποίο κινούνται με σημαντική επίπτωση τη μείωση της αποδοτικότητάς τους.

Επισημαίνεται ότι και τα βαδίζοντα αλλά και τα τροχήλατα ρομπότ χρησιμοποιούν τη στατική επαφή για την απόδοση της προώθησης αλλά η μετακίνηση με πλευρικούς κυματισμούς στα φίδια προσφέρει μια παραλλαγή χρησιμοποιώντας την ολισθαίνουσα ή τη δυναμική τριβή. Η πολυπλοκότητα στην ανατομία των φιδιών δημιουργεί ενδεχομένως κάποια προβλήματα στη συνειδητοποίηση των πλεονεκτημάτων τα οποία μπορούν να αποδοθούν στην δημιουργία των μηχανισμών για την άρτια λειτουργία του ρομπότ.

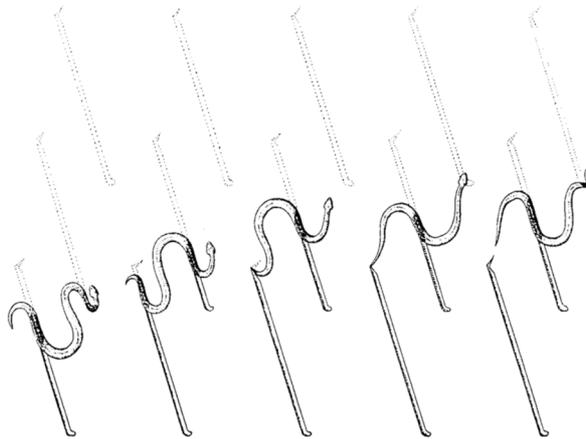


Εικόνα 6.3: Μετακίνηση βιολογικού φιδιού με πλευρικούς κυματισμούς

6.2.3 Μετακίνηση με πλαγιοδρόμηση

Η μετακίνηση των βιολογικών φιδιών με πλαγιοδρόμηση δημιουργείται από συνεχόμενα και εναλλασσόμενα κύματα πλευρικών κυρτώσεων. Επισημαίνεται, ότι ασκείται μια καθοδική δύναμη η οποία ευθύνεται για την στήριξη του σώματός τους κατά τη διάρκεια της κίνησης σε επιφάνειες όπου παρουσιάζουν χαμηλή τάση

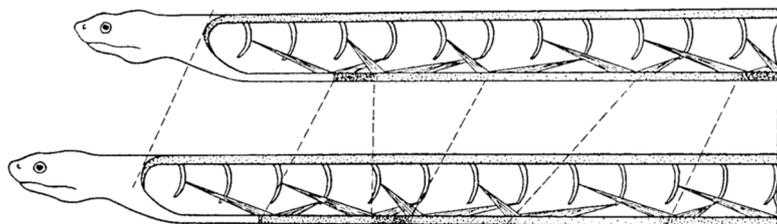
διάτμησης καθώς γίνεται και συγκρότηση κυλιόμενων στατικών επαφών προκειμένου να διασχίσουν επίπεδα υποστρώματα. Τέτοιου είδους χαρακτηριστικά εδάφη αποτελούν οι έρημοι όπου το μεγαλύτερο μέρος τους επικαλύπτεται από άμμο. Ένας ακόμη λόγος, για τον οποίο έχει αναπτυχθεί αυτό το είδος μετακίνησης των φιδιών στις ερήμους είναι και η αποφυγή των υψηλών θερμοκρασιών που αναπτύσσονται. Αποφαινεται, να είναι ένας τρόπος μετακίνησης αποτελεσματικότερος από εκείνο με τις πλευρικές κυματώσεις καθώς έχει παρατηρηθεί τα φίδια που διαθέτουν αυτό τον τρόπο μετακίνησης να διασχίζουν πολλά χιλιόμετρα συνεχόμενα.



Εικόνα 6.4: Μετακίνηση βιολογικών φιδιών με πλαγιοδρόμηση

6.2.4 Μετακίνηση με ευθύγραμμες μετατοπίσεις

Η μετακίνηση των φιδιών η οποία στηρίζεται σε ευθύγραμμες μετατοπίσεις χρησιμοποιεί την αλληλένδετη σύνδεση του δέρματος με το σκελετό. Ο συγκεκριμένος ερπυσμός χαρακτηρίζεται ως πιο αργός και παρατηρείται σε φίδια μεγαλύτερου μεγέθους όπου η κοιλιακή τους χώρα διακατέχει πρωταρχικό ρόλο σ' αυτού του είδους τη μετακίνηση. Η διασφάλιση της κίνησης επιτυγχάνεται με τις κάθετες πιέσεις οι οποίες προέρχονται από την κοιλιακή χώρα κι έχουν κατεύθυνση προς τα κάτω, συμπλέκοντας κατ' αυτόν τρόπο τις παρυφές της κοιλιάς του φιδιού στην επιφάνεια. Το σώμα πραγματοποιεί μια εμπρόσθια ολίσθηση χρησιμοποιώντας το δέρμα μέχρι να προέλθει η κανονικού επιπέδου ευθυγράμμιση με το υπόλοιπο σώμα και η κίνηση αυτή επαναλαμβάνεται.



Εικόνα 6.5 Μετακίνηση βιολογικού φιδιού με ευθύγραμμες μετατοπίσεις

7. Ρομποτικά συστήματα

Στο έναυσμα της ενασχόλησης με τα ρομποτικά συστήματα θεωρείται χρήσιμο να διατυπωθούν οι κατάλληλοι ορισμοί οι οποίοι διέπουν τα ρομπότ προκειμένου να αποδοθεί μια ολοκληρωμένη εικόνα και να προσδιοριστεί με ακρίβεια η περιγραφή τόσο των τεχνικών όσο και των φυσικών χαρακτηριστικών τους.

Μία περιγραφή η οποία καλύπτει όλο το εύρος των δραστηριοτήτων των ρομπότ προσδιορίζει το ρομπότ ως ένα ηλεκτρομηχανολογικό κατασκευάσμα, σχεδιασμένο με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε μέσω της απόδοσης του κατάλληλου κώδικα στο σύστημα ελέγχου που διαθέτει να εκτελεί κάποιο έργο όπως μεταφορά εξαρτημάτων και υλικών καθώς και την επιτέλεση ποικίλων ειδικευμένων εργασιών.

Θεωρείται χρήσιμο να γίνει μία σύντομη ανάλυση στις συνιστώσες οι οποίες συγκροτούν το γενικό σύστημα του ρομπότ.

Πιο συγκεκριμένα:

- Οι απαιτήσεις των ρομπότ για την επίτευξη των επιθυμητών κινήσεων και την παραγωγή έργου ικανοποιούνται με την ύπαρξη του μηχανολογικού υποσυστήματος. Με τη συμμετοχή των παρελκόμενων που διαθέτει το υποσύστημα αυτό όπως: αρθρώσεις, συστήματα μετάδοσης κίνησης, επενεργητές - κινητήρες, οδηγούς κλπ, συμβάλλει στην απόδοση των μηχανικών λειτουργιών. Στη διάρκεια υλοποίησης του συγκεκριμένου συστήματος πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και η παράμετρος της συντήρησης καθώς και της αντικατάστασης εξαρτημάτων σε περίπτωση που προκύψει ανάγκη για την επιδιόρθωση κάποιας βλάβης.
- Η λειτουργία των ρομπότ στηρίζεται στην αυτοματοποιημένη διαδικασία συγκέντρωσης και εξέτασης πληροφοριών σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα οι οποίες προέρχονται από το εξωτερικό περιβάλλον και τείνουν να επηρεάσουν την λειτουργία ανταπόκρισης του ρομπότ στις εκάστοτε συνθήκες. Το περιεχόμενο της παραπάνω περιγραφής καλείται να διαχειριστεί το υποσύστημα αίσθησης του ρομπότ όπου μέσω της χρήσης των κατάλληλων οργάνων μέτρησης και αισθητηρίων λαμβάνει και επεξεργάζεται τις εξωτερικές εντολές και έπειτα τις μετατρέπει στην απαιτούμενη ηλεκτρική ισχύ αποστέλλοντας την στους ηλεκτρικούς κινητήρες του ρομπότ. Το υποσύστημα αίσθησης είναι επίσης υπεύθυνο για την ενημέρωση της εσωτερικής κατάστασης του ρομπότ μέσω της παραγωγής σημάτων εξόδου.
- Η τελευταία παράμετρος αποτελεί τον θεμελιώδη λίθο για την συνοχή και αλληλουχία όλων των συστημάτων που συνδράμουν προκειμένου να επιτευχθεί η αποτελεσματική λειτουργία του ρομπότ. Το σχετικό σύστημα καλείται σύστημα ελέγχου και για την υλοποίησή του απαιτούνται συνδυαστικές γνώσεις από πολλούς τεχνολογικούς τομείς. Το συγκεκριμένο σύστημα προσφέρει στο ρομπότ τον ελεγκτή ο οποίος επιβλέπει και συντονίζει όλες τις απαραίτητες διαδικασίες προκειμένου να επέρχεται κάθε στιγμή το επιθυμητό αποτέλεσμα κατά τη διάρκεια λειτουργίας του ρομπότ.

8. Αναφορά σε κατασκευές ρομποτικών φιδιών

Αφότου προηγήθηκε μία σύντομη προεπισκόπηση για τα κυριότερα είδη ρομπότ που συναντώνται με εφαρμογή σε ποικίλες δραστηριότητες θα ήταν ωφέλιμο να πραγματοποιηθεί μία συγκεντρωτική παρουσίαση για τις προσπάθειες που έχουν υλοποιηθεί για την κατασκευή ρομποτικών φιδιών. Σε παραπάνω ενότητα έχει περιγραφεί αναλυτικότερα η φυσιολογία και οι τρόποι μετακίνησης των βιολογικών φιδιών. Ο τρόπος μετακίνησης των φιδιών εξαρτάται από την ανατομία που τα διέπει αλλά και από το περιβάλλον στο οποίο καλούνται να προσαρμοστούν.

Πιο συγκεκριμένα οι περισσότερες προσπάθειες κίνησης των ρομποτικών φιδιών τείνουν να μιμηθούν την κίνηση με πλευρικούς κυματισμούς όπου αυτό καλούνται να το επιτύχουν με τη χρήση παθητικών τροχών στο κάτω μέρος του ρομπότ. Η χρήση παθητικών τροχών όπως έχει εισάγει και ο Hirose έχει στόχο την αντίσταση στην πλευρική μετακίνηση των τμημάτων του ρομπότ.

Παρακάτω, παρουσιάζονται μερικές από τις πιο αξιοσημείωτες κατασκευές ρομποτικών φιδιών.

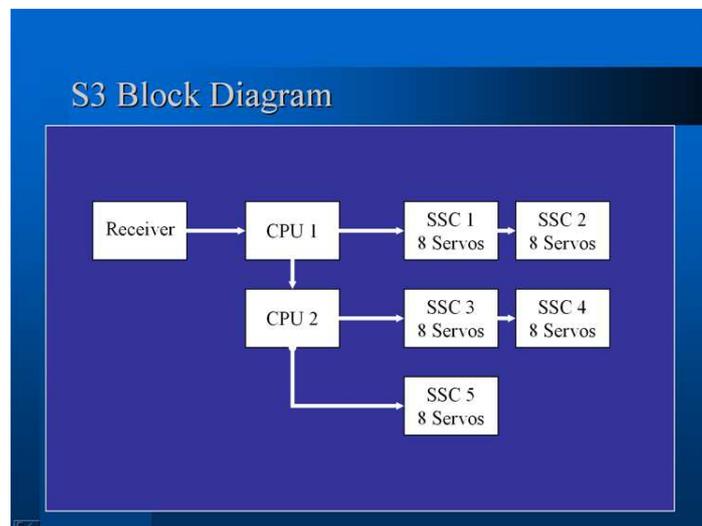
8.1 G S Miller Robots (Miller,2000 - Miller, 2002)

8.1.1 S3 Snake Robot Prototype

Το συγκεκριμένο μοντέλο ρομποτικού φιδιού διαθέτει δύο βαθμούς ελευθερίας κατά μήκος της σπονδυλικής του στήλης αποτελούμενο από καθολικές αρθρώσεις (universal joints) όπου του επιτρέπουν να εκτελεί κίνηση τόσο στον κάθετο όσο και στον οριζόντιο άξονα κατεύθυνσής του. Η ζητούμενη ενέργεια για την μετακίνησή του αποδίδεται από το ζεύγος σερβοκινητήρων που διαθέτει σε κάθε ενιαίο τμήμα του. Η κίνησή του είναι αποτέλεσμα συνδυασμού δύο διαφορετικών τρόπων μετακίνησης εκείνης με τη δημιουργία πλευρικών εκτυλίξεων (sidewinding) καθώς και με την εκτέλεση οριζόντιων κυματοειδών μορφών (undulatory). Ένα ιδιαίτερο τεχνικό χαρακτηριστικό του γνώρισμα το οποίο συμβάλλει στον άρτιο τρόπο μετακίνησής του είναι η ύπαρξη τροχού στο κάτω μέρος και στο κέντρο του κάθε συνδέσμου.



Εικόνα 8.1: S3 Snake Robot Prototype



Εικόνα 8.2: Διάγραμμα λειτουργίας κινητήρων

8.1.2 S4 Snake Robot Prototype

Στο σχετικό πειραματικό μοντέλο ρομποτικού φιδιού, έγινε προσπάθεια να υιοθετηθεί ένας διαφορετικός τρόπος μετακίνησης με την απόδοση ενός ενιαίου κινητήρα.

Το ρομπότ αποτελείται από δύο διαφορετικά συστήματα καθολικών αρθρώσεων. Τα μηχανικά μέρη του ρομπότ παρουσιάζουν μία αλληλένδετη αλληλουχία μεταξύ τους όπου η κίνηση επιτυγχάνεται μέσω της περιστροφής του ειδικού τύπου γραναζιών (worm) που διαθέτουν κι αυτά με τη σειρά τους θέτουν σε περιστροφή μία μανιβέλα η οποία συνδέει τα γειτονικά μέρη μεταξύ τους. Η διεργασία αυτή αποδίδεται στο ένα σετ καθολικών αρθρώσεων καθώς το δεύτερο σύστημα αρθρώσεων εκπονεί μία παρόμοια ενέργεια προκειμένου να ελέγξει την καθοδήγηση του ρομπότ.

Τα συστήματα των καθολικών αρθρώσεων χαρακτηρίστηκαν ακατάλληλα κατά τη διαδικασία των πειραματικών ελέγχων καθώς η συνολική ροπή που απαιτήθηκε για την

μετακίνηση του ρομπότ επέφερε την αποκόλληση των αρθρώσεων από τους άξονές τους.



Εικόνα 8.3: S4 Snake Robot Prototype

8.1.3 S5 Snake Robot Prototype

Αυτό το ρομπότ αποτελεί μία βελτιωμένη έκδοση του αντίστοιχου S3 συνοδευόμενο από μεγαλύτερες απαιτήσεις στον έλεγχο και την καλωδίωσή του λόγω της αύξησης του μήκους που επήλθε κατά το σχεδιασμό του. Η κατεργασία των συνδέσμων που απαρτίζουν το ρομποτικό φίδι πραγματοποιήθηκε με τη χρήση ψηφιακά ελεγχόμενης εργαλειομηχανής (φρέζα) κάτι στο οποίο συνέβαλε να προσεγγίσει με μεγαλύτερη ακρίβεια την επεξεργασία των τεμαχίων και να αποδώσει την επιθυμητή διατομή του όπου είναι μικρότερη από την προηγούμενη έκδοση.



Εικόνα 8.4: S5 Snake Robot Prototype

8.1.4 S7 Snake Robot Prototype (2001–2005)

Το παρόν μοντέλο ρομποτικού φιδιού αποτελεί μία προηγμένη έκδοση τόσο στο σχεδιασμό του όσο και στο ηλεκτρονικό του σύστημα. Η μετακίνηση πραγματοποιείται χωρίς την βοηθητική υποστήριξη παθητικών τροχών και για το λόγο αυτό έχει δοθεί ιδιαίτερη έμφαση στο σχεδιασμό των τμημάτων έτσι ώστε να ικανοποιούν τις απαιτούμενες συνιστώσες που θέτουν η τριβή και η αποσύζευξη από το έδαφος. Το ρομπότ περιβάλλεται από πληθώρα αισθητήρων όπου του επιτρέπουν να έχει καλύτερη αντίληψη του διανυόμενου περιβάλλοντος.

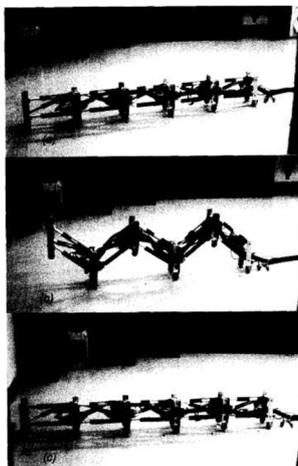


Εικόνα 8.5: S7 Snake Robot Prototype

8.1.5 Variable Geometry Truss (VGT)

Η σχετική ρομποτική διάταξη συνάδει με μία ποικιλομορφία ως προς την απόδοση των βαθμών ελευθερίας συναρτήσει των γεωμετρικών χαρακτηριστικών που απαρτίζουν το ρομπότ. Η συγκρότηση του ρομπότ περιλαμβάνει 10 όμοιες μονάδες όπου κάθε μονάδα διαθέτει 3 βαθμούς ελευθερίας με την βοήθεια 3 πρισματικών αρθρώσεων. Συνεπώς, η συνολική κατασκευή διαθέτει 30 βαθμούς ελευθερίας.

Για την ενεργοποίηση των πρισματικών αρθρώσεων υπεύθυνοι είναι οι DC σερβοκινητήρες που διαθέτει το ρομπότ και οι οποίοι ποικίλουν στο μέγεθος μ' ένα εκτεινόμενο εύρος στα 30-45 [cm] κι έχουν επίσης τη δυνατότητα να δημιουργήσουν μία δύναμη εντάσεως έως 333 [Nt]. Θεωρείται ωφέλιμο στην παρούσα κατασκευή να πραγματοποιείται εποπτεία για την μέτρηση της απόλυτης μετακίνησης κάτι το οποίο επιτυγχάνεται με την ενσωμάτωση ενός γραμμικού ποτενσιόμετρου στον κάθε ενεργοποιητή που παρέχει τη δυνατότητα κίνησης.



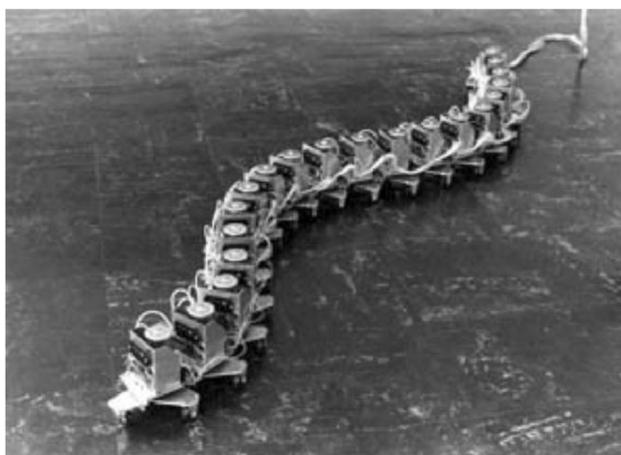
Εικόνα 8.6: Variable Geometry Truss

8.2 Hirose Lab Snake – Robots (Hirose, 2009)

8.2.1 Active cord Mechanism 3 (ACM III)

Η κατασκευαστική σύνθεση του ρομπότ αποτελείται από 20 συνδέσμους όπου ο κάθε σύνδεσμος έχει τις ακόλουθες διαστάσεις: ύψος=162 [mm], μήκος=102 [mm] και πλάτος=144 [mm] και το συνολικό του μήκος ανέρχεται στα 2 [m] και το βάρος του αγγίζει τα 28 [kg]. Σημειώνεται επίσης ότι οι σύνδεσμοι ενώνονται μεταξύ τους με την βοήθεια των ενεργών αρθρώσεων όπου παρέχουν τη δυνατότητα της μετακίνησης μέσω της αλλαγής του σχήματος του ρομπότ. Με τον τρόπο αυτό, το ρομπότ προσεγγίζει την κίνηση που εκτελούν τα βιολογικά φίδια προς τις δύο διαστάσεις του οριζόντιου καρτεσιανού επιπέδου. Μία κατασκευαστική λεπτομέρεια που συμμετέχει στην παραπάνω ικανότητα του ρομπότ είναι η προσθήκη μικρών τροχών στο κάτω σημείο της κάθε σύνδεσης.

Το ηλεκτρικό του υποσύστημα στηρίζεται στην λειτουργία των DC σερβοκινητήρων ισχύος 10 [Watt] όπου έχουν την ευθύνη για την ενεργοποίηση των αρθρώσεων του ρομπότ με την βοηθητική χρήση ενός ποτενσιόμετρου όπου διαθέτει η κάθε άρθρωση. Για την αποφυγή των εμποδίων κατά την διάρκεια κίνησης του ρομπότ χρησιμοποιούνται τερματικοί διακόπτες. Η μέγιστη εμπρόσθια ταχύτητα που έχει την δυνατότητα να αναπτύσσει το συγκεκριμένο μοντέλο είναι 400 [mm/sec].



Εικόνα 8.7: Active Cord Mechanism (ACM) III

8.2.2 ACM – R3

Η αναφορά του προηγούμενου ρομποτικού μοντέλου (**Active cord Mechanism 3 (ACM III)**) αποτέλεσε τον πρόδρομο για την δημιουργία της επόμενης βελτιωμένης έκδοσης, με ονομασία ACM – R3. Οι αισθητές διαφορές που παρουσιάζονται στο σχετικό μοντέλο είναι:

- Η δυνατότητα κίνησης σ' όλο το εύρος του γνωστού τρισδιάστατου καρτεσιανού χώρου καθώς το συγκεκριμένο μοντέλο έχει την ικανότητα να

ανυψώνει τον βάρος του κορμού του έτσι ώστε να ελίσσεται πάνω από τα εμπόδια που συναντάει.

- Η κατασκευαστική του ιδιομορφία συναντάται στις παθητικές ρόδες μεγάλης διαμέτρου (110 [mm]) που διαθέτει, με κύριο λειτουργικό χαρακτήρα την δυνατότητα κύλισης όταν έρχονται σε επαφή με εμπόδια.
- Ένα ιδιαίτερο χαρακτηριστικό που εμπεριέχει το ηλεκτρικό του σύστημα είναι η αυτονομία που διαθέτει η κάθε άρθρωση στην παροχή ισχύος καθώς οι μπαταρίες βρίσκονται ενσωματωμένες στις αρθρώσεις κάτι το οποίο οδηγεί στην παράλειψη της απαιτούμενης καλωδίωσης. Σημειώνεται ότι η κάθε μπαταρία συνοδεύεται από τον ελεγκτή της.
- Οι διαστάσεις του ύψους και του πλάτους του ρομπότ καθορίζονται από την ύπαρξη των παθητικών τροχών που όπως προαναφέρθηκε έχουν διατομή 110 [mm]. Το συνολικό του μήκος ανέρχεται στο 1,755 [m] και το βάρος του στα 12,1 [kg].



