

ROBOTICS

in Architecture

[μια νέα σχέση πραγματικού - ψηφιακού]
Ρομποτικές εφαρμογές στην αρχιτεκτονική
κατασκευή και σχεδιασμό.



Ερευνητική εργασία
2017

Σωτήριος Ντζούφρας

Επιβλέπων καθηγητής
Ουγγρίνης Κωνσταντίνος - Αλκέτας

Μέλος Εξεταστικής Επιτροπής: Προβιδάκης Κωνσταντίνος(ΑΡΧΜΗΧ)
Μέλος Εξεταστικής Επιτροπής: Παπαευσταθίου Ιωάννης (ΗΜΜΥ)

Τμήμα Αρχιτεκτόνων Μηχανικών
Πολυτεχνείο Κρήτης

Ευχαριστίες

Ευχαριστώ τον κ. Ουγγρίνη και την κα. Λιάπη για την πολύτιμη καθοδήγησή τους και τις ενδιαφέρουσες συζητήσεις μας στα πλαίσια αυτής της έρευνας, τους φίλους μου και ιδιαίτερα την Μαντό, για την ενθάρρυνση και την στήριξή τους όλο αυτό το διάστημα, την οικογένεια μου τους πιο ένθερμους υποστηρικτές μου και τους συνεργάτες μου στο εργαστήριο Μεταβαλλόμενων και ευφυών περιβαλλόντων Πολυτεχνείου Κρήτης (TUC TIE Lab).

[Περιεχόμενα]

Eισαγωγή.....

[σελ.13]

Σκοπός έρευνας

Κεφάλαιο 1: Ρομποτική.....

[σελ.17-25]

- 1.1Ρομπότ – μια καρτεσιανή διαίρεση.....
- [σελ.19]
- Ρομποτική ορισμός
- 1.2 Αυτόματα.....
- [σελ.22]
- Da Vinci’s Knight
- Vaucanson’s Digesting Duck
- The Turk

Κεφάλαιο 2: Αρχιτεκτονική και ρομποτική.....

[σελ.27-47]

- 2.1 Εισαγωγή.....
- [σελ.28]
- 2.2 Από τον Alberti στο digital fabrication.....
- [σελ.29]
- 2.3 Τα ρομπότ στην αρχιτεκτονική.....
- [σελ.31]
- Προς μια [κοινή] νέα γλώσσα
- Ονειρα αυτοματισμού
- 2.4 Προς μια συνεργασία.....
- [σελ.38]
- Συνεργασία ανθρώπου-μηχανής
- Συνεργασία στο εργοτάξιο
- Μια νέα εποχή ρομποτικής στην αρχιτεκτονική

Κεφάλαιο 3: Ρομποτικοί βραχίονες στην αρχιτεκτονική κατασκευή.....

[σελ.49-111]

- 3.1 Εισαγωγή.....
- [σελ.52]
- Η τρέχουσα προσέγγιση
- Τα εμπόδια
- Οι προβληματισμοί
- 3.2 Δομή έρευνας.....
- [σελ.57]
- Το ερευνητικό ερώτημα
- Η υπόθεση
- Πεδίο εφαρμογής και στόχοι
- Οργάνωση έρευνας
- Τα στάδια υλοποίησης
- 3.3 Πειραματισμοί.....
- [σελ.61]
- Model 1 - MICA R. ARM: ‘η διασύνδεση’
- Model 2 - AWESOMO R. ARM: ‘η κατασκευή’
- Model 3 - ROXI R. ARM: ‘ένα κοινό περιβάλλον’

Κεφάλαιο 4: Σμήνος ρομποτικών πρακτόρων στην αρχιτεκτονική κατασκευή.....

[σελ.113-235]

- 4.1 Εισαγωγή.....
- [σελ.115]
- 4.2Το σμήνος ρομποτικών πρακτόρων.....
- [σελ.116]
- MULTI-ROBOT SYSTEMS
- SWARM ROBOTICS
- Νοημοσύνη σμήνους (swarm intelligence)
- Κανόνες του σμήνους σύμφωνα με τον Craig Reynolds
- Τα οφέλη - Τα αρνητικά

4.3 Παρουσίαση ερευνών ρομποτικού σμήνους στην αρχιτεκτονική κατασκευή.....

[σελ.125]

- 4.3.1 Extra-terrestrial habitats workshop: Αποικία στον Αρη με χρήση ρομποτικού σμήνους στην κατασκευαστική διαδικασία (TUC TIE Lab Πολυτεχνείου Κρήτης, Πανεπιστήμιο Χιούστον (SICSA), υπό την καθοδήγηση των επιστημών της NASA).....
- [σελ.129]
- Εισαγωγή
- Στόχος έρευνας
- Δεδομένα αποστολής
- Αρχές σχεδιασμού αποικίας
- Πλάνο αποστολής
- Ρομποτικό σμήνος και η κατασκευαστική διαδικασία.
- Πειραματισμοί:
- Αναζήτηση και μεταφορά
- Εργαλείο προσομοίωσης σμήνους μέσω Grasshopper.
- Σύστημα πλοήγησης
- Χαρτογράφηση
- Συμπεράσματα

4.3.2 WorldCraft, Μια γεφύρωση πραγματικού –ψηφιακού.....

[σελ.155]

- Εισαγωγή
- Στόχος
- Η τρέχουσα προσέγγιση
- Η υπόθεση
- Τι είναι το Worldcraft
- Το Worldcraft και το ρομποτικό σμήνος
- Το Worldcraft και η διαδικασία του σχεδιασμού
- Η δομή της έρευνας
- Το Minecraft σαν εργαλείο έρευνας
- Τι είναι το Minecraft.
- Το Minecraft σαν εκπαιδευτικό εργαλείο
- Το Minecraft στην έρευνα
- Τα πλεονεκτήματα του Minecraft σαν πλατφόρμα έρευνας

- 4.3.2.1Το εργαλείο Worldcraft και η περιγραφή της μεθοδολογίας για τη γεφύρωση πραγματικού- ψηφιακού με στόχο την κατασκευή.....
- [σελ.169]
- Τα τέσσερα στάδια του συστήματος:
- Στάδιο 1:
- Η διαδικασία αποτύπωσης και μοντελοποίησης της νήσου Ημερης Γραμβούσας με τη χρήση drones και τον συνδυασμό νέων ψηφιακών εργαλείων, καθώς και η δημιουργία βάσης δεδομένων.
- Στάδιο 2:
- Η διαδικασία κυβοποίησης του εργαλείου Worldcraft για τη δημιουργία εικονικού περιβάλλοντος εφαρμογής.
- Στάδιο 3:
- Η κωδικοποίηση του σχεδιασμού για τη διαδικασία της κατασκευής με χρήση ρομποτικού σμήνους.
- Στάδιο 4:
- Η μεθοδολογία του σχεδιασμού.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ.....

[σελ.237-283]

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....

[σελ.285-294]

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σκοπός έρευνας

Η απαίτηση για διάδραση και ανατροφοδότηση με τον πραγματικό κόσμο και τους παράγοντές του, αποτελεί την βασική ιδέα και το κίνητρο αυτής της εργασίας. Μέσα στο πλαίσιο της αρχιτεκτονικής, τα ρομπότ μπορούν να αποτελέσουν την ιδανική σχέση μεταξύ του πραγματικού (φυσικού) κόσμου και του ψηφιακού που οι σχεδιαστές έχουν δημιουργήσει.

Υπάρχουν πολλές κατηγορίες ρομπότ τα οποία έχουν αναπτυχθεί σε τέτοιο βαθμό που μπορούν να προσφέρουν καινούριες δυνατότητες στην αρχιτεκτονική και κυρίως στον τομέα της κατασκευής. Η παρούσα ερευνητική εργασία εστιάζει σε δύο κατηγορίες ρομπότ: τους βιομηχανικούς ρομποτικούς βραχίονες (κεφάλαιο 2) και το σμήνος από ρομπότ (κεφάλαιο 3). Σκοπός είναι να εξετάσει τις δυνατότητές τους από την σκοπιά της ρομποτικής τεχνολογίας και της αρχιτεκτονικής κατασκευής. Αναλύοντας νέα εργαλεία και μηχανισμούς θα προσπαθήσουμε να κατανοήσουμε τους περιορισμούς, τις συνδέσεις και τις δυνατότητες τους.

Στα πλαίσια αυτής της εργασίας κρίθηκε αναγκαία η κατασκευή ρομποτικών συστημάτων και η δημιουργία νέων ψηφιακών εργαλείων προκειμένου να εξετάσουμε τις δυνατότητες της ρομποτικής στην αρχιτεκτονική και να κατανοήσουμε τις σχέσεις που αναπτύσσονται σε αυτό το πλαίσιο.

ROBOTICS

in Architecture

[μια νέα σχέση πραγματικού - ψηφιακού]
Ρομποτικές εφαρμογές στην αρχιτεκτονική
κατασκευή και σχεδιασμό.

Research stages

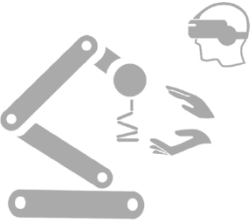
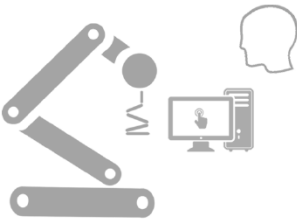
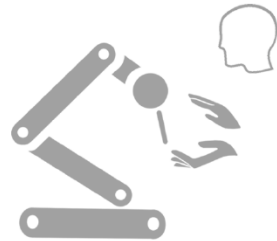


scale _ construction site

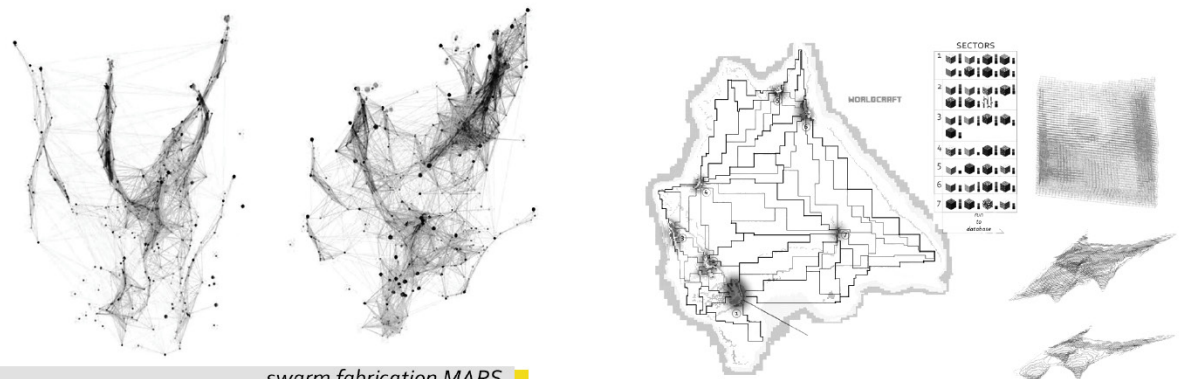
model 1

model 2

model 3



έρευνα σε ρομποτικά συστήματα:
-από την μονάδα, στο συλλογικό σύστημα

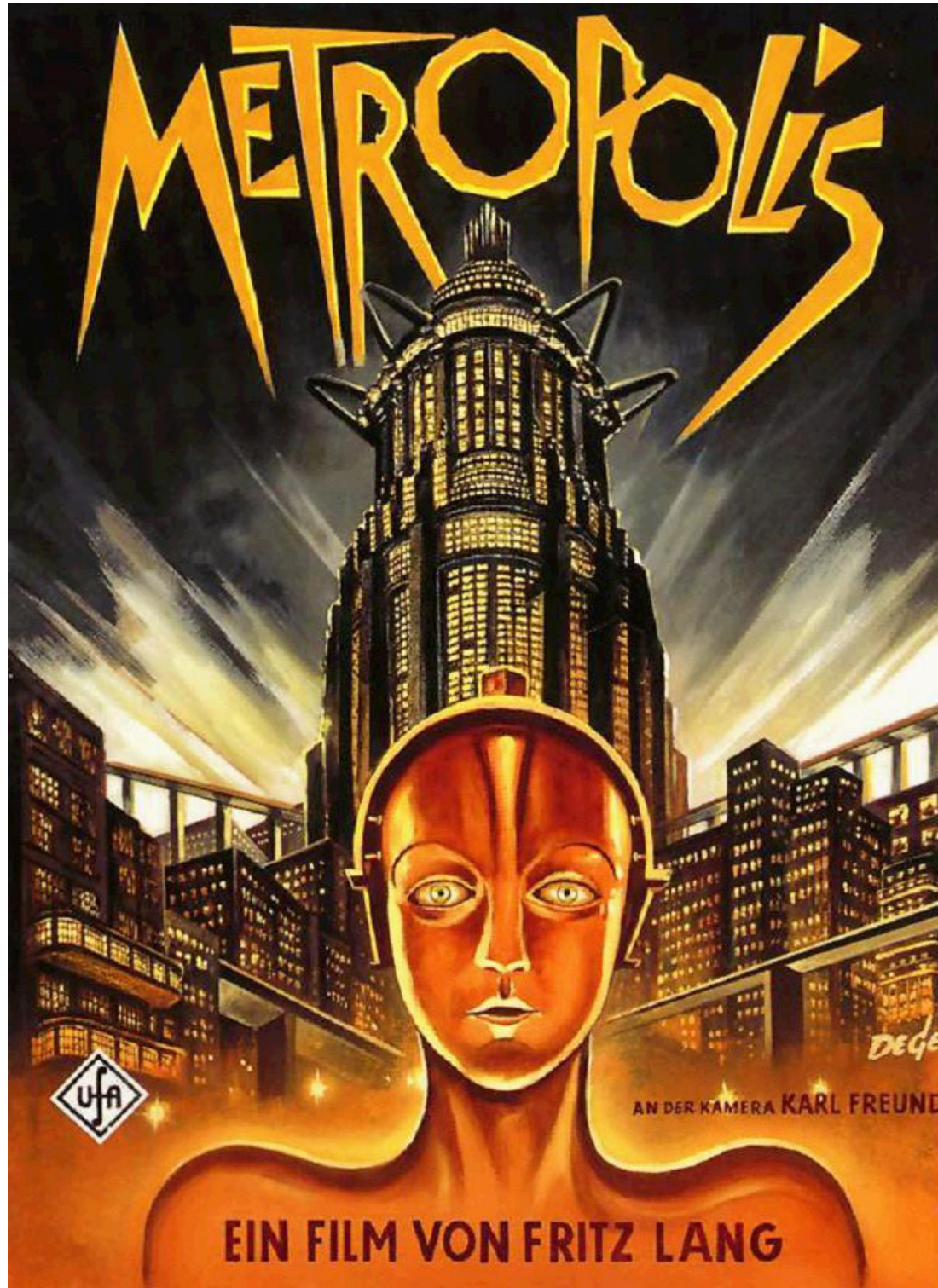


swarm fabrication MARS

WorldCraft "swarm fabrication App."

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

[Ρομποτική]



1.1 Ρομπότ – μια καρτεσιανή διαίρεση

Τα ρομπότ πάντα κέρδιζαν το ενδιαφέρον του ανθρώπου. Μετά την δεκαετία του 1960, σε μια εποχή μεγάλης τεχνολογικής προόδου, τα ρομπότ κάνουν την πρώτη τους εμφάνιση σε βιβλία, κινούμενα σχέδια, θεατρικές παραστάσεις και ταινίες. Απεικονίζονται ως ευφυείς μηχανές συνήθως με ανθρώπινα χαρακτηριστικά ή συμπεριφορές (Moria Metropolis, 192). Τα ρομπότ προβάλλονται συνήθως ως πλάσματα βγαλμένα από ανθρώπινο καλούπι τα οποία βρίσκονται υπό τον έλεγχο των δημιουργών τους. Η ταινία «Star Wars» του 1977 έφερε στο χώρο της επιστημονικής φαντασίας τα δύο πιο διάσημα ρομπότ, τον R2D2 και τον C-3PO (εικόνα 2). Παρουσιάζονται εξαιρετικά έξυπνα, ικανά να συνομιλήσουν με ανθρώπους και να εκτελέσουν δύσκολες εργασίες οι οποίες δεν απαιτούν μόνο γνώσεις μηχανικής, αλλά προϋποθέτουν και πνευματικές ικανότητες. Το πιο πρόσφατο παράδειγμα έρχεται από την ταινία «Robot and Frank» στην οποία το ρομπότ βοηθάει τον βασικό χαρακτήρα να γίνει καλύτερος άνθρωπος. Σε αυτή την περίπτωση το ρομπότ απεικονίζεται ως συνεργάτης του ανθρώπου, είναι σε θέση να συνομιλήσει μαζί του, αλλά κυρίως προσπαθεί να συνεργαστεί μαζί του με στόχο την υλοποίηση μιας εργασίας [1].

[1] Corke P., "Introduction to Robotics, robot futures", <https://moocs.qut.edu.au/courses/814/learn> [25-05-2015].



[εικόνα 2] Τα ρομπότ R2D2 και C-3PO από την ταινία Star Wars.

[2] Ewalt D. M., "30 great moments in the history of robots", www.forbes.com, 2012 [15-02-2015]

[3] Κατελής Βίγκλας, «Η εννοια του ομοιώματος με παραδείγματα από την επιστημονική φαντασία», Φρέαρ, τεύχος 12/13 (Οκτώβριος 2015), σσ. 565-574.

[4] Bonsignorio, F., "The new AI and robotics: Lecture by Fabio Bonsignorio," (IJARS), International Journal of Advanced Robotic Systems, 2015.

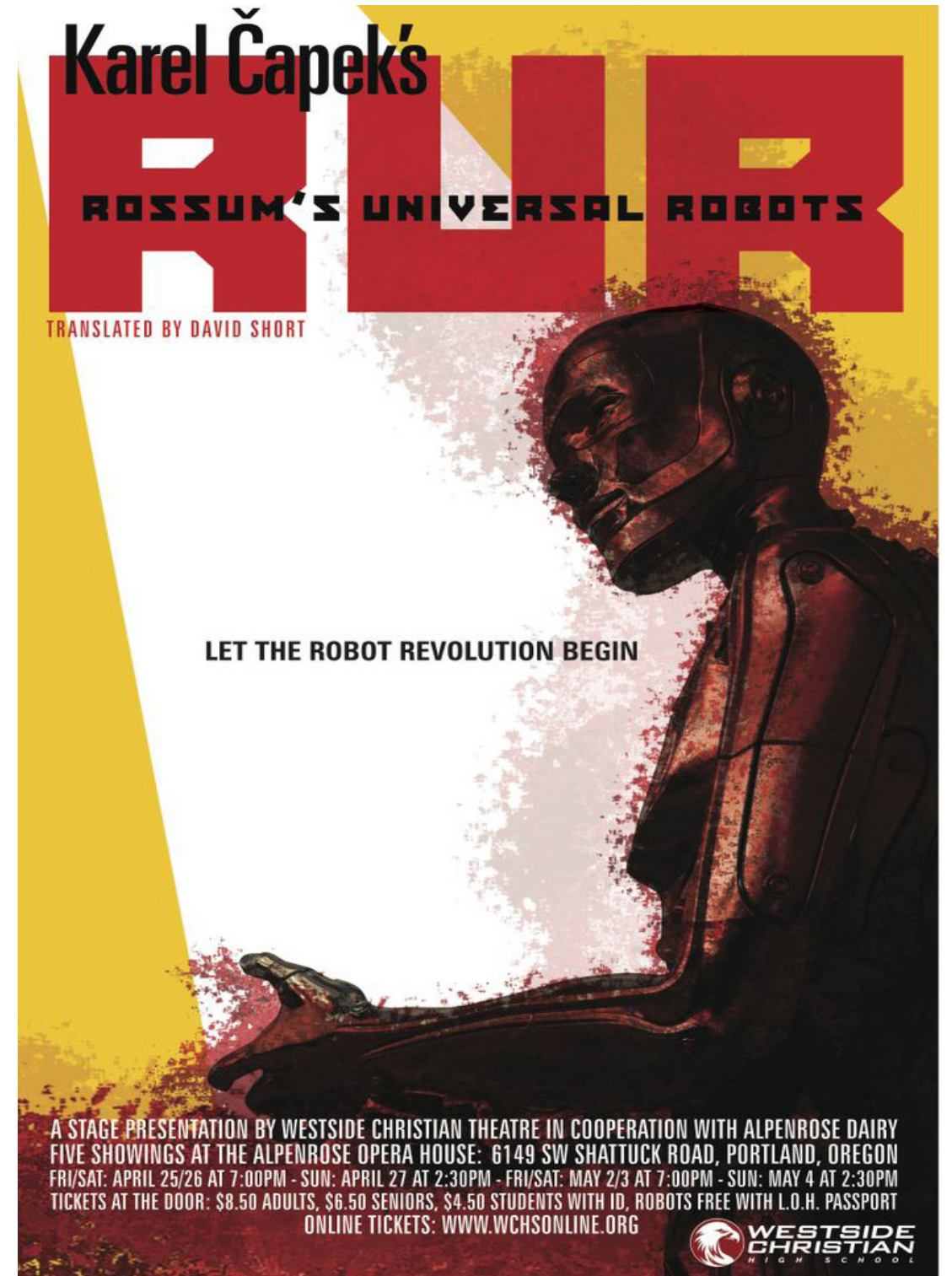
[5] Corke P., "Introduction to Robotics, robot futures," <https://moocs.qut.edu.au/courses/814/learn> [25-05-2015].

[Εικόνα 3] Διεθνές Εργαστήριο Argonne 1951. Το σύστημα τηλεχειρισμού.



Τα τελευταία 50 με 100 χρόνια, η έννοια του ρομπότ έχει εξελιχθεί και εν τέλει ξεφύγει από τα πλαίσια της επιστημονικής φαντασίας. Παρ' όλα αυτά, δεν αποτελεί καινούρια έννοια. Ο Αριστοτέλης (384-322π.χ.) αναφέρει στα «Πολιτικά» (c1253/634): «αν κάθε όργανο μπορούσε, κατά διαταγή, να εργαστεί μόνο του, αν η σαΐτα του αργαλειού μπορούσε να υφάνει μόνη της, οι επιχειρηματίες δεν θα είχαν ανάγκη από εργάτες, ούτε οι αφέντες από δούλους» [2]. Ωστόσο, ο όρος ρομπότ πρωτοεμφανίστηκε το 1921 στο θεατρικό έργο επιστημονικής φαντασίας «R.U.R.» (Rossum's Universal Robots) του Τσέχου συγγραφέα Κάρελ Τσάπεκ, στο οποίο σατιρίζεται η εξάρτηση της κοινωνίας από τους μηχανικούς εργάτες (ρομπότ) της τεχνολογικής εξέλιξης, οι οποίοι τελικά εξοντώνουν τους δημιουργούς τους.