Εικόνα 8.8: Active Cord Mechanism (ACM) R3

8.2.3 ACM – R5

Την έκδοση του ρομποτικού φιδιού ACM – R3 διαδέχθηκε ένα νεότερο μοντέλο με ονομασία ACM – R5. Το συγκεκριμένο ρομπότ χαρακτηρίζεται ως αμφίβιο καθώς έχει τη δυνατότητα να κινηθεί τόσο στο έδαφος όσο και στο νερό. Η αιτία βρίσκεται στην κατασκευαστική του δομή καθώς αποτελείται από παθητικούς τροχούς αλλά και από πτερύγια που του προσδίδουν τις απαραίτητες ιδιότητες κίνησης.

Πιο συγκεκριμένα, η κύρια σκελετική του σύνθεση αποτελείται από καθολικές αρθρώσεις ενώ το ρόλο του εξωτερικού περιβλήματος εκπληρώνουν οι φυσητήρες. Οι αρθρώσεις του προσδίδουν 2 βαθμούς ελευθερίας ανά τμήμα και το ρομπότ αποτελείται συνολικά από 9 τμήματα.

Το μήκος του δεν υπερβαίνει το 1,75 [m] και η διάμετρός του τα 80 [mm]. Το βάρος του ρομπότ είναι 7,5 [kg], στοιχείο που του προσδίδει εμφανώς περισσότερα πλεονεκτήματα στην μετακίνηση συγκριτικά με το προηγούμενο μοντέλο.

Το σύστημα ελέγχου του ρομπότ καθιστά την κάθε μονάδα αυτόνομη και ανεξάρτητη καθώς η κάθε μία από αυτές περιέχει ένα μικροεπεξεργαστή για την συλλογή και ανάλυση των δεδομένων, μία μπαταρία για την απαιτούμενη τροφοδοσία ισχύος και κινητήρες.

8.2.4 Active cord mechanism – Slime model 1 ACM – S1

Ενδιαφέρον παρουσιάζει η κατασκευαστική δομή που αναπτύσσεται στο συγκεκριμένο μοντέλο ρομπότ καθώς έχει επιτευχθεί μία λεπτομερής μελέτη τόσο για την απόδοση της κίνησης όσο και για το ηλεκτρικό σύστημα μέσω του οποίου θα ελέγχεται η επιδιωκόμενη μετακίνηση.

Πιο συγκεκριμένα, οι αρθρώσεις που χρησιμοποιούνται απέχουν αρκετά από τις συνήθεις συμβατικές αρθρώσεις καθώς διαθέτουν τρεις ευέλικτες πλαστικές ράβδους οι οποίες τους προσδίδουν ευελιξία μετατοπίσεων. Επιπλέον, σημειώνεται ότι οι αρθρώσεις είναι ανεξάρτητες ως προς την κίνηση που εκτελούν καθώς η κάθε μία διαθέτει το δικό της ελεγκτή, τις μπαταρίες που τους προσδίδουν την απαιτούμενη τροφοδοσία ισχύος καθώς και ένα κινητήρα « 3 axis motor driver».

Κατά το σχεδιασμό της κατασκευής αυτής επιδιωκόμενος στόχος ήταν και η χρήση του σε υδάτινο περιβάλλον και για τον λόγο αυτό θα έπρεπε να προβλεφθεί και τρόπος για την διατήρηση της στεγανότητάς του. Την λύση φαίνεται να δίνει η τοποθέτηση ενός στεγανού δακτυλίου «o-ring» σε κάθε άρθρωση.

Σημαντική πειραματική προσθήκη θεωρείται η τοποθέτηση δύο πτερυγίων τα οποία συμβάλλουν στο να αποφευχθεί η ολίσθηση και περιστροφή του ρομπότ κατά τη διέλευσή του από ανώμαλα εδάφη. Επιπλέον, χρησιμοποιήθηκε ένα ακόμη πτερύγιο το οποίο δύναται να επιφέρει τριβή αντίθετη από εκείνη της διεύθυνσης της κίνησης.

Όπως προαναφέρθηκε η κάθε άρθρωση διαθέτει ανεξαρτησία κινήσεων και ελέγχου μέσω του αυτόνομου ελεγκτή της. Οι ελεγκτές των αρθρώσεων επικοινωνούν μεταξύ τους μέσω ενός «Controller Area Network (CAN)»

Ο έλεγχος του ρομπότ πραγματοποιείται μέσω ενός αναλογικού χειριστηρίου το οποίο αποστέλλει τις απαιτούμενες εντολές ελέγχου με την βοήθεια μίας οπτικής ίνας σε ένα μετατροπέα και στη συνέχεια τελικοί αποδέκτες είναι οι ελεγκτές της κάθε άρθρωσης που συλλέγουν τα δεδομένα. Οπτική ίνα χρησιμοποιείται επίσης για την αποστολή του εικονικού σήματος που λαμβάνει η κάμερα η οποία βρίσκεται στην κεφαλή του ρομπότ.



Εικόνα 8.9: Active Cord Mechanism Slime Model 1 ACM-S1

8.3 Anna Konda - SnakeFighter (NTNU 2008)

Η αισθητή διαφορά που παρουσιάζεται στο συγκεκριμένο ρομποτικό μοντέλο συναντάται στο σύστημα των ενεργοποιητών που χρησιμοποιεί. Το σύστημα αυτό ανταποκρίνεται με την λειτουργία υδραυλικών ενεργοποιητών οι οποίοι θέτουν σε κίνηση όλο το ρομπότ τείνοντας να προσομοιώσει τις πραγματικές κινήσεις των βιολογικών φιδιών.

Άμεση εφαρμογή βρίσκει σε θέματα πυρόσβεσης καθώς έχει την δυνατότητα να πλησιάζει δυσπρόσιτα σημεία και να ρίχνει νερό από το εμπρόσθιο μέρος του.

Οι διαστάσεις του ξεπερνούν τα συνήθη φυσιολογικά όρια για τέτοιου είδους ρομποτικές εφαρμογές, έχοντας μήκος 3 [m] και βάρος που αγγίζει τα 75 [kg] κάτι το οποίο οφείλεται στον σιδερένιο σκελετό του. Η διάμετρος του σκελετικού τμήματός του είναι 159 [mm]. Δεν θα μπορούσε να παραλειφθεί η αναφορά στους 20 βαθμούς ελευθερίας που διαθέτει.

Τα γειτονικά τμήματα ενώνονται με την βοήθεια ενός δακτυλίου ενώ σημαντικό ρόλο για την μέτρηση των γωνιών που εκτελεί η κάθε άρθρωση στο οριζόντιο επίπεδο είναι η χρήση δύο περιστροφικών ποτενσιόμετρων σε κάθε μία από αυτές.

Η μέγιστη πίεση συστήματος την οποία καλούνται να χειριστούν οι υδραυλικοί κύλινδροι που διαθέτει το ρομπότ πλησιάζει τα 100 [bar]. Ο κάθε σύνδεσμος εκτός από τους 2 υδραυλικούς κυλίνδρους διαθέτει επιπρόσθετα δύο υδραυλικές βαλβίδες προκειμένου να πραγματοποιείται ο επιθυμητός έλεγχος την αναπτυσσόμενης πίεσης απ' αυτούς.



Εικόνα 8.10: Anna Konda SnakeFighter (NTNU 2008)

8.4 Modular Robot – Uncle Sam

Το συγκεκριμένο μοντέλο ανήκει στην ευρύτερη κατηγορία των σπονδυλωτών καθώς η κατασκευαστική του δομή προτρέπει σε επαναλαμβανόμενα όμοια τμήματα τα οποία προσομοιώνουν την ανατομία και το σκελετικό σύστημα των βιολογικών φιδιών.

Το ρομπότ έχει την ικανότητα να κινείται και στις τρεις διαστάσεις. Σημαντικό ρόλο για το γεγονός αυτό έχει η συστοιχία και η αλληλουχία των συνδέσμων οι οποίοι

απαρτίζουν το ρομπότ. Ο κάθε σύνδεσμος αποτελείται από μία περιστροφική άρθρωση η οποία προσδίδει ένα βαθμό ελευθερίας κατά την διεύθυνση του άξονα που έχει τοποθετηθεί. Αξίζει να σημειωθεί, ότι κάθε σύνδεσμος διαθέτει μία διαφορά περιστροφής της τάξης των 90° σε σχέση με τον προηγούμενο σύνδεσμο που γειτνιάζει. Επίσης τα τμήματα έχουν χωριστεί ανάλογα με την διεύθυνση που αποδίδεται ο βαθμός ελευθερίας, δηλαδή οριζόντιος και κατακόρυφος. Επίσης, η ένωση των συνδέσμων μεταξύ τους πραγματοποιείται με την βοήθεια βιδών.

Για την επίτευξη της κίνησης για την περιστροφή των αρθρώσεων χρησιμοποιούνται σερβοκινητήρες με υψηλή απόδοση ροπής καθώς καλούνται να ανταποκριθούν επιτυχώς στην πρόκληση όπου η ροπή των αρθρώσεων να είναι υψηλότερη και να υπερνικήσει τις δυνάμεις του εδάφους προκειμένου το φίδι να μπορεί να κινηθεί χωρίς την βοήθεια κάποιου τεχνικού προσαρτήματος. Η απαιτούμενη επικοινωνία επιτυγχάνεται με την χρήση του κατάλληλου συστήματος RS485.

Το κύριο υλικό που χρησιμοποιήθηκε για την υλοποίηση της σχετικής κατασκευής είναι το αλουμίνιο καθώς ήταν απαραίτητο η διάταξη να έχει μικρό βάρος προκειμένου να μην αναπτύσσονται υψηλές δυνάμεις και δυσκολεύουν την αναπτυσσόμενη ροπή στις αρθρώσεις.

Σημαντική διαφορά με τα προηγούμενα μοντέλα που παρουσιάστηκαν αποτελεί η χρήση ανιχνευτή μαγνητικού τύπου encoder αντί ποτενσιόμετρου για την απαιτούμενη μέτρηση των γωνιών μεταξύ των αρθρώσεων το οποίο λαμβάνεται ως σήμα ανατροφοδότησης.



Εικόνα 8.11: Modular Robot Uncle Sam

9. Κινηματική ανάλυση ρομποτικών συστημάτων

9.1 Ορισμός

Στην ρομποτική κατά τη διάρκεια επιτέλεσης ποικίλων εργασιών θεωρείται αναγκαίο να μπορεί να περιγραφεί και να προσδιοριστεί η θέση και ο προσανατολισμός τόσο του ίδιου του ρομπότ όσο και των εργαλείων ή των αντικειμένων τα οποία καλείται να χειριστεί κατάλληλα κατά τη διάρκεια της εργασίας που του έχει ανατεθεί στο γνωστό τρισδιάστατο καρτεσιανό χώρο. Επομένως, μια πιο σαφή απόδοση για τον ορισμό της κινηματικής ανάλυσης ενός στερεού σώματος είναι η μελέτη της κίνησής του η οποία περιλαμβάνει την μαθηματική περιγραφή της θέσης και του προσανατολισμού σε κάθε δεδομένη χρονική στιγμή.

Η κινηματική ανάλυση οποιουδήποτε στερεού σώματος λαμβάνει χώρα στο εύρος ενός ορισμένου συστήματος αναφοράς χωρίς να γίνεται επιπρόσθετη μελέτη για την επιρροή των δυνάμεων ή των ροπών οι οποίες προκαλούν την κίνηση του μηχανισμού.

Την κινηματική ανάλυση των ρομποτικών συστημάτων απαρτίζουν δύο θεμελιώδεις έννοιες γνωστές και ως ορθή και αντίστροφη κινηματική αντίστοιχα.

9.2 Ορθή κινηματική

Πιο συγκεκριμένα, η ορθή κινηματική ανάλυση μπορεί να ορισθεί ως η ανάκληση των κινηματικών εξισώσεων οι οποίες διέπουν τον ρομποτικό μηχανισμό με σκοπό να γίνει ο υπολογισμός της θέσης και του προσανατολισμού του αποληκτήριου επενεργητή (της αρπάγης) του ρομπότ στο γνωστό τρισδιάστατο χώρο για δεδομένες τιμές των γωνιών των αρθρώσεων του.

Η γενική κατασκευαστική διάταξη από την οποία αποτελούνται τα περισσότερα ρομπότ περιλαμβάνει τους συνδέσμους όπου είναι ενιαία τμήματα τα οποία συνδέονται μεταξύ τους μέσω των αρθρώσεων. Ανάλογα με το είδος της κίνησης όπου επιδιώκεται να εκτελεστεί από το ρομπότ κατασκευάζονται και οι αντίστοιχες αρθρώσεις που θα του επιτρέπουν να τις εκτελεί.

Παρακάτω παρουσιάζεται μία σύντομη προεπισκόπηση των αρθρώσεων που χρησιμοποιούνται ευρέως στις ρομποτικές κατασκευές καθώς και των βαθμών ελευθερίας που εκείνες προσδίδουν:

1. Περιστροφική άρθρωση: ένας (1) βαθμός ελευθερίας (1 DOF).
2. Γραμμική (πρισματική άρθρωση): ένας (1) βαθμός ελευθερίας (1 DOF).
3. Σφαιρική άρθρωση: τρεις (3) βαθμοί ελευθερίας (3 DOF).

9.3 Κινηματικές αλυσίδες

Στο σημείο αυτό, ενδιαφέρον παρουσιάζει η αναφορά και η διάκριση των κινηματικών αλυσίδων που συναντώνται στις κατασκευαστικές δομές των ρομπότ.

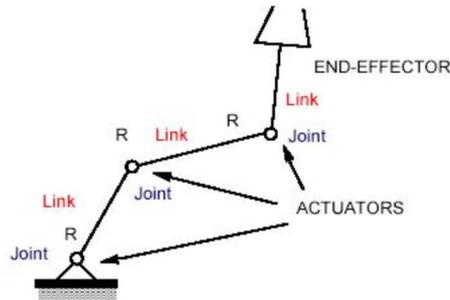
Τετριμμένα στοιχεία για την δομή της κινηματικής αλυσίδας αποτελούν τα ακόλουθα μέρη:

1. **Σύνδεσμος (link)**
2. **Άρθρωση (joint)**
3. **Κινητήριος επενεργητής (actuator)**
4. **Τελικό στοιχείο δράσης/αποληκτήριος επενεργητής (end effector)**

Ως κινηματική αλυσίδα ορίζεται το σύστημα στερεών σωμάτων που συνδέονται μέσω αρθρώσεων.

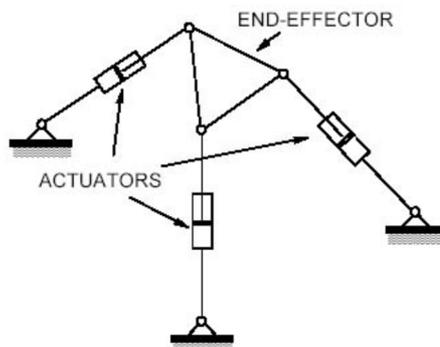
Για τον προσδιορισμό του είδους της κινηματικής αλυσίδας δίνεται βαρύτητα στον τρόπο σύνδεσης του τελικού στοιχείου δράσης με την βάση του ρομπότ. Για τον λόγο αυτό διακρίνονται δύο είδη κινηματικών αλυσίδων: η ανοικτή και η κλειστή κινηματική αλυσίδα. Για την επιθυμητή αποσαφήνιση ωφέλιμοι αποφαίνονται οι δύο παρακάτω ορισμοί των κινηματικών αλυσίδων:

- **Ανοικτή κινηματική αλυσίδα:** το τελικό στοιχείο δράσης (άκρο) και η βάση συνδέονται με μία μόνο διαδοχή συνδέσμων.



Εικόνα 9.1: Ανοικτή κινηματική αλυσίδα

- **Κλειστή κινηματική αλυσίδα:** Το τελικό στοιχείο δράσης (άκρο) και η βάση του ρομπότ συνδέονται με συνδέσμους που σχηματίζουν βρόγχους.



Εικόνα 9.2: Επίπεδος παράλληλος μηχανισμός - παράδειγμα κλειστής κινηματικής αλυσίδας

Στην περίπτωση του ρομποτικού φιδιού δεν μπορεί να γίνει επακριβής χαρακτηρισμός για το είδος της κινηματικής που το διέπει καθώς δεν διαθέτει κάποια βάση όπου το ένα άκρο του να θεωρείται σταθερό, παρ' όλα αυτά μπορεί να γίνει αναγωγή και να μελετηθεί ως ρομπότ που ανήκει στην κατηγορία της ανοικτής κινηματικής αλυσίδας λόγω της σύνδεσης που υφίσταται μεταξύ των μερών του ρομπότ.

9.4 Θέση σημειακής μάζας και στερεού σώματος στον καρτεσιανό χώρο

Έπειτα από τον ορισμό που προηγήθηκε για την ορθή κινηματική ανάλυση θεωρείται ωφέλιμο να πραγματοποιηθεί ένας επιμερισμός για τα μεγέθη και τις έννοιες οι οποίες συμβάλλουν στην μαθηματική προσέγγιση της θεωρητικής μοντελοποίησης του ρομποτικού φιδιού.

Εξετάζοντας την κίνηση των σωμάτων θα βοηθούσε η μελέτη να αναπτύσσεται κλιμακωτά ως προς το μέγεθός τους. Πιο συγκεκριμένα:

Αρχικά, τη θέση της σημειακής μάζας στο γνωστό καρτεσιανό χώρο την διέπει ο ακόλουθος μαθηματικός ορισμός:

$$p = \begin{bmatrix} i \\ j \\ h \end{bmatrix} \in R,$$

όπου μπορεί να εκφραστεί συνάμα και με το ακόλουθο διανυσματικό άθροισμα: $p = i\bar{i} + j\bar{j} + h\bar{h}$, όπου τα: i, \bar{j}, \bar{h} αποτελούν τα μοναδιαία διανύσματα του αδρανειακού συστήματος συντεταγμένων και εκφράζονται ως ακολούθως:

$$\bar{i} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \bar{j} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} \text{ \& } \bar{h} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

Μεταβαίνοντας στην έννοια του στερεού σώματος τίθενται και το ζήτημα του προσανατολισμού κάτι το οποίο δεν έχει υπόσταση κατά την περιγραφή της σημειακής μάζας.

Γενικεύοντας, το διάνυσμα $p_{AB} \in R^3$ περιγράφει την θέση του στερεού σώματος στον τρισδιάστατο καρτεσιανό χώρο ενώ ο πίνακας στροφής R_{AB} περιγράφει τον προσανατολισμό του στερεού σώματος.

Με τον συμβολισμό του «AB» στο δείκτη του συμβολισμού των διανυσμάτων αποτυπώνονται επιγραμματικά τα αδρανειακά πλαίσια συντεταγμένων στα οποία γίνεται αναφορά.

9.5 Πίνακας στροφής – προσανατολισμός στερεού σώματος

Όπως περιεγράφηκε και στην παραπάνω ενότητα ο προσανατολισμός είναι ένα αναπόσπαστο μέγεθος για την ακριβή περιγραφή της κίνησης ενός στερεού σώματος κι ένας άμεσος τρόπος για την γνώση του αποτελεί ο πίνακας στροφής.

Στην περίπτωση του robot snake θεωρείται αναγκαίο κάθε δεδομένη χρονική στιγμή να είναι γνωστός ο προσανατολισμός του διότι πρέπει να ελέγχεται μέσω του κώδικα η μεταβαλλόμενη τιμή που λαμβάνεται για τη γωνία στροφής που θα εκτελείται από τους σερβομηχανισμούς. Ο λόγος είναι ότι οι μηχανισμοί που μεταδίδουν την κίνηση παρουσιάζουν μία αλληλένδετη και άμεσα επηρεαζόμενη σύνδεση μεταξύ τους. Κατά τη λειτουργία τους θα πρέπει να διασφαλίζεται η ομαλή ροή στην μετάδοση της κίνησης από άρθρωση σε άρθρωση ακόμα και στην περίπτωση των ακροτάτων ορίων των τιμών από την εμφάνιση ενός πιθανού ελιγμού.

Ο πίνακας στροφής R_{AB} εκφράζεται με την βοήθεια των παρακάτω μοναδιαίων διανυσμάτων. Πιο αναλυτικά:

$$R_{AB} = [i_{AB} \ j_{AB} \ h_{AB}], \text{ όπου:}$$

$$i_{AB} = \begin{bmatrix} \bar{i}_A & \bar{i}_B \\ \bar{j}_A & \bar{j}_B \\ \bar{h}_A & \bar{h}_B \end{bmatrix}, j_{AB} = \begin{bmatrix} \bar{i}_A & \bar{j}_B \\ \bar{j}_A & \bar{j}_B \\ \bar{h}_A & \bar{j}_B \end{bmatrix}, h_{AB} = \begin{bmatrix} \bar{i}_A & \bar{h}_B \\ \bar{j}_A & \bar{h}_B \\ \bar{h}_A & \bar{h}_B \end{bmatrix}$$

Οι παραπάνω στήλες εκφράζουν τις προβολές των μοναδιαίων διανυσμάτων πάνω στους άξονες των αδρανειακών πλαισίων συντεταγμένων. Ο υπολογισμός αυτών των

προβολών πραγματοποιείται με την βοήθεια του εσωτερικού γινομένου κάθε μοναδιαίου διανύσματος μεταξύ των σχετικών πλαισίων συντεταγμένων A και B.

Τη σχέση του προσανατολισμού μεταξύ των πλαισίων συντεταγμένων την εκφράζει η ακόλουθη μαθηματική διατύπωση με την βοήθεια των πινάκων στροφής και της ιδιότητας που αυτοί φέρουν ως προς την αναστροφή τους.

$$R_{AB} = (R_{AB})'$$

9.6 Συμβάσεις κατασκευαστικών προδιαγραφών στην κινηματική ανάλυση

Επεκτείνοντας την ανάλυση, συναντάται η έννοια του στερεού σώματος. Στην περίπτωση της παρούσης πτυχιακής εργασίας ως στερεό σώμα θεωρείται κάθε ενιαίος μεταλλικός σύνδεσμος όπου εμπεριέχει δύο κινητήριους επενεργητές (servo κινητήρες) και ενώνεται μέσω περιστροφικών αρθρώσεων με τους υπόλοιπους συνδέσμους δημιουργώντας μία αλυσιδωτή αλληλουχία από έξι όμοια τμήματα τα οποία απαρτίζουν το ρομπότ και ένα επιπλέον σύνδεσμο όπου αποτελεί το κεφάλι του robot snake.

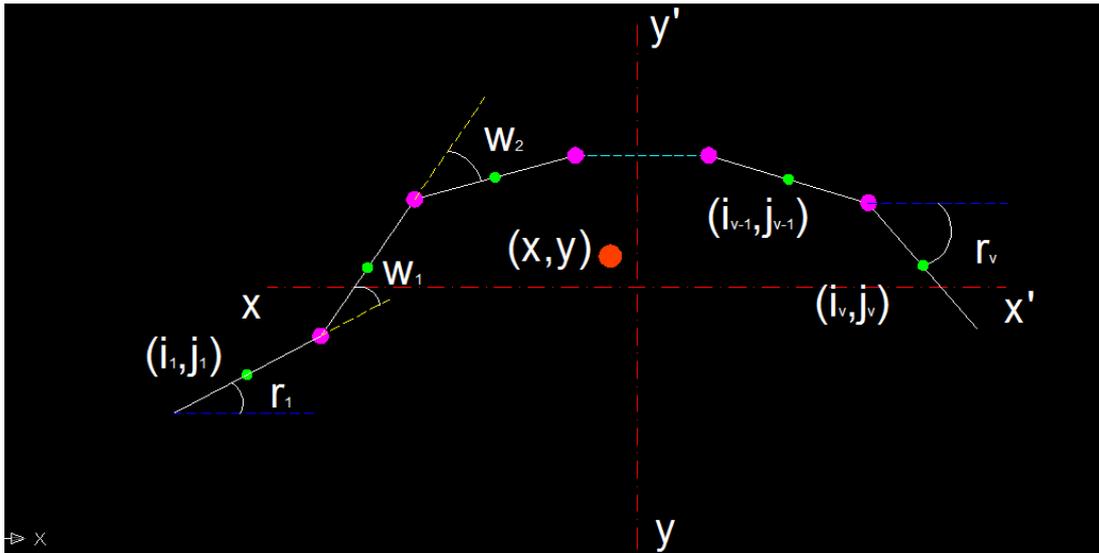
Πιο αναλυτικά, ο κάθε σύνδεσμος ενώνεται με δύο αρθρώσεις όπου η κάθε μία του προσδίδει από ένα περιστροφικό βαθμό ελευθερίας προς διαφορετική κατεύθυνση ως προς τους νοητούς εγκάρσιους μεταξύ τους άξονες x και y. Το ρομπότ περιέχει συνολικά 12 περιστροφικές αρθρώσεις ανά έξι όμοιες.

10. Μοντελοποίηση ρομποτικού φιδιού

Στο σημείο αυτό, θεωρείται ωφέλιμο, αφού δόθηκαν κάποιες επεξηγηματικές έννοιες οι οποίες συσχετίζονται άμεσα με την μαθηματική ανάλυση η οποία επιδιώκει την μοντελοποίηση του ρομποτικού φιδιού να γίνει μία επιπλέον εμβάθυνση συνοδευόμενη από τις παραμέτρους που διέπουν το ρομπότ.

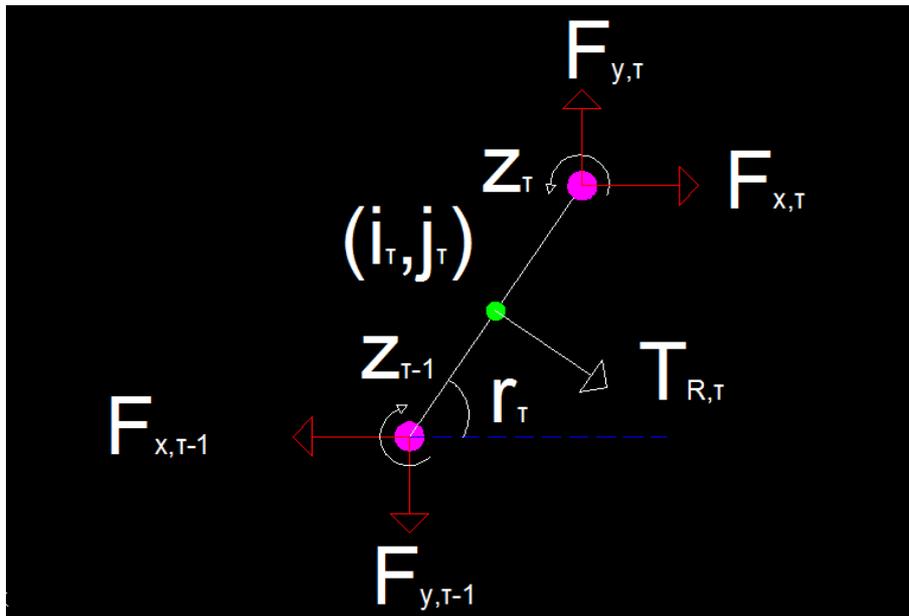
Ως αφετηρία για την μαθηματική μοντελοποίηση θεωρείται αναγκαίο να οριστούν και να αποδεχτούν κάποιες τετριμμένες αρχές και ορισμοί που συναντώνται κατά την διάρκεια της μαθηματικής ανάλυσης.

Πιο συγκεκριμένα, το ρομποτικό φίδι αποτελείται από \mathbf{n} ενιαίους συνδέσμους όπου θεωρείται ότι όλοι οι σύνδεσμοι έχουν ίση μάζα και ομοιόμορφα κατανεμημένη έτσι ώστε το γεωμετρικό κέντρο του συνδέσμου να συμπίπτει και να ταυτίζεται με το κέντρο μάζας του. Κοινή θεωρείται ακόμα και η ροπή αδράνειας που διέπει τον κάθε σύνδεσμο και η οποία εκφράζεται ως $J = \frac{1}{3} ml^2$. Το μήκος του κάθε συνδέσμου αναπαρίσταται με $2l$ ενώ το πλάτος του δεν επηρεάζει την ανάλυση για τον έλεγχο του ρομπότ. Οι αρθρώσεις που απαρτίζουν το ρομπότ είναι $\mathbf{n-1}$. Οι κινηματικές παράμετροι που διέπουν το ρομπότ μπορούν να κατανοηθούν καλύτερα έπειτα από το ακόλουθο σχεδιάγραμμα, θεωρώντας την επιφάνεια που κινείται οριζόντια και επίπεδη με $\mathbf{n+2}$ βαθμούς ελευθερίας.



Εικόνα 10.1: Κινηματικοί παράμετροι ρομποτικού φιδιού

Για την περαιτέρω κατανόηση ενδιαφέρον παρουσιάζει και το διάγραμμα ελευθέρου σώματος ενός τυχαίου συνδέσμου του ρομπότ με τις δύο αρθρώσεις στα άκρα του να παράγουν την απαραίτητη ροπή.



Εικόνα 10.2: Διάγραμμα ελευθέρου σώματος συνδέσμου robot snake

Προκειμένου να απλουστευθεί η μαθηματική ανάλυση, κρίνεται αναγκαίο να εισαχθεί ο παρακάτω πίνακας με τα αναλυόμενα μεγέθη και τις επεξηγηματικές περιγραφές τους.

Συμβολισμός μεγέθους	Περιγραφή μεγέθους	Πεδίο ορισμού μεγέθους
ν	Πλήθος ενιαίων συνδέσμων ρομπότ	
$2l$	Μήκος ενιαίου συνδέσμου	
m	Μάζα συνδέσμου	
J	Ροπή αδράνειας κάθε συνδέσμου	
r_τ	Γωνία που σχηματίζεται ανάμεσα στο σύνδεσμο «τ» και τον άξονα x	$r \in R^\nu$
w_τ	Η σχετική γωνία του συνδέσμου «τ»: $w_\tau = r_\tau - r_{\tau+1}$	$w \in R^{\nu-1}$
(i,j)	Συντεταγμένες του κέντρου μάζας του συνδέσμου «τ»	$i, j \in R^\nu$
(x,y)	Καθολικές συντεταγμένες του κέντρου μάζας του ρομπότ	$x, y \in R^2$
Z_τ	Ροπή του επενεργητή στον σύνδεσμο «τ» που προκαλείται από τον σύνδεσμο τ+1	$Z \in R^{\nu-1}$
$T_{R,x,\tau}$	Δύναμη τριβής στον σύνδεσμο «τ» στην διεύθυνση του x	$T_{R,x} \in R^\nu$
$T_{R,y,\tau}$	Δύναμη τριβής στον σύνδεσμο «τ» στην διεύθυνση του y	$T_{R,y} \in R^\nu$
$F_{x,\tau}$	Δύναμη σύζευξης που αναπτύσσεται στον σύνδεσμο «τ» από το σύνδεσμο τ+1 κατά την διεύθυνση του άξονα x	$F_x \in R^{\nu-1}$
$F_{y,\tau}$	Δύναμη σύζευξης που αναπτύσσεται στον σύνδεσμο «τ» από το σύνδεσμο τ+1 κατά την διεύθυνση του άξονα y	$F_y \in R^{\nu-1}$
$F_{x,\tau-1}$	Δύναμη σύζευξης που αναπτύσσεται στον σύνδεσμο «τ» από το σύνδεσμο τ-1 κατά την διεύθυνση του άξονα x	$F_x \in R^{\nu-1}$
$F_{y,\tau-1}$	Δύναμη σύζευξης που αναπτύσσεται στον σύνδεσμο «τ» από το σύνδεσμο τ-1 κατά την διεύθυνση του άξονα y	$F_y \in R^{\nu-1}$

Με τους παρακάτω πίνακες D και A αποτυπώνονται οι διανυσματικοί συντελεστές οι οποίοι εκφράζουν τα πρόσημα της διαφοράς και του αθροίσματος:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 1 & & \\ & \ddots & & \\ & & 1 & 1 \end{bmatrix} \text{ και } D = \begin{bmatrix} 1 & -1 & & \\ & \ddots & & \\ & & 1 & -1 \end{bmatrix}, \text{ όπου } A, D \in R^{(\nu-1) \times \nu}$$

Το διάνυσμα e αποτελεί την βάση προκειμένου να κατασκευαστεί ο πίνακας E. Πιο συγκεκριμένα:

$$e = [1 \dots 1]' \in R^\nu \text{ και } E = \begin{vmatrix} e & 0_{\nu \times 1} \\ 0_{\nu \times 1} & e \end{vmatrix} \in R^{2(\nu) \times 2}$$

Βάσει του παραπάνω σχήματος που απεικονίζει τις γεωμετρικές παραμέτρους του ρομπότ μπορεί να αναλυθεί και η γωνία r_τ μεταξύ οποιουδήποτε τυχαίου συνδέσμου και του άξονα x.

$$\sin r = [\sin r_1, \dots, \sin r_\nu]' \text{ και } \cos r = [\cos r_1, \dots, \cos r_\nu]' \text{ , όπου } \sin r, \cos r \in R^\nu.$$

Με την βοήθεια των παραπάνω ορισμάτων προκύπτουν και οι διαγώνιοι πίνακες. Η κατασκευή τους υλοποιείται με την βοήθεια του τελεστή *diag* καθώς τα στοιχεία που χρησιμοποιούνται σαν ορίσματα βρίσκονται στην κύρια διαγώνιο του.

$$L_r = \text{diag}(\sin r) \text{ και } V_r = \text{diag}(\cos r), \text{ όπου } L_r, V_r \in R^{v \times v}.$$

Για την γωνία r ισχύουν ακόμη και τα ακόλουθα διανυσματικά ορίσματα με τη χρήση του τελεστή sgn που αποτυπώνονται στους παρακάτω πίνακες:

$$sgnr = [sgnr_1, \dots, sgnr_v]' \in R^v \text{ και } r^2 = [r_1^2, \dots, r_v^2] \in R^{v \times v}$$

Για τις γωνίες που συναντώνται στο ρομποτικό φίδι μπορούν να επισημανθούν επιπλέον τα ακόλουθα:

Ο προσανατολισμός του συνδέσμου ως προς το σύστημα συντεταγμένων που διέπει το ρομπότ κατά τη διάρκεια της κίνησης του, αποδίδεται στη γωνία που σχηματίζει ο σύνδεσμος με τον άξονα x και συμβολίζεται r_τ σύμφωνα και με τον παραπάνω πίνακα. Πιο μαθηματικά, αυτό αποτυπώνεται ως εξής:

$$\bar{r} = \frac{1}{v} \sum_{\tau=1}^v r_\tau, \text{ όπου } \bar{r} \in R.$$

Αντίθετα, η γωνία της άρθρωσης παρουσιάζει τη διαφορά που αναπτύσσεται μεταξύ των δύο γειτονικών συνδέσμων και η μαθηματική διατύπωση που την ορίζει διαφαίνεται παρακάτω:

$$w_\tau = r_\tau - r_{\tau+1}$$

Όπως περιγράφηκε παραπάνω το γεωμετρικό κέντρο του συνδέσμου ταυτίζεται με το κέντρο μάζας αυτού και κατ' επέκταση με το τοπικό σύστημα συντεταγμένων που τον διέπει. Η άμεση συσχέτιση και μετάβαση από το καθολικό σύστημα συντεταγμένων στο τοπικό σύστημα ορίζεται με την βοήθεια του παρακάτω πίνακα:

$$R_{link,\tau}^{global} = \begin{bmatrix} \cos r_\tau & -\sin r_\tau \\ \sin r_\tau & \cos r_\tau \end{bmatrix}$$

Ενδιαφέρον παρουσιάζει και η εύρεση του συνολικού κέντρου μάζας του ρομπότ ως προς τις καθολικές του συντεταγμένες. Αυτό αποτυπώνεται μαθηματικά ως ακολούθως:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{v * m} & \sum_{\tau=1}^v m * i \\ \frac{1}{v * m} & \sum_{\tau=1}^v m * j \end{bmatrix} = \frac{1}{v} \begin{bmatrix} e'X \\ e'Y \end{bmatrix}$$

Μία ακόμα παράμετρος η οποία συσχετίζεται άμεσα και με τον έλεγχο του ρομποτικού φιδιού, αποτελεί η ταχύτητα αυτού, η οποία ορίζεται με την βοήθεια των συνιστωσών του κέντρου μάζας του ρομπότ (\bar{x}, \bar{y}) όπου εκτείνονται κατά μήκος της διεύθυνσής του όπως έχει οριστεί προηγουμένως \bar{r} . Η ταχύτητα αναπαρίσταται ως $\bar{v}_\tau \in R$. Μαθηματικά ορίζεται ως :

$$\bar{v}_\tau = \bar{x} \cos \bar{r} + \bar{y} \sin \bar{r}$$

Ολοκληρώνοντας την ανάλυση για τις παραμέτρους που διέπουν τον ρομποτικό μηχανισμό θεωρείται χρήσιμο να γίνει αναφορά στους περιορισμούς που υπόκεινται οι δύο (τυχαίοι) γειτονικοί σύνδεσμοι μεταξύ τους $(\tau, \tau + 1)$ όπου $\tau \in \{1, \dots, n\}$. Οι περιορισμοί αυτοί περιγράφονται με την βοήθεια των ακόλουθων μαθηματικών σχέσεων:

$$\dot{i}_{\tau+1} - \dot{i}_{\tau} = l * \cos r_{\tau} + l * \cos r_{\tau+1}$$

$$\dot{j}_{\tau+1} - \dot{j}_{\tau} = l * \sin r_{\tau} + l * \sin r_{\tau+1}$$

10.1 Ανάλυση τριβής ρομποτικού φιδιού

Η εμπρόσθια μετακίνηση του ρομπότ επιτυγχάνεται με την ανάπτυξη των δυνάμεων τριβής που ασκούνται ανάμεσα στο κάτω μέρος των συνδέσμων του ρομπότ και το εδάφους. Η ανάλυση των δυνάμεων τριβής υπόκεινται σ' ένα επιμερισμό δύο μοντέλων.

Το μοντέλο τριβής Coulomb που εμφανίζεται σε κάθε σύνδεσμο αναπτύσσει την δομή του στην ανάλογη σχέση που αποτυπώνεται μεταξύ του βάρους του συνδέσμου και της δύναμης τριβής που ασκείται σ' αυτόν και παρουσιάζει μεγαλύτερη ακρίβεια και αξιοπιστία συγκριτικά με το απλουστευμένο μοντέλο ιξώδους τριβής.

10.2 Απλουστευμένο μοντέλο ιξώδους τριβής

Κατά το έναυσμα ανάλυσης του απλουστευμένου μοντέλου ιξώδους τριβής καθορίζεται ως βασική παραδοχή ότι οι δυνάμεις ασκούνται στο κέντρο μάζας των συνδέσμων. Επιπλέον, η δύναμη τριβής που ασκείται σε κάθε σύνδεσμο και είναι υπεύθυνη για την εμπρόσθια μετακίνηση του ρομπότ είναι ανισοτροπική. Αυτό συνεπάγεται ότι οι δυνάμεις που ασκούνται κατά την διεύθυνση του άξονα x και y είναι διαφορετικές. Οι συντελεστές λ_x και λ_y περιγράφουν την διεύθυνση της τριβής κατά την επαφτομενική και κανονική φορά αντίστοιχα.

Μαθηματικά, η συνολική δύναμη τριβής που ασκείται σε κάθε τυχαίο σύνδεσμο (τ) του ρομπότ εκφράζεται ως ακολούθως:

$$\begin{bmatrix} T_{R,x,\tau} \\ T_{R,y,\tau} \end{bmatrix} = -m \begin{bmatrix} \cos r_{\tau} & -\sin r_{\tau} \\ \sin r_{\tau} & \cos r_{\tau} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda_{x,\tau} & 0 \\ 0 & \lambda_{y,\tau} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos r_{\tau} & -\sin r_{\tau} \\ \sin r_{\tau} & \cos r_{\tau} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{i}_{\tau} \\ \dot{j}_{\tau} \end{bmatrix}$$

Έπειτα από την ανάπτυξη του μαθηματικού μοντέλου που συσχετίζεται με τις δυνάμεις τριβής που ασκούνται στους συνδέσμους του ρομποτικού φιδιού ακολουθεί ο ορισμός για την συνολική ροπή τριβής που εφαρμόζεται γύρω από το κέντρο μάζας του κάθε τυχαίου συνδέσμου (τ) είναι:

$$M_{\tau} = \frac{-m * l^2}{3} * \lambda_{y,\tau} * \dot{r}_{\tau} = -\lambda_{y,\tau} * J * \dot{r}_{\tau}$$

Μεταβαίνοντας τώρα στην συνολική αλληλουχία των συνδεδεμένων συνδέσμων αυτό περιγράφεται μαθηματικά ως ακολούθως:

$$M_{\Sigma} = -D_M * \dot{r} = -\lambda_y * J * \dot{r}$$

Για την κατάλληλη επιλογή του πρόσημου στους υπολογισμούς θεωρείται αυθαίρετα ως θετική διεύθυνση η φορά του ρολογιού.

10.3 Μοντέλο τριβής Coulomb

Προτού παρουσιαστεί το μαθηματικό μοντέλο της δύναμης τριβής που ασκείται στον κάθε σύνδεσμο, θεωρείται αναγκαίο να οριστούν οι ακόλουθοι συντελεστές. Πιο συγκεκριμένα:

$\kappa_{x,\tau}$ και $\kappa_{y,\tau}$ είναι οι συντελεστές τριβής Coulomb κατά την εφαπτομενική και κανονική κατεύθυνση αντίστοιχα. Το g θεωρείται ο συντελεστής βαρύτητας.

Εξετάζοντας την συνολική δύναμη τριβής που ασκείται στον οποιοδήποτε τυχαίο σύνδεσμο « τ » του ρομποτικού φιδιού, αποτυπώνεται μαθηματικά ως ακολούθως:

$$\begin{bmatrix} T_{R,x,\tau} \\ T_{R,y,\tau} \end{bmatrix} = g \begin{bmatrix} \kappa_{x,\tau} & 0 \\ 0 & \kappa_{y,\tau} \end{bmatrix} \int_{-l}^l \frac{m}{2l} \begin{bmatrix} \text{sgn}(\tilde{v}_{x,\tau}) \\ \text{sgn}(\tilde{v}_{y,\tau}) \end{bmatrix} ds ,$$

όπου οι μετασχηματισμοί $\tilde{v}_{x,\tau}$ και $\tilde{v}_{y,\tau}$ ορίζονται ως :

$$\begin{bmatrix} (\tilde{v}_{x,\tau}) \\ (\tilde{v}_{y,\tau}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos r_{\tau} & \sin r_{\tau} \\ -\sin r_{\tau} & \cos r_{\tau} \end{bmatrix}$$

Αποδίδοντας μαθηματικά την συνολική ροπή τριβής που ασκείται γύρω από το κέντρο μάζας οποιοδήποτε τυχαίου συνδέσμου « τ » του ρομπότ, ισχύει ότι:

$$M_{\tau} = \int s dT_{R,y,\tau} = \frac{-\kappa_{y,\tau} * m * g}{2l} \int_{-l}^l \text{sgn}(\tilde{v}_{y,\tau}) s ds$$

Μεταβαίνοντας στη μαθηματική σχέση που περιγράφει την συνολική ροπή τριβής, προκύπτει ότι:

$$M_{\Sigma} = -\frac{1}{2} * \kappa_y * M * g * L dsz ([-S_r \ C_r] \dot{z}, L \dot{r})$$

Όπου:

- $L: \text{diag} (l_1, \dots, l_{\tau})$
- $M: \text{diag} (m_1, \dots, m_{\tau})$
- $S_r: \text{diag} (\sin r_1, \dots, \sin r_{\tau})$
- $C_r: \text{diag} (\cos r_1, \dots, \cos r_{\tau})$

Όπως έχει περιγραφεί και παραπάνω ο τελεστής «*diag*» υποδηλώνει ένα διαγώνιο πίνακα με τα δεδομένα ορίσματα του να αποτελούν στοιχεία της κύριας διαγωνίου του.

10.4 Δυναμικές εξισώσεις

Σημαντικό μέρος της μαθηματικής ανάλυσης του ρομποτικού φιδιού, καταλαμβάνουν οι εξισώσεις κίνησης που το διέπουν.