Η λέξη ρομπότ προέρχεται από το σλάβικο Robota που σημαίνει σκληρή εργασία, αγγαρεία [3]. Τα ρομπότ, είτε αναφερόμαστε στην επιστημονική φαντασία είτε στην πραγματικότητα, διέπονται πάντα από μία αυστηρή καρτεσιανή διαίρεση όπου το σώμα και ο νους είναι οντολογικά διακριτές ουσίες, είναι δηλαδή ικανές ανεξάρτητης ύπαρξης [4]. Αυτό έγινε ιδιαίτερα αισθητό το 1951 στο Διεθνές Εργαστήριο Argonne (εικόνα 3), όπου η ανάγκη διαχείρισης επικίνδυνων ραδιενεργών υλικών οδήγησε τους επιστήμονες στο να αναπτύξουν ένα σύστημα τηλεχειρισμού. Κατασκεύασαν μια σειρά από ρομποτικά χέρια – «σκλάβους», τα οποία τοποθέτησαν σε ένα απομονωμένο δωμάτιο και κρατούσαν τα ραδιενεργά υλικά, ενώ οι επιστήμονες τα διαχειρίζονταν εξ' αποστάσεως με την χρήση του ρομποτικού «master arm». Οι σκλάβοι ρομπότ μπορούσαν να αναπαράγουν την διαδικασία κοντά στον πραγματικό χρόνο. Αυτή η μηχανή μπορεί να θεωρηθεί ο πρόδρομος της σύγχρονης ρομποτικής. Στην σύγχρονη βιομηχανική ρομποτική, ο ηλεκτρονικός υπολογιστής λειτουργεί ως «master arm», αλλά συνήθως η λειτουργία δεν γίνεται σε πραγματικό χρόνο [5].



Ρομποτική ορισμός

Ρομποτική καλείται ο κλάδος της επιστήμης, ο οποίος ασχολείται με τον σχεδιασμό και την ανάπτυξη ρομποτικών συστημάτων. «Ρομποτικά συστήματα» ή «ρομπότ», καλούνται τα αυτοματοποιημένα συστήματα τα οποία έχουν τη δυνατότητα να αντικαθιστούν τον άνθρωπο σε αρκετές εργασίες, είτε ελεγχόμενα από αυτόν, είτε αυτόνομα με τη χρήση της τεχνητής νοημοσύνης (AI).

Οι ορισμοί για το τι είναι ένα ρομπότ ποικίλουν και αποτελούν ένα σημείο διαμάχης μεταξύ διαφόρων επιστημονικών πεδίων. Ο William Gervater ορίζει το ρομπότ σαν «μία ευέλικτη μηχανή ικανή να ελέγχει τις δικές της λειτουργίες μέσα από ένα εύρος εργασιών, χρησιμοποιώντας αποθηκευμένα προγράμματα. Με την ικανότητα του επαναπρογραμματισμού, η βασική εργασία διέπεται από την ευκαμψία. Πιο προηγμένα ρομπότ θα είναι σε θέση να ορίζουν δικούς τους στόχους, να οργανώνουν τις δικές τους δράσεις και να προσαρμόζονται στις διαφορετικές συνθήκες του περιβάλλοντος» [6]. Σύμφωνα με τον ορισμό του Ινστιτούτου Ρομπότ των ΗΠΑ, το ρομπότ είναι μια επαναπρογραμματιζόμενη πολυλειτουργική χειριστική διάταξη, σχεδιασμένη για τη μετακίνηση υλικών, εξαρτημάτων, εργαλείων και εξειδικευμένων διατάξεων, μέσω μεταβλητών, προγραμματισμένων κινήσεων για την εκτέλεση μιας σειράς εργασιών. Ωστόσο, στα πλαίσια αυτής της εργασίας θα χρησιμοποιηθεί ο ορισμός από τον ρομποτιστή Peter Corke ο οποίος ορίζει το ρομπότ ως έναν υπολογιστή ο οποίος ενεργεί στον φυσικό κόσμο [7].

"A robot is a computer that can do things in the physical world"
-Peter Corke

1.2 Αυτόματα

Σε αυτό το σημείο, αξίζει να αναφέρουμε ότι οι ρίζες των σύγχρονων ρομπότ εντοπίζονται στις αυτοματοποιημένες μηχανές που αναπτύχθηκαν κατά την περίοδο του 15ου και 18ου αιώνα. Οι δημιουργοί αυτών των μηχανών άρχισαν να εξερευνούν νέες δυνατότητες σχετικά με την αλληλεπίδραση ανθρώπου-μηχανής. Μέσα από έξυπνα συστήματα που χρησιμοποιούσαν γρανάζια, μοχλούς και ελατήρια (clockworks systems) κατασκεύασαν μηχανές που προσπαθούσαν να μιμηθούν ανθρώπινες λειτουργίες ακόμα και ζώα.

[6] Gervater W. B., *Intelligent Machines: an introductory perspective of artificial intelligence and robotics*. Prentice Hall, 1985.

[7] Corke P., "Introduction to Robotics, robot futures,"<https://moocs.qut.edu.au/courses/814/learn> [25-05-2015].

Ακολουθούν μερικά παραδείγματα τέτοιων μηχανών:

DaVinci's Knight, 15οςαι.

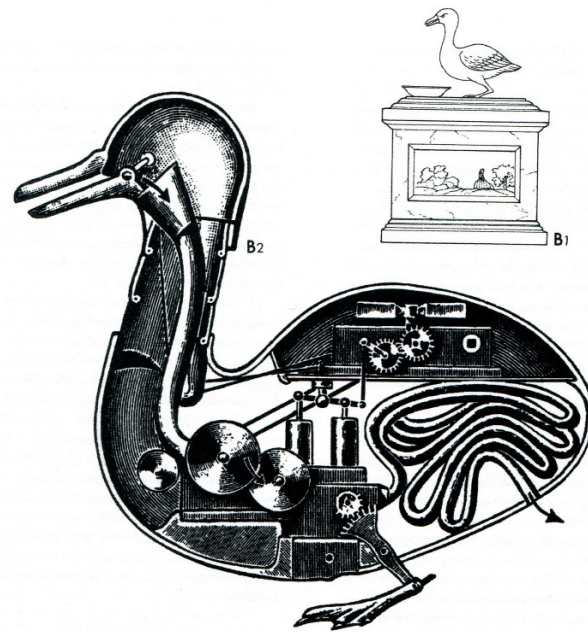
Ο Leonardo Da Vinci ασχολήθηκε ιδιαίτερα με τον σχεδιασμό και την κατασκευή αυτοματοποιημένων μηχανών. Στις προσωπικές του σημειώσεις παρουσιάζονται μηχανικές δημιουργίες χρηστικού αλλά και ψυχαγωγικού χαρακτήρα. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το αυτοματοποιημένο ανθρωποειδές «Knight robot»(εικόνα 5), ένα προϊόν ψυχαγωγίας το οποίο παρουσίασε ο Da Vinci σε εορτασμό που φιλοξένησε ο Ludovico Sforza στο διακαστήριο του Μιλάνου το 1495 [8]. Τα σχέδια του ρομπότ παρουσιάζονται σε σημειώσεις που ανακαλύφθηκαν το 1950, και σύμφωνα με αυτά, το «Knight robot» μπορούσε να σταθεί όρθιο, να καθίσει, να σηκώσει την προσωπίδα του και να κουνήσει το κάθε χέρι ξεχωριστά σε διαφορετική κατεύθυνση. Το σύνολο του ρομποτικού συστήματος λειτουργούσε με μια σειρά από τροχαλίες και καλώδια στο εσωτερικό του, καθώς η επιδερμίδα του αποτελούνταν από μια μεταλλική πανοπλία. Η αυτοματοποιημένη αυτή μηχανή φανερώνει την ανάγκη του δημιουργού της να κατασκευάσει μία οντότητα που αντιγράφει τις ανθρώπινες κινήσεις και αλληλεπιδρά με το χρήστη. Το 2002 ο ρομποτιστής της NASA Mark Rosheim κατάφερε μέσα από τις σημειώσεις και τα σκίτσα του Da Vinci να δημιουργήσει ένα πιστό αντίγραφο της μηχανής με σκοπό να εξετάσει την λειτουργικότητα του συστήματος (εικόνα 6). Το αποτέλεσμα ήταν ένα πλήρες, λειτουργικό ρομπότ το οποίο αποδεικνύει ότι ο Leonardo Da Vinci ήταν σε θέση να το κατασκευάσει, πράγμα που τον τοποθετεί στους πρωτόπλους της ρομποτικής.

[8] "The da Vinci robot". J. Endourol. 20 (12): 986–90. December 2006.



[εικόνα 5] Το αυτόματο του Leonardo Da Vinci.
[εικόνα 6] Το αυτόματο του Leonardo Da Vinci κατασκευασμένο από τον Mark Rosheim, NASA 2002.

Vaucanson's Digesting Duck, 18ος αι.



[εικόνα 7] Σχέδια της πάπιας Vaucanson του Γάλλου εφευρέτη Jacquesde Vaucanson, 1739.

Ενα ακόμη παράδειγμα αυτοματοποιημένης μηχανής αποτελεί η πάπια Vaucanson του Γάλλου εφευρέτη Jacquesde Vaucanson το 1739, η οποία είχε τις ικανότητες λήψης τροφής, πέψης και αφόδευσης (εικόνα 7). Παρ' όλο που η συγκεκριμένη μηχανή αποτελεί προϊόν μιμητισμού, ενσωματώνει την επιθυμία των δημιουργών να κατασκευάσουν ένα αυτόνομο ρομπότ που να μπορεί να συμπεριφέρεται σαν «πραγματικό», έμβιο ον [9].

The Turk, 18 ος αι.

Ενα πρώιμο παράδειγμα της επιθυμίας για συνεργασία μεταξύ ανθρώπου και ρομπότ αποτελεί η αυτόνομη μηχανή σκακιού «The Turk», η οποία κατασκευάστηκε τον 18ο αιώνα από τον Wolfgang von Kempelen [10]. Η συγκεκριμένη μηχανή αποτελείται από λειτουργικούς και ψεύτικους μηχανισμούς, οι οποίοι καλυμμένοι με συμπαγή υλικά δίνουν την ψευδαίσθηση μιας αυτόνομης, λειτουργικής μηχανής. Στην πραγματικότητα, η μηχανή «Turk» είναι ένας συνδυασμός από μηχανικές μαριονέτες: ένας πραγματικός σκακιστής είναι κρυμμένος στο εσωτερικό της και την ελέγχει (εικόνα 8). Το ενδιαφέρον αυτής της μηχανής έγκειται στο γεγονός ότι ανεξάρτητα από τους πολύπλοκους μηχανισμούς, προσπαθεί να πείσει τον χρήστη ότι μπορεί να σκεφτεί

[9] Wood Gaby (15 February 2002). "Living Dolls: A Magical History Of The Quest For Mechanical Life by Gaby Wood". The Guardian. Retrieved 21 November 2016.

[10] Windisch K. G., *Inanimate reason; or a circumstantial account of that astonishing piece of mechanism, M. de Kempelen's chess-player; now exhibiting at No. 8, Savile-Row, Burlington-Gardens.* Gale ECCO, Print editions, 2010.

και να ενεργήσει μόνη της, και ότι είναι ικανή να κερδίσει έναν άνθρωπο στο σκάκι. Αυτό το παράδειγμα μπορεί να θεωρηθεί μια πρώτη προσπάθεια κάλυψης της σχέσης σώματος και νου σε μία μηχανή, μια ιδέα που εξακολουθεί να χαρακτηρίζει τα σύγχρονα ρομπότ και την κατασκευή αυτόνομων ρομποτικών συστημάτων ικανών να αλληλοεπιδρούν και να ανταποκρίνονται στον ανθρώπινο νου [11].

Κατά την διάρκεια του 15ου και 18ου αιώνα είχαν κατασκευαστεί μερικά από τα πιο χρήσιμα μηχανήματα τα οποία μπορούν να θεωρηθούν πρόδρομοι των σημερινών ρομπότ και των υπολογιστών. Ο Vaucanson, ύστερα από τη μηχανή Duck, ανέπτυξε μία αυτόματη μηχανή ύφανσης. Παράλληλα, ο Babbage ανέπτυξε ένα μηχανήμα γενικής χρήσης στο οποίο οι εντολές εισόδου ελέγχονταν από διάτρητες κάρτες. Αυτή ήταν η αρχή της ανάπτυξης των υπολογιστών και κατά συνέπεια των ρομπότ.

[11] Özel G., "Case for an architectural singularity: Synchronization of robotically actuated motion, sense-based interaction and computational inference.," in *Proceedings of the 34th Annual Conference of the Association for Computer Aided Design in Architecture, ACADIA 2014*, 2014, pp. 399–408.



[εικόνα 8] Η αυτόνομη μηχανή σκακιού «The Turk», η οποία κατασκευάστηκε τον 18ο αιώνα από τον Wolfgang von Kempelen.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

[Αρχιτεκτονική και ρομποτική]

2.1 Εισαγωγή

Η έρευνα σχετικά με τη ρομποτική στην αρχιτεκτονική και στη βιομηχανία της κατασκευής δεν είναι πρόσφατη. Μια σειρά από ενδιαφέρουσες μελέτες για την εισαγωγή της στην διαδικασία της κατασκευής έχουν τεκμηριωθεί και υλοποιηθεί από τη δεκαετία του 1970, ιδιαίτερα στην Ιαπωνία [12], όπου οι περισσότερες προσπάθειες επικεντρώθηκαν αρχικά σε μεθόδους αυτοματοποίησης της κατασκευής μέσω της προκατασκευής, με ορισμένους βαθμούς προσαρμογής. Μεταγενέστερες προσπάθειες εστίασαν στην εισαγωγή μεμονωμένων ρομπότ στην κατασκευή, με στόχο την δημιουργία ενός νέου τύπου εργοταξίου παρόμοιο με αυτό των εργοστασίων [13].

Ποιο είναι το νέο σε αυτή την εποχή της ρομποτικής στην αρχιτεκτονική; Είναι η συνεχόμενη παρουσία της σε διαφορετικούς τομείς του αστικού τοπίου, η μεγαλύτερη γνώση και κατανόηση των ψηφιακών εργαλείων από τους αρχιτέκτονες, οι δυνατότητες της πληροφορικής και η ευκολότερη πρόσβαση σε ηλεκτρονικό εξοπλισμό. Αυτές οι συνθήκες έχουν καταστήσει τη σύνδεση του φυσικού και ψηφιακού ευκολότερη και άμεσα διαθέσιμη. Σε συνδυασμό με τις νέες τεχνολογίες υλικών, η ρομποτική στην αρχιτεκτονική αποτελεί ένα νέο ισχυρό εργαλείο, που αν και ξεφεύγει από το παραδοσιακό περιβάλλον της ρομποτικής εξέλιξης, ξεπερνάει τους περιορισμούς και ανοίγει νέες προοπτικές για την αρχιτεκτονική.

Μια νέα συμβιωτική σχέση σχηματίζεται ανάμεσα στη ρομποτική και την αρχιτεκτονική, όπου η μία ωθεί τα όρια της άλλης με σκοπό την διερεύνηση και την δημιουργία νέων μεθόδων πρακτικής με τη χρήση προηγμένης τεχνολογίας.



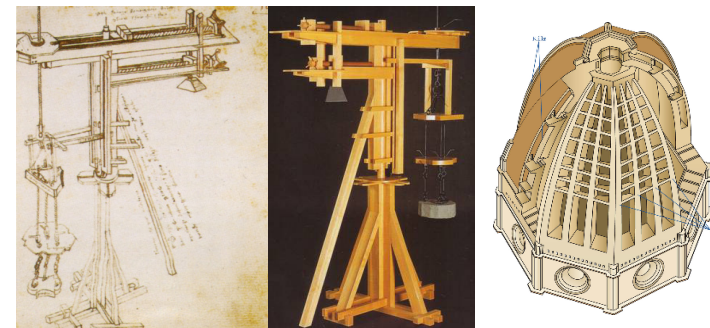
[Εικόνα 9] The Sequential Structure 1. Fabio Gramazio and Matthias Kohler, ETH Zurich.

2.2 Από τον Alberti στο digital fabrication

Ομοίως με τη ρομποτική, και η αρχιτεκτονική διέπεται από την διαίρεση μεταξύ της πνευματικής εργασίας και της διαδικασίας κατασκευής.

Ο αρχιτέκτονας και λόγιος Leon Battista Alberti (1404-1472), ύστερα από ενδελεχή μελέτη της αρχαιότητας [14] και των κειμένων του Vitruvio [15], διατυπώνει στην πραγματεία του «De Re Aedificatoria» (1440-1472) τις αρχές της θεωρίας του και εισάγει νέους κανόνες για την αρχιτεκτονική, την οποία διαχωρίζει από τη διαδικασία της κατασκευής και τη θεωρεί μία διαδικασία λογικής σύνθεσης. Αυτή η μέθοδος σχεδιασμού και κατασκευής παρέμεινε ουσιαστικά αμετάβλητη τα τελευταία 500 χρόνια [16].

Σε αντίθεση με τον Alberti, το αξιοσημείωτο έργο του αρχιτέκτονα Filippo Brunelleschi πήρε μια πιο ολιστική προσέγγιση. Η δημιουργία του Duomo της Φλωρεντίας συνδυάζει όχι μόνο τον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό του κτιρίου, αλλά και τα απαραίτητα εργαλεία που χρειάζονται για την κατασκευή του: εξειδικευμένα ανυψωτικά μηχανήματα και ανελκυστήρες [17].



[14] Leon Battista Alberti, De Re Aedificatoria, Libro VI, cap.1, εκδ. Il Polifilo, Μιλάνο, 1966, σ.232.

[15] Σταύρος Καρβέλης και Σοφία Παπαδέα (επ.), Αρχιτεκτονική Θεωρία: από την Αναγέννηση μέχρι σήμερα, μτφρ. Π. Μαρτινίδης, Εκδόσεις Taschen / Γνώση 2006, σ. 24

[16] Sheer D.R. (2014) The Death of Drawing Architecture in the Age of Simulation. 2014.

[17] Witt A.J. (2010), A Machine Epistemology in Architecture. Encapsulated Knowledge and the Instrumentation of Design 2010.

[Εικόνα 10] Ο περιστρεφόμενος γερανός του Brunelleschi από τον Bonaccorso Ghiberti.

Κατά τη διάρκεια της Βιομηχανικής Επανάστασης (18ος–19ος) σημαντικοί αρχιτέκτονες όπως ο Le Corbusier, ο Walter Gropius και αρχιτέκτονες από το Bauhaus εισήγαγαν την έννοια της μηχανής στην αρχιτεκτονική και ενίσχυσαν την ιδέα ότι ενώ οι αρχιτέκτονες δεν είναι συνήθως κατασκευαστές, δεν μπορούν να παραμείνουν απομονωμένοι από το πρόβλημα της κατασκευής. Ένα από τα πιο γνωστά παραδείγματα αυτής της κατεύθυνσης αποτελεί το Törten housing του Walter Gropius στο Dessau της Γερμανίας (1928). Βασικό στοιχείο για τον Gropius ήταν ο εξορθολογισμός όλων των διαδικασιών κατασκευής με γνώμονα τη μείωση του χρόνου και του κόστους μέσα από τον σχεδιασμό πανομοιότυπων δομικών στοιχείων που χρησιμοποιήθηκαν για την μαζική κατασκευή κατοικιών. Αυτή η λογική χαρακτηρίζει τη βιομηχανία της δεκαετίας του 1920.

[18] Ferguson C. (1978), A history of numerically controlled machine tools. CME.

[19] Gramazio F. and Kohler M. (2014) Research at ETH Zurich. 'Made by Robots'. Challenging Architecture at a Larger Scale. Wiley AD. May/June 2014.

[20] Bonwetsch T. (2012) 'Robotic Assembly Process as a Driver in Architectural Design'. Gramazio F. and Kohler M. (2014), Research at ETH Zurich. Made by Robots. Challenging Architecture at a Larger Scale. Wiley AD. May/June 2014.

[21] Walz A., Kilian A. and Schindler S., "Programming Knowledge", *Candide. Journal for architectural knowledge*, pp. 49–68, 2009.

[22] Lavallee J., Vroman R. and Keshet Y., "Automated Folding of Sheet Metal Components with a Six-axis Industrial Robot", *Proceedings of ACADIA 2011*, pp. 144–151, 2011.

Ακριβώς όπως η τυποποίηση αποτέλεσε την κινητήρια δύναμη για την τεχνολογική καινοτομία και την οικοδόμηση κατά τη διάρκεια της Βιομηχανικής Επανάστασης, η αποκαλούμενη «one-of-a-kind» παραγωγή, δηλαδή η κατασκευή μοναδικών αντικειμένων, λειτουργεί ως κινητήρια δύναμη στην εποχή της πληροφορίας. Από την δεκαετία του 1950, με πρωτοβουλία του αμερικανικού στρατού, αναπτύχθηκε η πρώτη γενιά εργαλειομηχανών μέσω του ηλεκτρονικού υπολογιστή [18]. Αυτά τα μηχανήματα κατέστησαν δυνατή την υπέρβαση της τυποποίησης που ήταν επιτακτική για την βιομηχανική μαζική παραγωγή. Τα επόμενα 50 χρόνια, καθώς οι μηχανές έγιναν άμεσα διαθέσιμες και οι ηλεκτρονικοί έλεγχοι πιο αποτελεσματικοί, αυτή η τεχνολογία έγινε γνωστή ως computer numerically controlled (CNC). Η μετάβαση από τις τεχνικές βιομηχανικής παραγωγής στις διαδικασίες ψηφιακής κατασκευής (digital fabrication) προκάλεσε σημαντικές αλλαγές στον τομέα της αρχιτεκτονικής. Ο συνδυασμός των μηχανημάτων CNC και των εργαλείων ψηφιακού σχεδιασμού επέτρεψαν στον σχεδιαστή να μεταφέρει απευθείας τις πληροφορίες του σχεδιασμού στα εργαλεία κατασκευής. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη διαφορετικών ροών εργασίας (workflows) που συνδέουν άμεσα τα σχέδια με την υλοποίησή τους, ξεφεύγοντας από την βιομηχανία της τυποποίησης [19]. Ωστόσο, οι καθιερωμένες τεχνικές ψηφιακής κατασκευής παραμένουν συνδεδεμένες με τις παραδοσιακές βιομηχανικές πρακτικές που κληρονομήθηκαν από τη μηχανική εποχή [20].

"Ο μοντέρνος διαχωρισμός μεταξύ πνευματικής εργασίας και χειρωνακτικής παραγωγής, μεταξύ σχεδιασμού και πραγματοποίησης, καθίσταται σταδιακά απαρχαιωμένος". (Gramazio, Kohler)

Επανεξετάζοντας την μονής κατεύθυνσης ροή από τον ψηφιακό σχεδιασμό στην παραγωγή της κατασκευής που υπάρχει σήμερα, καθώς και την διαδικασία ψηφιακής κατασκευής, η ρομποτική κατασκευή αποτελεί το επόμενο μεγάλο βήμα. Τα βιομηχανικά ρομπότ, και η διαφοροποίησή τους από τις παραδοσιακές μηχανές ψηφιακής κατασκευής, εισάγουν την δυνατότητα στον σχεδιαστή να περιγράψει ένα οικοδομικό τμήμα, όχι απαραίτητα με βάση τα γεωμετρικά του χαρακτηριστικά, αλλά μέσα από μια δημιουργική κατασκευαστική διαδικασία όπου η σκέψη και η κατασκευή δεν θα λειτουργούν ξεχωριστά [21]. Ο αρχιτέκτονας θα μπορέσει να αποκτήσει τον έλεγχο της κατασκευαστικής διαδικασίας σε μια πιο ολιστική προσέγγιση, στην οποία η τεχνολογία θα του επιτρέψει να ωθήσει τα όρια του σχεδιασμού. Η κατασκευή μέσω ρομποτικών διαδικασιών εμφανίζεται πλέον ως ένας νέος προβληματισμός στο πεδίο της αρχιτεκτονικής [22].

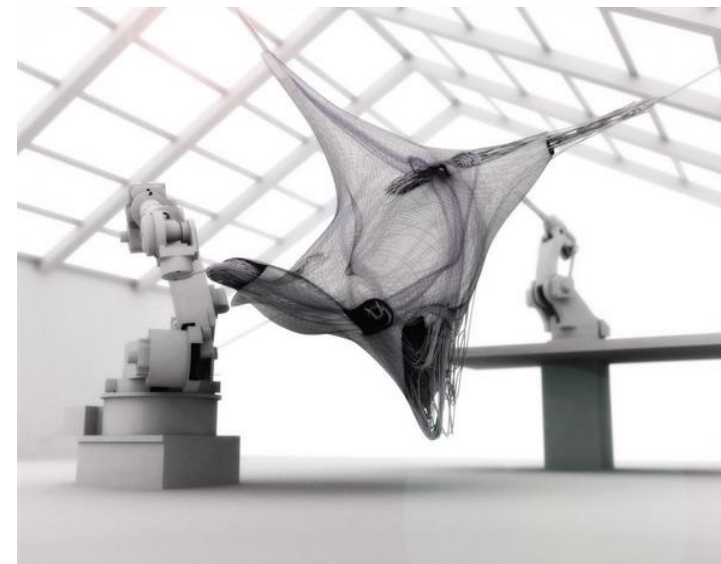
2.3 Τα ρομπότ στην αρχιτεκτονική

Ενώ η έρευνα σχετικά με την ρομποτική στην αρχιτεκτονική έχει ωριμάσει, ακόμη αντιμετωπίζει αρκετές βασικές προκλήσεις καθώς μπαίνουμε σε αυτή τη νέα φάση συνύπαρξης. Αρχικά, η μονής κατεύθυνσης ροή της πληροφορίας από το μοντέλο σχεδιασμού στον προγραμματισμό του ρομπότ φανερώνει έναν κατακερματισμό της γεωμετρίας σε δεδομένα. Πρόκειται ουσιαστικά για μια μετάφραση από το σχέδιο στον προγραμματισμό χωρίς ανατροφοδότηση, που καθιστά την διαδικασία μη ευέλικτη. Στη συνέχεια, προκύπτουν ερωτήματα σχετικά με την χρήση ψηφιακών εργαλείων που παράγουν ψευδο-πολύπλοκες επιφάνειες, οι οποίες δεν μπορούν να κατασκευαστούν εύκολα και δεν προσφέρουν αρχιτεκτονική λύση [23].

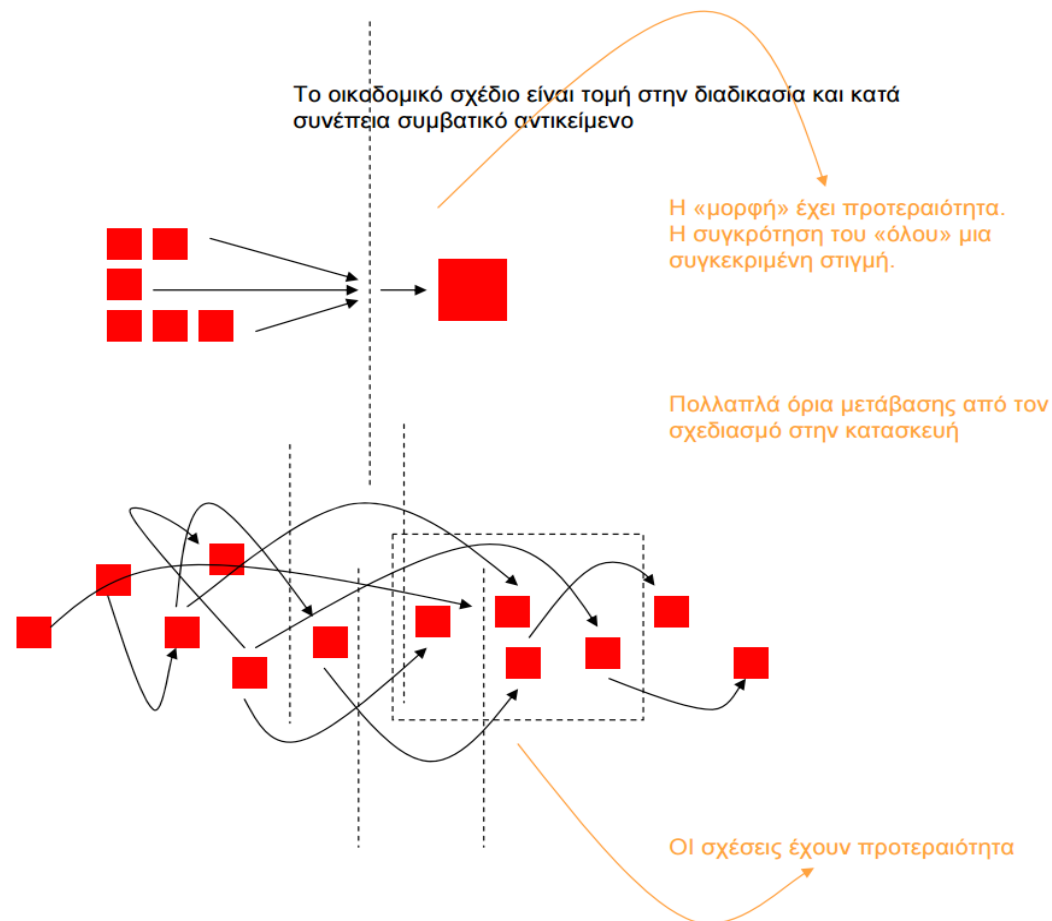
Αν τα ρομπότ πρόκειται να εισέλθουν εκ νέου στον χώρο του εργοταξίου, θα πρέπει να προσδιορίσουμε την αναγκαιότητά τους ή μη στην κατασκευή. Στις περισσότερες περιπτώσεις, το αυτοματοποιημένο μέρος στην διαδικασία της κατασκευής αποτελεί ένα μικρό ποσοστό της συνολικής εργασίας που απαιτείται για την ολοκλήρωσή της [24]. Παρ' όλα αυτά, είναι σημαντικό να εξετάσουμε πώς ενσωματώνεται στην διαδικασία κατασκευής και σε ποιες περιπτώσεις δημιουργεί περιττή πολυπλοκότητα, η οποία μπορεί να οδηγήσει σε αδυναμία διαχείρισης της συνολικής διαδικασίας. Ενώ αυτές οι διαδικασίες παρουσιάζουν ενδιαφέρον και έχουν αρκετές δυνατότητες, δεν θα πρέπει να εξετάζονται μεμονωμένα. Θα πρέπει να εξετάζονται με μια ολιστική προσέγγιση ως προς τις μεθόδους κατασκευής που ενσωματώνουν ρομποτικές εφαρμογές, τους ανθρώπους και τα υλικά κατασκευής.

[23] Walz A., Kilian A. and Schindler S., "Programming Knowledge", *Candide. Journal for architectural knowledge*, pp. 49–68, 2009.

[24] Lavallee J., Vroman R. and Keshet Y., "Automated Folding of Sheet Metal Components with a Six-axis Industrial Robot", *Proceedings of ACADIA 2011*, pp. 144–151, 2011.



[Εικόνα 11] SCI-Arc Robot House, Peter Testa and Devyn Weiser, 2013.



[εικόνα 12] Υλικότητα της κατασκευής και ψηφιακές τεχνολογίες στην διδασκαλία της Οικοδομικής. Δημήτρης Παπαλεξόπουλος Σχολή Αρχιτεκτόνων Ε.Μ.Π. 02/06.

Προς μια [κοινή] νέα γλώσσα

Οι αναπτυσσόμενες τεχνολογίες συνήθως μιμούνται τις διαδικασίες από προγενέστερες. Όταν αυτή η τεχνολογία ωριμάσει, αρχίζει να κατανοεί τους περιορισμούς και να ερμηνεύει τα προβλήματα μέχρις ότου φτάσει στο σημείο να δημιουργήσει την δική της ξεχωριστή γλώσσα [25]. Η χρήση βιομηχανικών ρομποτικών βραχιόνων έχει φτάσει σε αυτό το σημείο. Με την χρήση νέων έξυπνων υλικών και ψηφιακών μέσων, αρχίζει να δημιουργείται μια νέα ρομποτική γλώσσα στην αρχιτεκτονική. Οι αρχιτέκτονες αρχίζουν να κατανοούν και να ενσωματώνουν αυτή την νέα γλώσσα στον σχεδιασμό τους. Ωστόσο, αυτή η νέα ρομποτική γλώσσα είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με τα ψηφιακά εργαλεία που χρησιμοποιεί ο αρχιτέκτονας σήμερα, μέσα από τα οποία επιδιώκονται νέες σχέσεις συνεργασίας.

[25]. Bonsignorio F., "The new AI and robotics: Lecture by Fabio Bonsignorio" (IJARS), International Journal of Advanced Robotic Systems, 2015. [Online]. Available: <http://robohub.org/the-new-ai-and-robotics-lecture-by-fabio-bonsignorio/>. [12-03-2015].

Στην Biennale της Βενετίας το 2012 το έκθεμα "Arum" από τους RobotFold και Zaha Hadid Architects (εικόνα 13) αντικατοπτρίζει ένα παράδειγμα αυτής της συνεργασίας. Μια υπάρχουσα τεχνική αναδίπλωσης με την χρήση φύλλων αλουμινίου, κατασκευάζεται από βιομηχανικούς ρομποτικούς βραχίονες. Στην συγκεκριμένη περίπτωση, αντί ο αρχιτέκτονας να επιβάλει την δική του αισθητική, υιοθετεί αυτή της ρομποτικής διαδικασίας και συνεργάζεται με το ρομπότ προκειμένου να αναπτύξει μια κοινή γλώσσα σχεδιασμού μέσα από την οποία αναδεικνύεται μια νέα αισθητική μέσα από την σχέση ανθρώπου-μηχανής [26][27]. Όπως ένας τεχνίτης ενσωματώνει στο σχέδιο του τις απαραίτητες πληροφορίες που του παρέχουν τα υλικά, έτσι και εδώ παρατηρούμε ότι τα σχέδια των αρχιτεκτόνων έχουν ενημερωθεί από τις ιδιότητες του υλικού και διέπονται από μια βαθιά κατανόηση της ρομποτικής διαδικασίας.

"every new production medium is first applied in the same way as the previous one, before the technology's actual inherent potentials find expression" -Marshall McLuhan



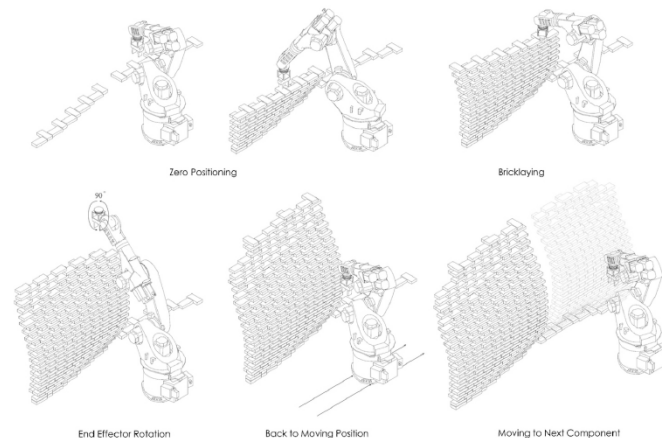
[26] Feringa J., "IaaC lecture series", <https://www.youtube.com/watch?v=SxjsdlbXp4> [10-03-2015].

[27] Epps G., "Robofold and Robots.IO", Made by Robots: challenging architecture at a larger scale, Architectural Design, pp. 68-69, 2010.

[εικόνα 13] Υλικότητα της κατασκευής και ψηφιακές τεχνολογίες στην διδασκαλία της Οικοδομικής. Δημήτρης Παπαλεξόπουλος Σχολή Αρχιτεκτόνων Ε.Μ.Π. 02/06.

Ονειρα αυτοματισμού

Η διαδεδομένη χρήση ρομποτικών συστημάτων σε εργαστήρια αρχιτεκτονικής μπορεί να ερμηνευτεί ως η επιθυμία για μια αυτοματοποίηση της διαδικασίας από τον σχεδιασμό στην κατασκευή. Η συνεχώς αυξανόμενη χρήση plugins σε λογισμικά CAD έχει σαν αποτέλεσμα την ενσωμάτωση τεχνογνωσίας που απαιτείται για την κατασκευή δομών που αποτελούνται από μεγάλο αριθμό μονάδων και εμπεριέχουν αυτοματοποιημένες διαδικασίες κατασκευής (scorpion, plugin στο grasshopper)[28]. Αυτές οι διαδικασίες δεν αφορούν μόνο την αυτοματοποίηση, αλλά επιτρέπουν και τον σχεδιασμό μέσα από το εργαλείο, μια ιδέα η οποία δεν είναι κοινή στα παραδοσιακά ρομποτικά εργαλεία αυτοματισμού. Η συνεχής χρήση και ανάπτυξη κατασκευών brick – Layers από ρομπότ (εικόνα 14), οδηγεί αυτή τη διαδικασία σε μία βιομηχανική ρομποτική κατασκευή. Ωστόσο, δεν παύει να υφίσταται ως μία εφαρμογή σε ελεγχόμενα περιβάλλοντα, όπως αυτά των εργαστηρίων. Επομένως, εφόσον τα ρομπότ δεν είναι ικανά να εργαστούν σε απρόβλεπτα μη ελεγχόμενα περιβάλλοντα, θέτουν την έρευνα για “εκτός εργαστηρίου” κατασκευές μη εφικτή διαδικασία [29]. Ωστόσο, η δυνατότητα κατασκευής στο πεδίο εφαρμογής αποτελεί μία ενδιαφέρουσα προσέγγιση, που παρ’ όλες τις δυσκολίες που αντιμετωπίζει, προσφέρει ευελιξία στην διαδικασία κατασκευής καθώς επιτρέπει τροποποιήσεις και αλλαγές κατά την διάρκεια αυτής, μειώνοντας σημαντικά τα κόστη μεταφοράς υλικών και προκατασκευασμένων στοιχείων της κατασκευής. Αυτή η προσέγγιση απαιτεί περαιτέρω έρευνα και σωστό σχεδιασμό για μια συνεργατική διαδικασία κατασκευής στο πεδίο εφαρμογής.



[Εικόνα 14] Bricklaying Techniques. Τα ρομπότ κατασκευάζουν την όψη ενός εκθεσιακού κέντρου στην Σαγκάη με τη χρήση ανακυκλωμένων τούβλων. Archi-Union Architects, Shanghai, China.



[Εικόνα 15] Bricklaying Techniques. Η διαδικασία κατασκευής. Τα ρομπότ κατασκευάζουν την όψη ενός εκθεσιακού κέντρου στην Σαγκάη με τη χρήση ανακυκλωμένων τούβλων. Archi-Union Architects, Shanghai, China.



[εικόνα 16] Bricklaying Techniques.
Το τελικό αποτέλεσμα.

Τα ρομπότ κατασκευάζουν την όψη
ενός εκθεσιακού κέντρου στην
Σαγκάη με τη χρήση ανακυκλωμένων
τούβλων. Archi-Union Archi-
tects, Shanghai, China.

2.4 Προς μια συνεργασία



[Εικόνα 17] Ρομπότ στην αρχιτεκτονική, γεωγραφική κατανομή. Association for Robots in Architecture n.d.

[30]Blair S. "IdeaHub,ABB launch new robotics accelerator programme", robohub.org, 2015. [02-03-2015]

Η χρήση βιομηχανικών ρομποτικών βραχιόνων σε σχολές αρχιτεκτονικής συνεχώς αυξάνεται [30]. Υπολογίζεται ότι περίπου δυο εκατομμύρια βραχιόνες είναι σε χρήση και συνεργάζονται με τους ανθρώπους για την υλοποίηση εργασιών στον τομέα της κατασκευής (Εικόνα 17).

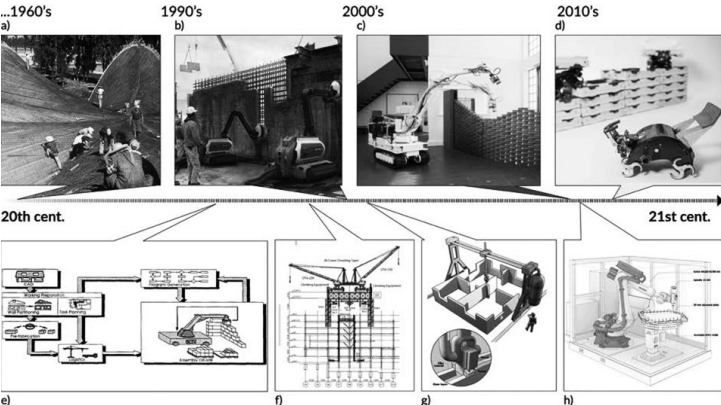
Ενας μηχανικός βραχίονας είναι ένα ρομπότ, συνήθως προγραμματισμένο, με παρόμοιες λειτουργίες με ένα ανθρώπινο χέρι. Είναι εφοδιασμένο με ισχυρούς κινητήρες, έχει μεγάλο βαθμό ευελιξίας στις κινήσεις του και μπορεί να χρησιμοποιεί αισθητήρες αναγνώρισης του περιβάλλοντος. Σκοπός αυτών των ρομπότ είναι η επανάληψη μιας αυτοματοποιημένης εργασίας σε ελεγχόμενα περιβάλλοντα τα οποία έχουν σχεδιαστεί, με συγκεκριμένες προδιαγραφές, προκειμένου να αυξηθεί η αποδοτικότητα των ρομπότ. Αντίθετα, το περιβάλλον του εργοταξίου είναι αδόμητο και απρόβλεπτο και προκειμένου τα ρομπότ να ανταπεξέλθουν σε μια νέα κατάσταση σαν αυτή, θα πρέπει να αναπτύξουν νέες διαδικασίες κατασκευής οι οποίες θα επιτρέψουν την επικοινωνία μεταξύ τους αλλά και με τους ανθρώπους. Επιπλέον, σε ορισμένες αρχιτεκτονικές εφαρμογές, τα ρομπότ χρησιμοποιούνται σε μεμονωμένες εργασίες. Παρ' όλα αυτά, ακόμα και αν εκτελούν την ίδια εργασία κατά την διάρκεια της επανάληψης της διαδικασίας, θα ακολουθήσουν διαφορετικό μοτίβο εντολών. Παρά το γεγονός ότι τα ρομπότ έχουν αναπτυχθεί τα τελευταία 30 χρόνια με ραγδαίους ρυθμούς, εξακολουθούν να αντιμετωπίζουν το «παράδοξο Moravec» [31], σύμφωνα με το ο-

[31]Goldberg K., "Let's Ditch the Singularity and Focus on Multiplicity", World Economic Forum, Davos 2015, 2015. [Online].Available: <http://robohub.org/forgetsingularity-lets-talk-multiplicity-ken-goldberg-on-ai-at-the-wef/>. [02-02-2015].

ποίο οι υπολογιστές και τα ρομπότ φανερώνουν μέχρι στιγμής μια εκπληκτική ικανότητα για νοητικές διαδικασίες και επίλυση επιστημονικών προβλημάτων, αλλά όχι για «αισθητηριακές και κινητικές δεξιότητες που χρησιμοποιούμε στην καθημερινή μας ζωή», κάτι δηλαδή που φαντάζει απείρως πιο εύκολο. Μοιάζει παράδοξο, λόγου χάριν, το γεγονός ότι κανείς άνθρωπος δεν μπορεί πλέον να κερδίσει στο σκάκι ένα μέσου επιπέδου υπολογιστικό πρόγραμμα, μα δεν υπάρχει ακόμα ένα ρομποτικό μηχάνημα που να μπορεί να καθαρίσει ένα δωμάτιο [32].

Συνεργασία ανθρώπου-μηχανής

Οι αρχιτέκτονες και τα ρομπότ μπορούν να δημιουργήσουν σημαντικές συνεργασίες μέσα από τις οποίες ο καθένας θα επωφελείται από τις δυνάμεις του άλλου προς την επίλυση ενός κοινού στόχου. Οι επιτυχημένες συνεργασίες ανθρώπου-ρομπότ λαμβάνουν χώρα στις επιχειρήσεις του διαστήματος καθώς και στις υποβρύχιες δραστηριότητες, όπου τα ρομπότ αποτελούνται από αισθητήρες και έχουν ένα βαθμό αυτονομίας για ορισμένες εργασίες, αλλά κυρίως ελέγχονται από ανθρώπους σε πραγματικό χρόνο (telle-operation). Το βασικό στοιχείο που καθορίζει την ευελιξία αυτού του συστήματος είναι ο άνθρωπος-χειριστής. Επειτα από έναν αγώνα δρόμου για μια πλήρη αυτοματοποίηση, οι βιομηχανίες παραγωγής έχουν συνειδητοποιήσει ότι η εξασφάλιση μιας ουσιαστικής συμμετοχής των ανθρώπων στη διαδικασία λήψης αποφάσεων και στην διαχείριση των ρομπότ, αποτελούν κρίσιμα σημεία για την επιτυχία της διαδικασίας [33]. Οι βιομηχανίες έχουν στρέψει το ενδιαφέρον τους ως προς μια εναρμονισμένη συνεργασία ανθρώπου-μηχανής. Ενάντια στις προβλέψεις που είχαν διατυπωθεί την περίοδο του 1950 από τους λάτρεις της τεχνητής νοημοσύνης, οι άνθρωποι σήμερα παραμένουν «εξαιρετικά προσαρμόσιμοι, επιδέξιοι, ειδικευμένοι και με λιγότερα κόστη συγκριτικά με τα ρομπότ» [34]. Μπορούμε να συμπεράνουμε ότι τα ρομπότ είναι κατάλληλα για ημιαυτόνομες ή προγραμματισμένες εργασίες που απαιτούν ακρίβεια, ενώ οι άνθρωποι είναι κατάλληλοι για τη λήψη αποφάσεων.



[32] Η θαυμαστή εποχή της νέας τεχνολογίας Εργασία, πρόοδος και ευημερία στα χρόνια των έξυπνων τεχνολογιών Eric Brynjolfsson, Andrew McAfee. Μτφρ. Γιώργος Ναθαναήλ, Κριτική 2016, Σελ. 432.

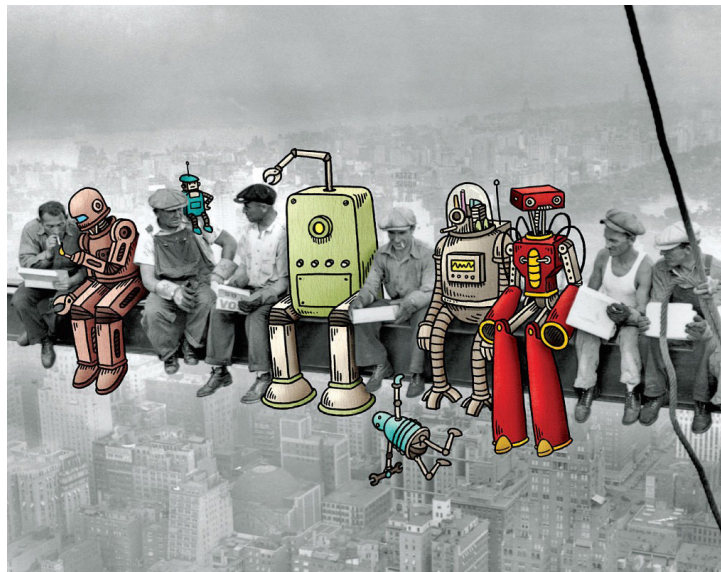
[33] ElMaraghy H.A., "Flexible and reconfigurable manufacturing systems paradigms", International Journal of Flexible Manufacturing Systems, no. 4, pp. 261-276, 2005.