Αρχικά, παρουσιάζονται οι εξισώσεις της ισορροπίας ισχύος για κάθε τυχαίο σύνδεσμο "τ" του ρομποτικού φιδιού.

$$m\ddot{x}_\tau = T_{R,x,\tau} + F_{x,\tau} - F_{x,\tau-1}$$

$$m\ddot{y}_\tau = T_{R,y,\tau} + F_{y,\tau} - F_{y,\tau-1}$$

Οι εξισώσεις ισορροπίας μπορούν να εκφραστούν και συνολικά για όλους τους συνδέσμους με την βοήθεια των κατάλληλων πινάκων:

$$m\ddot{x} = T_{R,x} + D'F_x$$

$$m\ddot{y} = T_{R,y} + D'F_y$$

Παρακάτω, αποτυπώνονται οι εξισώσεις που συσχετίζονται με τις επιταχύνσεις των συνδέσμων συναρτήσει του μήκους και των γωνιών μεταξύ των συνδέσμων και του άξονα των x:

$$D\ddot{x} = l * A (V_r \dot{r}^2 + L_r \ddot{r})$$

$$D\ddot{y} = l * A (L_r \dot{r}^2 + V_r \ddot{r})$$

Στο επόμενο βήμα εξετάζεται η ισορροπία τριβής για κάθε τυχαίο σύνδεσμο. Αυτό εκφράζεται με την παρακάτω εξίσωση:

$$J\ddot{r}_\tau = z_\tau - z_{\tau-1} - l * \sin r_\tau (F_{x,\tau} + F_{x,\tau-1}) + l * \cos r_\tau (F_{y,\tau} + F_{y,\tau-1})$$

Με την βοήθεια των κατάλληλων πινάκων μπορούν να οριστεί η σχετική εξίσωση για όλους τους συνδέσμους του ρομπότ:

$$J\ddot{r} = D' * z - l * L_r * A' * F_x + l * V_r * A' * F_y$$

Τέλος, περιγράφοντας την δυναμική ανάλυση του ρομποτικού φιδιού σ' ένα συνοπτικό τύπο που να συσχετίζει άμεσα όλα τα απαραίτητα δυναμικά στοιχεία του, προκύπτει το ακόλουθο αποτέλεσμα:

$$vm(\ddot{x}, \ddot{y}) = vm \begin{bmatrix} \ddot{x} \\ \ddot{y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e' & T_{R,x} \\ e' & T_{R,y} \end{bmatrix} = E'T_R$$

Όπου ως δύναμη τριβής μπορεί να θεωρηθεί τόσο η δύναμη τριβής Coulomb όσο και η δύναμη απλούς ιξώδους τριβής που έχει περιγραφεί στα παραπάνω μοντέλα.

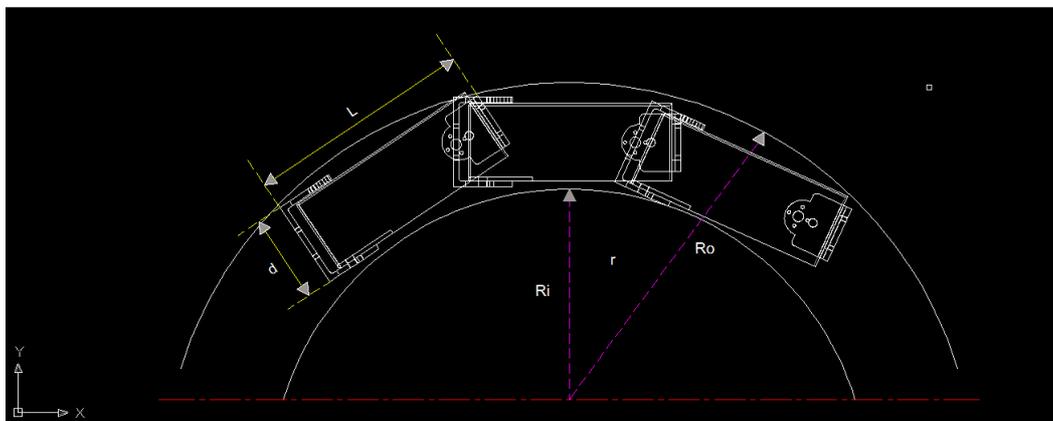
11. Σχεδιαστικό μέρος

11.1 Γεωμετρία σχεδίασης

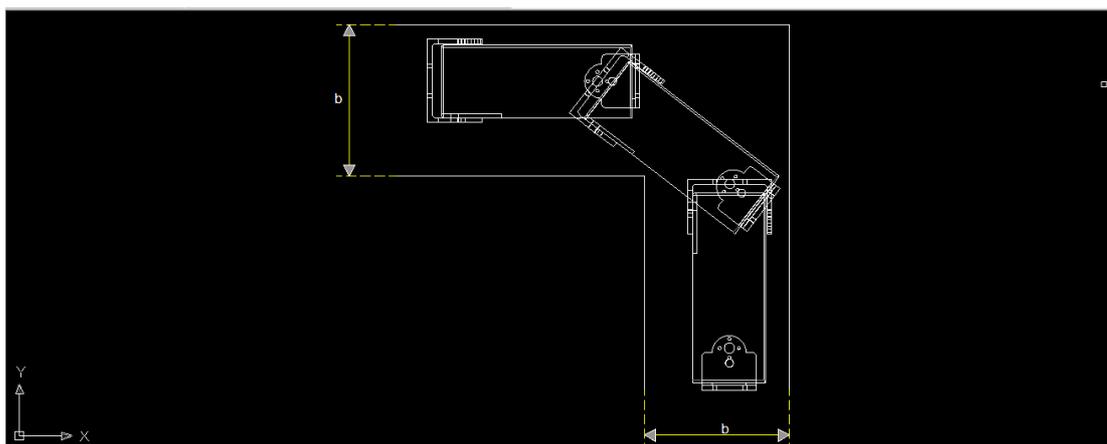
Όπως παρουσιάστηκε και στο κεφάλαιο το οποίο συσχετίζεται με την ανατομία των βιολογικών φιδιών η κύρια σκελετική δομή αποτελείται από μία αλληλουχία όμοιων σπονδύλων οι οποίοι υπόκεινται σε μικρές κυρτώσεις του σώματος λόγω του μικρού μεγέθους που διαθέτουν διατηρώντας μικρή γωνιακή κίνηση μεταξύ τους.

Η παραπάνω συσχέτιση με τα βιολογικά φίδια οφείλεται στην μελέτη για τον λόγο που προκύπτει μεταξύ του μήκους των συνδέσμων σε σχέση με το εύρος της γωνίας που υπόκεινται οι αρθρώσεις.

Μια σχέση που εκδηλώνεται ανάμεσα στις αρθρώσεις και τους συνδέσμους είναι ότι η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ των συνδέσμων στο εύρος ενός κυκλικού τόξου πρέπει να ισούται με το τόξο της γωνίας διαιρεμένη από τον αριθμό των τμημάτων σ' αυτό το τόξο.



Εικόνα 11.1: Λόγος πλευράς συνδέσμου & γωνίας άρθρωσης σε γεωμετρικό τόξο



Εικόνα 11.2: Δεξιά στροφή ρομποτικού φιδιού σε διάδρομο

Η αναφορά στα σύμβολα των παραπάνω διαγραμμάτων έχει την ακόλουθη επεξηγηματική σημασία. Πιο συγκεκριμένα:

L: το μήκος του συνδέσμου

d : η διάμετρος (ή το πλάτος) του κάθε συνδέσμου
 r : η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ των συνδέσμων
 R_i : η εσωτερική ακτίνα του τόξου του κυκλικού διαδρόμου
 R_o : η εξωτερική ακτίνα του τόξου του κυκλικού διαδρόμου
 b : το πλάτος του ευθύγραμμου διαδρόμου

Τα παραπάνω μεγέθη μπορούν να περιγραφούν με την βοήθεια εξισώσεων όπου προσδιορίζουν την ικανότητα διάβασης ανάλογα με τα χαρακτηριστικά που διέπουν το ρομποτικό φίδι.

Αναλυτικότερα, η εξωτερική ακτίνα του τόξου του κυκλικού διαδρόμου, περιγράφεται ως εξής:

$$R_o = \sqrt{\left(\frac{L}{2}\right)^2 + (R_i + d)^2}$$

Αντίστοιχα, για την εσωτερική ακτίνα του τόξου του κυκλικού διαδρόμου, ισχύει ότι:

$$R_i = \frac{L}{2 \tan \frac{r}{2}} - \frac{d}{2}$$

Για το πλάτος του ευθύγραμμου διαδρόμου, ισχύει ότι:

$$b = R_o - \frac{\sqrt{2}}{2} R_i$$

Τώρα, αντικαθιστώντας τις σχέσεις R_o και R_i στην εξίσωση του πλάτους του διαδρόμου b προκύπτει η συσχέτιση με το μήκος του συνδέσμου και των γωνιών που σχηματίζονται μεταξύ αυτών. Θέτοντας τη διάμετρο του συνδέσμου ίση με ένα (1), τότε προκύπτει η ακόλουθη σχέση:

$$b = \frac{1}{2} \sqrt{L^2} + 4 \left(\frac{L}{2 \tan \frac{r}{2}} - \frac{1}{2} \right)^2 + \frac{4L}{\tan \frac{r}{2}} + \frac{\sqrt{2}}{2} \left(\frac{L}{2 \tan \frac{r}{2}} - \frac{1}{2} \right)$$

11.2 Ερπετοειδής κίνηση

Για τον απαραίτητο έλεγχο του ρομποτικού φιδιού είναι αναγκαίο να μελετηθεί η επιδιωκόμενη κίνηση που θα καταβάλλει και να γίνει μία συσχέτιση ως προς τα βιολογικά φίδια. Η συσχέτιση αυτή μπορεί να επιτευχθεί ως ένα βαθμό μεταβάλλοντας τις σχετικές γωνίες του ρομποτικού φιδιού, σύμφωνα με την ακόλουθη μαθηματική σχέση:

$$\varphi_\tau = A \sin(\omega t + (\nu - 1)B) + \Gamma$$

Όπου:

A,B & Γ αποτελούν τις παραμέτρους οι οποίες τείνουν να προσδιορίζουν για κάθε μεταβλητή τιμή το σχήμα της ερπετοειδούς καμπύλης που επιτρέπει την κατάλληλη μετακίνηση.

ω: αποτελεί την γωνιακή ταχύτητα του φιδιού.

11.3 Διαδικασία σχεδίασης

Το σχεδιαστικό μέρος αποτελεί τετριμμένα ένα από τα σημαντικότερα στάδια για την υλοποίηση οποιασδήποτε κατασκευής.

Οι λόγοι είναι ποικίλοι καθώς μέσα από αυτό μπορούν να παρατηρηθούν πιθανά εμπόδια που μπορεί να προκύψουν αλλά και τρόποι αντιμετώπισής τους με τις λύσεις να αποδίδονται πριν το έναυσμα της κατασκευής. Επιπλέον αισθητικές λεπτομέρειες μπορεί να έχουν σημαντικό ρόλο στη γενική κατασκευαστική αλλά και λειτουργική διάταξη που πρόκειται να υλοποιηθεί.

Η διαδικασία σχεδίασης επιμερίζεται σε δύο κατευθυντήριες γραμμές. Η μία συσχετίζεται με την απόδοση ενός θεωρητικού μοντέλου ρομποτικού φιδιού όπου εκπονήθηκε στο λογισμικό τρισδιάστατης σχεδίασης «Solidworks» και επιτυγχάνει την καθοδήγηση για το κατασκευαστικό μέρος, την διαπίστωση πιθανών αστοχιών αλλά κι ένα εύχρηστο εργαλείο για την εφαρμογή της μαθηματικής μοντελοποίησης που έχει ήδη αναφερθεί στις παραπάνω ενότητες. Η δεύτερη γραμμή σχεδίασης υλοποιήθηκε στο τρισδιάστατο πρόγραμμα σχεδίασης «Inventor» της Autodesk κι έχει ως στόχο την παράθεση των τελικών κατασκευαστικών στοιχείων φέροντας τις κατάλληλες διορθώσεις.

Παρακάτω παρουσιάζεται εκτενέστερα η διαδικασία σχεδιασμού σε τρισδιάστατο περιβάλλον (3D) των τριών κύριων εξαρτημάτων που συνεργάζονται για την υλοποίηση του ρομπότ. Τα εξαρτήματα αυτά είναι δύο αρθρώσεις καθώς και ο σερβομηχανισμός ο οποίος προσδίδει την επιθυμητή ενέργεια για τη μετακίνηση του ρομπότ.

Πιο συγκεκριμένα, το πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε για την τρισδιάστατη σχεδίαση ονομάζεται "Solidworks". Το Solidworks είναι ένα πρόγραμμα το οποίο έχει τη δυνατότητα της σχεδίασης σε τρισδιάστατο περιβάλλον αλλά και την απόδοση των σχεδίων σε δισδιάστατη μορφή με την έκδοση του αρχείου σε κατάλληλη μορφή όπως π.χ. "dwg" από το λογισμικό που παρέχει η εταιρεία της Autodesk και το αντίστοιχο πρόγραμμα το "AutoCad" όπως αυτό χρησιμοποιήθηκε και στην παρούσα πτυχιακή εργασία.

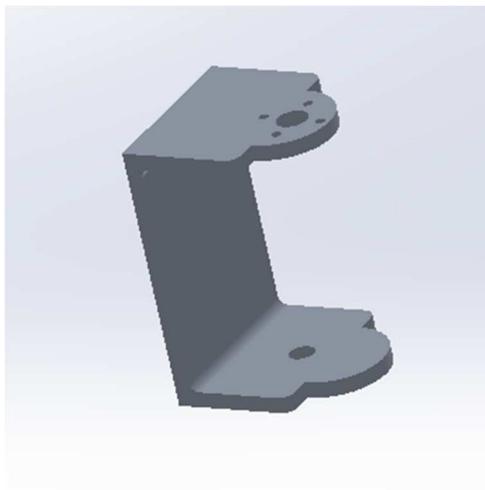
Επιπλέον το Solidworks έχει τη δυνατότητα να κάνει δυναμική ανάλυση του μοντέλου που σχεδιάζεται με τη χρήση και τη διεξαγωγή των πεπερασμένων στοιχείων. Τα πεπερασμένα στοιχεία επιτρέπουν στο χρήστη να έχει γνώση για την δυναμική αντοχή και τις καταπονήσεις που δέχεται το μοντέλο που σχεδιάζεται ανάλογα με την επιλογή του υλικού που χρησιμοποιείται κατά τη διάρκεια της σχεδίασης. Στα πλαίσια της παρούσης πτυχιακής εργασίας δεν πραγματοποιήθηκε ανάλυση μέσω πεπερασμένων στοιχείων καθώς το βάρος και το είδος της κατασκευής δεν προσδίδει σημαντικά φορτία και καταπονήσεις στον ρομποτικό μηχανισμό και κατά συνέπεια δεν δημιουργεί την ανάγκη για μία εκτενέστερη ανάλυση από αυτή που παρουσιάζεται στην θεωρητική μοντελοποίηση του robot snake.

Παρακάτω περιγράφεται αναλυτικότερα η διαδικασία και τα βήματα σχεδίασης για κάθε ένα από τα εξαρτήματα που αναφέρθηκαν παραπάνω.

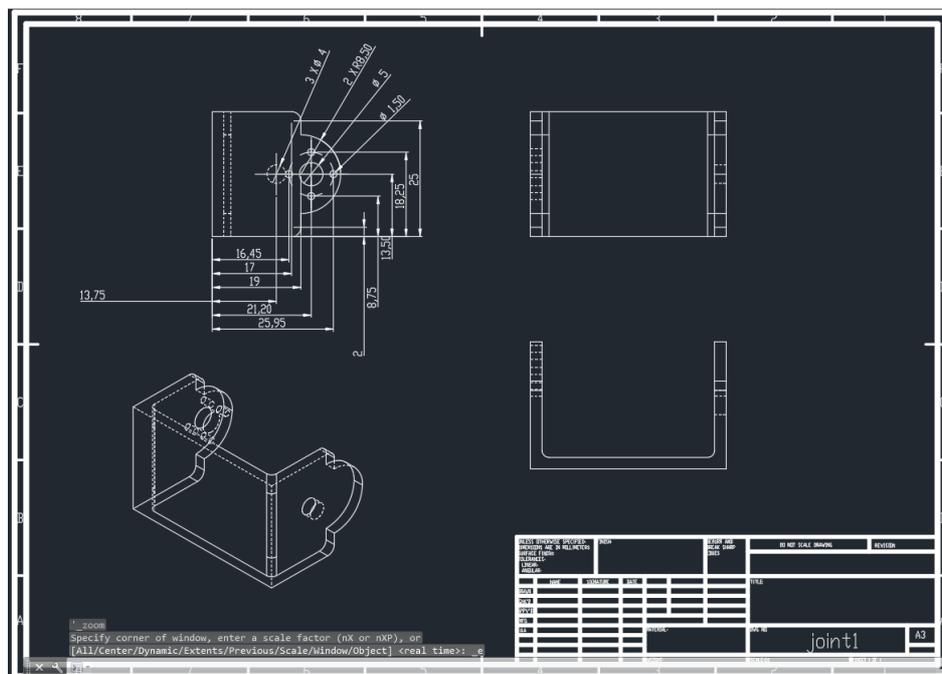
11.3.1 Άρθρωση 1 (Joint 1)

Αρχικά γίνεται η επιλογή του "sketch" όπου επιτρέπει στο χρήστη να σχεδιάσει σε δυσδιάστατη μορφή αυτό που επιθυμεί και κατόπιν να του αποδώσει τον όγκο του στερεού. Σχεδιάζεται ένα ορθογώνιο παραλληλόγραμμο διαστάσεων μήκος: $x=41,9$ [mm] και πλάτος $y=17$ [mm].

Έπειτα με την εντολή "Boss - Extrude" αποδίδεται το επιθυμητό πάχος των 2,5 [mm]. Στη συνέχεια επιλέγεται και πάλι η εντολή "sketch" και σχεδιάζεται ένα ορθογώνιο, κατόπιν με την εντολή "Boss - Extrude" αυξάνεται το πάχος (εκφρασμένο σε μήκος) σε 25 [mm].

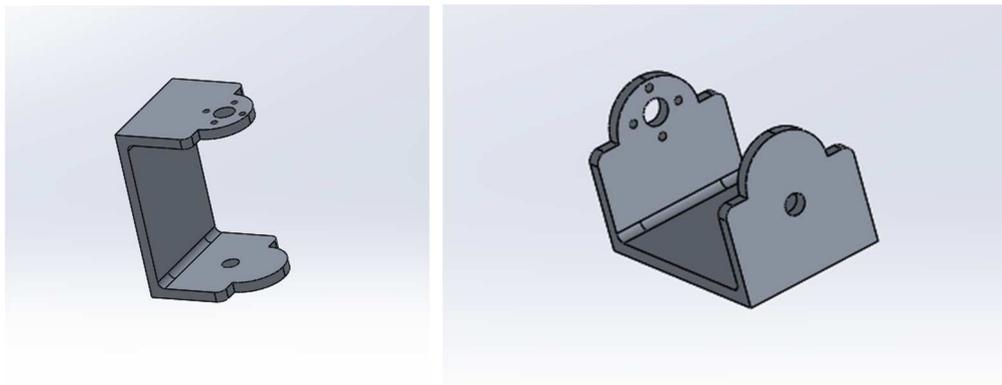


Εικόνα 11.3: Τρισδιάστατο σχέδιο άρθρωσης 1 (SolidWorks)



Εικόνα 11.4 Δυσδιάστατο σχέδιο άρθρωσης 1 (AutoCad)

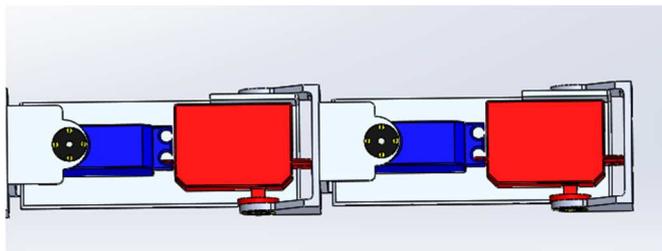
Για την διαμόρφωση της καμπυλότητας στην εσωτερική επιφάνεια της άρθρωσης χρησιμοποιείται η εντολή "Fillet" με ακτίνα $R=1,5$ [mm]. Η παραπάνω διαμόρφωση θεωρείται επιτακτική καθώς καλείται να ελαχιστοποιήσει τις τριβές που αναπτύσσονται μεταξύ της άρθρωσης και της βάσης στήριξης των σερβομηχανισμών κατά τη διάρκεια περιστροφής της άρθρωσης.



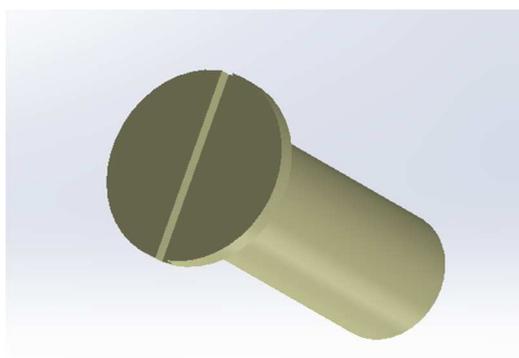
Εικόνα 11.5: Διαμόρφωση καμπυλότητας άρθρωσης 1 (SolidWorks)

Κατόπιν, σχεδιάζεται και η απαραίτητη καμπυλότητα στην μπροστινή επιφάνεια με ακτίνα $R=8,5$ [mm] όπου θα επιτρέπει στην άρθρωση να έχει ένα αυξημένο εύρος περιστροφής στον κάθετο άξονά της.

Κάθε άρθρωση στο ένα τμήμα της θα συνδέεται με τον περιστροφικό ρότορα του servo. Για τον λόγο αυτό πρέπει να σχεδιαστεί οπή τέτοια ώστε να υποδέχεται κατάλληλα το κέντρο του ρότορα. Για την επιλογή του κέντρου αυτού χρησιμοποιείται η εντολή "sketch", στη συνέχεια στο επίπεδο ορίζεται η απόσταση των 14,6 [mm] κι έπειτα σχεδιάζεται η οπή με διάμετρο $\Phi 5$ [mm].

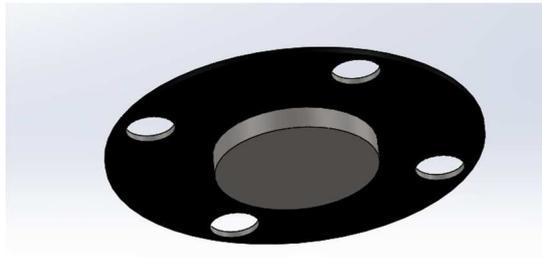


Εικόνα 11.6: Σύνδεση αρθρώσεων με RC SERVO σε διαδοχικούς συνδέσμους (SolidWorks)

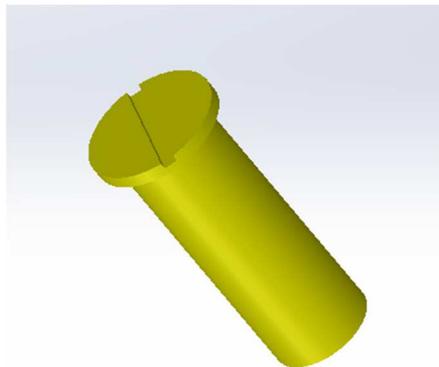


Εικόνα 11.7: Τρισδιάστατο σχέδιο βίδας σύνδεσης άρθρωσης 1 (SolidWorks)

Η σύνδεση του ρότορα με τη άρθρωση θα εξασφαλίζεται με την σύνδεση φλάντζας αντίστοιχης διάστασης. Η επιθυμητή συγκράτηση της φλάντζας με την άρθρωση θα επιτελείται με την παρουσία βιδών. Για την σχεδίαση αυτών, ανακαλείται και πάλι η εντολή "sketch" και σχεδιάζεται οπή με διάμετρο Φ 1,5 [mm]. Για την περιμετρική κατανομή των βιδών γύρω από την οπή της φλάντζας χρησιμοποιείται η εντολή "Cir Pattern" όπου οι προϋποθέσεις για την ορθή εκτέλεση της εντολής είναι η επιλογή του σχεδίου και η κατεύθυνση στην οποία θα δημιουργηθεί το "pattern". Απαραίτητες παράμετροι για τον ορισμό της εντολής θεωρούνται οι μοίρες ($^{\circ}$) και το πλήθος των τεμαχίων που θα αποτελούν την απόδοση της εντολής, όπου στην προκειμένη περίπτωση θα χρειαστούν τέσσερις βίδες σε κυκλική κατανομή (360°).