[34]Gevarter W. B., Intelligent Machines: an introductory perspective of artificial intelligence and robotics. Prentice Hall, 1985.

[Εικόνα 18]Χρονοδιάγραμμα εφαρμογών ρομποτικής κατασκευής: a) Felix Candela (1958). Xochimilco: b) U.S. Construction Robotics (Robotworx (2012). Semi-Automated Masonry System: c) Gramazio Kohler Research (2014). Building Strategies for On-site Robotic Construction: d) Self Organizing Systems Research Group (2014). Termites Project. Harvard University: e) T. Bock (1998), Automatic generation of the controlling-system for a wall construction robot. Karlsruhe: f) Obayashi Corporation (2006), Automated Building Construction System (ABCS). Japan: g) Zhang Jing (2013), Contour Crafting. USC: h) Achim Menges (2014), Landesgartenschau Exhibition Hall, Stuttgart.

Συνεργασία στο εργοτάξιο

Το γεγονός ότι κάθε εργοτάξιο είναι ξεχωριστό και η φύση του καθενός διέπεται από διαφορετικές παραμέτρους και από συνεχόμενες αλλαγές του περιβάλλοντος, καθιστά την εργασία των ρομπότ εξαιρετικά δύσκολη, κυρίως ως προς την εξερεύνηση του εργοταξίου. Αρκετές έρευνες που έχουν εστιάσει στην χρήση αυτόνομων, ημιαυτόνομων και τηλεκατευθυνόμενων ρομπότ στο περιβάλλον του εργοταξίου αντιμετωπίζουν δύο βασικά προβλήματα [35]. Αρχικά, σε αντίθεση με τις βιομηχανίες μεταποίησης όπου τα προϊόντα κινούνται κατά μήκος της γραμμής παραγωγής και τα ρομπότ παραμένουν σε σταθερές θέσεις, στην περίπτωση του εργοταξίου το κτίριο παραμένει σε σταθερή θέση ενώ τα ρομπότ θα πρέπει να βρίσκονται σε κίνηση, πράγμα που σημαίνει ότι θα πρέπει να αλλάζουν συνεχώς την αρχική τους θέση και να προσαρμόζονται σε κάθε αλλαγή [36]. Ακόμη, οι έρευνες που είχαν ως βασικό στόχο την μετατροπή του χώρου του εργοταξίου σε ένα περιβάλλον «φιλικό προς τα ρομπότ», δεν έλαβαν υπόψη την πολυπλοκότητα που δημιουργείται από πολλές παράλληλες εργασίες που συμβαίνουν στο εργοτάξιο την ίδια χρονική στιγμή, με αποτέλεσμα να υπάρχουν θέματα ιεράρχησης εργασιών και συνολικού ελέγχου της διαδικασίας.



[Εικόνα 19] Τα ρομπότ συνεργάτες από τον Andrew Rae.

Μία πρόσφατη προσπάθεια αυτής της συνεργασίας αποτελεί το έργο "Mobile Robotic Unit" που αναπτύχθηκε στο ΕΤΗ της Ζυρίχης (εικόνα 20). Πρόκειται για μια κινητή ρομποτική πλατφόρμα πάνω στην οποία είναι τοποθετημένος ένας βιομηχανικός ρομποτικός βραχίονας. Το ενδιαφέρον εντοπίζεται στο γεγονός ότι όλη η ρομποτική μονάδα είναι εξοπλισμένη με συσκευές τρισδιάστατης σάρωσης και αισθητήρες, τα οποία ενημερώνουν διαρκώς το ρομπότ σχετικά με πληροφορίες του περιβάλλοντος, επιτρέποντάς του να αυτοβελτιώνεται και να προσαρμόζεται σε αλλαγές [37]. Αυτή η προσέγγιση προσφέρει μεγάλη ευελιξία για εφαρμογές στο εργοτάξιο εφόσον τα ρομπότ μπορούν να φιλτράρουν τις πληροφορίες για μία αυτοματοποιημένη ή μη δράση, χωρίς να απαιτείται κάποια αλλαγή στο περιβάλλον όπου εργάζονται. Επομένως, τα ρομπότ γίνονται συμβατά με την δυναμική φύση του εργοταξίου.



[37] Helm V., "In- Situ fabrication: Mobile robotic units on construction sites", *Made by Robots: challenging architecture at a larger scale*, Architectural Design, pp. 100–107, 2014.

[Εικόνα 20] Κινητή ρομποτική πλατφόρμα, Mobile Robotic Brickwork, Timothy Sandy, Markus Gifftthaler, Kathrin Dörfle, ETH Zurich.

Η ενσωμάτωση αισθητήρων στο σώμα ενός ρομπότ αλλάζει την σύνθεσή του και τις δυνατότητές του προς μία πραγματική συνεργασία με τον άνθρωπο. Έχει αρχίσει ένας διάλογος στον οποίο το ρομπότ έχει έναν ορισμένο βαθμό αυτονομίας και μπορεί να πάρει ορισμένες αποφάσεις σύμφωνα με τις πληροφορίες που διαθέτει από τους αισθητήρες, αλλά επίσης είναι σε θέση να παρέχει πληροφορίες στον χρήστη με σκοπό την ανατροφοδότηση της διαδικασίας. Δημιουργείται, λοιπόν, μία σχέση στην οποία ο άνθρωπος και το ρομπότ μπορούν να υποβάλουν ερωτήσεις ο ένας στον άλλον και από κοινού να λύσουν ένα πρόβλημα. Τα ρομπότ έχουν την δυνατότητα να κατανοήσουν με ακρίβεια μια πολύπλοκη γεωμετρία και να την μεταφράσουν στον φυσικό κόσμο μέσω της κατασκευής. Παράλληλα, ο άνθρωπος ορίζει τις βασικές παραμέτρους, δημιουργεί το βασικό σχέδιο και ελέγχει την διαδικασία της κατασκευής μέχρι το ρομπότ να καταλήξει στο επιθυμητό αποτέλεσμα. Σε αυτό το σημείο είναι σημαντικό να αναφέρουμε την ανάγκη για τον σχεδιασμό νέων συνδέσεων μεταξύ της ρομποτικής και σχεδιαστικής διαδικασίας.

[εικόνα 21] Αριστερά ο ρομποτικός βραχίονας Denso 6 αξόνων. Δεξιά ο βραχίονας Kuka LBR iiwa 7 αξόνων.



[38] Nourbakhsh I. R., *Robot Futures*. Cambridge, Massachusetts: MIT Press, 2013.

Οι κατασκευαστές βιομηχανικών ρομπότ έχουν συνειδητοποιήσει την ανάγκη για μία εκτός εργαστηρίου χρήση των ρομπότ, σχεδιάζοντας νέα ευέλικτα συστήματα και μηχανισμούς με σκοπό την μεταφορά τους από ένα περιορισμένο περιβάλλον σε ένα πολύπλοκο και απρόβλεπτο, το ανθρώπινο [38]. Ενσωματώνοντας αισθητήρες και σχεδιάζοντας προγράμματα φιλικά προς τον χρήστη, επιδιώκουν μία νέα σχέση συνεργασίας. Ορισμένα παραδείγματα αυτής της προσπάθειας εντοπίζουμε στα ρομπότ της δανέζικης εταιρείας “Universal Robots” και της εταιρείας KUKA.

[εικόνα 22] Το συνεργατικό ρομπότ Baxter της εταιρείας Rethink Robotics.



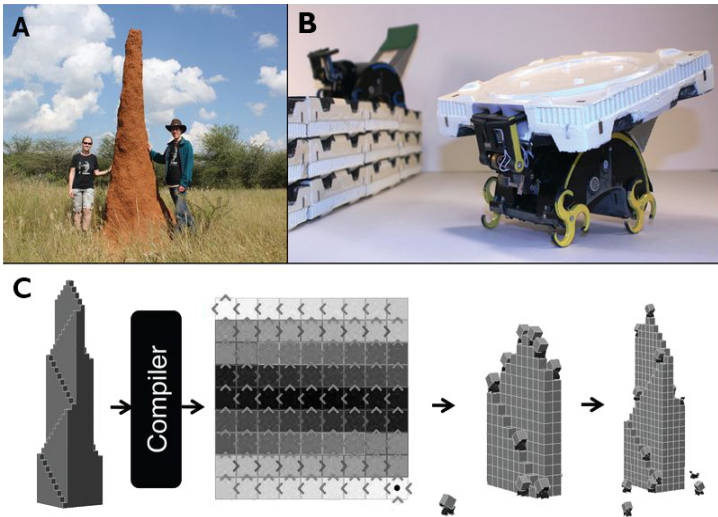
[39]Feringa J.,“Entrepreneurship in architectural robotics:The simultaneity of craft,economics and design”, *Made by Robots: challenging architecture at a larger scale*, Architectural Design, p. 63, 2014.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον, σε αυτή τη νέα σχέση, παρουσιάζει το συνεργατικό ρομπότ Baxter της εταιρείας Rethink Robotics (εικόνα 22). Πρόκειται για ένα ρομπότ με δύο ρομποτικούς βραχίονες και μία ενσωματωμένη οθόνη που δίνει στον χρήστη την δυνατότητα να γνωρίζει προς ποια κατεύθυνση κοιτάει το ρομπότ. Το ρομπότ Baxter εκπαιδεύεται από τους ανθρώπους προκειμένου να εκτελέσει επαναλαμβανόμενες εργασίες. Προσπαθεί να αντιγράψει τις ανθρώπινες κινήσεις και να τις επαναλάβει κατά την διάρκεια της εργασίας. Αυτή η διδασκαλία από τους ανθρώπους απαιτεί αρκετά μεγάλη υπολογιστική δύναμη και μια μεγάλη προσπάθεια από τους προγραμματιστές [39]. Αυτή η προσέγγιση στοχεύει περισσότερο στο πώς θα φαίνεται το ρομπότ πιο φιλικό προς τους ανθρώπους, αλλά δεν απαντά σε ουσιαστικά προβλήματα αυτής της συνεργασίας στο πλαίσιο της κατασκευής. Αντιθέτως, δημιουργεί ερωτήματα για το αν η βιομηχανία των ρομπότ έχει κατανοήσει τις δυνατότητες των ρομπότ σαν εργαλεία μιας διαδικασίας και όχι σαν μηχανές τελικής δράσης.

Τέλος, μια διαφορετική προσέγγιση, σχετικά με την εισαγωγή των ρομπότ στην διαδικασία της κατασκευής έχουν αναπτύξει οι ερευνητές της σχολής Μηχανικών και Εφαρμοσμένων Επιστημών του Χάρβαρντ και το Ινστιτούτο Wyss. Η συγκεκριμένη ομάδα επιλέγει να εξετάσει τις δυνατότητες ενός νέου ρομποτικού συστήματος στον τομέα της κατασκευής, προσαρμοσμένο στις ανάγκες του εργοταξίου. Η έρευνα ονομάζεται TERMES και εστιάζει στην χρήση ρομποτικού σμήνους [40] για την κατασκευή απλών γεωμετριών με χρήση τούβλων από αφρό (εικόνα 23). Πρόκειται για ένα σύνολο αυτόνομων μικρών ρομπότ που αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους και με το περιβάλλον τους σε τοπικό επίπεδο. Η κάθε οντότητα λειτουργεί αυτόνομα και ως αποτέλεσμα προκύπτει μια συνολική συλλογική συμπεριφορά. Εμπνευσμένα από τη φύση και κυρίως από τα βιολογικά συστήματα, τα ρομπότ ακολουθούν απλούς κανόνες, και παρ’ όλο που δεν υπάρχει καμία συγκεντρωτική δομή ελέγχου να υπαγορεύει πως πρέπει να συμπεριφέρονται, τοπικές - και έως ένα βαθμό τυχαίες - αλληλεπιδράσεις μεταξύ τέτοιων πρακτόρων οδηγούν στην εμφάνιση μιας ευφυούς, καθολικής συμπεριφοράς, άγνωστης στα αυτόνομα ρομποτικά συστήματα [41]. Τα σμήνη παρέχουν επιθυμητή απόδοση, υψηλή αξιοπιστία (ανοχή σε λάθη) αλλά και χαμηλή πολυπλοκότητα σχεδιασμού και κόστους μονάδας σε σχέση με τα κλασικά ρομποτικά συστήματα.

[40] Η νοημοσύνη σμήνους (swarm intelligence) είναι η συλλογική συμπεριφορά μη κατανεμημένων, αυτόοργανωμένων φυσικών ή τεχνητών συστημάτων. Η ιδέα εφαρμόζεται στον τομέα της τεχνητής νοημοσύνης. Ο όρος αυτός εισήχθη από τους Gerardo Beni και Jing Wang το 1989.

[41] Brambilla M., Ferrante E., Birattari M., & Dorigo M. (2013). Swarm robotics: a review from the swarm engineering perspective. *Swarm Intelligence*, 7(1), 1-41.



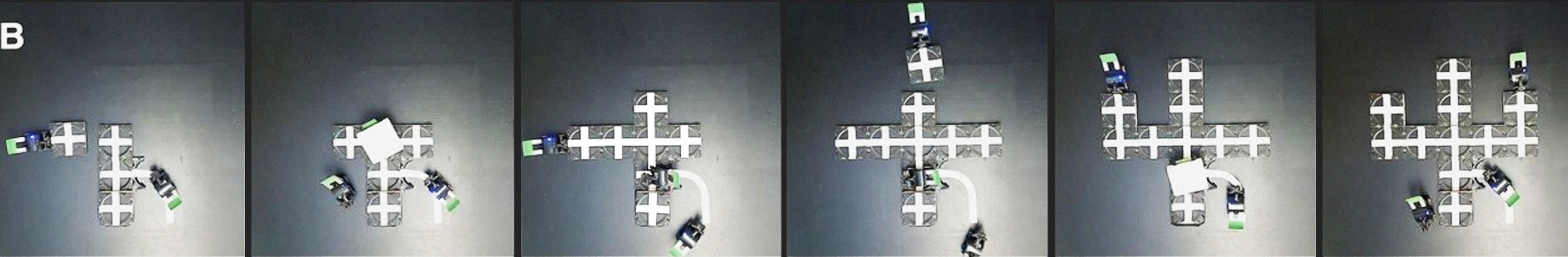
[εικόνα 23] Η έρευνα TERMES: Α) Πολύπλοκες μεγάλης κλίμακας κατασκευές από μικρά έντομα τους τερμίτες, τα οποία ενεργούν ανεξάρτητα με τοπική ανίχνευση και περιορισμένες πληροφορίες. Β) Η εφαρμογή του συστήματος από ανεξάρτητα ρομπότ αναρρίχησης που αντιγράφουν τους τερμίτες στη διαδικασία κατασκευής. Γ) Γενική άποψη του συστήματος εφαρμογής για την κατασκευή ενός καθορισμένου αποτελέσματος: ο χρήστης καθορίζει την τελική δομή και ένας “compiler” δημιουργεί τον κώδικα κατασκευής για τα ρομπότ.

TERMES Project: Designing Collective Behavior in a
Termite-Inspired Robot Construction Team.



A

B



Hardware demonstration.

[εικόνα 24] Η έρευνα TERMES:
Ανεξάρτητα αυτόνομα ρομπότ με
αμειγρώς ενσωματωμένη αίσθηση
που λειτουργούν συλλογικά σε
προκαθορισμένες δομές. (Α) Μια
δομή που μοιάζει με κάστρο. (Β)
Μια ακολουθία στιγμιότυπων για τη
δημιουργία δομής διακλάδωσης.

Μια νέα εποχή ρομποτικής στην αρχιτεκτονική

Αυτό το νέο στάδιο της ρομποτικής στην αρχιτεκτονική προσφέρει στους αρχιτέκτονες την δυνατότητα να επανεξετάσουν την έννοια της κατασκευής, να εξελίξουν τις ρομποτικές διαδικασίες και να αποκτήσουν τον έλεγχο της κατασκευαστικής διαδικασίας. Αποφάσεις σχετικά με τον ρόλο των ανθρώπων και των ρομπότ στην συνολική διαδικασία κατασκευής, το ποσοστό ευφυΐας και αυτονομίας των ρομπότ, θα πρέπει να ληφθούν σύμφωνα με τα υλικά, το τοπίο, την κατασκευή και τους περιορισμούς της γεωμετρίας. Αυτό οδηγεί στην δημιουργία ενός νέου τύπου εργοταξίου όπου οι σχέσεις μεταξύ ανθρώπων, ρομπότ και υλικών έχουν σχεδιαστεί έτσι ώστε να ικανοποιούν τους σχεδιαστικούς στόχους. Οι αρχιτέκτονες συμμετέχοντας σε αυτή την διαδικασία θα έχουν την δυνατότητα να διαμορφώσουν το περιβάλλον του εργοταξίου σύμφωνα με τις δικές τους σχεδιαστικές προθέσεις.

Βρισκόμαστε στο ξεκίνημα μιας νέας συνεργασίας μεταξύ ρομποτικής και αρχιτεκτονικής, όπου τα ρομπότ θα αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι της σχεδιαστικής διαδικασίας. Όπως οι γλύπτες και οι ζωγράφοι αλληλοεπιδρούν με τα εργαλεία τους και δημιουργούν, έτσι και οι αρχιτέκτονες θα εξελίσσουν τον σχεδιασμό τους μέσα από μια συνεργασία με τα ρομπότ. Η επικοινωνία ανθρώπου-ρομπότ είναι πλέον εφικτή και αυτό θα οδηγήσει σε μια ανάπτυξη ρομποτικών εφαρμογών στον χώρο του εργοταξίου. Το Digital Fabrication και η χρήση νέων υλικών θα δημιουργήσουν μια καινούρια ροή εργασίας η οποία θα μπορεί να προσαρμόζεται και να αισθάνεται σε πραγματικό χρόνο τις αλλαγές και τους περιορισμούς του περιβάλλοντος, των υλικών και της κατασκευής.



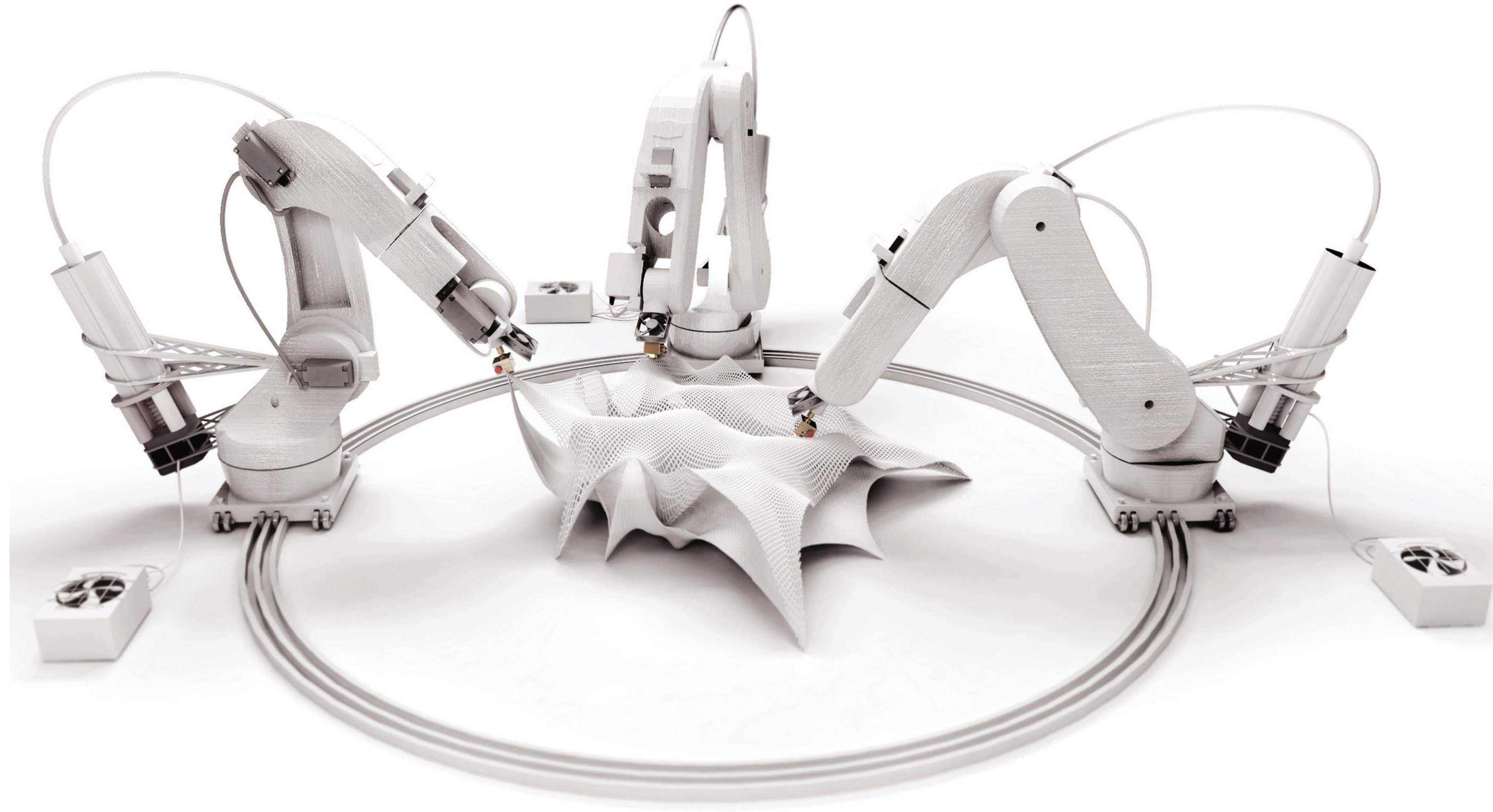
[εικόνα 25] Η Ολλανδική εταιρεία MX3D σχεδιάζει τη χρήση ειδικών ρομπότ για την κατασκευή γέφυρας στο Αμστερνταμ με τη χρήση τρισδιάστατης εκτύπωσης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

[Ρομποτικοί Βραχίονες στην Αρχιτεκτονική]

M | A | R project

6-axis Robotic Arms for designers



[42]Reichert Steffen et al. 2014. "Fibrous Structures: An Integrative Approach to Design Computation, Simulation and Fabrication for Lightweight, Glass and Carbon Fibre Composite Structures in Architecture Based on Biomimetic Design Principles." *Computer-Aided Design* 52(ο): 27–39. (November 2, 2014).

[43] Johannes Braumann and Brell-Cokcan 2012.

[44] Gramazio Kohler, and Willmann Kohler, 2014.

[45] Braumann and Brell-Cokcan called robots "...ideal tools for architectural design" while mentioning robots' lower cost, larger physical work span and inherent multi-functionality-amongtheiradvantages. However, it is not clear with which types of machines and in which conditions they are comparing. (Johannes Braumann and Brell-Cokcan 2012)

[46] Braumann Johannes and Sigrid Brell-Cokcan. 2011. "Parametric Robot Control, Integrated Cad/cam for Architectural Design." In *Proceedings of the 31st Annual Conference of the Association for Computer Aided Design in Architecture (ACADIA)*, Banff (Alberta), 13-16 October, 2011, , 242–51. (December 13, 2014).

[47] Schwartz Thibault. 2013. "HAL." In *RobJ Arch* 2012, eds. Sigrid BrellCokcan and Johannes Braumann. Springer-Verlag Wien, 92–101. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-7091-1465-0_8.

[48] McGee Wes, Monica Ponce de Leon and Aaron Willette, eds. 2014. *Robotic Fabrication in Architecture, Art and Design* 2014. New York, Dordrecht, London: Springer Cham Heidelberg.

3.1 Εισαγωγή

Η χρήση βιομηχανικών ρομπότ στην διαδικασία σύνθεσης έχει προκαλέσει το ενδιαφέρον των σχεδιαστών, των καλλιτεχνών και των αρχιτεκτόνων [42]. Οι μηχανές αυτές έχουν συνεπάρει τους σχεδιαστές με την ανθρώπινη συμπεριφορά τους, την ευελιξία τους καθώς και με την ικανότητά τους να εκτελούν εργασίες με υψηλή ακρίβεια [43]. Σε συνδυασμό με προσαρμοσμένα εργαλεία και ψηφιακά συστήματα ελέγχου, έχουν αποτελέσει όχημα δημιουργικών εξερευνήσεων στον σχεδιασμό, την αρχιτεκτονική και τις τέχνες [44][45].

Η παρούσα έρευνα επικεντρώνεται στην δημιουργία ενός ρομποτικού βραχίονα μικρής κλίμακας, με σκοπό την εφαρμογή του σαν εργαλείο στην αρχιτεκτονική σύνθεση. Αρχικά, διερευνώνται οι βασικές αρχές λειτουργίας και δομής ενός ρομποτικού βραχίονα μέσα από την κατασκευή ενός λειτουργικού μοντέλου (model1), το οποίο στηρίζεται στην δομή ενός υφιστάμενου βιομηχανικού ρομπότ της εταιρείας KUKA. Στη συνέχεια, έχοντας εντοπίσει τις δυνατότητες και τους περιορισμούς του εργαλείου, κατασκευάζεται ένα πρωτότυπο (model 2), με στόχο την υλοποίηση μιας εργασίας και την καταγραφή των αποτελεσμάτων της συνεργασίας με τον σχεδιαστή. Τέλος, σχεδιάζεται και κατασκευάζεται το τελικό μοντέλο (model 3) και εξετάζονται διαφορετικά μέσα επικοινωνίας μεταξύ χρήστη – ρομπότ, πραγματικού – ψηφιακού.

Η τρέχουσα προσέγγιση:

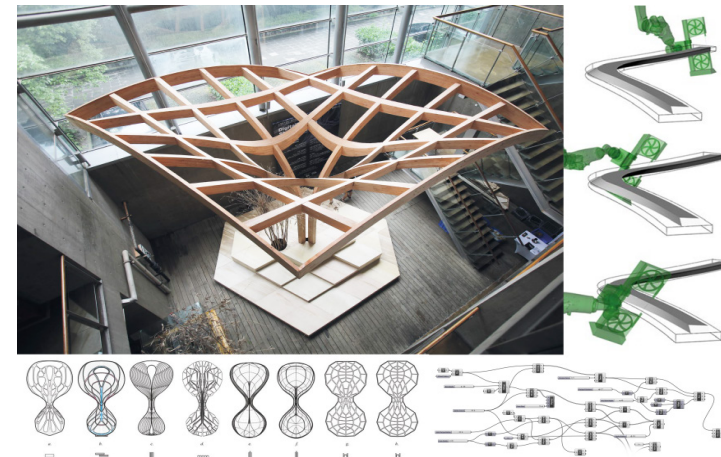
Οι κατασκευαστές βιομηχανικών ρομπότ έχουν συνειδητοποιήσει την ανάγκη σύνδεσης σχεδιαστικών προγραμμάτων και προγραμματισμού των ρομπότ. Σε συνδυασμό με τις έρευνες που έχουν αναπτυχθεί στο πεδίο της ρομποτικής στην αρχιτεκτονική, έχουν δημιουργηθεί αρκετά πακέτα λογισμικού τα οποία προσπαθούν να ενσωματώσουν τα ρομπότ στην διαδικασία του αρχιτεκτονικού σχεδιασμού [46].

Οι εταιρείες KUKARPC και HAL έχουν δημιουργήσει πακέτα λογισμικών τα οποία παρέχουν στους σχεδιαστές την δυνατότητα παράλληλης διαχείρισης ρομποτικών και σχεδιαστικών διαδικασιών μέσα από προσαρμοσμένα στον χρήστη περιβάλλοντα διεπαφής [47]. Συγκεκριμένα, αυτά τα πακέτα λογισμικού ενσωματώθηκαν στο Grasshopper, ένα περιβάλλον οπτικού προγραμματισμού μέσα στο τρισδιάστατο σχεδιαστικό πρόγραμμα Rhinoceros (NURBS modeling), με σκοπό να προσομοιώσουν την συμπεριφορά των ρομπότ μέσα από ένα εικονικό περιβάλλον. Η διαδικασία αυτή βοήθησε τους σχεδιαστές να ξεπεράσουν κρίσιμα τεχνικά ζητήματα, όπως το κενό μεταξύ της σύνταξης αλγορίθμων και εκτελέσιμου κώδικα των ρομπότ [48]. Ο σχεδιαστής

μπορεί πλέον να προγραμματίσει ένα βιομηχανικό ρομπότ απευθείας από το παραμετρικό περιβάλλον μοντελοποίησης, μέσα από μια κινηματική προσομοίωση του ρομπότ.

Το ψηφιακό περιβάλλον και τα νέα εργαλεία σχεδιασμού:

Το κύριο πλεονέκτημα του βιομηχανικού ρομπότ σε σχέση με τον παραδοσιακό αυτοματισμό είναι η δυνατότητα προγραμματισμού του, η οποία δεν αναφέρεται μόνο στο φυσικό αποτέλεσμα ενός αντικειμένου, όπως συμβαίνει με τους 3D εκτυπωτές, αλλά και στον ψηφιακό έλεγχο των κινήσεων και των ενεργειών του. Αυτό επιτρέπει στον αρχιτέκτονα να ωθήσει τα όρια του σχεδιασμού αποκτώντας τον έλεγχο της διαδικασίας κατασκευής [49]. Οι πρόσφατες εξελίξεις στον προγραμματισμό των υπολογιστών, ειδικά στον παραμετρικό σχεδιασμό, επέτρεψαν στον αρχιτέκτονα να επεκτείνει τα όρια της πνευματικής εργασίας (εικόνα 27).



[49] Bonwetsch Tobias, Fabio Gramazio and Matthias Kohler. 2012. "R-O-B Towards a Bespoke Building Process." *AD Reader: Manufacturing the Bespoke—Making and Prototyping Architecture*: 78–87.

[Εικόνα 27] ROBOTIC WOOD TECTONICS. Η κατασκευή ξύλινης δομής με τη χρήση παραμετρικού σχεδιασμού στη διαδικασία της σύνθεσης και τη κατασκευής, με τη χρήση ρομποτικού βραχίονα. PHILIP F. YUAN / HUA CHAI. Tongji University. Από το βιβλίο: FABRICATE RETHINKING DESIGN AND COSTRUCTION ACHIM MENGES 2017 / BOB SHEIL / RUAIRI GLYNN / MARILENA SKAVARA. pag. 44-49.

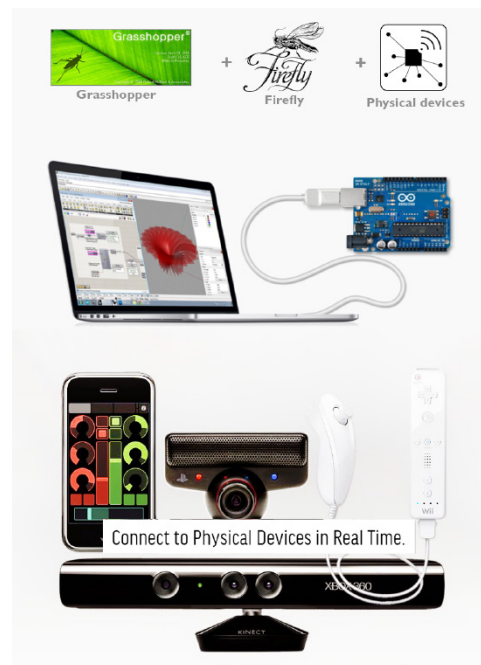
Ο παραμετρικός σχεδιασμός είναι ένα λογισμικό ψηφιακής τεχνολογίας και γεωμετρικών μοντέλων που έχει κερδίσει έδαφος σε πολλούς κλάδους του σχεδιασμού και συμβάλλει στην βελτιστοποίηση της ψηφιακής ροής εργασίας των βιομηχανικών ρομπότ. Σε αντίθεση με τα παραδοσιακά προγράμματα σχεδίασης, το παραμετρικό λογισμικό επιτρέπει στο σχέδιο να σχετίζεται με εξωτερικές πληροφορίες. Τα μοντέλα μπορούν να περιέχουν περίπλοκες γεωμετρίες που επιτρέπουν την ενσωμάτωση δυναμικών δεδομένων, όπως κατασκευαστικές, περιβαλλοντικές και λογικές συνθήκες. Πολλές παράμετροι μπορούν να προσαρμόσουν το μοντέλο ταυτόχρονα, δημιουργώντας δεκάδες ή ακόμα και χιλιάδες σχετικές αλλά διακριτές μορφές [50]. Επομένως, πρόκειται για μια διαδικασία εξερεύνησης πιθανών σχεδίων όταν το τελικό αποτέλεσμα δεν προσδιορίζεται με ακρίβεια, με τελικό στόχο τη μετάβαση από τον σχεδιασμό του αντικειμένου στον σχεδιασμό της διαδικασίας [51].

[50]Lagios K., Niemasz J., & Reinhart C. F. (2010). *Animated Building Performance Simulation (ABPS)-Linking Rhinoceros/Grasshopper With Radiance/Daysim. SimBuild*. New York City.

[51]Reinhardt, Dagmar, Saunders, Rob, Burry, Jane (Eds. *Robotic Fabrication in Architecture, Art and Design* 2016 : 413-414.

Οι σχεδιαστές χρησιμοποιώντας ένα περιβάλλον οπτικού προγραμματισμού όπως είναι το Grasshopper του Rhinoceros3d για την επεξεργασία δεδομένων και επικοινωνίας με τα βιομηχανικά ρομπότ, κατάφεραν να έχουν πρόσβαση σε εργαλεία που ελέγχουν ταυτόχρονα τον σχεδιασμό και τη λειτουργία των ρομπότ [52]. Τα προγράμματα KUKAiprc, Virtual Robot και Scorpio [53] αποτελούν τα βασικότερα παραδείγματα μιας προσπάθειας ενσωμάτωσης τεχνικών ψηφιακής κατασκευής (CAM) σε ένα παραμετρικό πρόγραμμα σχεδιασμού όπως το Grasshopper. Μεταβάλλοντας τις παραμέτρους σε μια προκαθορισμένη διαδικασία, ο σχεδιαστής μπορεί μέσα από ένα οπτικό αποτέλεσμα να ελέγξει τον σχεδιασμό και την κατασκευή, μεταφέροντας άμεσα πληροφορίες στο ρομπότ χωρίς ενδιάμεσα στάδια [54].

Τέλος, καθοριστικό ρόλο στην διαχείριση ρομποτικών εφαρμογών από τους σχεδιαστές έπαιξε το Firefly (εικόνα 28) [55]. Πρόκειται για ένα πρόγραμμα μέσα στο Grasshopper το οποίο έδωσε στους αρχιτέκτονες την δυνατότητα αλληλεπίδρασης με μικροελεγκτές (Arduino Uno/Mega), με αισθητήρες (εικόνας, ήχου, πίεσης κ.α.) και τεχνολογίες τρισδιάστατης ψηφιακής σάρωσης (Kinect, 123Dcatch). Μέσω αυτών των συσκευών καταγράφονται πληροφορίες από το φυσικό μοντέλο οι οποίες ενημερώνουν το ψηφιακό περιβάλλον σχεδιασμού, επιτρέποντας στον αρχιτέκτονα να αναλύσει τα δεδομένα πριν και παράλληλα με την διαδικασία σύνθεσης, δημιουργώντας έτσι μια αμφίδρομη ροή πληροφοριών.



[Εικόνα 28] Το plug-in Firefly και η δυνατότητα διαχείρισης συσκευών από το Grasshopper.
<http://www.fireflyexperiments.com/#home>

Τα εμπόδια:

Παρά το αυξανόμενο ενδιαφέρον για τους ρομποτικούς βραχίονες στην αρχιτεκτονική, υπάρχουν αρκετά εμπόδια που καθιστούν την εφαρμογή τους αρκετά δύσκολη. Τα ρομπότ απαιτούν από τους σχεδιαστές την αλληλεπίδραση του πραγματικού περιβάλλοντος με το ψηφιακό, μια ιδέα που δημιουργεί σύγχυση στην αντίληψη των σχεδιαστών για τον τρισδιάστατο χώρο, αφού οι παραδοσιακές τεχνικές διαχωρίζουν αυτά τα δύο στοιχεία [56]. Ενώ οι σχεδιαστές έχουν ήδη κατακτήσει τα καρτεσιανά συστήματα σχεδιασμού για τον έλεγχο της τρισδιάστατης μοντελοποίησης και της διαχείρισης τριών αξόνων CNC μηχανών, ο ρομποτικός έλεγχος εμπεριέχει τον γεωμετρικό μετασχηματισμό έξι τιμών για την κωδικοποίηση της θέσης και τον προσανατολισμό του τελικού τελεστή (end-effector). Κατά συνέπεια, μπορούν να θεωρηθούν μη καρτεσιανά μηχανήματα. Επιπλέον, ο ρομποτικός έλεγχος απαιτεί εξειδικευμένους χρήστες που έχουν την δυνατότητα να διαχειριστούν τον έλεγχο (δράση) και την κίνηση (αντίδραση) των ρομπότ, το οποίο εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την αντίληψη της ρομποτικής κινηματικής [57].



[56] Picon, Antoine. 2014. "Robots and Architecture: Experiments, Fiction, Epistemology." *Architectural Design* 84(3): 54–59.

[57] Braumann, Johannes, and Sigrd Brell-Cokcan. 2011. "Parametric Robot Control, Integrated Cad/cam for Architectural Design." In *Proceedings of the 31st Annual Conference of the Association for Computer Aided Design in Architecture (ACADIA)*, Banff (Alberta), 13-16 October, 2011, 242–51.

[Εικόνα 29] 2013 R+D Awards First Award Winner: Morphfaux (Archolab). Η διαδικασία της κατασκευής από βραχίονα KUKA σε ελεγχόμενο περιβάλλον και με επίβλεψη.

Ακόμη, τα συστήματα σχεδιασμού CAD αντιμετωπίζουν αρκετές δυσκολίες ως προς την σύνδεση με τον προγραμματισμό των ρομπότ, ο οποίος παίζει καθοριστικό ρόλο στον σχεδιασμό και την διαχείριση μιας ρομποτικής κατασκευαστικής διαδικασίας [58].

Όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, τα βιομηχανικά ρομπότ έχουν σχεδιαστεί έτσι ώστε να λειτουργούν σε ελεγχόμενα περιβάλλοντα, τα οποία έχουν σχεδιαστεί με συγκεκριμένες προδιαγραφές, προκειμένου να αυξηθεί η αποδοτικότητά τους. Αντίθετα, το περιβάλλον του εργοταξίου είναι αδό-

[58] Jason, Lim, Fabio Gramazio, Matthias Kohler. 2013. "A Software Environment for Designing through Robotic Fabrication." In *Proceedings of the 18th International Conference on Computer-Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA 2013)*, 45–54.

μητο και απρόβλεπτο και προκειμένου τα ρομπότ να ανταπεξέλθουν σε μια νέα κατάσταση θα πρέπει να αναπτύξουν νέες ιδιότητες και χαρακτηριστικά. Παρ' όλα αυτά, ακόμα και σε περιπτώσεις ελεγχόμενου περιβάλλοντος, απαιτείται συνεχής έλεγχος της διαδικασίας από εξειδικευμένους χρήστες για την αποφυγή κάποιου σφάλματος στην διαδικασία κατασκευής. Επομένως, η ρομποτική προωθεί έναν αυτοματισμό στην κατασκευή, αλλά ταυτόχρονα στηρίζεται σε έμπειρους χρήστες ικανούς να καλύψουν τις βασικές ανάγκες της [59].

Οι προβληματισμοί:

Παρόλο που πολλοί ερευνητές και επαγγελματίες έχουν αφιερώσει τις προσπάθειές τους στην διερεύνηση της ρομποτικής στην αρχιτεκτονική με τη χρήση βιομηχανικών ρομποτικών βραχιόνων, αρκετοί από αυτούς έχουν αναδείξει δύο βασικούς προβληματισμούς σχετικά με την ανάπτυξη νέων εφαρμογών ρομποτικής στην αρχιτεκτονική.

Πρώτον, η δομή και τα χαρακτηριστικά ενός βιομηχανικού ρομπότ δεν είναι προσαρμοσμένα στις ανάγκες του σχεδιαστή. Πέρα από το γεγονός ότι δεν αποτελούν εργαλεία άμεσα διαθέσιμα προς εξερεύνηση νέων δυνατοτήτων, τα βιομηχανικά ρομπότ απαιτούν ειδικευμένους χρήστες και η εφαρμογή τους γίνεται μόνο σε ελεγχόμενα περιβάλλοντα, όπως αυτά των εργαστηρίων.

Δεύτερον, παράλληλα με την αναθεώρηση της δομής των ρομπότ, είναι απαραίτητη η δημιουργία νέων μέσων επικοινωνίας και ελέγχου, για την δημιουργία ενός διαλόγου μεταξύ ρομποτικής και σχεδιαστικής διαδικασίας.



[Εικόνα 30] Διαφορετικοί τύποι ρομποτικού βραχίονα της εταιρείας KUKA.

Η δομή και τα χαρακτηριστικά του βιομηχανικού ρομποτικού βραχίονα προσαρμοσμένα στις ανάγκες των εργοστασίων. Σε αντίθεση με τη δυναμική φύση του εργοταξίου και τις απαιτήσεις του σχεδιασμού.



3.2 Δομή έρευνας:

Η συγκεκριμένη έρευνα εστιάζει κυρίως στην αναζήτηση μιας νέας δομής του ρομποτικού βραχίονα και τέλος στο μέσο επικοινωνίας μεταξύ χρήστη και ρομπότ.

Για την επίτευξη αυτού του στόχου, έχει γίνει μια προσπάθεια οργάνωσης της έρευνας ως εξής:

Το ερευνητικό ερώτημα:

Ποια πρέπει να είναι η δομή και τα χαρακτηριστικά των ρομπότ προκειμένου να αποτελέσουν ένα ενεργό κομμάτι της σχεδιαστικής διαδικασίας;

Η υπόθεση:

Ενώ οι έρευνες σχετικά με την ρομποτική στην αρχιτεκτονική εστιάζουν στην εισαγωγή υφιστάμενων ρομπότ από άλλους κλάδους μέσα σε ένα αρχιτεκτονικό πλαίσιο, αυτό που θα έπρεπε να επιδιώξουμε είναι να εξετάσουμε τις απαιτήσεις που έχουμε στην αρχιτεκτονική και να επαναδιατυπώσουμε τι είδος ρομπότ χρειαζόμαστε.

Η παρούσα έρευνα εστιάζει στην δημιουργία ρομποτικών βραχιόνων, μικρής κλίμακας, με σκοπό την ενίσχυση της διαδικασίας του σχεδιασμού. Μέσα από μια σειρά πειραμάτων, αναζητείται η βέλτιστη σχέση ψηφιακού - αναλογικού.

Το πεδίο εφαρμογής και στόχοι:

Η έρευνα επικεντρώνεται στους ρομποτικούς βραχίονες και σε εφαρμογές ψηφιακής κατασκευής (digital fabrication).

Οργάνωση έρευνας:

Η έρευνα απαρτίζεται από τρία μέρη και το καθένα αποτελεί εξέλιξη του προηγούμενου.

Στο πρώτο μέρος, παρουσιάζεται ο βραχίονας model 1 και το πλαίσιο της συνολικής προσέγγισης. Μέσα από την χρήση διαφορετικών σεναρίων αναλύονται οι δυνατότητες, τα εργαλεία και η δομή του βραχίονα.

Στο δεύτερο μέρος, παρουσιάζεται ο βραχίονας model 2 και η εφαρμογή του στην διαδικασία κατασκευής αντικειμένου μικρής κλίμακας. Μέσα από την εκτέλεση ενός σεναρίου εμφανίζονται οι αλλαγές της δομής και της λειτουργίας του βραχίονα.

Στο τρίτο μέρος, παρουσιάζεται ο βραχίονας model 3 και διερευνάται ένα νέο μέσο διασύνδεσης για τον έλεγχο και τον χειρισμό του.

Σε αυτό το σημείο αξίζει να σημειωθεί ότι δεν γίνεται εκτενής αναφορά στην ανάλυση των αλγορίθμων ή των εφαρμογών που χρησιμοποιήθηκαν στα πειράματα, διότι στόχος της έρευνα είναι, εκτός από την διερεύνηση των δυνατοτήτων ενός βραχίονα, η κατανόηση της ροής εργασίας (workflow) σε κάθε πείραμα καθώς και η διαχείριση διαφορετικών εργαλείων. Για περισσότερες πληροφορίες σχετικά με τον προγραμματισμό και την δομή των βραχιόνων υπάρχουν σχετικά κείμενα στα παραρτήματα.

Τα στάδια υλοποίησης:

Model 1 - MICA R. ARM : «η διασύνδεση»
Εισαγωγή: ένα ιδανικό εργαλείο σχεδιασμού και κατασκευής
Τα βήματα κατασκευής του βραχίονα και τα ψηφιακά μέσα σύνδεσης ψηφιακού-πραγματικού

Model 2 – AWESOMO R. ARM : «η κατασκευή»
Εισαγωγή: η κατασκευαστική διαδικασία και η συμμετοχή του σχεδιαστή. Τα βήματα κατασκευής του βραχίονα, τα ψηφιακά μέσα τρισδιάστατης εκτύπωσης με συμμετοχή του χρήστη και η επιλογή υλικών για την δημιουργία μικρής κλίμακας κατασκευής.

Model 3 – ROXI R. ARM : «ένα κοινό περιβάλλον»
Εισαγωγή: ένα νέο περιβάλλον διασύνδεσης πραγματικού – ψηφιακού μέσω της χρήσης εικονικής πραγματικότητας.