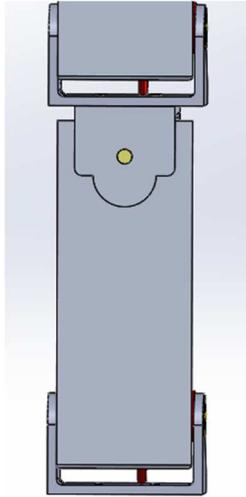


Εικόνα 11.8: Τρισδιάστατο σχέδιο φλάντζας (solidWorks)



Εικόνα 11.9: Τρισδιάστατο σχέδιο βίδας για σύνδεση με RC SERVO (SolidWorks)

Απαραίτητη θεωρείται επίσης η δημιουργία οπής στο κάτω μέρος της άρθρωσης όπου θα επιτυγχάνει τη στήριξη με τη βάση των servo. Η οπή αυτή δημιουργείται με τη βοήθεια της εντολής "sketch" και την επιλογή της διαμέτρου της ίση με $\Phi = 4$ [mm].



Εικόνα 11.10: Σύνδεση άρθρωσης 1 με βάση στήριξης στο κάτω μέρος (SolidWorks)

Στο σημείο αυτό είναι ανάγκη να δημιουργηθεί το περιμετρικό προφίλ με την απόδοση της τελικής γεωμετρίας. Αυτό θα επιτευχθεί με την επιλογή του "Boss Extrude" και κατόπιν της εντολής "Sketch". Αφότου σχεδιαστεί το προφίλ επιλέγεται η εντολή "Mirror" προκειμένου να υλοποιηθεί ομοιόμορφα και πλήρως και στο υπόλοιπο εξάρτημα.

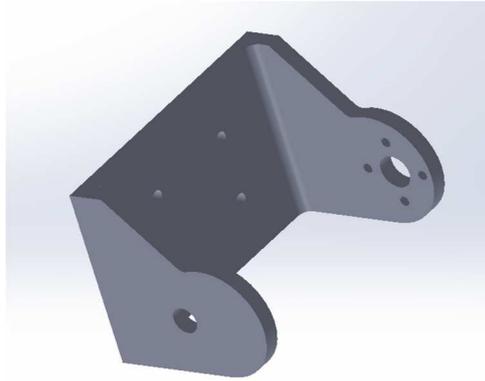
Οι εσωτερικές καμπυλότητες αυτού διαμορφώνονται με την εντολή "Fillet" με ακτίνα $R=1,5$ [mm] και οι εξωτερικές με ακτίνα $R=2$ [mm].

11.3.2 Άρθρωση 2 (Joint 2)

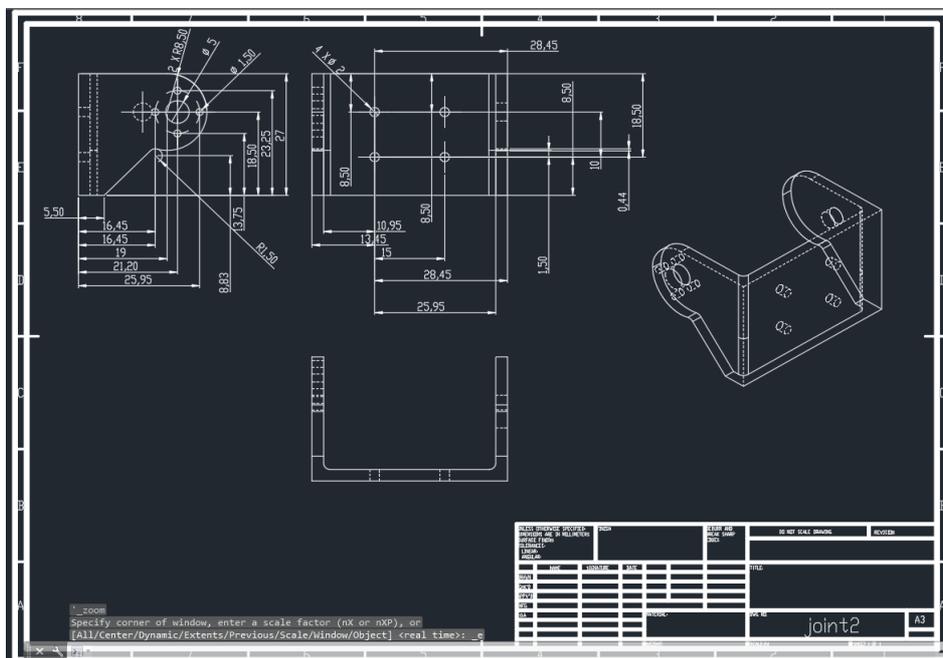
Η δεύτερη άρθρωση η οποία συμμετέχει στο ρομπότ παρουσιάζει διαφορετική γεωμετρία καθώς καλείται να συμβάλει στην επίτευξη της κίνησης έχοντας πλέον το δεύτερο servo διαφορετικό προσανατολισμό. Η περιγραφή για την υλοποίηση της σχεδίασης της περιγράφεται ως ακολούθως:

Αρχικά στην καρτέλα "Boss Extrude" επιλέγεται η εντολή "sketch" και σχεδιάζεται ένα παραλληλόγραμμο με διαστάσεις:

μήκος: $x=41,9$ [mm] και πλάτος $y=17$ [mm]. Έπειτα με την εντολή "Boss - Extrude" αποδίδεται το επιθυμητό πάχος των $2,5$ [mm]. Παρατηρείται η ίδια απόδοση των διαστάσεων για την ορθή συνεργασία των συνδεόμενων μελών. Για την επιμήκυνση του εξαρτήματος χρησιμοποιείται η εντολή "sketch" και ορίζεται στα 25 [mm].

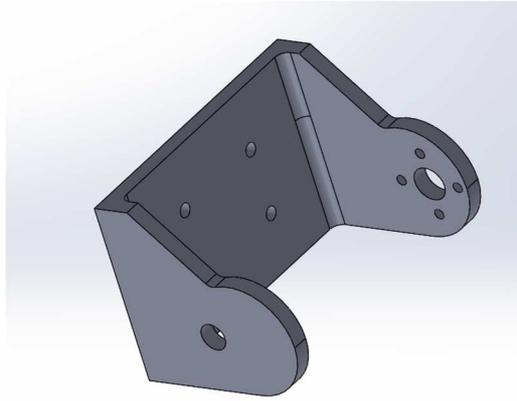


Εικόνα 11.11: Τρισδιάστατο σχέδιο άρθρωσης 2 (SolidWorks)



Εικόνα 11.12: Δυσδιάστατο σχέδιο άρθρωσης 2 (AutoCad)

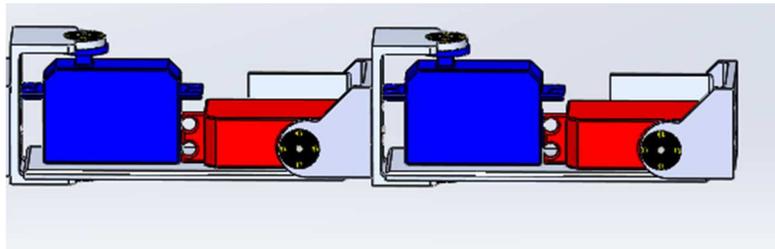
Ομοίως καλούνται να διαμορφωθούν και πάλι οι καμπυλότητες τόσο οι εσωτερικές όσο και οι εξωτερικές για τους ίδιους λόγους που περιεγράφηκαν παραπάνω με τη χρήση της εντολής "fillet". Οι τιμές των ακτινών είναι για την εσωτερική $R=1,5$ [mm] και για την εξωτερική $R=8,5$ [mm].



Εικόνα 11.13: Διαμόρφωση καμπυλοτήτων άρθρωσης 2 (SolidWorks)

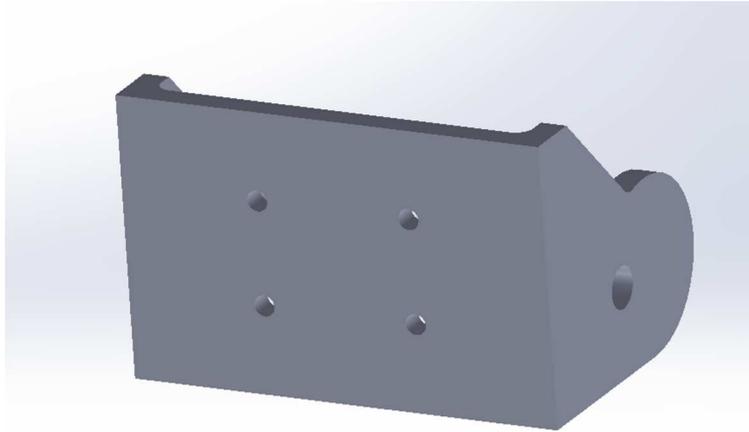
Επίσης θα ακολουθηθεί η ίδια διαδικασία για την δημιουργία των οπών που εφαρμόστηκε και στην προηγούμενη άρθρωση σε διαφορετική όψη της άρθρωσης. Πιο συγκεκριμένα:

Η οπή για την σύνδεση του servo με την άρθρωση υλοποιείται με την εντολή "Cut Extrude" με διάμετρο $\Phi=5$ [mm] ενώ η διάμετρος της οπής στην οποία θα πραγματοποιείται η σύσφιξη της φλάντζας μέσω της βίδας είναι ίση με $\Phi=1,5$ [mm]. Ομοίως για την δημιουργία των οπών των βιδών περιμετρικά χρησιμοποιείται η εντολή "Cir Pattern". Η βίδα η οποία θα συγκρατεί το προφίλ της άρθρωσης με την πλαϊνή όψη της βάσης στήριξης της βάσης θα έχει διάμετρο $\Phi=4$ [mm] και υλοποιείται με την συνήθη εντολή "Cut Extrude". Για την επίτευξη της κλίσης των 45° που επιφέρει το εξάρτημα γίνεται χρήση της εντολής "Chamfer" κι έπειτα χρησιμοποιείται η εντολή "fillet" με ακτίνα $R=1,5$ [mm] προκειμένου να επέλθει η ομαλή ένωση με την περιμετρική καμπυλότητα και να εξομαλύνει τις γεωμετρικές αποκλίσεις του εξαρτήματος.



Εικόνα 11.14: Σύνδεση δύο διαδοχικών συνδέσμων με αρθρώσεις & RC SERVO (SolidWorks)

Επίσης στο πέρας της συναρμολόγησης των συνεργαζόμενων εξαρτημάτων, η άρθρωση 1 (joint 1) θα πρέπει να βρίσκεται σε συνεχή σύνδεση με την άρθρωση 2 (joint 2) όπου η διεργασία αυτή θα επιτευχθεί με την δημιουργία τεσσάρων οπών στην πλάτη της κάθε άρθρωσης με διάμετρο $\Phi = 2$ [mm] με την ίδια διαδικασία που έχει περιγραφεί παραπάνω και για την υλοποίηση των υπόλοιπων οπών.



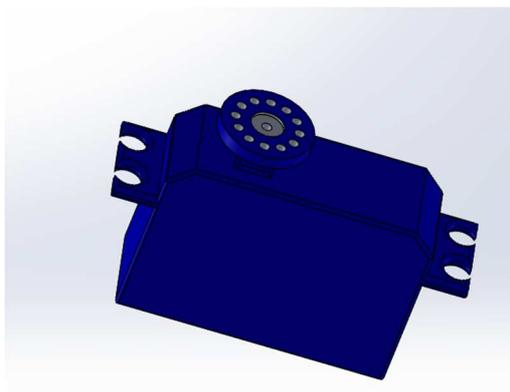
Εικόνα 11.15: Οπές σύνδεσης μεταξύ των αρθρώσεων των γειτονικών συνδέσμων

11.3.3 Σερβομηχανισμός (Servo)

Είναι κατανοητό ότι ο κάθε τύπος σερβομηχανισμού φέρει διαφορετικές διαστάσεις και μέγεθος τα οποία συσχετίζονται άμεσα με τα τεχνικά χαρακτηριστικά του, όπου μέσω των οποίων καλείται να ανταποκριθεί κατάλληλα στις εκάστοτε απαιτήσεις.

Αναλυτικότερα, για τον σχεδιασμό του σερβομηχανισμού χρησιμοποιήθηκε εκτενέστερα η εντολή “Sketch” η οποία συνέβαλε στην δημιουργία και το σχεδιασμό των ορθογώνιων παραλληλογράμμων που αποδίδουν το βασικό γεωμετρικό σχήμα στο servo.

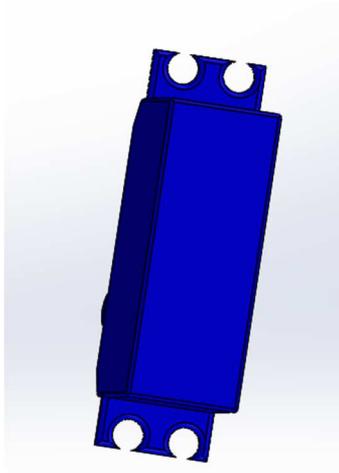
Το βασικότερο ορθογώνιο παραλληλόγραμμο είναι εκείνο που καλύπτει το μεγαλύτερο μέρος του μηχανισμού και υλοποιήθηκε όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως με χρήση της εντολής “Sketch” με μήκος: $x = 40$ [mm].



Εικόνα 11.16: Τρισδιάστατο σχέδιο RC SERVO (SolidWorks)

Για την διαμόρφωση της κάτω βάσης του μηχανισμού έχει επιλεγεί η εντολή “Chamfer” με τιμή στα 0,5 [mm]. Επιπλέον με τη χρήση της ίδιας εντολής έχουν

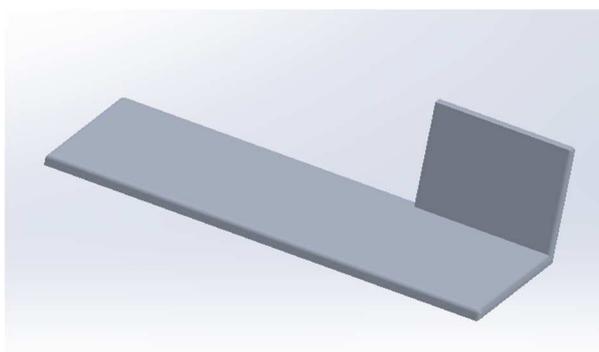
υλοποιηθεί τα πλευρικά σπασίματα (κλήσεις) των 45° που παρατηρούνται στον μηχανισμό.



Εικόνα 11.17: Κάτω βάση σερβομηχανισμού

11.3.4 Βάση στήριξης σερβομηχανισμών

Ένα ακόμα τεμάχιο που υπόκειται σε διαδικασία σχεδίασης, αποτελεί και η βάση στήριξης των σερβομηχανισμών. Η σχεδίαση του συγκεκριμένου part αποτελείται από τις απλές εντολές που περιεγράφηκαν και παραπάνω οι οποίες συσχετίζονται με την απόδοση του επιθυμητού γεωμετρικού σχήματος στο επίπεδο, όπου το ρόλο αυτό εκπονεί η εντολή «Sketch» και κατόπιν την μεταφορά του στις τρεις διαστάσεις εισάγοντας την παράμετρο του όγκου.



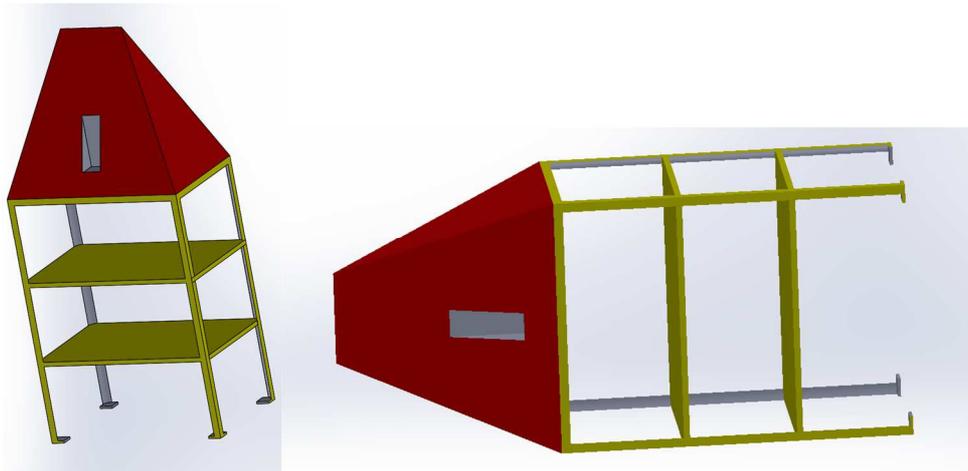
Εικόνα 11.18: Τρισδιάστατη σχεδίαση βάσης στήριξης σερβομηχανισμών (SolidWorks)

11.3.5 Κεφάλι ρομποτικού φιδιού

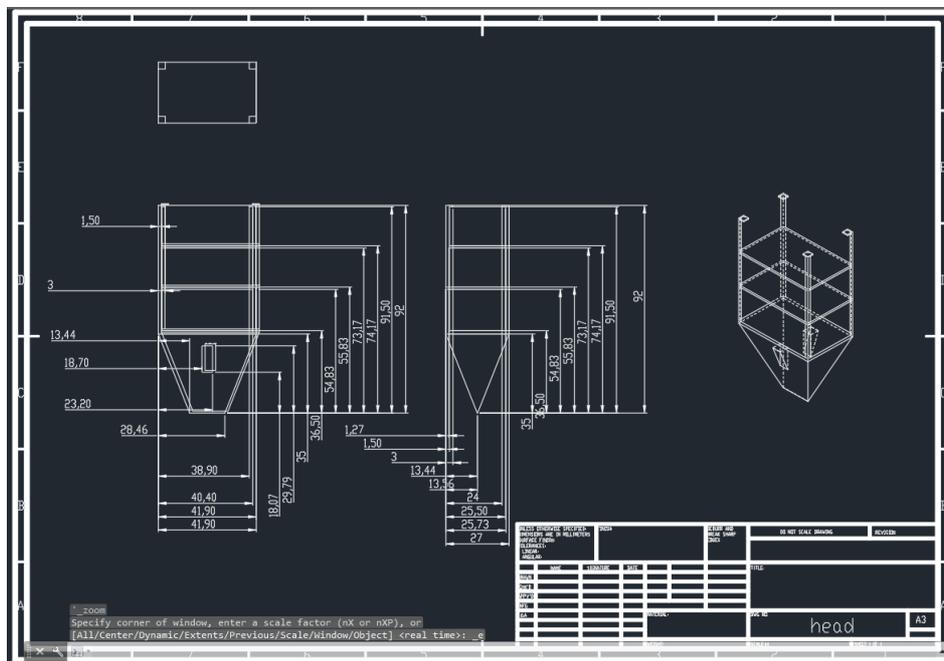
Ιδιαίτερο στοιχείο για την σχεδίαση και την υλοποίηση του ρομποτικού φιδιού αποτελεί το κεφάλι του. Ο λόγος είναι επειδή αποτελεί το κομβικό σημείο τοποθέτησης όλων των ηλεκτρονικών παρελκόμενων που αποτελούν την κατασκευή. Πιο συγκεκριμένα, στο κεφάλι του robot snake προορίζεται η εγκατάσταση δύο

τουλάχιστον πλακετών Arduino, όπου η κάθε μία θα ελέγχει από μία συστοιχία σερβοκινητήρων όμοιου προσανατολισμού.

Επιπροσθέτως, το κεφάλι θεωρείται το καταλληλότερο σημείο για την τοποθέτηση της κάμερας όπου είναι υπεύθυνη για την λήψη εικόνας από τα μέρη που διασχίζει το ρομπότ. Έτσι, θα έπρεπε να δοθεί ιδιαίτερη βαρύτητα στην γεωμετρία του προκειμένου να είναι ικανό να φιλοξενήσει πολλαπλούς τύπους κάμερας για την διεκπεραίωση της συγκεκριμένης λειτουργίας. Στην παρακάτω εικόνα διαφαίνεται η σχετική σχεδίαση.