M | A | R project
6-axis Robotic Arms for designers

model 1	Αναζήτηση - επεξεργασία	‘η διασύνδεση’ Ένα ιδανικό εργαλείο σχεδιασμού και κατασκευής. Το πλαίσιο της συνολικής προσέγγισης.
model 2	Εστίαση - εφαρμογή	‘η κατασκευή’ Η κατασκευαστική διαδικασία και η συμμετοχή του σχεδιαστή. Τα βήματα κατασκευής του βραχίονα, τα ψηφιακά μέσα τρισδιάστατης εκτύπωσης με συμμετοχή του χρήστη και η επιλογή υλικών για την δημιουργία μικρής κλίμακας κατασκευής.
model 3	Δημιουργικότητα	‘ένα κοινό περιβάλλον’ Ένα νέο περιβάλλον διασύνδεσης πραγματικού – ψηφιακού μέσω της χρήσης εικονικής πραγματικότητας

[3.3 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΣΜΟΙ]

M | R | A project

Model 1



MODEL 1

MICA Robotic Arm

‘Η πρώτη διασύνδεση’

Ο ρομποτικός βραχίονας Model 1 - MICA R.A. αποτελεί μια πρώτη προσπάθεια δημιουργίας ενός ρομποτικού βραχίονα μικρής κλίμακας με στόχο την εφαρμογή του στην διαδικασία της αρχιτεκτονικής σύνθεσης. Η δομή και ο τρόπος λειτουργίας του βασίζονται σε έναν υφιστάμενο βιομηχανικό βραχίονα της εταιρείας KUKA (KR5/R850).

Το Model 1 εντάσσεται στα πλαίσια της έρευνας “M.A.R Project | 6 axis robotic arm for designers – ρομποτικός βραχίονας 6 αξόνων για τους σχεδιαστές” και αποτελεί το πρώτο στάδιο εξέλιξης αυτού του εργαλείου.

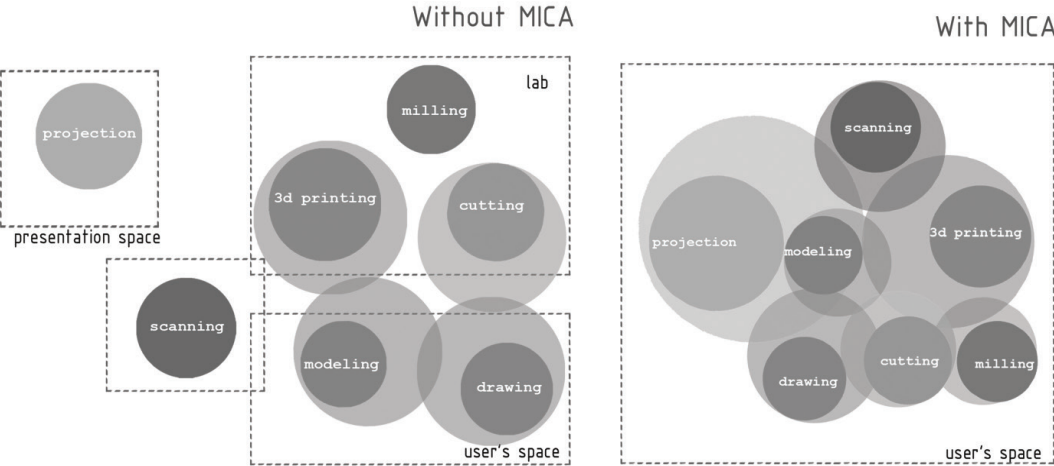
Η συσκευή αναπτύχθηκε στα πλαίσια του μαθήματος ‘Προσαρμοσμένη Αρχιτεκτονική’ (επιβλέπων: Σωκράτης Γιαννούδης, Ομάδα εργασίας: Ντζούφρας Σ., Σταθοπούλου Ε., Τέλιου Μ.) και υποστηρίχθηκε από το εργαστήριο Μεταβαλλόμενων Ευφυών Περιβαλλόντων (TIE Lab) της Αρχιτεκτονικής σχολής Πολυτεχνείου Κρήτης σε συνεργασία με τον υπεύθυνο εργαστηρίου Κωνσταντίνο – Αλκέτα Ουγγρίνη.

Η έρευνα παρουσιάστηκε στο συνέδριο: Architectural Design Conference – Contemporary Discussions and Design Methodologies in Architecture, pp.435-37. Istanbul: DAKAM Publishing (ISBN 978-6055120764) [Mimar Sinan Fine Arts University, Istanbul, 8-10 May.Ntzoufras, S., Stathopoulou, E., Telo, M., Yiannoudes, S.(2014). “MICA; a multi-functional robotic arm for the new design experience”. ARCHDESIGN ‘14

Εισαγωγή

Παρόλο που οι διαδικασίες αρχιτεκτονικού σχεδιασμού και ψηφιακής κατασκευής εμπεριέχουν συνεχή μεταβάσεις από τα ψηφιακά μέσα στα αναλογικά και από τις 2D αναπαραστάσεις σε 3D, δημιουργούνται ερωτήματα σχετικά με την αποτελεσματικότητα των εργαλείων σχεδιασμού στην διευκόλυνση αυτών των συνδέσεων. Για παράδειγμα, οι τεχνικές ψηφιακής κατασκευής (digital fabrication) απαιτούν την χρήση ενός εργαστηρίου εξοπλισμένου με βαριά μηχανήματα, με αποτέλεσμα ένας μέσος χρήστης να μην έχει άμεσα διαθέσιμα απαραίτητα εργαλεία για την διαδικασία σχεδιασμού. Επίσης, οι περιορισμοί των εργαλείων σχεδιασμού CAD και το περιβάλλον διεπαφής τους, ιδιαίτερα όταν χρησιμοποιούνται στα αρχικά στάδια σχεδιασμού, αδυνατούν να αποδώσουν αποτελεσματικά συνθετικές έννοιες και να διαχειριστούν τις πληροφορίες σχεδιασμού.

Μια πιθανή λύση σε αυτό το μεθοδολογικό πρόβλημα θα ήταν η δημιουργία μιας «ανοιχτής» και «προσαρμόσιμης» συσκευής, ικανής να ενσωματώνει και να διαχειρίζεται διαφορετικά εργαλεία, ψηφιακά ή αναλογικά, που θα κυμαίνονται από τις τεχνικές ψηφιακής κατασκευής έως τα εργαλεία σύνθεσης και αναπαράστασης.



[εικόνα 33] Ο βραχίονας MICA και οι σχέσεις των εργαλείων σχεδιασμού.

Περιγραφή εργαλείου

Το Model 1- MICA R.A. είναι ένας ρομποτικός βραχίονας με 6 άξονες κίνησης. Ο τελικός τελεστής του (end-effector) έχει την ικανότητα να διαχειρίζεται διαφορετικά εργαλεία ανάλογα με τις απαιτήσεις του χρήστη όπως εργαλεία κατασκευής προπλάσμάτων (3d εκτύπωση, κοπή και χάραξη) καθώς και συσκευές 3d σάρωσης και προβολέα, χρήσιμα για την διαδικασία σύνθεσης. Ακόμη, ένα από τα βασικότερα στοιχεία του βραχίονα είναι οι ενσωματωμένοι αισθητήρες καταγραφής κίνησης. Με την χρήση αυτής της τεχνολογίας, ο σχεδιαστής έχει την δυνατότητα να χειριστεί το ρομπότ αλλά και να επέμβει άμεσα στο ψηφιακό περιβάλλον σχεδιασμού και να το τροποποιήσει. Τα εργαλεία και οι αισθητήρες συνδέονται μέσω ενός λογισμικού φιλικού προς τον χρήστη, χωρίς ενδιάμεσες εφαρμογές.

Το κύριο σώμα (δηλαδή ο κορμός) του ρομπότ αποτελείται από μια διαδοχή συνδέσμων ή μελών (links) που συνδέονται με αρθρώσεις (joints). Οι αρθρώσεις ελέγχουν τις κινήσεις των συνδέσμων. Η ομάδα των αρθρώσεων, που ελέγχει την κίνηση του εργαλείου, ονομάζεται «καρπός». Κάθε μια από τις αρθρώσεις του βραχίονα και του καρπού παρέχει έναν βαθμό ελευθερίας στην κίνηση του τελικού στοιχείου δράσης. Ετσι, ένα ρομπότ με 'n' βαθμούς ελευθερίας περιέχει 'n' αρθρώσεις ή 'n' άξονες κίνησης.



[εικόνα 34] Ο χρήστης έχει την ικανότητα να διαχειρίζεται διαφορετικά εργαλεία ανάλογα με τις απαιτήσεις του σχεδιασμού.



[εικόνα 35] Ο σχεδιαστής έχει την δυνατότητα να χειριστεί το ρομπότ αλλά και να επέμβει άμεσα στο ψηφιακό περιβάλλον σχεδιασμού και να το τροποποιήσει.

Η κίνηση του τελικού στοιχείου δράσης ρυθμίζεται ελέγχοντας την θέση και την ταχύτητα των αξόνων κίνησης του ρομπότ. Στη ρομποτική, ένας άξονας κίνησης ισοδυναμεί με έναν βαθμό ελευθερίας, ως προς τον οποίο μπορεί να κινηθεί το ρομπότ. Για να μπορέσει ένα ρομπότ να φτάσει ένα αυθαίρετο σημείο (μέσα στο χώρο εργασίας του) με έναν επιθυμητό προσανατολισμό του εργαλείου, χρειάζεται να έχει έξι άξονες (βαθμούς ελευθερίας) κίνησης. Εστω και ένας διαφορετικός προσανατολισμός του εργαλείου μπορεί να αλλάξει εντελώς την θέση του βραχίονα.

Περιγραφή βραχίονα:

Η μηχανολογική κατασκευή του βραχίονα με έξι βαθμούς ελευθερίας που αντιστοιχούν σε περιστροφικές αρθρώσεις, αποτελείται από συνδέσμους κατασκευασμένους από πλαστικά μέρη τυπωμένα σε τρισδιάστατο εκτυπωτή. Η πρώτη άρθρωση βρίσκεται στον άξονα που είναι κάθετος στο επίπεδο στήριξης και οι τρεις αρθρώσεις σε παράλληλους άξονες αντίστοιχα για ώμο, αγκώνα και καρπό. Ο σχεδιασμός έγινε λαμβάνοντας σοβαρά υπόψιν παράγοντες όπως:

- η στιβαρότητα
- η ευλυγισία
- η ικανότητα να επιτυγχάνει υψηλές ταχύτητες
- η λογική τιμή
- να μην ξεπερνά η συνολική κατασκευή το βάρος μίας αντίστοιχης κατασκευής από αλουμίνιο
- να μπορεί να συναρμολογηθεί εύκολα και γρήγορα από τον χρήστη
- να υπάρχει η δυνατότητα αντιγραφής και κατασκευής των εξαρτημάτων από διαφορετικούς τρισδιάστατους εκτυπωτές

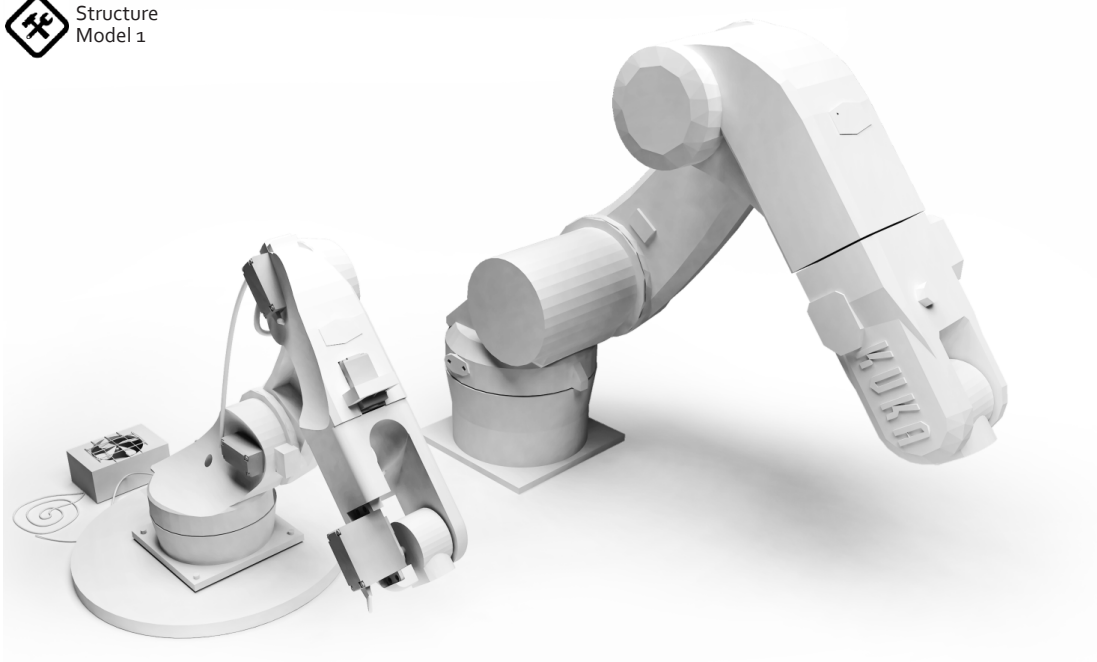
Με σκοπό την διατήρηση της στιβαρότητας σε αρκετά υψηλά επίπεδα για την περιστροφή της βάσης, χρησιμοποιήθηκε ένα βιομηχανικό ρουλεμάν γενικής χρήσης, το οποίο μπορεί και να αντικατασταθεί σε περίπτωση ειδικής χρήσης του βραχίονα που απαιτεί λιγότερο βάρος.

Το σύστημα περιλαμβάνει ένα μικροελεγκτή για την οδήγηση του ρομποτικού συστήματος και έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή για τον χειρισμό από γραφικό περιβάλλον. Για την οδήγηση του ρομποτικού συστήματος, απαιτείται ένας μικροεπεξεργαστής, ο οποίος θα δέχεται δεδομένα από μία συσκευή που στην προκειμένη περίπτωση είναι το Kinect, και ο μικροελεγκτής θα τα επεξεργάζεται και θα παράγει εξόδους οι οποίες θα οδηγούν τους κινητήρες του βραχίονα. Στην δική μας κατασκευή χρησιμοποιήθηκε ο Arduino Mega1256 [60].

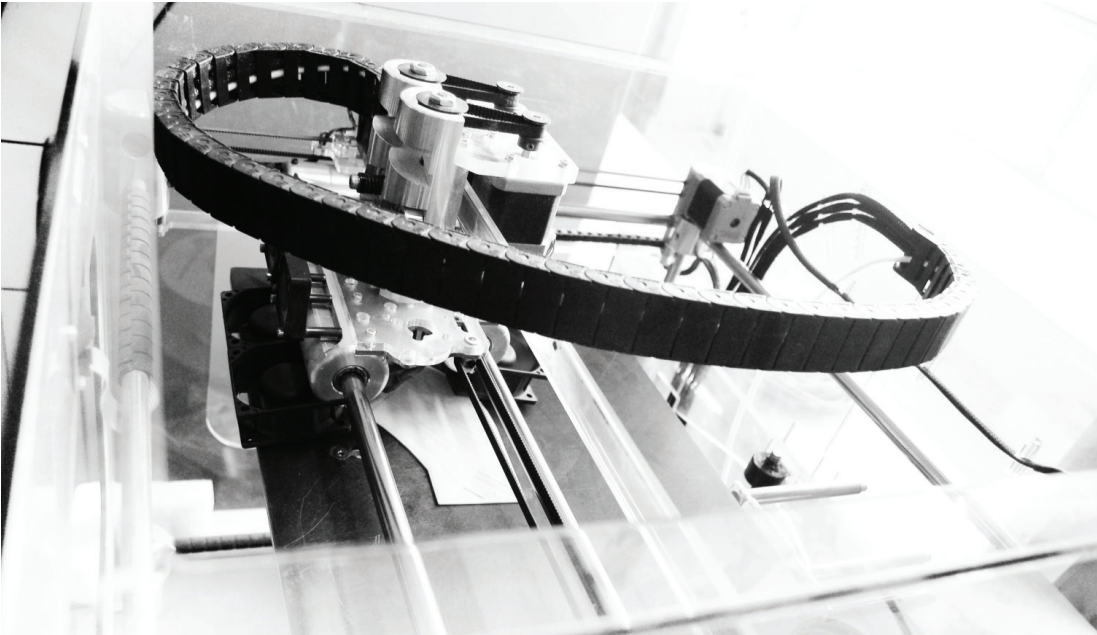
[60]Βλέπε παραρτήματα σελ. 245



Structure
Model 1



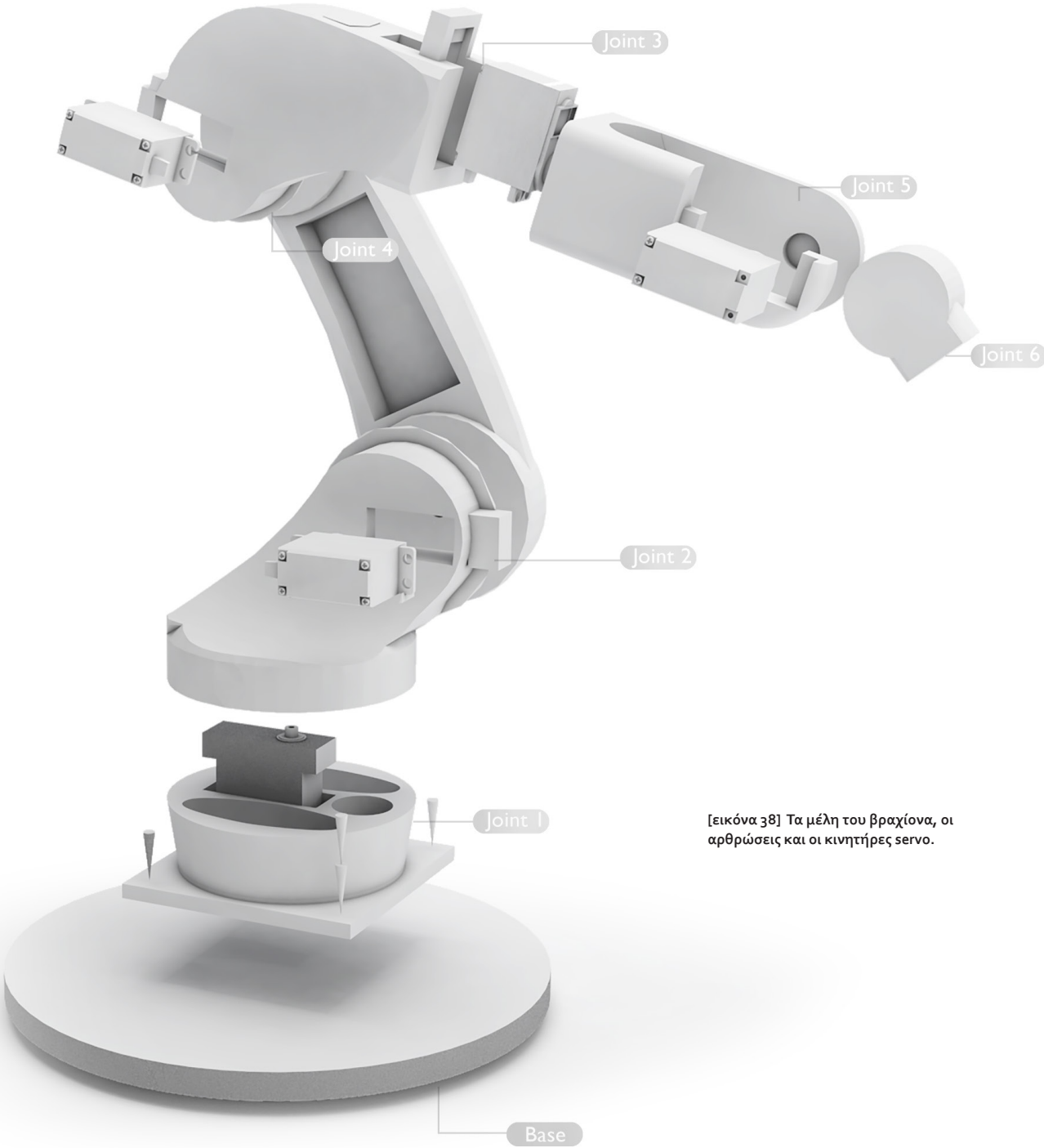
[εικόνα 36] Η δομή και ο τρόπος λειτουργίας του βασίζονται σε έναν υφιστάμενο βιομηχανικό βραχίονα της εταιρίας KUKA (KUKA KR5/R850).



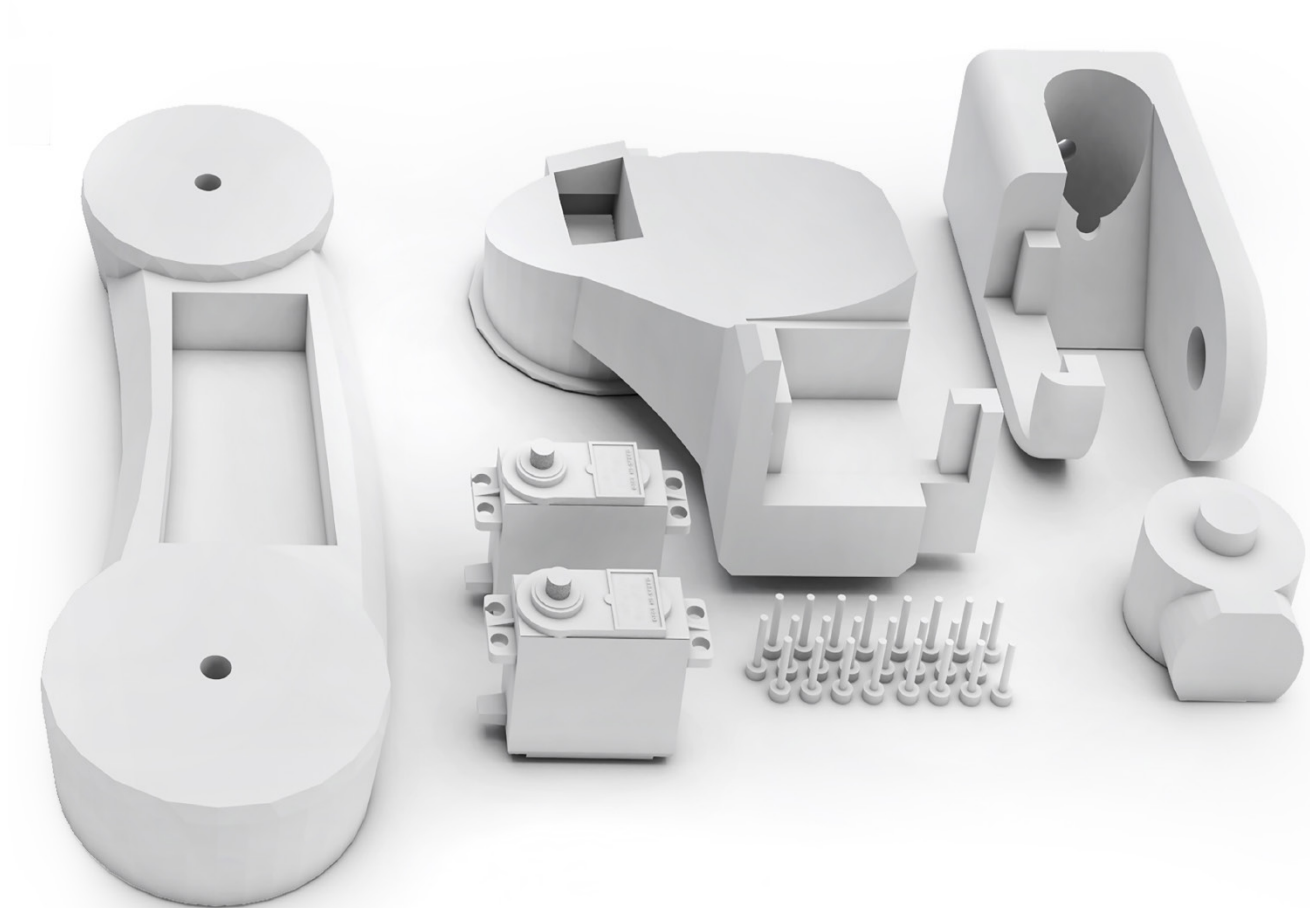
[εικόνα 37] Η διαδικασία κατασκευής του βραχίονα από 3d printer.



Structure
Model 1



[εικόνα 38] Τα μέλη του βραχίονα, οι αρθρώσεις και οι κινητήρες servo.



[εικόνα 39] Τα μέλη του βραχίονα, οι αρθρώσεις και οι κινητήρες servo. Αρχείο προς 3d εκτύπωση.

Το περιβάλλον προγραμματισμού

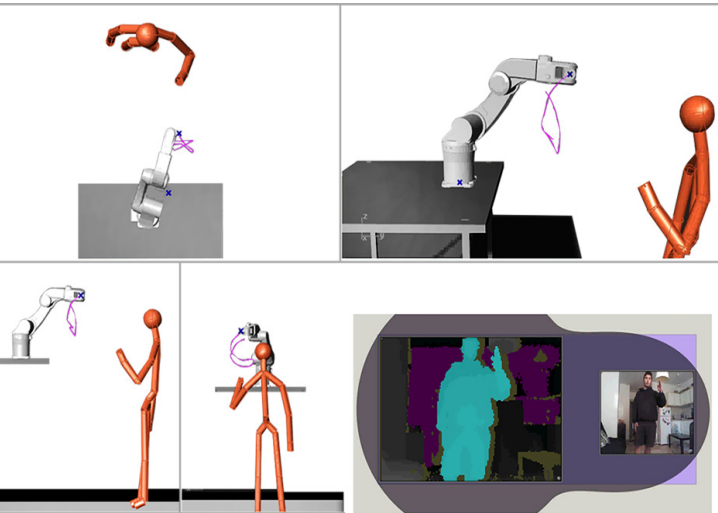
Η συνολική διαχείριση και εποπτεία της διαδικασίας γίνεται μέσα από το περιβάλλον του Grasshopper. Η κινηματική ανάλυση, ο χειρισμός του ρομπότ αλλά και η εισαγωγή και η επεξεργασία των δεδομένων από τους αισθητήρες ελέγχονται στο περιβάλλον του Grasshopper με τη χρήση plugins (εικόνα 40).

Το Grasshopper αποτελεί plug-in που έχει αναπτυχθεί για το Rhinoceros Nurbs Modeling. Το Rhinoceros3d είναι ένα μη-παραμετρικό πρόγραμμα επιφανειών και το Grasshopper παρέχει μια οπτική 'plug and play' διεπαφή για την αυτοματοποίηση του scripting. Το συγκεκριμένο εργαλείο δίνει στον χρήστη την δυνατότητα να ορίζει «γραφικά» (να προβάλει στην οθόνη) τις σχέσεις μεταξύ αντικειμένων που επιλέγει και μέσω αυτής της παράστασης να διαχειρίζεται όλους τους αλληλοσυσχετισμούς και τις μεταβολές τους.

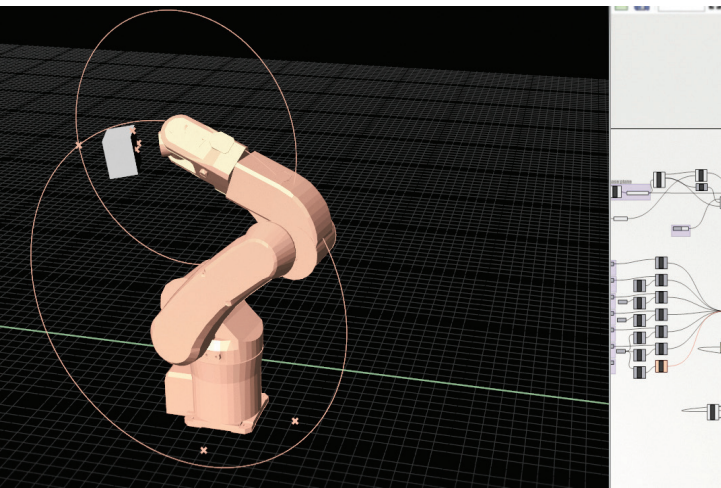
Στην εφαρμογή, οι διάφορες συναρτήσεις και οι παράμετροί τους εμφανίζονται στην εφαρμογή με εικονίδια, τα οποία συσχετίζόμενα μεταξύ τους, κατασκευάζουν το δίκτυο των σχέσεων που απεικονίζει την δομή της πληροφορίας. Παράλληλα, τα αποτελέσματα των αντικειμένων και των σχέσεων τους αλλά και της μεταβολής των παραμέτρων μεταφράζονται σε σχήματα στο περιβάλλον του Rhinoceros 3d [61].

Το περιβάλλον εργασίας είναι αρκετά φιλικό για έναν «μη ειδικό» χρήστη και ενισχύει την δυνατότητα διάδρασης που έχει με τη δομή πληροφορίας. Ωστόσο, το πρόγραμμα δίνει την δυνατότητα και σε πιο ειδικούς χρήστες να δημιουργήσουν τα δικά τους εργαλεία με τη χρήση δύο γλωσσών προγραμματισμού: Visual Basic.NET C (VB DotNet) και Sharp (C#).

[61] Σταυρίδου Α., Παπαδόπουλος Δ.: «ΠΕΒΕ 2007». «Εννοιολογικός προσδιορισμός παραμετρικών ιδιοτήτων αρχιτεκτονικών κατασκευαστικών στοιχείων και δομικών υλικών» Ε.Μ.Π. στο www.gr/archtech/forum/BASI-KI%20EREY-NA%20FULL.pdf



[Εικόνα 40] Το περιβάλλον εργασίας του Grasshopper και η διαχείριση του βραχίονα σε πραγματικό χρόνο.



[Εικόνα 41] Η κινηματική ανάλυση του βραχίονα από το plugin KUKA rpc στο Grasshopper.

Κινηματική ανάλυση και οδήγηση

Η κινηματική ανάλυση ενός βραχίονα αφορά την επίλυση δύο προβλημάτων, του ευθέως και του αντίστροφου κινηματικού προβλήματος. Το ευθύ κινηματικό πρόβλημα συνίσταται την εύρεση της θέσης και του προσανατολισμού του άκρου του βραχίονα ως προς την βάση του, όταν γνωρίζουμε την θέση κάθε άρθρωσης, ενώ το αντίστροφο κινηματικό πρόβλημα συνίσταται στην εύρεση της θέσης της κάθε άρθρωσης, η οποία τοποθετεί το άκρο του βραχίονα σε μια συγκεκριμένη θέση και προσανατολισμό σε σχέση με την βάση του. Ο βαθμός δυσκολίας επίλυσης των προβλημάτων αυτών εξαρτάται από την γεωμετρία του βραχίονα.

Ο σχεδιασμός της κινηματικής του Model 1 δημιουργήθηκε στο περιβάλλον του Grasshopper με την χρήση Script [62]. Ομως, για λόγους βελτιστοποίησης της διαδικασίας προτιμήθηκε η χρήση έτοιμου αλγορίθμου από τις βιβλιοθήκες τις KUKA|rpc kinematics (add on σε Grasshopper) αφού το μοντέλο του βραχίονα αποτελεί απομίμηση υφιστάμενου ρομπότ KUKA (αριθμός μοντέλου KR5/R850)(εικόνα 41). Ο αλγόριθμος δίνει σαν αποτέλεσμα τις τιμές για κάθε άρθρωση (σε μοίρες) και παράλληλα προβάλει στο περιβάλλον του Rhinoceros 3d τη γεωμετρία του μοντέλου και τις κινήσεις του.

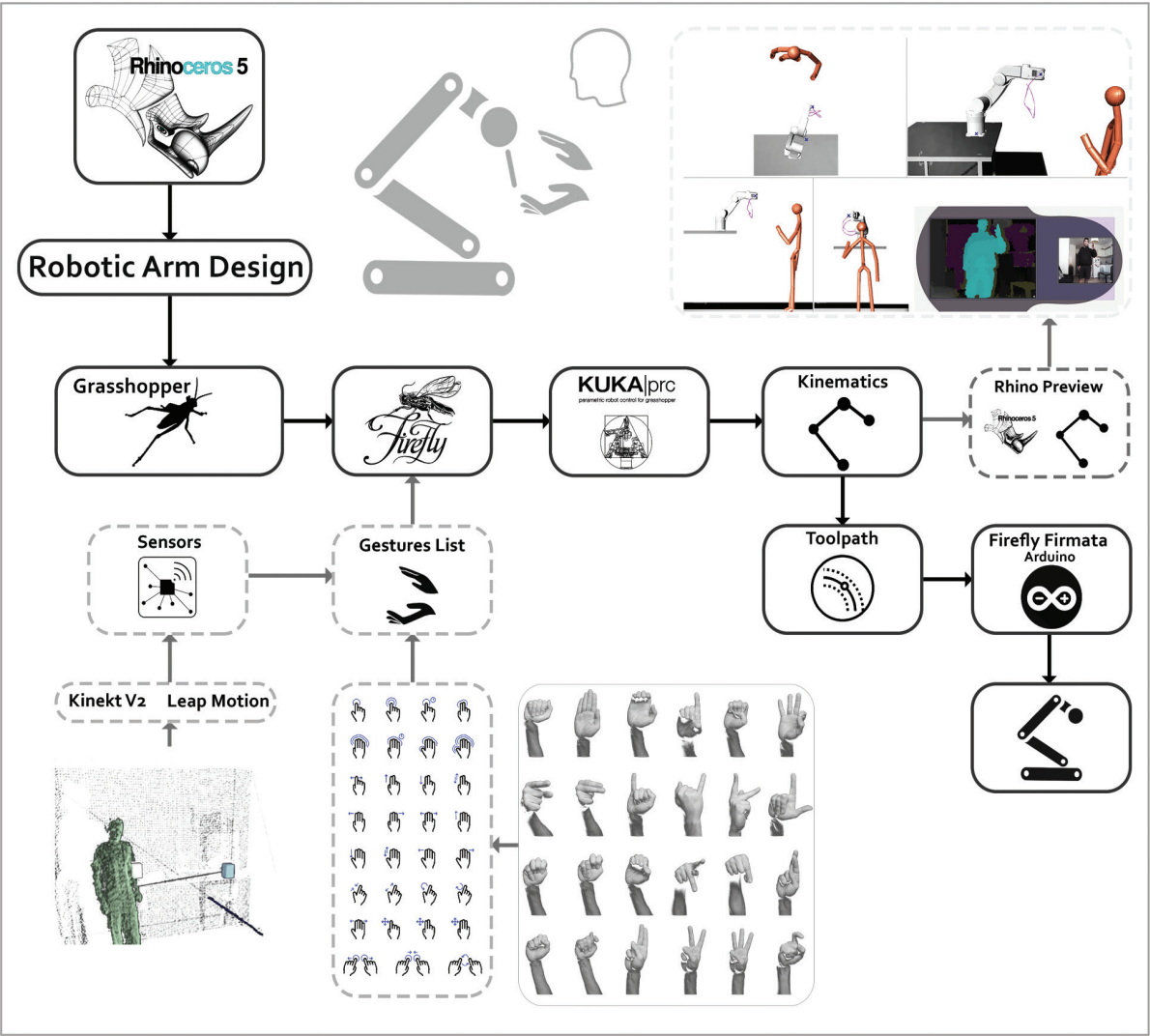
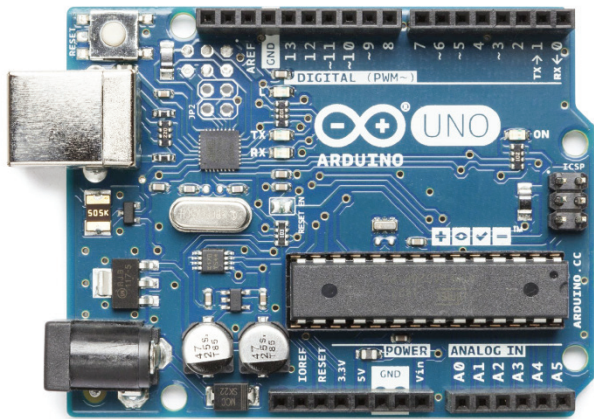
[62] Βλέπε παραρτήματα σελ. 277

Χειρισμός

Ο χειρισμός του βραχίονα γίνεται μέσω του Firefly (add on σε Grasshopper)(εικόνα 43). Το Firefly προσφέρει ένα σύνολο εργαλείων λογισμικού με στόχο την γεφύρωση Grasshopper και μικροελεγκτών, όπως το Arduino. Ουσιαστικά, επιτρέπει την ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ φυσικού και ψηφιακού περιβάλλοντος σε πραγματικό χρόνο.

- Οι αρχικές κινήσεις του βραχίονα είναι οι εξής:
- 1. Ο βραχίονας μπαίνει σε κατάσταση αναμονής μέχρι την είσοδο του χρήστη στον χώρο εργασίας (μέχρι 2 χρήστες). Με την είσοδο του, το αντικείμενο αναγνωρίζεται, συλλαμβάνεται και απομακρύνεται από την επιφάνεια εργασίας του βραχίονα.
 - 2. Ο βραχίονας συλλαμβάνει από το χώρο δράσης του μόνο ανθρώπινες φιγούρες και αντικείμενα συγκεκριμένου χρώματος που έχει ορίσει ο χειριστής, ενώ υπάρχει και η δυνατότητα αναδιάταξης αντικειμένων διαφορετικού χρώματος σε σειρά που έχει ορίσει και πάλι ο χειριστής.
 - 3. Η συμπεριφορά του βραχίονα σε μία λειτουργία προσαρμόζεται ανάλογα με το σενάριο που έχει επιλέξει ο χρήστης και το εργαλείο τελικής δράσης. Για αυτό τον σκοπό έχει δημιουργηθεί στο Grasshopper μια "λίστα πιθανών σεναρίων".

[εικόνα 42] Ο μικροελεγκτής Arduino UNO που χρησιμοποιήθηκε στο πείραμα.



[εικόνα 43] Το λειτουργικό διάγραμμα χρήσης του βραχίονα.

Το πείραμα

Ο βασικός στόχος των πειραμάτων είναι η κατανόηση των δυνατοτήτων του εργαλείου μέσα από μια σειρά σεναρίων, τα οποία χαρακτηρίζονται από συνεχείς μεταβάσεις πραγματικού – ψηφιακού.

Τα πειράματα αρχικά υλοποιήθηκαν σε χώρο εργαστηρίου και στη συνέχεια έγινε δοκιμή της διαδικασίας σε μη ελεγχόμενο περιβάλλον, διότι ένα από τα βασικά κριτήρια της συσκευής είναι η λειτουργία της από μη ειδικευμένους χρήστες.

Τα σενάρια:

1. Καταγραφή κινήσεων και σχεδιασμός στο ψηφιακό περιβάλλον σε πραγματικό χρόνο.

Αρχικά, ο χρήστης τοποθετεί τον αισθητήρα βάθους της συσκευής Kinect [63] σαν εργαλείο τελικής δράσης και μέσα από το περιβάλλον του Grasshopper επιλέγεται - από τη σχετική λίστα - το σενάριο καταγραφής κινήσεων. Το σύστημα αναγνωρίζει τον χρήστη και παρουσιάζει τις βασικές επιλογές σχεδίασης. Σε αυτό το σημείο, ο σχεδιαστής επιλέγει την τρισδιάστατη σχεδίαση μέσω κίνησης του χεριού και αυτόματα ο αλγόριθμος απομονώνει τα σημεία των άκρων του χεριού του.

Παράλληλα, ενεργοποιείται μια δεύτερη λίστα αναγνώρισης μοτίβων, με βάση τα σημεία καρπού και δακτύλων, στην οποία ο σχεδιαστής επιλέγει τα σχεδιαστικά εργαλεία. Σε αυτή την περίπτωση, γίνεται χρήση της βάσης δεδομένων η οποία περιλαμβάνει αποθηκευμένα τρισδιάστατα κινησιολογικά μοτίβα (εικόνα 44), τα οποία ο χρήστης χρησιμοποιεί σαν μέσο επικοινωνίας με τα εργαλεία του σχεδιαστικού προγράμματος. Τα συγκεκριμένα μοτίβα εμπεριέχουν στοιχεία της νοηματικής γλώσσας για την αποκωδικοποίηση των εντολών του προγράμματος Rhinoceros. Η μετάφραση των εντολών από το πραγματικό στο ψηφιακό περιβάλλον γίνεται με τη χρήση του Leap Motion.

Τέλος, με τη βοήθεια του ρομποτικού βραχίονα, ο οποίος ακολουθεί και καταγράφει κάθε κίνηση, ο χρήστης δεν αντιμετωπίζει περιορισμούς ως προς το μέγεθος του χώρου δράσης εφόσον ο βραχίονας προσαρμόζεται σε ένα μεγάλο εύρος θέσεων.

2. Καταγραφή κινήσεων και σχεδιασμός στο πραγματικό περιβάλλον σε πραγματικό χρόνο.

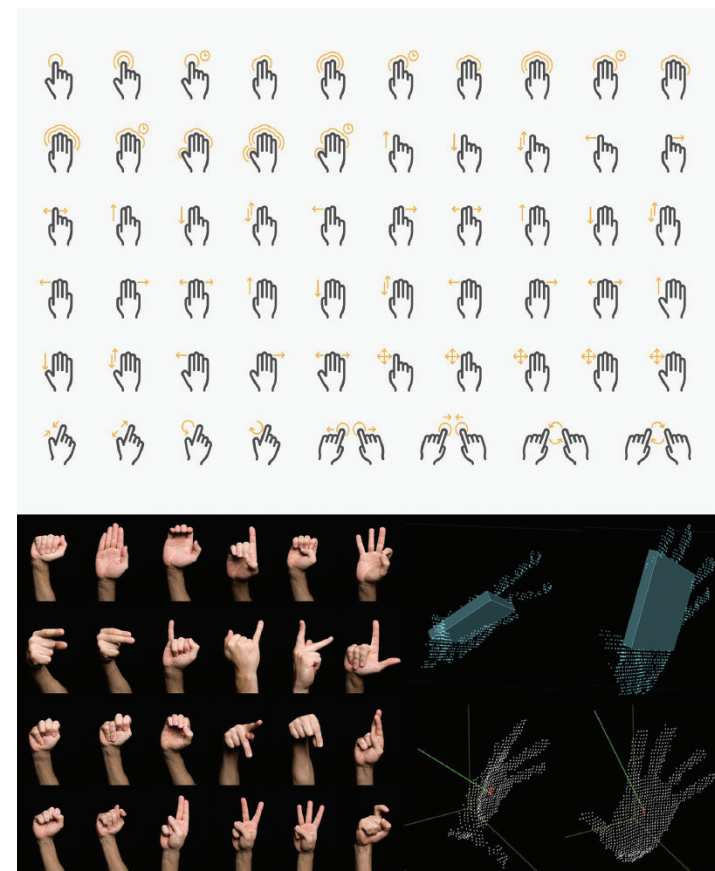
Το συγκεκριμένο σενάριο αποτελείται από δύο σκέλη. Πρώτον, τον σχεδιασμό από τον βραχίονα στο πραγματικό περιβάλλον σε ένα ορισμένο 2D επίπεδο μέσω αντιγραφής της κίνησης του χεριού, και δεύτερον, τον σχεδιασμό 2D μοντέλου από το περιβάλλον του Rhinoceros σε πραγματικό χώρο.

[63]Βλέπε παραρτήματα σελ.255

Αρχικά, και στις δύο περιπτώσεις, ο χρήστης τοποθετεί στο βραχίονα μια συσκευή γραφής (από μολύβι ή πενάκι) σαν εργαλείο τελικής δράσης και μέσα από το περιβάλλον του Grasshopper επιλέγεται το σενάριο 2D εκτύπωσης. Στη συνέχεια, οριοθετεί με τα άκρα του χεριού του, την περιοχή δράσης σε ένα σταθερό επίπεδο x,y. Οι ενσωματωμένοι αισθητήρες του βραχίονα καταγράφουν το πεδίο δράσης και το μεταφέρουν στο περιβάλλον του Rhinoceros.

Στην πρώτη περίπτωση, επιλέγεται από το Grasshopper η εντολή αναγνώρισης του χεριού για 2D γραφή και το σύστημα ενεργοποιείται μόλις ο αισθητήρας (κάμερα) αντιληφθεί το σχετικό μοτίβο γραφής από τον χρήστη. Η συνολική διαδικασία γίνεται σε πραγματικό χρόνο.

Στην δεύτερη περίπτωση, επιλέγεται από το Grasshopper η εντολή 2D εκτύπωσης μοντέλου και στη συνέχεια επιλέγεται το 2D σχέδιο από το Rhinoceros. Ο χρήστης ενεργοποιεί από τον υπολογιστή την διαδικασία εκτύπωσης και το σύστημα σε όλη την διάρκεια του προσφέρει την δυνατότητα παρέμβασης σε περίπτωση λάθους (εικόνα 45).



[εικόνα 44] Η βάση δεδομένων και τα αποθηκευμένα τρισδιάστατα κινησιολογικά μοτίβα.

Συμπεράσματα

Κατά την διάρκεια του σχεδιασμού και κατασκευής του βραχίονα παρουσιάστηκαν προβλήματα σε όλα σχεδόν τα επίπεδα. Προβλήματα των οποίων οι διαδικασίες επίλυσης οδήγησαν σε χρήσιμα συμπεράσματα τόσο σε τεχνικό επίπεδο όσο και σε επίπεδο διαχείρισης των διαδικασιών.

Οι βασικότεροι παράγοντες που επηρέασαν καθοριστικά την συνολική προσέγγιση είναι οι τεχνικοί περιορισμοί και η διαχείριση του όγκου πληροφορίας στην εφαρμογή των σεναρίων. Αναλυτικότερα, η χρήση αδύναμων κινητήρων servo, οι προβληματικές αρθρώσεις και η αστοχία της κατασκευής ως προς το συνολικό της βάρος, επηρέασαν αρνητικά την συνολική λειτουργία του βραχίονα κατά την διάρκεια των σεναρίων. Ακόμη, η δυσκολία μετάδοσης πληροφορίας από το Grasshopper στο Arduino λόγω πολυπλοκότητας του κώδικα και η αδυναμία διαχείρισης της λίστας επιλογής σεναρίων καθώς και της βάσης δεδομένων των κινησιολογικών μοτίβων, επιβράδυναν σημαντικά τη λειτουργία του βραχίονα, ειδικά στις μεταβάσεις μεταξύ πραγματικού – ψηφιακού και αντίστροφα.