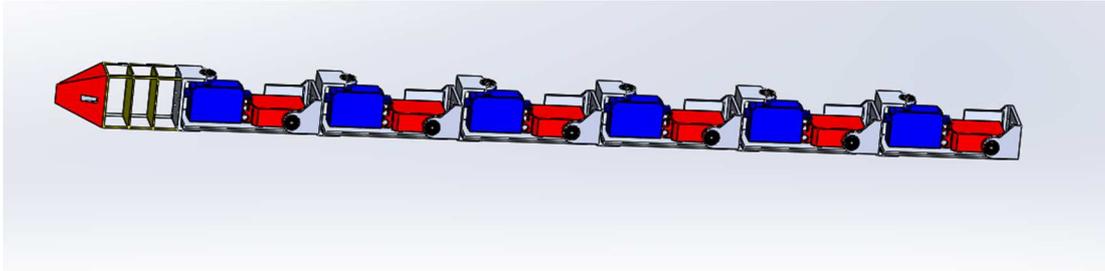
Εικόνα 11.19: Τρισδιάστατο σχέδιο κεφαλιού (SolidWorks)



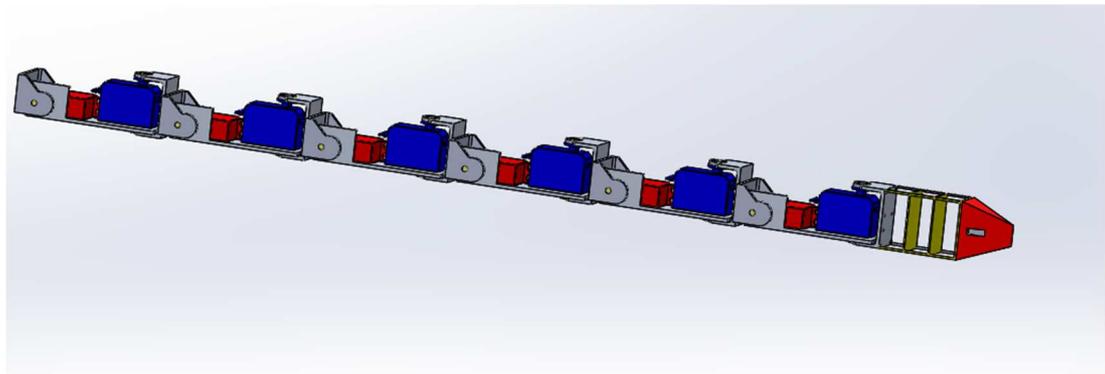
Εικόνα 11.20: Δυσδιάστατο σχέδιο κεφαλιού (AutoCad)

Στο σημείο αυτό, αφότου προηγήθηκε η ανάλυση για την σχεδίαση των μεμονωμένων τεμαχίων από τα οποία αποτελείται το ρομποτικό φίδι, σειρά παίρνει η συναρμολόγηση

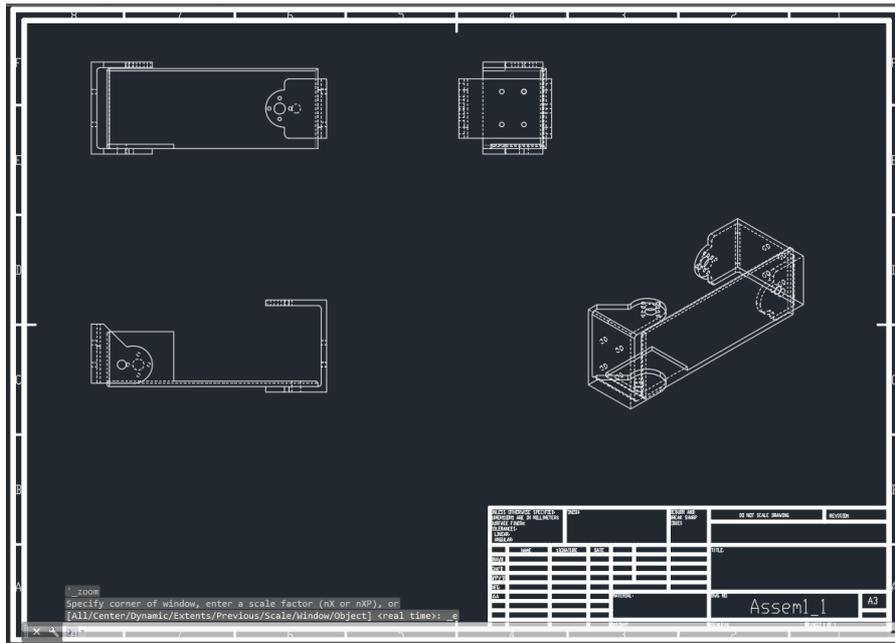
αυτών. Η διαδικασία συναρμολόγησης συνοψίζεται στην επαναλαμβανόμενη αλληλουχία σύνδεσης των πανομοιότυπων συνδέσμων που διαθέτει το ρομπότικό φίδι. Κάθε σύνδεσμος συνδέεται με τις αρθρώσεις που περιγράφηκαν στις παραπάνω υπό ενότητες καθώς και με τους αντίστοιχους σερβοκινητήρες που τις συνοδεύουν. Στις παρακάτω εικόνες αποτυπώνεται η συνολική δομή του ρομποτικού φιδιού μετά το πέρας της ολοκλήρωσης της συναρμολόγησης των συνδεόμενων μερών.



Εικόνα 11.21: Πλάγια όψη Α τρισδιάστατης σχεδίασης ρομποτικού φιδιού (SolidWorks)



Εικόνα 11.22: Πλάγια όψη Β τρισδιάστατης σχεδίασης ρομποτικού φιδιού (SolidWorks)



Εικόνα 11.23 Συναρμολόγηση αρθρώσεων συνδέσμου (AutoCad)

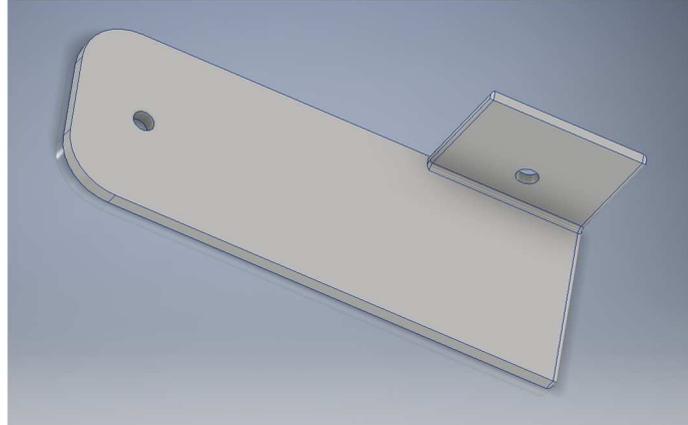


Εικόνα 11.24: Άνω όψη τρισδιάστατης σχεδίασης ρομποτικού φιδιού (SolidWorks)

11.4 Inventor

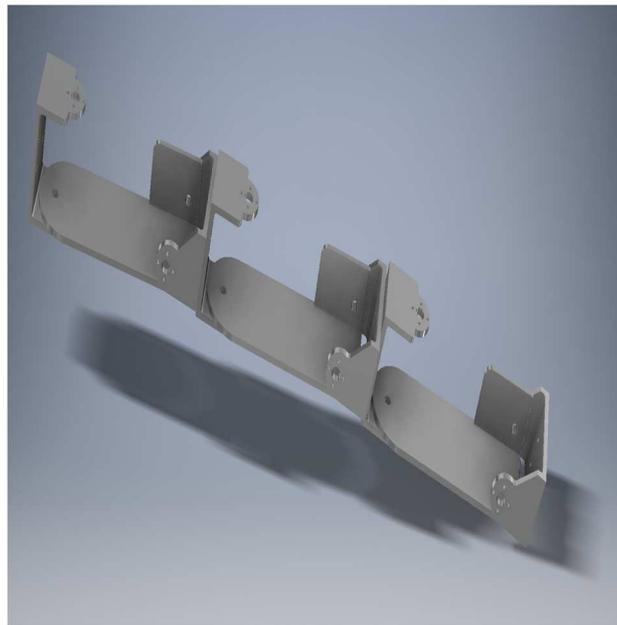
Το «Inventor» αποτελεί ένα πρόγραμμα 3D σχεδίασης της «Autodesk» όμοιων δυνατοτήτων και εφαρμογών με αυτό του «Solidworks». Στο πρόγραμμα αυτό αποδόθηκαν οι τελικές διορθώσεις και η παράθεση των κατασκευαστικών σχεδίων για την υλοποίηση της σχετικής κατασκευής.

Το τεμάχιο το οποίο τέθηκε σε διαδικασία βελτίωσης αποτέλεσε η βάση στήριξης των σερβομηχανισμών όπου το ένα ευθύγραμμο άκρο, το οποίο συνεργάζεται με την άρθρωση 1 (joint 1) αντικαταστάθηκε με καμπυλότητα ικανή, ώστε να επιτρέπει την εκτέλεση της επιθυμητής περιστροφής σε μεγαλύτερο εύρος. Στην παρακάτω εικόνα διαφαίνεται το σχετικό τεμάχιο της βάσης στήριξης.



Εικόνα 11.25: Βάση στήριξης (Inventor)

Η παρακάτω εικόνα αποτελεί αντιπροσωπευτική αναπαράσταση της τελικής κατασκευής.



Εικόνα 11.26: Συναρμολόγηση τμημάτων (Inventor)

12. Έλεγχος

Ο έλεγχος αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα τμήματα για την υλοποίηση οποιασδήποτε ρομποτικής εφαρμογής. Ο έλεγχος αυτός επικεντρώνεται στις κινήσεις των επιμέρους αρθρώσεων που απαρτίζουν το robot snake.

Ο έλεγχος αυτός εκπονείται μέσω ενός συστήματος όπου ενεργοποιεί τους εκάστοτε βρόγχους ελέγχου όπου βασική τους λειτουργία είναι να ελέγξουν την γωνία στροφής κάθε άρθρωσης.

Μια τυπική διαδικασία ελέγχου περιλαμβάνει την παρακάτω αλληλουχία βημάτων:

Κάθε άρθρωση χρησιμοποιεί έναν μικροελεγκτή

Ο καταχωρητής επιθυμητής θέσης ενημερώνεται συνεχώς για την επιθυμητή γωνία στροφής εν όσο η κίνηση βρίσκεται σε εξέλιξη.

Παράλληλα με την βοήθεια αισθητηρίου γωνιακής θέσης καταγράφεται συνεχώς η πραγματική γωνία στροφής στον καταχωρητή πραγματικής θέσης.

Προκειμένου να πραγματοποιηθεί ο έλεγχος μίας άρθρωσης η οποία κινείται με την βοήθεια κινητήρα συνεχούς ρεύματος, όπως στην συγκεκριμένη περίπτωση όπου χρησιμοποιείται ο σερβοκινητήρας, θα πρέπει να υπάρχει εποπτική εικόνα για την δυναμική του συμπεριφορά, δηλαδή να συνοδεύεται από μια μαθηματική μοντελοποίηση.

Σημαντικό αξίωμα, αποτελεί ότι η ροπή αδράνειας του σώματος το οποίο βρίσκεται σε κίνηση μέσω του μειωτήρα του κινητήρα παραμένει σταθερή, τότε τόσο αυτή όσο και η δυναμική τριβή μπορούν να αναχθούν στον άξονα του κινητήρα με την συνολική ροπή αδράνειας και την δύναμη τριβής να ισούνται με τους παρακάτω τύπους:

$$J_{\Sigma} = J_{κιν} + \left(\frac{1}{n}\right)^2 * J_{\varphi}$$

$$T_{\Sigma} = T_{κιν} + \left(\frac{1}{n}\right)^2 * T_{\varphi}$$

Όπου, τα μεγέθη με δείκτη «κιν» αποτελούν τη ροπή αδράνειας και τη δύναμη τριβής του κινητήρα και όπου συναντάται ο δείκτης «φ» εκφράζει τα αντίστοιχα μεγέθη για το φορτίο.

Όπου «n» αποτελεί τη σχέση μείωσης των στροφών και ισούται με $n = \frac{\omega_{κιν}}{\omega_{\varphi}}$

Σημειώνεται, ότι αν ο κινητήρας λειτουργεί υπό σταθερή τάση και υποστεί σε μία τυχαία δεδομένη χρονική στιγμή διαταραχή ροπής, τότε προκειμένου να εξουδετερώσει ένα μέρος αυτής της διαταραχής, μειώνει την γωνιακή ταχύτητα κάτι το οποίο υπό επιτρεπόμενες συνθήκες οδηγεί στην μεγαλύτερη απορρόφηση ρεύματος και κατά συνέπεια στην ανάπτυξη μεγαλύτερης ροπής.

12.1 Έλεγχος κλειστού βρόγχου

Η απόδοση του συστήματος ελέγχου θέσης του ρομποτικού φιδιού, βασίζεται στον έλεγχο των σχετικών γωνιών που σχηματίζουν οι αρθρώσεις του κάθε συνδέσμου, η σύνθεση των οποίων αποβαίνει στην μαθηματική σχέση που περιγράφεται στην προηγούμενη ενότητα και συσχετίζεται με την ερπετοειδή μετακίνηση.

Το σύστημα αυτό, υπάγεται σε έλεγχο κλειστού βρόγχου και για την άρτια λειτουργία του απαιτεί εκτός τον κινητήριο μηχανισμό, ένα ενισχυτή ισχύος, η ανάδραση καθώς κι ένας επιπρόσθετος ελεγκτής όπου στην προκειμένη περίπτωση προτείνεται να είναι PID.

Ο ενισχυτής ισχύος μπορεί να αναχθεί, ως απλό κέρδος τάσης (K_e). Η βέλτιστη παραδοχή για την κατάλληλη επιλογή ενισχυτή ισχύος θα του επιτρέψει να είναι ικανός να ρυθμίζει την αποδιδόμενη τάση προς τον κινητήρα, έτσι ώστε το ρεύμα που απορροφά και κατά συνέπεια η αναπτυσσόμενη ροπή να είναι μεγέθη ανάλογα με το σήμα ελέγχου που δέχεται ο ενισχυτής ισχύος.

Στη συνέχεια, συναντάται ο αναλογικός όρος του ελεγκτή και εκφράζεται με τη σταθερά K_p . Το νόημα συνοψίζεται ότι όσο μεγαλώνει η σταθερά αυτή, τόσο ταχύτερη είναι η απόκριση του συστήματος με αποτέλεσμα να αντιμετωπίζει ευκολότερα τις οποιοσδήποτε διαταραχές προκύπτουν συνήθως με την μορφή ροπών στον άξονα.

Ο ελεγκτής εκτός από τον αναλογικό όρο διαθέτει και τον ολοκληρωτικό όπου εκφράζεται μέσω της σταθεράς K_i και είναι υπεύθυνος για την ολοκληρωτική καταστολή κάθε διαταραχής επιτυγχάνοντας μηδενικό σφάλμα στην μόνιμη κατάσταση.

Ένας ακόμη όρος που συσχετίζεται με την γενικότερη λειτουργία του ελεγκτή αποτελεί και ο διαφορικός όπου ο ρόλος του είναι να βελτιώνει την ευστάθεια του συστήματος. Την διαδικασία αυτή τη διεκπεραιώνει αποστέλλοντας σήμα προς την εγκατάσταση ανάλογο της παραγώγου του σφάλματος. Ιδιαίτερο γνώρισμα του συγκεκριμένου όρου αποτελεί η ενίσχυση του θορύβου του συστήματος κάτι το οποίο οδηγεί συχνά στο κατάλληλο φίλτράρισμα της ανάδρασης.

Στην παρούσα ενότητα θα εξετασθεί ένα σύστημα ελέγχου θέσης του σερβομηχανισμού όπου αναλύεται βάσει των αναπτυσσόμενων ταχυτήτων και του τρόπου εναλλαγής από την μία θέση στην άλλη κατά τη διάρκεια επιτέλεσης της κίνησης.

12.2 Τραπεζοειδές προφίλ ταχύτητας

Το τραπεζοειδές προφίλ ταχύτητας επιτυγχάνει την ομαλή μεταγωγή μεταξύ δύο ακραίων θέσεων παρακάμπτοντας μια εντολή βαθμίδας.

Ο σχεδιασμός του συγκεκριμένου προφίλ ταχύτητας επικεντρώνεται στο έναυσμα της κίνησης της άρθρωσης με σταθερή επιτάχυνση (α) μέχρι όπου επιτευχθεί η μέγιστη ταχύτητα (V_{max}), συνεχίζοντας με ομαλή κίνηση με αυτήν την ταχύτητα μέχρι τη στιγμή που θα αρχίσει η επιβραδυνόμενη κίνηση όπου θα οδηγήσει στην τελική ακινητοποίηση.

Για τον υπολογισμό του κάθε μεγέθους του συγκεκριμένου προφίλ ταχύτητας ισχύουν οι ακόλουθοι μαθηματικοί τύποι:

12.3 Ομαλά επιταχυνόμενη κίνηση

Για την μέγιστη ταχύτητα ισχύει:

$$V_{max} = a * t_{\alpha}$$

Για το διάστημα κίνησης αντίστοιχα ισχύει:

$$s_{\alpha} = \frac{1}{2} * \alpha * t_{\alpha}^2 = \frac{1}{2} * \frac{V_{max}^2}{\alpha}$$

12.4 Ομαλή ευθύγραμμη κίνηση

Το διάστημα κίνησης που εκτελείται κατά τη διάρκεια της ομαλής ευθύγραμμης κίνησης υπολογίζεται ως εξής:

$$s_{\nu} = V_{max} * t_{\nu} = (\alpha * t_{\alpha}) * t_{\nu}$$

12.5 Συνολικό διάστημα κίνησης

Το συνολικό διάστημα κίνησης υπολογίζεται ως εξής:

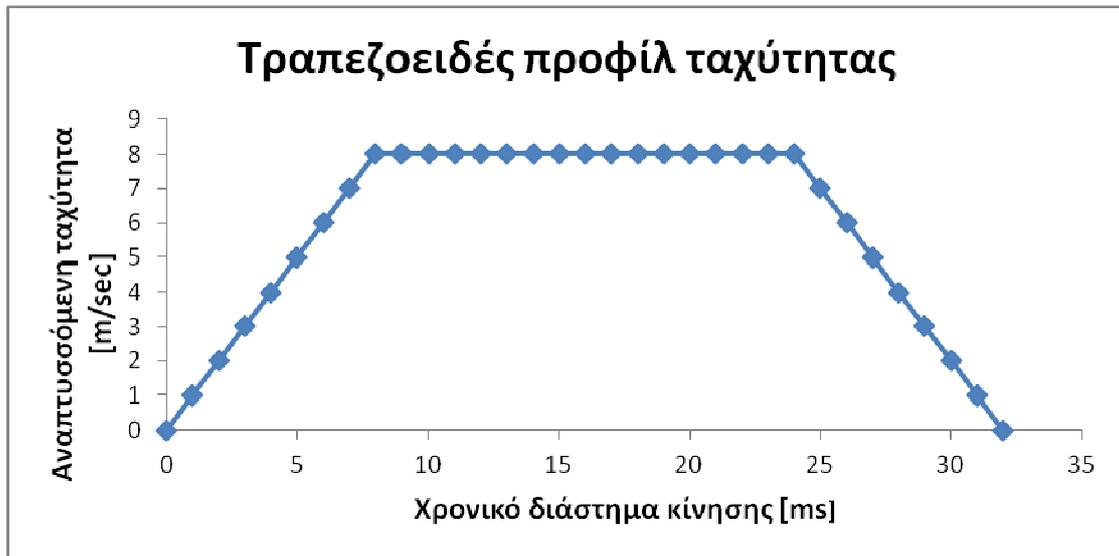
$$S = 2s_{\alpha} + s_{\nu}$$

12.6 Συνολικός χρόνος κίνησης

Ο συνολικός χρόνος κίνησης υπολογίζεται αντίστοιχα ως εξής:

$$T = 2t_{\alpha} + t_{\nu}$$

Παρακάτω αποτυπώνεται στο γράφημα το τραπεζοειδές προφίλ ταχύτητας με τους άξονές του να περιλαμβάνουν τυχαίες τιμές τόσο για την ταχύτητα όσο και για τον χρόνο.



Εικόνα 12.1: Διάγραμμα τραπεζοειδούς προφίλ ταχύτητας

Επεκτείνοντας τις σχέσεις για τον νόμο ελέγχου ταχύτητας και διεύθυνσης προσδιορίζεται άμεσα και η παρακολούθηση για την τροχιά που εκτελεί το ρομποτικό φίδι είτε αυτή είναι ευθύγραμμη είτε κυκλική. Παρακάτω παρατίθενται οι σχετικές μαθηματικές εξισώσεις που περιγράφουν τα αντίστοιχα μεγέθη:

Σύστημα αναφοράς για ευθύγραμμη τροχιά $[x(\alpha), y(\alpha)]$:

Εφαπτομενική γωνία αναφοράς:

$$\bar{r}(\alpha) = \arctan(\dot{y}(\alpha), \dot{x}(\alpha))$$

Γωνιακή ταχύτητα αναφοράς:

$$\omega(\alpha) = \pm \sqrt{\dot{y}(\alpha)^2 + \dot{x}(\alpha)^2}$$

Σημειώνεται ότι το πρόσημο " \pm " παραπέμπει στην εμπρόσθια ή την οπίσθια κίνηση αντίστοιχα.

Στην περίπτωση που η τροχιά που παρακολουθείται είναι κυκλική με κέντρο (x_0, y_0) και ακτίνα ρ , τότε ισχύουν οι ακόλουθες αναγωγές:

Εφαπτομενική γωνία αναφοράς:

$$\bar{r}(a) = \arctan(\dot{y}(a), \dot{x}(a)) = \varphi a - \frac{\pi}{2}$$

Γωνιακή ταχύτητα αναφοράς:

$$\omega(a) = \pm \sqrt{\dot{y}(a)^2 + \dot{x}(a)^2} = \varphi \rho$$

13. Ηλεκτρικό κύκλωμα

Η σχεδίαση του ηλεκτρικού κυκλώματος αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι για την υλοποίηση του ρομπότ καθώς αποτελεί το δίαυλο επικοινωνίας μεταξύ του κώδικα και των μηχανικών εξαρτημάτων (hardware) από τα οποία αποτελείται η κατασκευή.

Η σχεδίαση πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια του προγράμματος «fritzing» όπου έχει την δυνατότητα να αποδώσει το κύκλωμα σε πολλαπλές αναπαραστάσεις, όπως breadboard, ηλεκτρικό σχέδιο ή και σε τυπωμένο (PCB). Στην πτυχιακή εργασία έγινε η επιλογή της σχεδίασης σε breadboard με την παρακάτω εικόνα να δείχνει με σαφήνεια την υλοποίηση του σχετικού κυκλώματος.

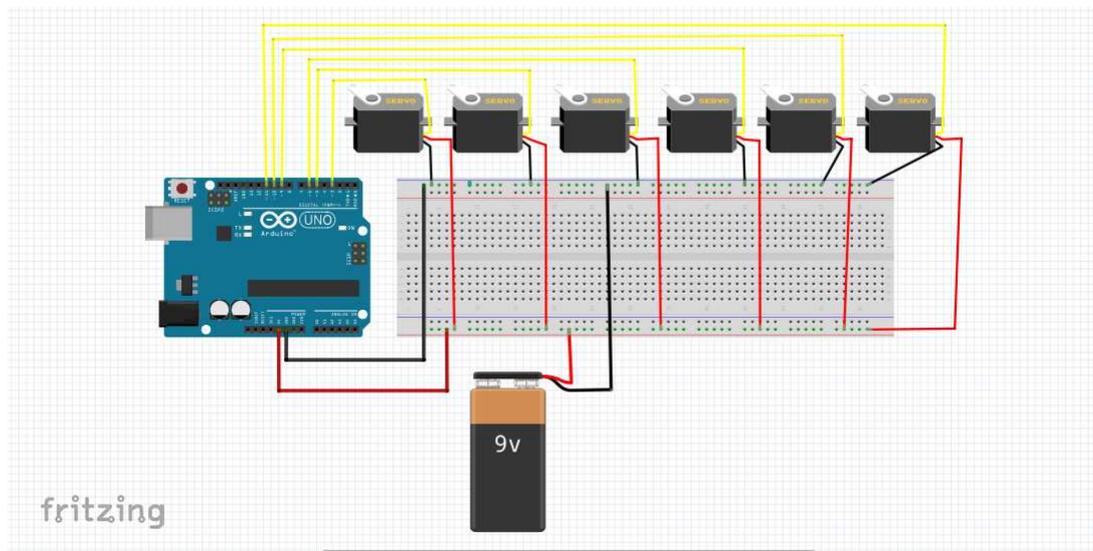
Το κύκλωμα απαρτίζεται από τα εξής εξαρτήματα:

1. Μία υπολογιστική πλατφόρμα Arduino Uno
2. Έξι σερβομηχανισμούς (RC Servo)
3. Ένα breadboard (ράστερ)

Η παροχή τροφοδοσίας προέρχεται από εξωτερική πηγή και συγκεκριμένα μπαταρίες, με συνολική τάση στα 9 [V].

Οι απαιτήσεις καλωδίωσης του κάθε σερβομηχανισμού περιορίζονται σε τρία είδη καλωδίων.

- Τη γείωση (GND), όπου αποδίδεται με το μαύρο χρώμα στο καλώδιο.
- Το θετικό τμήμα της τροφοδοσίας (Vcc), όπου αναπαρίσταται με το κόκκινο χρώμα καλωδίου.
- Το επιθυμητό σήμα, όπου καταλήγει σε ένα από τα pin της πλακέτας Arduino με την δυνατότητα έκδοσης σήματος PWM και διαφάνεται με κίτρινο χρώμα. Τα σχετικά pin είναι: 3, 5, 6, 9, 10, 11.



Εικόνα 13.1: Σχέδιο ηλεκτρικού κυκλώματος (fritzing)

14. Μηχανικά εξαρτήματα

Στην παρούσα ενότητα περιγράφονται τα μηχανικά εξαρτήματα με την βοήθεια των οποίων πραγματοποιείται η υλοποίηση του ρομποτικού φιδιού.

14.1 Σερβομηχανισμός

Η επίτευξη της κίνησης στο ρομποτικό φίδι αποδίδεται στην ύπαρξη του σερβομηχανισμού (R/C Servo: Remote Controlled Servo). Τα r/c servo υπάγονται στην ευρύτερη κατηγορία των ηλεκτρικών επενεργητών. Τα κοινά χαρακτηριστικά που τους διακρίνουν είναι:

1. Το μικρής ισχύος ολοκληρωμένο σύστημα που διαθέτουν για τον έλεγχο της γωνίας στροφής.
2. Η γωνία στροφής εκτείνεται σ' ένα τυπικό εύρος 90° και προς τις δύο κατευθύνσεις με την απόκλιση να συνάδει με το μηχανικό μέρος της κατασκευής.
3. Οι ανάγκες του περιορίζονται σε τροφοδοσία ρεύματος καθώς κι ένα ψευδό-αναλογικό σήμα PWM, (50 Hz) με την βοήθεια του οποίου πραγματοποιείται ο επιθυμητός έλεγχος.
4. Παρουσιάζεται υψηλή ροπή στην άτρακτό του, λόγω της υψηλής μείωσης στροφών που επέρχεται από το μειωτήρα που διαθέτει.

Αυτοί είναι και οι κυριότεροι λόγοι που το κάνουν ευρέως γνωστό με υψηλή συχνότητα χρήσης στις ρομποτικές κατασκευές.

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται μία σύντομη ανατομία του rc servo όπου διακρίνονται τα κυριότερα συστήματα της λειτουργίας του.

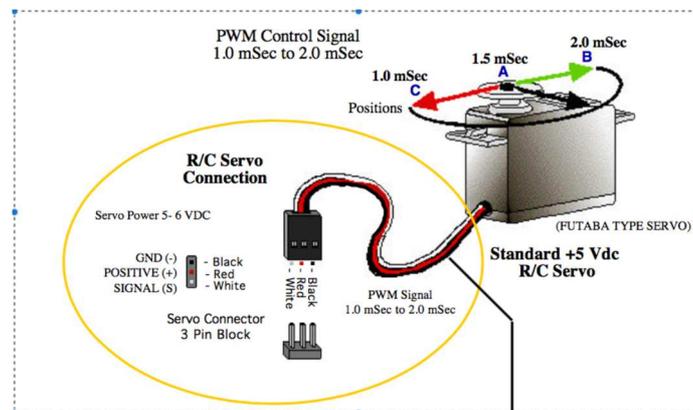


Εικόνα14.1: Μηχανικό υποσύστημα RC SERVO

Το κομμάτι της συνδεσμολογίας του servo παρουσιάζει την δική του ιδιαιτερότητα καθώς θα πρέπει πάντοτε να γίνεται η συσχέτιση με την τυποποίηση των καλωδίων που φέρουν οι σερβομηχανισμοί.

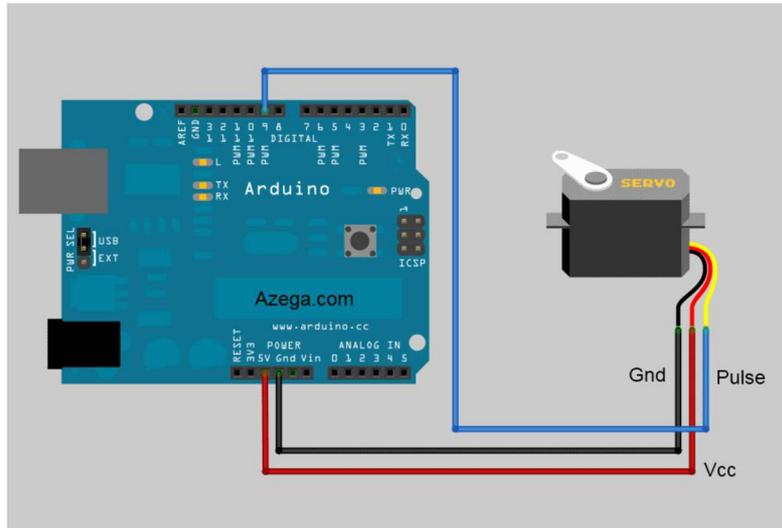
Πιο συγκεκριμένα, οι σερβομηχανισμοί διαθέτουν τρία καλώδια τα οποία εξυπηρετούν την απαραίτητη συνδεσμολογία στην εκάστοτε εφαρμογή. Όπως προαναφέρθηκε, απαραίτητο για τον έλεγχο του servo είναι ένα "ψευδοαναλογικό" σήμα PWM. Το σήμα αυτό τροφοδοτείται συνήθως με το άσπρο καλώδιο που φέρει ο μηχανισμός. Η γείωση, φέρει το μαύρο χρώμα ενώ το θετικό σήμα Vcc αποτυπώνεται με το κόκκινο χρώμα.

Η παρακάτω εικόνα αναπαριστά την προαναφερθείσα περιγραφή και βοηθάει στην καλύτερη κατανόηση.

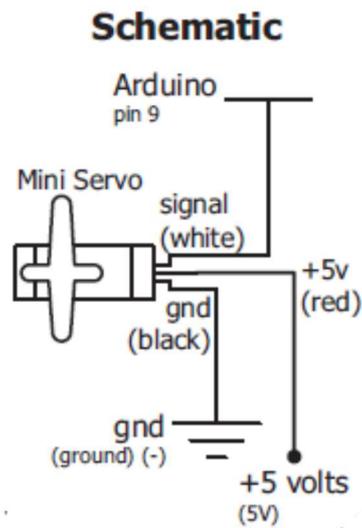


Εικόνα 14.2: Τυποποίηση καλωδίων συνδεσμολογίας RC SERVO

Για την συνδεσμολογία του rc servo στον Arduino, πρέπει να δοθεί προσοχή το pin που θα συνδεθεί να παρέχει την δυνατότητα για την έκδοση σήματος PWM, κάτι το οποίο αναγράφεται μόνο σε συγκεκριμένα pin πάνω στην πλακέτα, όπως αυτό με το No 9 που παρουσιάζεται παρακάτω η σχετική συνδεσμολογία με το schematic.



Εικόνα 14.3: Τυπική συνδεσμολογία RC SERVO με Arduino



Εικόνα 14.4: Schematic συνδεσμολογίας RC SERVO

Ένα σημαντικό μέρος, όπου δαπανάται αρκετός χρόνος για την υλοποίηση οποιασδήποτε ρομποτικής εφαρμογής αποτελούν τα κριτήρια επιλογής του κατάλληλου επενεργητή κίνησης (rc servo). Τα κριτήρια αυτά συνοψίζονται επιγραμματικά παρακάτω:

1. Ακρίβεια
2. Μέγεθος & βάρος
3. Ταχύτητα
4. Δύναμη
5. Αντοχή βάρους

6. Τύπος κινητήρα

Στην προκειμένη περίπτωση αξιοσημείωτα χαρακτηριστικά τα οποία κατείχαν πρωταγωνιστικό ρόλο για την κατάλληλη επιλογή αποτέλεσαν η απόδοση της επιθυμητής ροπής όπου αποτελεί άμεση συνάρτηση της δύναμης καθώς και η ταχύτητα με την οποία θα μπορεί να επιτευχθεί η κίνηση.

Είναι αντιληπτό ότι μια τέτοιου είδους μεταλλική κατασκευή συνοδεύεται από υψηλές απαιτήσεις σε ροπή. Τα πιθανά μοντέλα σερβομηχανισμών τα οποία θα μπορούσαν να ανταποκριθούν στις σχετικές απαιτήσεις είναι πολλά και ποικίλα. Συνοψίζοντας όμως, ως τελική επιλογή *servo* στην παρούσα πτυχιακή εργασία είναι το μοντέλο "MG 996R", της κατασκευάστριας εταιρίας «Tower Pro».

Το συγκεκριμένο μοντέλο, παρέχει την δυνατότητα να ελεγχθεί από οποιαδήποτε έτοιμη βιβλιοθήκη ή κώδικα ή εν γένει να μπορεί να προσαρμοστεί σε οποιοδήποτε μηχανικό σύστημα (hardware), κάτι το οποίο το κάνει προσιτό στον οποιοδήποτε χρήστη είτε αρχάριο είτε έμπειρο. Μερικές από τις βασικότερες τεχνικές προδιαγραφές του παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Περιγραφή μεγέθους	Τιμή	Μονάδα μέτρησης
Βάρος	55	gr
Μήκος	40,7	mm
Πλάτος	19,7	mm
Ύψος	42,9	mm
Ροπή - 4,8 [V]	9,4	Kg cm
Ροπή - 6 [V]	11	Kg cm
Ταχύτητα λειτουργίας - 4,8 [V]	0,17	Sec/60o
Ταχύτητα λειτουργίας - 6 [V]	0,14	Sec/60o
Εύρος τάσης λειτουργίας	4,8 - 7,2	V
Ρεύμα - 4,8 [V]	500	mA
Ρεύμα - 6 [V]	900	mA
Εύρος θερμοκρασίας	0 - 55	oC
Σταθερά χρόνου παλμού	5	μs
Τύπος γραναζιών	Μεταλλικός	
Υποστήριξη περιστροφής	Διπλά ρουλεμάν	

Στην παρακάτω εικόνα, αποτυπώνεται το μοντέλο του συγκεκριμένου rc servo.

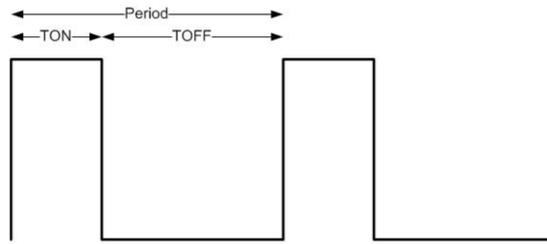


Εικόνα 14.5: RC SERVO MG 996R

Στο σημείο αυτό, αξίζει να δοθεί, μία εκτενέστερη περιγραφή του σήματος που αποστέλλεται για τον έλεγχο του servo.

Το σήμα PWM αποτελεί μία περιοδική κυματομορφή η οποία διακρίνεται σε δύο τμήματα . Στο ένα τμήμα παρουσιάζει την μέγιστη τιμή της και συνήθως αναπαρίσταται ως "ON" ενώ στο άλλο τμήμα έχει μηδενική τιμή και συμβολισμό "OFF". Το τμήμα "ON" ονομάζεται "Duty Cycle" και μετριέται σε μονάδες χρόνου (π.χ. ms) είτε σε ποσοστό (%) επί της περιόδου. Το αποτέλεσμα από την εφαρμογή ενός σήματος PWM στην τροφοδοσία ενός φορτίου είναι ο έλεγχος του ποσοστού της ισχύος που ανταποκρίνεται πάνω στο φορτίο. Κάνοντας επέκταση του ορισμού και συσχετίζοντας το φορτίο με τις ανάγκες ενός κινητήρα τότε αυτό συνεπάγεται με έλεγχο των στροφών του κινητήρα. Για τον υπολογισμό του duty cycle, εφαρμόζεται ο ακόλουθος τύπος:
$$\text{Duty cycle (\%)} = \frac{ON}{ON+OFF} 100$$

Χαρακτηριστικά μεγέθη ακόμα αποτελούν η συχνότητα και η περίοδος όπου είναι αντίστροφα μεταξύ τους. Ως περίοδος, μπορεί να οριστεί το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί από την δημιουργία δύο διαδοχικών παλμών. Στις παρακάτω εικόνες αποτυπώνονται με μεγαλύτερη σαφήνεια οι σχετικές περιγραφές τόσο για την κυματομορφή PWM όσο και για τα μεγέθη που την περιβάλλουν.

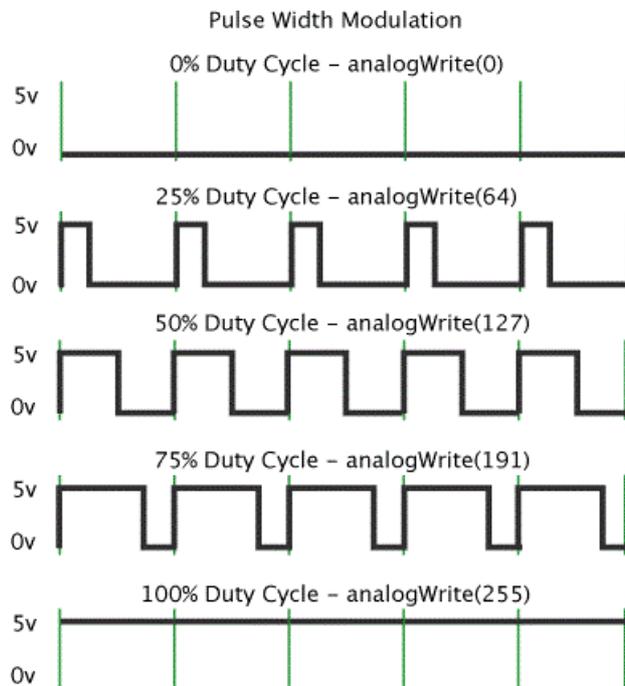


$$\text{Period} = \text{TON} + \text{TOFF}$$

$$\text{Frequency} = 1 / \text{Period}$$

$$\text{Duty Cycle} = \frac{\text{TON}}{\text{TON} + \text{TOFF}} * 100$$

Εικόνα 14.6: Χαρακτηριστικά μεγέθη παλμού PWM



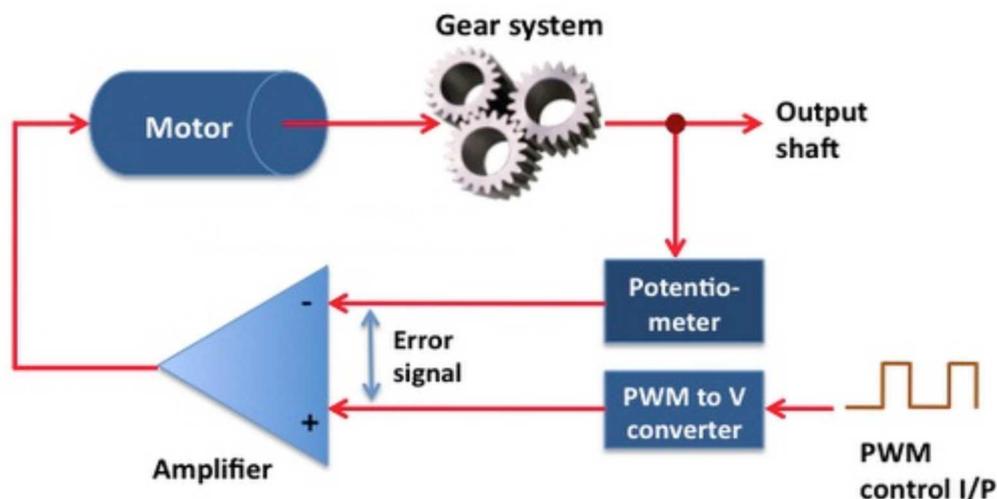
Εικόνα 14.7: Duty Cycle παλμού PWM

Αφότου προηγήθηκε μια αναλυτική περιγραφή για τα τεχνικά χαρακτηριστικά αλλά και το σήμα ελέγχου που δέχεται το rc servo, θεωρείται ωφέλιμο να γίνει μία συνοπτική αναφορά για τις διαδικασίες που ακολουθεί ο μηχανισμός για την άρτια λειτουργία του. Πιο συγκεκριμένα:

1. Αφετηρία αποτελεί η αποκωδικοποίηση του σήματος εισόδου από το σχετικό κύκλωμα ελέγχου.
2. Στη συνέχεια, το σήμα αυτό μετατρέπεται σε μία αντίσταση αναφοράς όπου κάθε αντίσταση αντιστοιχεί σε διαφορετική θέση του κινητήρα.

3. Μετέπειτα, το κύκλωμα ελέγχου του servo εντοπίζει τη θέση του κινητήρα αφού πρώτα έχει διαβάσει την τιμή της αντίστασης του ποτενσιόμετρου.
4. Ακολουθεί η σχετική σύγκριση ανάμεσα στις δύο αντιστάσεις, δηλαδή την αντίσταση αναφοράς κι εκείνη του ποτενσιόμετρου.
5. Ο κινητήρας ξεκινάει να περιστρέφεται με αντίθετη φορά μόνο αν η αντίσταση του ποτενσιόμετρου έχει μεγαλύτερη τιμή από εκείνη της αντίστασης αναφοράς.
6. Πραγματοποιείται εκ νέου σύγκριση.
7. Ο σερβομηχανισμός παραμένει σε αδράνεια όταν οι δύο τιμές των αντιστάσεων είναι ίσες.

Οι παραπάνω διαδικασίες που περιεγράφηκαν αποτυπώνονται συνοπτικά με την βοήθεια του σχεδιαγράμματος που ακολουθεί στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 14.8: Σχήμα ελέγχου RC SERVO

14.2 Υπολογιστική πλατφόρμα Arduino

Για τον έλεγχο και την λειτουργία των ηλεκτρονικών συστημάτων του robot snake προτείνεται η χρήση της υπολογιστικής πλατφόρμας Arduino Uno. Τα οφέλη είναι πολλά και ποικίλα. Αποτελεί ένα εύχρηστο εργαλείο τόσο στη χρήση του συστήματος hardware καθώς μπορεί να λειτουργήσει με ελάχιστα τεχνητά εξωτερικά προσαρτήματα όσο και του software κάτι το οποίο το κάνει προσιτό στον οποιοδήποτε χρήστη.

Ο μικροελεγκτής από τον οποίο αποτελείται η υπολογιστική πλατφόρμα είναι ο ATmega 328, με 8-bit RISC. Ο μικροελεγκτής διαθέτει ενσωματωμένη μνήμη τριών διαφορετικών τύπων όπου η κάθε μία είναι υπεύθυνη για ξεχωριστή λειτουργία. Πιο συγκεκριμένα:

Μνήμη SRAM - 2[kB]: Κατά τη λειτουργία του προγράμματος, αποθηκεύονται μεταβλητές, πίνακες κλπ. Τα δεδομένα από την συγκεκριμένη μνήμη μπορούν να χαθούν είτε αν κοπεί η παροχή τροφοδοσίας ρεύματος προς την πλακέτα είτε αν πραγματοποιηθεί reset.

Μνήμη EEPROM - 10[kB]: Η μνήμη αυτή είναι κατάλληλη για την απλή ανάγνωση ή και εγγραφή των δεδομένων κατά την κανονική ροή των προγραμμάτων που τρέχουν. Το πλεονέκτημα της μνήμης αυτής σε αντίθεση με τη SRAM είναι ότι έχει την ικανότητα να διατηρεί τα δεδομένα της ακόμα κι αν κοπεί η παροχή τροφοδοσίας ρεύματος ή πραγματοποιηθεί reset.

Μνήμη FLASH - 32 [kB]: Ένα ποσοστό της μνήμης έχει ήδη δεσμευτεί από τον κατασκευαστή για την εγκατάσταση των προγραμμάτων μέσω της θύρας USB και το υπόλοιπο ποσοστό της μνήμης χρησιμοποιείται για την αποθήκευση αυτών των προγραμμάτων αφού προηγηθεί η σχετική μεταγλώττισή τους στον υπολογιστή. Ομοίως με την μνήμη EEPROM, διατηρεί τα δεδομένα της ακόμα κι αν υπάρξει απώλεια τροφοδοσίας ή γίνει reset.

Η πλακέτα διαθέτει ένα σταθεροποιητή τάσης στα 5 [V] κι ένα κρυσταλλικό ταλαντωτή 16 [MHz]

Ο μικροελεγκτής ATmega υποστηρίζει σειριακή επικοινωνία, καθώς η πλατφόρμα Arduino διαθέτει σειριακό interface και το γεγονός αυτό του προσδίδει την δυνατότητα ανταλλαγής δεδομένων με τον υπολογιστή μέσω θύρας USB.

Η πλατφόρμα Arduino διαθέτει 14 pin (0 - 13) τα οποία μπορούν λειτουργήσουν ως ψηφιακές είσοδοι και έξοδοι. Η τάση λειτουργίας τους είναι 5 [V] ενώ η μέγιστη ένταση ρεύματος που μπορούν να παρέχουν ή να δεχτούν το κάθε ένα ξεχωριστά αγγίζει τα 40 [mA]. Κύριο χαρακτηριστικό των ψηφιακών εξόδων αποτελεί η κατάσταση "HIGH" ή "LOW" στην οποία μπορούν να τεθούν κι αυτό εξυπηρετεί στην παροχή ή όχι ρεύματος στο συγκεκριμένο pin.

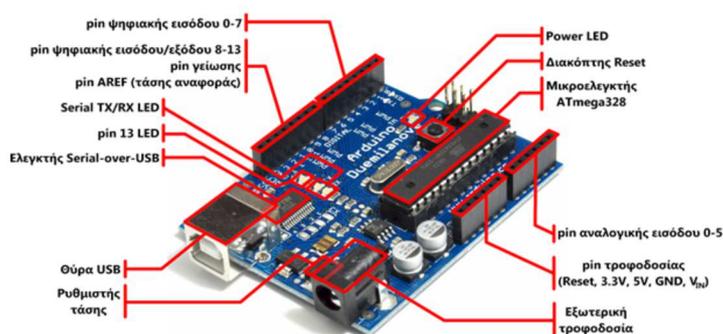
Στο σημείο αυτό, αξίζει να γίνει αναφορά για τα pin τα οποία παρέχουν την δυνατότητα έκδοσης του σήματος PWM όπου έγινε αναφορά στην προηγούμενη υπό ενότητα. Τα pin αυτά είναι τα 3,5,6,9,10 και 11.

Η πλακέτα Arduino διαθέτει ακόμα 6 Pin (0 - 5) που φέρουν τη σήμανση "ANALOG IN" όπου το κάθε ένα απ' αυτά τα pin λειτουργεί ως αναλογική είσοδος με τη βοήθεια του ADC (Analog to Digital Converter). Η λειτουργικότητά τους επεκτείνεται στο ότι αν τροφοδοτηθούν με τάση σ' ένα εύρος από 0 έως 5 [V] τότε το πρόγραμμα έχει την δυνατότητα να διαβάσει την τιμή του pin ως ένα ακέραιο αριθμό από 0 (για τάση 0 [V]) έως 1023 (για τάση 5[V]).

Η τροφοδοσία του Arduino μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε με την χρήση USB σε σύνδεση με τον υπολογιστή είτε μέσω εξωτερικής τροφοδοσίας η οποία μπορεί να κυμαίνεται από 7 έως 12 [V] και να παρέχεται από συσσωρευτή ή οποιαδήποτε άλλη πηγή συνεχούς ρεύματος (DC).

Η γλώσσα προγραμματισμού που χρησιμοποιεί η υπολογιστική πλατφόρμα του Arduino ονομάζεται "Wiring" και φέρει πολλές ομοιότητες με την γλώσσα C/C++ και προσδίδει όμοια λειτουργικότητα καθώς υποστηρίζονται οι βασικές δομές αυτών.

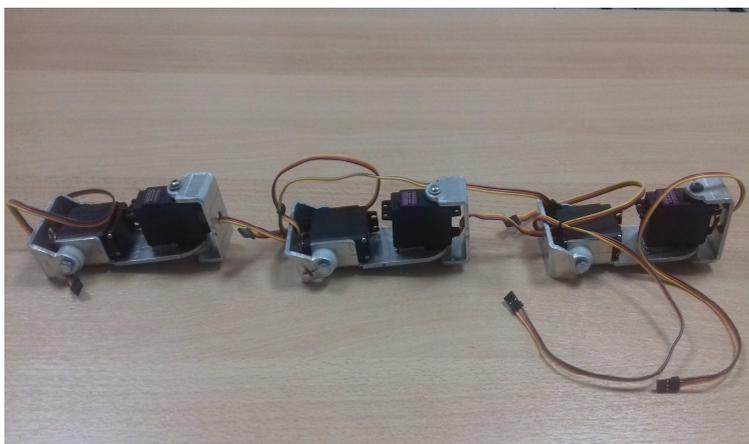
Στην εικόνα που ακολουθεί παρουσιάζονται με μεγαλύτερη ευκρίνεια τα κυριότερα μέρη της υπολογιστικής πλατφόρμας του Arduino, με βάση την περιγραφή που προηγήθηκε.



Εικόνα 14.9: Υπολογιστική πλατφόρμα Arduino

15.Κατασκευαστικό μέρος

Η υλοποίηση του μηχανικού μέρους της κατασκευής συνάδει με την άρτια λειτουργία όλου του ρομπότ καθώς αποτελεί το κομβικό σημείο όπου καλούνται να συνεργαστούν όλα τα παρελκόμενα τμήματα του. Το ρομπότ αποτελείται από τρεις πανομοιότυπους συνδέσμους όπου ο κάθε σύνδεσμος περιέχει μία βάση στήριξης και δύο περιστροφικές αρθρώσεις. Επιπλέον, η κατασκευή χαρακτηρίζεται ως λυόμενη καθώς συναρμολογείται με την χρήση κοχλιών.



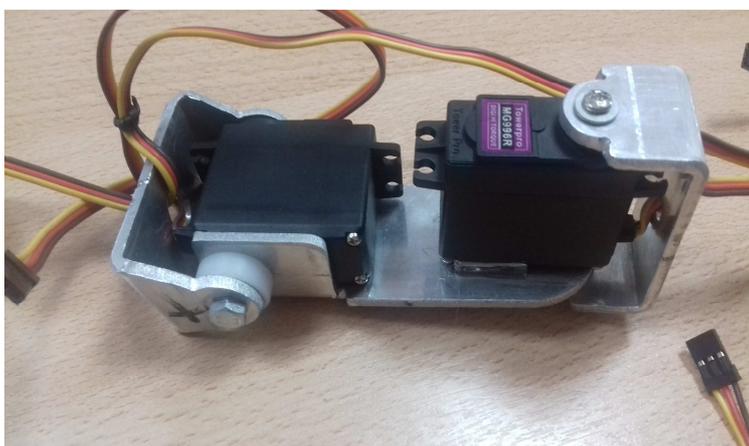
Εικόνα 15.1:Συνολική κατασκευαστική διάταξη

Βασική παραδοχή της κατασκευής αποτελεί το μικρό της βάρος, συνδυάζοντας τις αυξημένες απαιτήσεις αντοχής από την επίδραση των ροπών των σερβομηχανισμών. Για τον λόγο αυτό, ως υλικό επιλέχθηκε αλουμίνιο πάχους 3 [mm] καθώς είναι ελαφρύ και συνάμα ανθεκτικό στη φύση των καταπονήσεων που επιδρούν στο ρομπότ. Οι

μηχανουργικές κατεργασίες που πραγματοποιήθηκαν συσχετίζονται με την κοπή, την έλαση και την διάτρηση του μετάλλου.

Πιο συγκεκριμένα, για την κοπή του αλουμινίου και την σχετική διαμόρφωσή του έγινε χρήση του μηχανουργικού μηχανήματος «πλάσμα». Η σχετική κατεργασία κοπής βασίζεται στη δημιουργία ηλεκτρικού τόξου που σχηματίζεται ανάμεσα στο ηλεκτρόδιο και την επιφάνεια που πρόκειται να κοπεί. Βασικό στοιχείο για την δημιουργία του ηλεκτρικού τόξου αποτελεί η ύπαρξη ενός αδρανούς αερίου όπου πολλές φορές μπορεί να το αντικαταστήσει και ο πεπιεσμένος αέρας. Να σημειωθεί ότι η απόληξη του αερίου και το ηλεκτρόδιο συνυπάρχουν σ' ένα ακροφύσιο μικρής διαμέτρου. Η δημιουργία του πλάσματος είναι σε θέση να λιώσει το μέταλλο που υπόκεινται στη σχετική κατεργασία και παράλληλα να το απομακρύνει από το σημείο κοπής λόγω της μεγάλης ταχύτητας που προσπίπτει στο σημείο αυτό.

Η κατεργασία της έλασης βρίσκει εφαρμογή στην δημιουργία της πλάτης στήριξης του ένα σερβομηχανισμού που βρίσκεται σε οριζόντιο προσανατολισμό πάνω στη βάση.



Εικόνα 15.2: Ενιαίος μεταλλικός σύνδεσμος

Ένα ακόμα χαρακτηριστικό στοιχείο της μεταλλικής κατασκευής αποτελούν οι οπές όπου βρίσκονται τόσο στη βάση στήριξης όσο και πλευρικά των αρθρώσεων. Οι οπές αυτές είναι διάτρητες κι εξυπηρετούν την σύνδεση των σερβομηχανισμών στη μεταλλική κατασκευή αλλά και για την όδευση των καλωδιώσεων. Οι διαστάσεις τους ποικίλουν ανάλογα με την σύνδεση των κατάλληλων κοχλιών. Ο κοχλίας όπου συνεργάζεται άμεσα με το rc servo έχει διάμετρο 3 [mm] ενώ εκείνος που είναι στην απέναντι πλευρά της άρθρωσης έχει διάμετρο 5 [mm]. Επιπλέον, η οπή που εξυπηρετεί την διέλευση των καλωδίων έχει διάμετρο 10 [mm]. Για την αποφυγή αστοχίας των κοχλιοσυνδέσεων, επιλέχτηκε η χρήση κόλλας μεταξύ του σπειρώματος του κοχλία και του συνεργαζόμενου τμήματος.

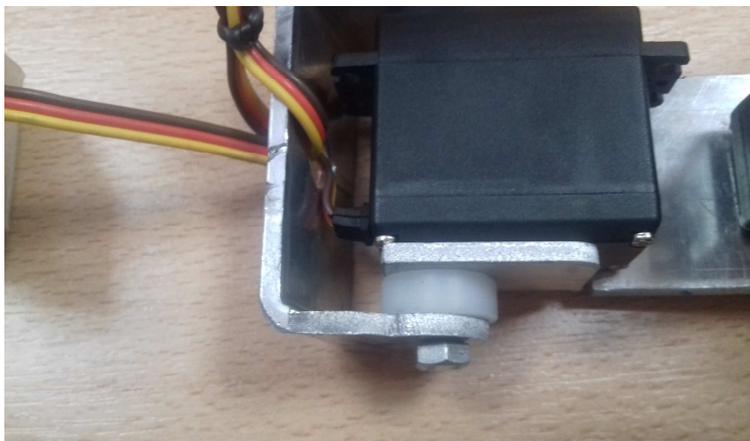


Εικόνα 15.3: Κοχλίες συνδεσμολογίας αρθρώσεων



Εικόνα 15.4: Οπή όδευσης καλωδιώσεων

Ένα ακόμα παρελκόμενο στοιχείο που χρησιμοποιήθηκε προκειμένου να διευκολύνει την περιστροφική κίνηση των αρθρώσεων αποτελεί το παρέμβυσμα από βιομηχανικό πλαστικό («ερτασετάλ») που τοποθετήθηκε ανάμεσα στην άρθρωση και τη βάση στήριξης των σερβομηχανισμών.



Εικόνα 35.5 Πλαστικό παρέμβυσμα μεταξύ άρθρωσης και βάσης

Τέλος, για την τοποθέτηση των σερβομηχανισμών πάνω στη βάση στήριξης πραγματοποιήθηκε θερμοκόλληση με εξοπλισμό που διανέμεται στο εμπόριο.



Εικόνα 15.6: Τοποθέτηση σερβομηχανισμού με θερμοκόλληση

16. Λογισμικό

Όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενη ενότητα η γλώσσα προγραμματισμού της πλατφόρμας Arduino είναι η Wiring η οποία είναι όμοια με τη C++.

Ξεκινώντας την παράθεση του κώδικα, θα πρέπει να τονιστεί ότι η υλοποίηση του robot snake, στηρίζεται στην παραδοχή της απλότητας και ακολουθεί μεθόδους όπου μπορούν να εφαρμοστούν από οποιονδήποτε προπτυχιακό φοιτητή θέλει να ασχοληθεί.

Ο σχεδιασμός του ρομποτικού φιδιού παραθέτει τρεις όμοιους συνδέσμους όπου ο κάθε σύνδεσμος διαθέτει ένα σερβομηχανισμό με οριζόντιο κι ένα με κατακόρυφο προσανατολισμό κίνησης. Έτσι, στο ρομποτικό φίδι, προτείνεται να εγκατασταθούν μία υπολογιστική πλατφόρμα Arduino που θα εξυπηρετεί τις σχετικές συνδέσεις με τους σερβομηχανισμούς.

Το έναυσμα του κώδικα αποτελεί η παράθεση των βιβλιοθηκών με την βοήθεια των οποίων εκτελούνται οι μαθηματικές πράξεις μέσω των εξισώσεων αλλά και η αναγνώριση για την συνδεσμολογία και ταύτιση των σερβοκινητήρων. Για την πρώτη δραστηριότητα υπεύθυνη είναι η βιβλιοθήκη `#include <math.h>` ενώ για την δεύτερη `#include<Servo.h>`. Αξίζει να σημειωθεί ότι και οι δύο βιβλιοθήκες είναι προ εγκατεστημένες στο περιβάλλον προγραμματισμού του Arduino (IDE).

Το μαθηματικό υπόβαθρο του κώδικα συσχετίζεται με την συνάρτηση που διέπει την ερπετοειδή μετακίνηση όπου έχει αναλυθεί στις παραπάνω ενότητες καθώς και με την συσχέτιση των παραμέτρων των κινητήρων προκειμένου να επιτευχθεί ο επιδιωκόμενος κυματισμός για την κίνηση του ρομπότ. Η ανάπτυξη του κώδικα έχει άμεση συσχέτιση με το κατασκευαστικό μέρος του ρομπότ καθώς διακλαδίζεται στην ανάλυση των συνθηκών για την επίτευξη της κίνησης τόσο στο οριζόντιο όσο και στο κάθετο επίπεδο.

Έτσι, για την επίτευξη του συγχρονισμού σημαντικό ρόλο έχουν οι παράμετροι που διέπουν τους κινητήρες και παρατίθενται συνοπτικά παρακάτω.

- Πλάτος (εύρος) παλμού τόσο στο κάθετο όσο και στο οριζόντιο επίπεδο.
- Διαφορά φάσης σε οριζόντιο και κάθετο επίπεδο.
- Αρχική φάση του κινητήρα.
- Το επιδιωκόμενο offset στο οριζόντιο επίπεδο.
- Το πλήθος των επιδιωκόμενων κάθετων κυματισμών.
- Η γωνία περιελίξεως εκφρασμένη σε μοίρες.

Να σημειωθεί ότι όλοι οι παράμετροι που συντελούν στην εκτέλεση του κώδικα είναι τύπου ακεραίου και στο πρόγραμμα δηλώνονται με το χαρακτηρισμό `int`.

Στη συνέχεια του κώδικα καταχωρούνται οι ονομασίες των σερβοκινητήρων και δηλώνονται με το πρόθεμα `servo`.

Μια σύντομη αποτύπωση των παραπάνω παρουσιάζεται στην εικόνα που ακολουθεί:

```
#include <math.h>
#include <Servo.h>

/-- Παράμετροι κινητήρων
int Av, Ah;          /-- Πλάτος (εύρος) στο οριζόντιο & κάθετο επίπεδο
int PDv, PDh, PDvh; /-- Διαφορές φάσης
int F0;             /-- Αρχική φάση
int Oh;            /-- Offset στο οριζόντιο επίπεδο
int k=2;           /-- Πλήθος κάθετων κυματισμών
int gwnia=2;       /-- Γωνία περιελίξεως (μοίρες)
int MOD=4;
int wv;
int wh;
int theta=sin(2*M_PI+PDv);

Servo myservo_1;
Servo myservo_2;
Servo myservo_3;
Servo myservo_4;
```

Εικόνα 16.1: Βιβλιοθήκες, παράμετροι & ονομασίες servo

Σειρά στο πρόγραμμα έχει η δήλωση των θέσεων των `pin` στην πλακέτα του Arduino, πάνω στα οποία θα τοποθετηθούν τα σήματα των κινητήρων. Αυτό πραγματοποιείται μέσα στη βασική ρουτίνα `set up` η οποία εκτελείται μία μόνο φορά κατά την εκκίνηση του προγράμματος. Η σχετική δραστηριότητα φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:

```

void setup()
{
  myservo_1.attach(3);
  myservo_2.attach(5);
  myservo_3.attach(6);
  myservo_4.attach(9);
}

```

Εικόνα 16.2: Θέσεις σύνδεσης κινητήρων

Στο σημείο αυτό η δραστηριότητα μεταβιβάζεται στην συνάρτηση void loop όπου περιέχει τις αναγκαίες εξισώσεις. Η εκτέλεση της συγκεκριμένης ρουτίνας επαναλαμβάνεται συνέχεια.

Οι εξισώσεις αυτές συσχετίζονται με τον ορισμό της γωνίας περιελίξεως αλλά και με την δήλωση των συνθηκών που διέπουν την εκδήλωση τόσο του κάθετου όσο και του οριζόντιου κυματισμού. Τις εξισώσεις αυτές στελεχώνουν οι παράμετροι που αναφέρθηκαν και παραπάνω. Η περιγραφή αυτή μπορεί να αποδοθεί με μεγαλύτερη σαφήνεια με την βοήθεια της παρακάτω εικόνας από τον κώδικα:

```

void loop()
  //-- Μετακίνηση με κεκλιμένη πλευρική περιέλιξη
{
  int gwniav = gwnia*sin(45);
  int gwniah = gwniav;
  int kv=k;
  int kh=k;

  //-- Συνθήκη κάθετου κυματισμού
  Av=2*gwniav*sin(2*M_PI*kv/MOD);
  PDv=direction*(4*M_PI*kv/MOD)*180/M_PI;
  wv=Av*theta;

  //-- Συνθήκη οριζόντιου κυματισμού
  Oh=0;
  Ah=2*gwniah*sin(2*M_PI*kh/MOD);
  PDh=PDv;
  PDvh=0;
  wh=Ah*theta;
}

```

Εικόνα 16.3: Συνθήκη οριζόντιου & κάθετου κυματισμού

Με την ολοκλήρωση της παράθεσης των σχετικών εξισώσεων κι αφού διασφαλιστεί ότι ικανοποιούνται όλες οι επιθυμητές συνθήκες και δεν παρακάμπτονται οι περιορισμοί, θέτονται σε λειτουργία οι μηχανισμοί που θα επιτυγχάνουν την επανάληψη του block εντολών. Η ενέργεια αυτή εκπονείται με την βοήθεια της εντολής «for». Χαρακτηριστικό της εντολής αυτής είναι η ενσωμάτωση μιας μεταβλητής η οποία έχει την δυνατότητα να επεμβαίνει είτε αυξάνοντας είτε μειώνοντας την παράμετρο της εντολής μετά το ξεκίνημα της επανάληψης έως ότου τερματίσει το loop. Στην προκειμένη περίπτωση χρησιμοποιείται για την γωνία περιστροφής του κινητήρα. Οι παρακάτω εικόνες βοηθούν στην καλύτερη κατανόηση της περιγραφής:

```

for (int wv=0; wv<90; wv+=1)
{
myservo_1.write(wv);
myservo_3.write(wv);
}
delay(10);

for (int wv=90; wv>1; wv+=1)
{
myservo_1.write(wv);
myservo_3.write(wv);
}
delay(10);

```

Εικόνα 16.4: Συνάρτηση for κάθετου κυματισμού

17.Επίλογος

Στη διάρκεια εκπόνησης της παρούσης πτυχιακής εργασίας δόθηκε ιδιαίτερη έμφαση στην βέλτιστη απόδοση του σχεδιασμού. Η παραδοχή που τέθηκε ήταν η λειτουργικότητα του ρομπότ να συνάδει με μικρή κλίμακα αστοχίας μεταξύ των συνεργαζόμενων τμημάτων και να αποτραπεί η οποιαδήποτε μορφή πολυπλοκότητας όπου θα αποτελεί αποθαρρυντικό παράγοντα για την υλοποίηση του κατασκευαστικού μέρους.

Επιπλέον, δόθηκε ιδιαίτερη προσοχή στην επιλογή των κινητήρων, όπου τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους, θα τους επέτρεπαν να ανταποκριθούν στις υψηλές απαιτήσεις ισχύος για την κίνηση των αρθρώσεων χωρίς να δημιουργούσε πρόβλημα στο μηχανικό υποσύστημα τους αλλά και στη δομή του ίδιου του ρομπότ. Στην παραδοχή αυτή, συμμετείχε και η διαλογή του κατάλληλου υλικού το οποίο θα δομούσε την κατασκευή, όπου θα επιτύγχανε να είναι ελαφρύ αλλά παράλληλα να αντέχει και στις οποιοσδήποτε καταπονήσεις. Την σχετική λύση έδωσε το αλουμίνιο.

Επιμέλεια, δόθηκε επίσης και στην συνοχή του κώδικα όπου αποτελεί τον τελευταίο κρίκο της αλυσίδας για την άρτια λειτουργικότητα του ρομπότ. Η εισαγωγή των δεδομένων και εξισώσεων που διεξήχθησαν από την μαθηματική μοντελοποίηση και η μετουσίωσή τους στη συμπεριφορά των μηχανικών τμημάτων του ρομπότ αποτέλεσε κίνητρο για την επίτευξη του κατάλληλου τύπου μετακίνησης που θα εκτελούσε το ρομπότ.

Τέλος, μελετήθηκε ο τρόπος σύνδεσης μεταξύ των αρθρώσεων του ρομπότ προκειμένου να αξιοποιούνται στο μέγιστο οι βαθμοί ελευθερίας που αυτές προσδίδουν κι έτσι να επιτυγχάνεται μία κίνηση με πολυδιάστατη μορφή αποδίδοντας την δυνατότητα ευελιξίας και προσπέλασης εμποδίων. Αυτό πραγματοποιήθηκε με την παρεμβολή μεταξύ των αρθρώσεων μιας universal joint που παρέχει τις σχετικές δυνατότητες. Κίνητρο ακόμα, αποτέλεσε και η κίνηση στο χώρο χωρίς την προσθήκη τροχήλατης υποστήριξης.

18.ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Kevin J. Dowling, advised by William L. Whittaker. Limbless Locomotion: Learning to crawl with a snake robot. Carnegie Mellon University, (1997)
2. ΒΑΡΕΣΗΣ ΟΡΕΣΤΗΣ, ΔΙΑΜΑΝΤΟΠΟΥΛΟΣ ΧΑΡΑΛΑΜΠΟΣ. Έλεγχος ρομποτικού φιδιού με μικροελεγκτή. Πανεπιστήμιο Πατρών, (2015)
3. Δρ.Φασουλάς Ιωάννης. Διδακτικές σημειώσεις Arduino, Μηχαντρονικά Συστήματα Ι., eclass,Τ.Ε.Ι. Κρήτης
4. Αντώνιος Τζέξ, Κωνσταντίνος Αλέξης, Κίμων Βαλαβάνης, Ελένη Κελασίδα, Γεώργιος Νικολακόπουλος. Ρομποτικά Συστήματα για Σκοπούς Εξερεύνησης και Διάσωσης. Πρόγραμμα επιστημονικών μελετών, (2011)
5. Κωνσταντίνος Τζαφέστας. Ρομποτική Ι: Ανάλυση, Έλεγχος, Εργαστήριο, Κινηματική/Στατική/Δυναμική Ανάλυση και Έλεγχος Ρομποτικών Χειριστών. Ε.Μ.Π, (2011-2012)
6. Κωνσταντίνος Τζαφέστας. Ρομποτική Ι: Διαφορική Κινηματική Ανάλυση. Ε.Μ.Π., (2008-2009)
7. Δρ. Καββουσανός Εμμανουήλ. Βιομηχανική Ρομποτική: έλεγχος ρομποτικών χειριστών, Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα: Προηγμένα συστήματα παραγωγής, αυτοματισμού και ρομποτικής, eclass,Τ.Ε.Ι. Κρήτης
8. Δρ. Καββουσανός Εμμανουήλ. Προηγμένα Ρομποτικά Συστήματα: Κινηματική ανάλυση τροχοφόρων ρομπότ, Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα: Προηγμένα συστήματα παραγωγής, αυτοματισμού και ρομποτικής, eclass,Τ.Ε.Ι. Κρήτης
9. Δρ. Καββουσανός Εμμανουήλ. Θέματα Κίνησης (Locomotion), Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα: Προηγμένα συστήματα παραγωγής, αυτοματισμού και ρομποτικής, eclass,Τ.Ε.Ι. Κρήτης
10. Δρ. Καββουσανός Εμμανουήλ. Αντίστροφο κινηματικό πρόβλημα.pdf, eclass,Τ.Ε.Ι. Κρήτης
11. Κινηματική ανάλυση στερεού σώματος, eclass,Τ.Ε.Ι. Κρήτης
12. lesson06_0 tei λαμίας
13. Καταπόδης Στέφανος. Σερβομηχανισμοί RC, (2014)
14. https://el.wikipedia.org/wiki/Κοπή_με_πλάσμα
15. <http://courseware.mech.ntua.gr/ml26065/mathimata/08-Elasi.pdf>