Συμπερασματικά, για μια επιτυχή εφαρμογή του εργαλείου στην αρχιτεκτονική σύνθεση, η συνολικότερη προσέγγιση θα πρέπει να επικεντρωθεί σε ένα σενάριο λειτουργίας του βραχίονα με στόχο την βελτιστοποίηση των μηχανισμών και του αλγορίθμου διαχείρισης των διαδικασιών.



[εικόνα 45] Στιγμιότυπο από το δεύτερο σενάριο. Ο χρήστης επιβλέπει τη διαδικασία.

M | R | A project

Model 2



MODEL 2

AWESOMO Robotic Arm
'Η κατασκευή'

Ο ρομποτικός βραχίονας Model 2 – Awesomo R.A. εντάσσεται στα πλαίσια της έρευνας "M.A.R Project | 6 axis robotic arm for designers – ρομποτικός βραχίονας 6 αξόνων για τους σχεδιαστές" και αποτελεί το δεύτερο στάδιο εξέλιξης αυτού του εργαλείου. Η δομή και ο τρόπος λειτουργίας του δεν βασίζονται σε έναν υφιστάμενο βιομηχανικό βραχίονα, αλλά αποτελεί προϊόν προσωπικής έρευνας.

Η συσκευή υποστηρίχθηκε από το εργαστήριο Μεταβαλλόμενων Ευφυών Περιβαλλόντων (TIE Lab) της Αρχιτεκτονικής σχολής Πολυτεχνείου Κρήτης σε συνεργασία με τον υπεύθυνο εργαστηρίου Κωνσταντίνο – Αλκέτα Ουγγρίνη.

Η έρευνα εμφανίζεται σε κεφάλαιο δημοσίευσης το οποίο παρουσιάστηκε στο συνέδριο :

6 th International Astronautical Congress (IAC2015). Jerusalem, Israel. Fabrication and Assembly Processes on the Mars Surface. Oungrinis, K.-A., Liapi, M., Christoulakis, M., Ntzoufras, S., Paterakis, I., Bannova, O. (2015).

Εισαγωγή

Ενώ στο πρώτο μοντέλο έγινε μια προσπάθεια κατανόησης των δυνατοτήτων ενός ρομποτικού βραχίονα μέσα από διαφορετικά σενάρια χρήσης, το δεύτερο μοντέλο εστιάζει στην επίλυση τεχνικών ζητημάτων για την καλύτερη λειτουργία της συσκευής, καθώς και στη δημιουργία ενός μηχανισμού για την παραγωγή τρισδιάστατων αντικειμένων.

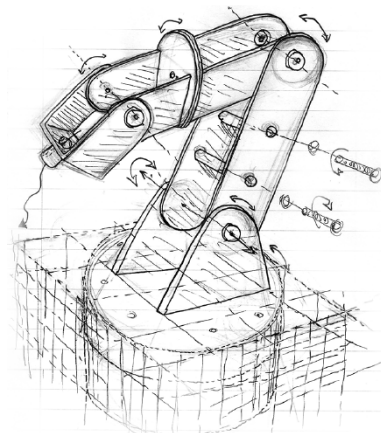
Τα μέσα διασύνδεσης μεταξύ πραγματικού – ψηφιακού παραμένουν ίδια με το Model 1 με την μόνη διαφορά ότι η συγκεκριμένη έρευνα εστιάζει σε μία λειτουργία του βραχίονα (3d printing). Επομένως, η σύνθεση του συστήματος απλοποιείται για την βελτιστοποίηση των διαδικασιών.

Περιγραφή βραχίονα:

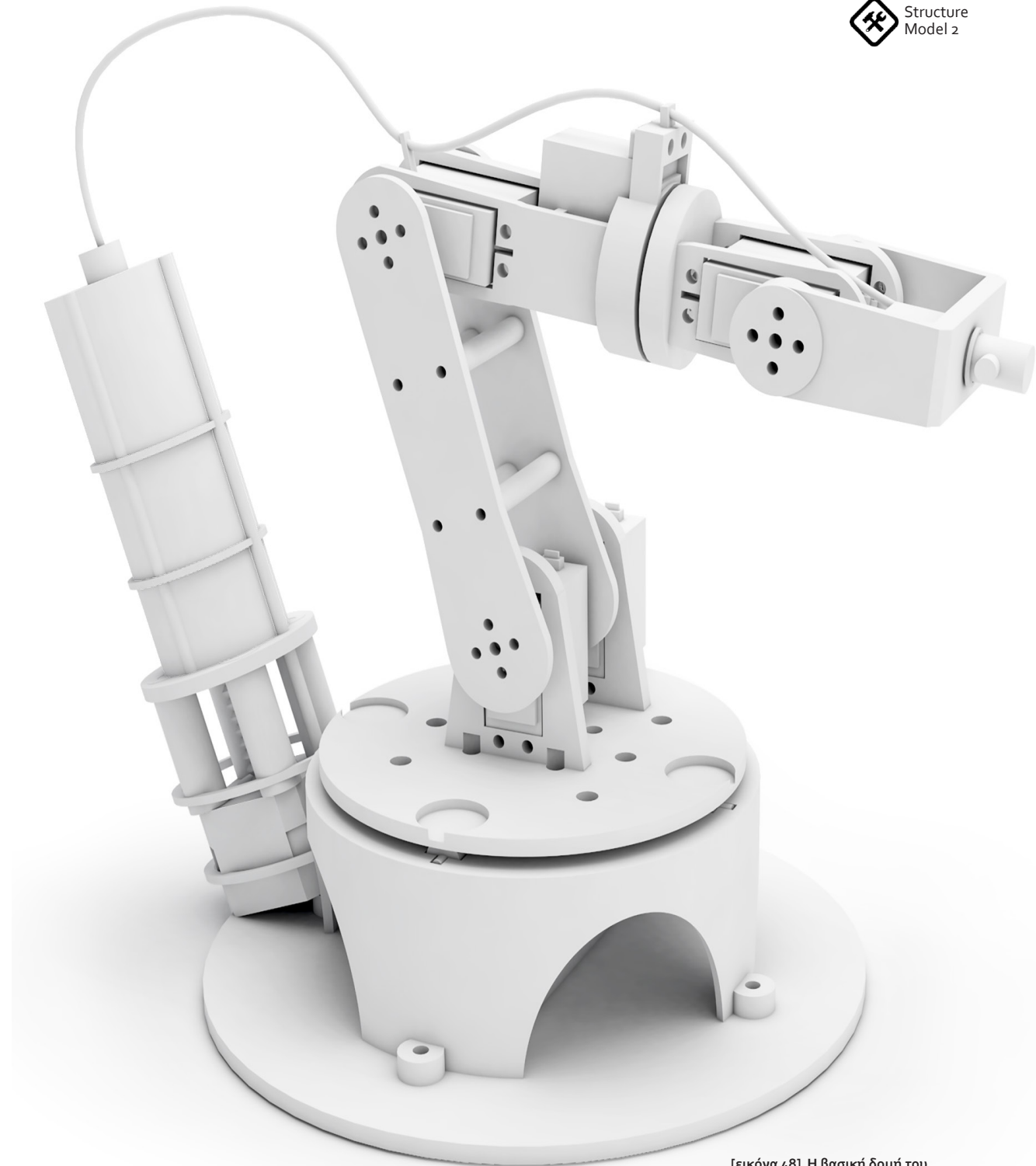
Οι βασικές αναλογίες του βραχίονα παραμένουν ίδιες με το Model 1, το οποίο ακολουθεί σαν πρότυπο τον βραχίονα KUKA KR5/R850. Όμως, η συνολικότερη κατασκευή αποτελεί προϊόν προσωπικής έρευνας. Μέσα από τον νέο σχεδιασμό της συσκευής δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στην καλύτερη διαχείριση του κέντρου βάρους, το οποίο υπολογίζεται από plugins στο Grasshopper.

Η μηχανολογική κατασκευή του βραχίονα με έξι βαθμούς ελευθερίας που αντιστοιχούν σε περιστροφικές αρθρώσεις, αποτελείται από συνδέσμους κατασκευασμένους από πλαστικά μέρη τυπωμένα σε τρισδιάστατο εκτυπωτή. Η μετάδοση κίνησης δεν γίνεται μέσω ρουλεμάν, ιμάντα ή αλυσίδας, διότι οι κινητήρες είναι αρκετά δυνατοί για να αντέξουν το βάρος χωρίς καμία επιπλέον βοήθεια.

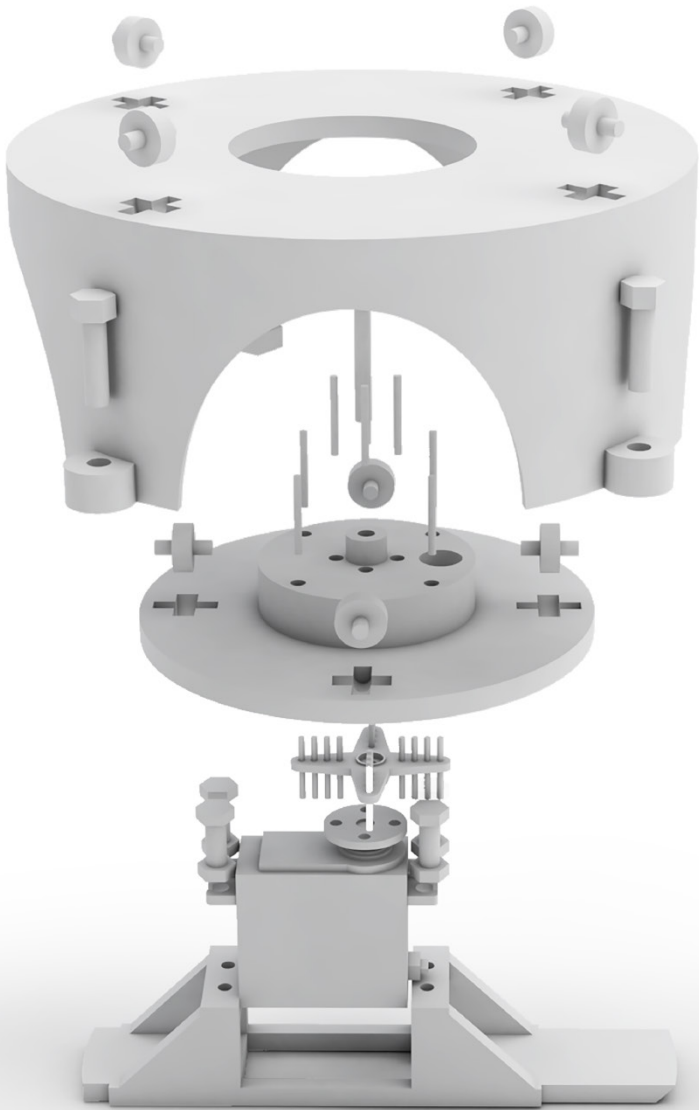
Η πρώτη άρθρωση της βάσης του βραχίονα αποτελείται από ένα πλαστικό ρουλεμάν το οποίο έχει σχεδιαστεί με βασική αρχή τη μείωση του βάρους και την ελαχιστοποίηση των εσωτερικών τριβών της άρθρωσης. Επίσης, μόνο σε αυτό το σημείο τοποθετούνται μεταλλικοί servo κινητήρες, για την καλύτερη διαχείριση του βάρους.



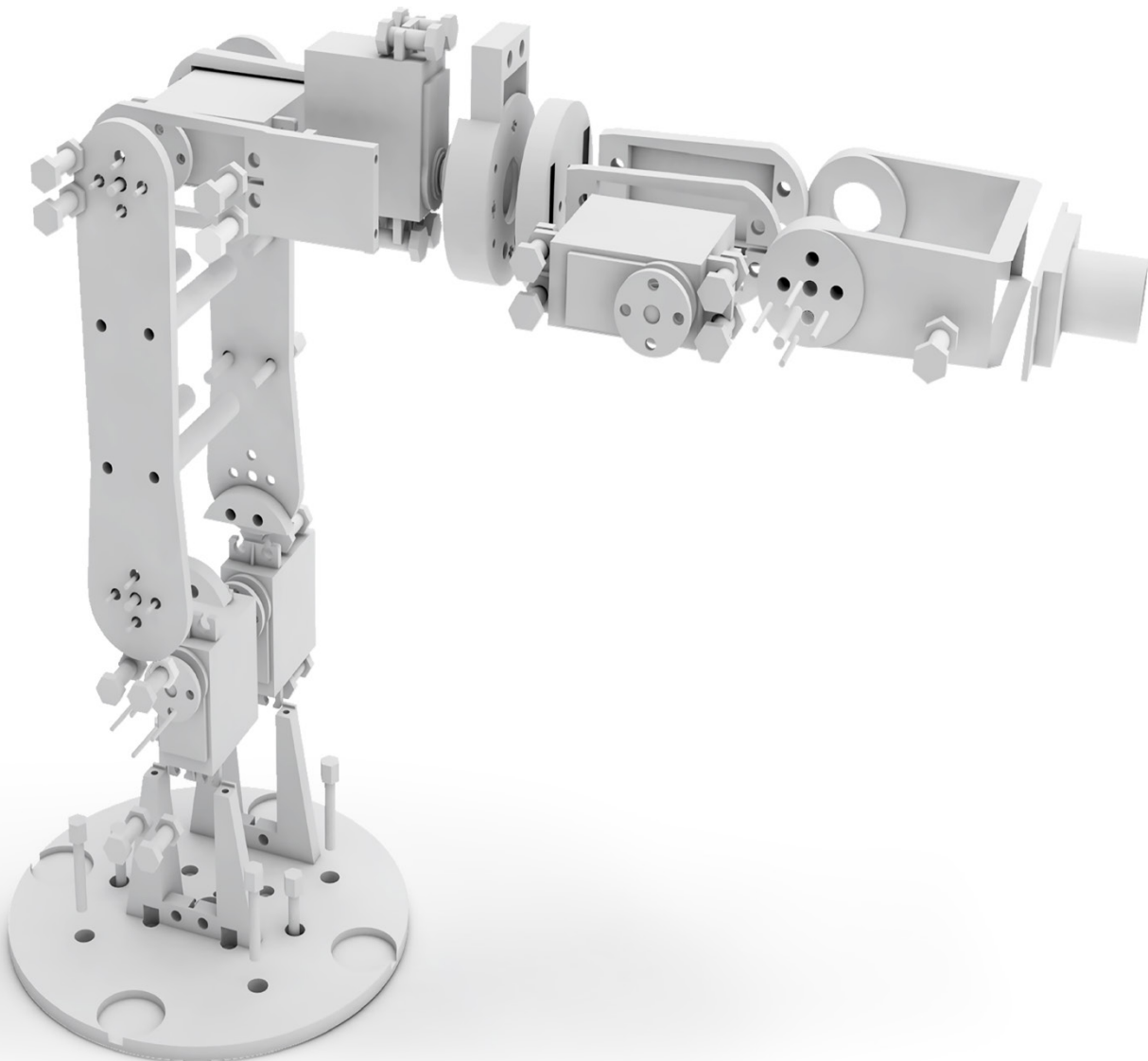
[εικόνα 47] Σκίτσο κατασκευής του βραχίονα.



[εικόνα 48] Η βασική δομή του βραχίονα και το εργαλείο 3d εκτύπωσης.



[εικόνα 49] Η βάση του βραχίονα και η πρώτη άρθρωση με το πλαστικό ρουλεμάν σε δύο επίπεδα.



[εικόνα 50] Ο κορμός του βραχίονα και το τελικό σημείο. Λεπτομέρεια κατασκευής αρθρώσεων.

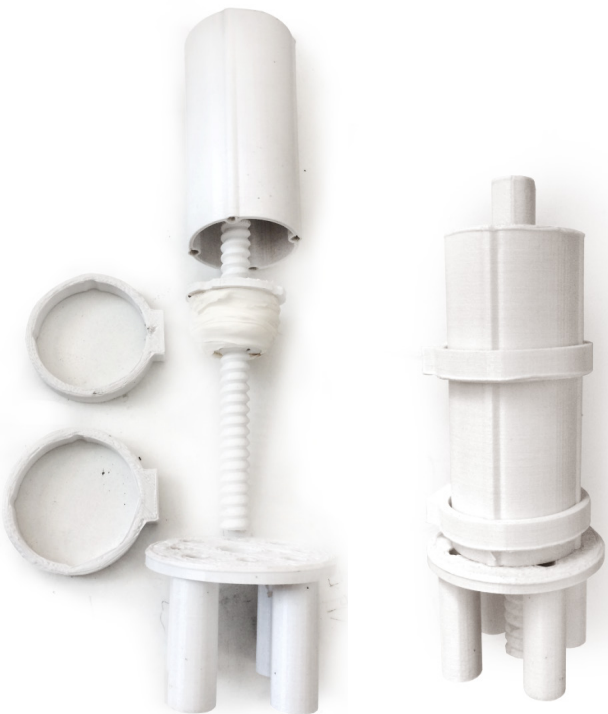
Μηχανισμός 3D εκτύπωσης

Η τρισδιάστατη εκτύπωση αποτελεί μια διαδικασία κατά την οποία έχουμε πρόσθεση υλικού. Η δημιουργία ενός αντικειμένου πραγματοποιείται με την διαδοχική συγκόλληση, την εναπόθεση ή την στερεοποίηση λεπτών στρώσεων του υλικού, σύμφωνα με το σχέδιο ή την εικόνα που θα έχουμε στον υπολογιστή. Υπάρχουν διάφορες τεχνολογίες, τις οποίες χρησιμοποιούν οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές, ανάλογα με τις απαιτήσεις των προϊόντων που θέλουμε να εκτυπώσουμε.

Η κεφαλή εναποθέτει λεπτές στρώσεις πηλού πάνω σε μία βάση, διαγράφοντας την πρώτη διατομή. Στη συνέχεια, η βάση κατέρχεται και η κεφαλή εναποθέτει το δεύτερο στρώμα πάνω στο πρώτο. Η διαδικασία αυτή συνεχίζεται μέχρι την ολοκλήρωση του αντικειμένου.

Ο μηχανισμός τρισδιάστατης εκτύπωσης (εικόνα 51) αποτελείται από ένα περιστρεφόμενο έμβολο το οποίο στέλνει το υλικό εκτύπωσης στην κεφαλή του βραχίονα (σημείο τελικής δράσης). Η περιστροφή γίνεται με τη χρήση κινητήρα stepper και ελέγχεται από το Grasshopper.

Η κατασκευή έχει σχεδιαστεί αποκλειστικά για 3D εκτύπωση με πηλό συγκεκριμένης διατομής εξόδου και αποτελείται από πλαστικά τμήματα εκτυπωμένα σε επαγγελματικό 3d εκτυπωτή.



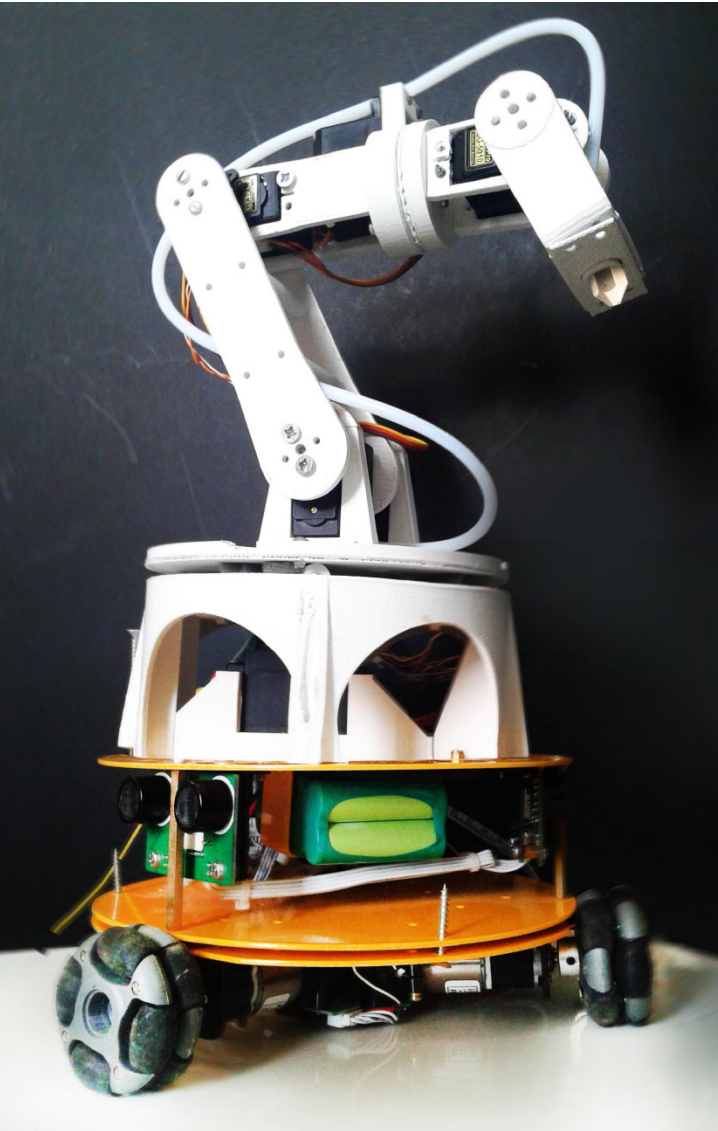
[εικόνα 51] Ο μηχανισμός 3d εκτύπωσης με πηλό.



[εικόνα 52] Κατασκευαστική λεπτομέρεια μηχανισμού 3d εκτύπωσης.

Μηχανισμός κίνησης

Μια ακόμη σημαντική προσθήκη στην δομή του βραχίονα αποτελεί ο μηχανισμός κίνησης (εικόνα 53). Πρόκειται για ένα αυτόνομο ρομπότ, το οποίο ανάλογα με την χρήση του βραχίονα, προστίθεται ή αφαιρείται από τη βάση. Αποτελείται από τρεις τροχούς πολλαπλής κατεύθυνσης και τρεις αισθητήρες απόστασης για τον έλεγχο του περιβάλλοντος. Στην παρούσα έρευνα δεν χρησιμοποιήθηκε διότι το πεδίο δράσης του βραχίονα ήταν μικρό και το τελικό αποτέλεσμα αρκετά απλό.

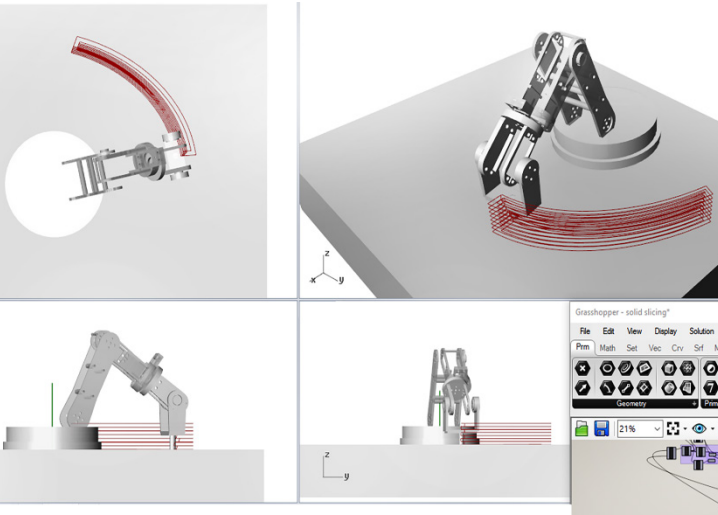


[εικόνα 53] Ο μηχανισμός κίνησης στη βάση του βραχίονα.

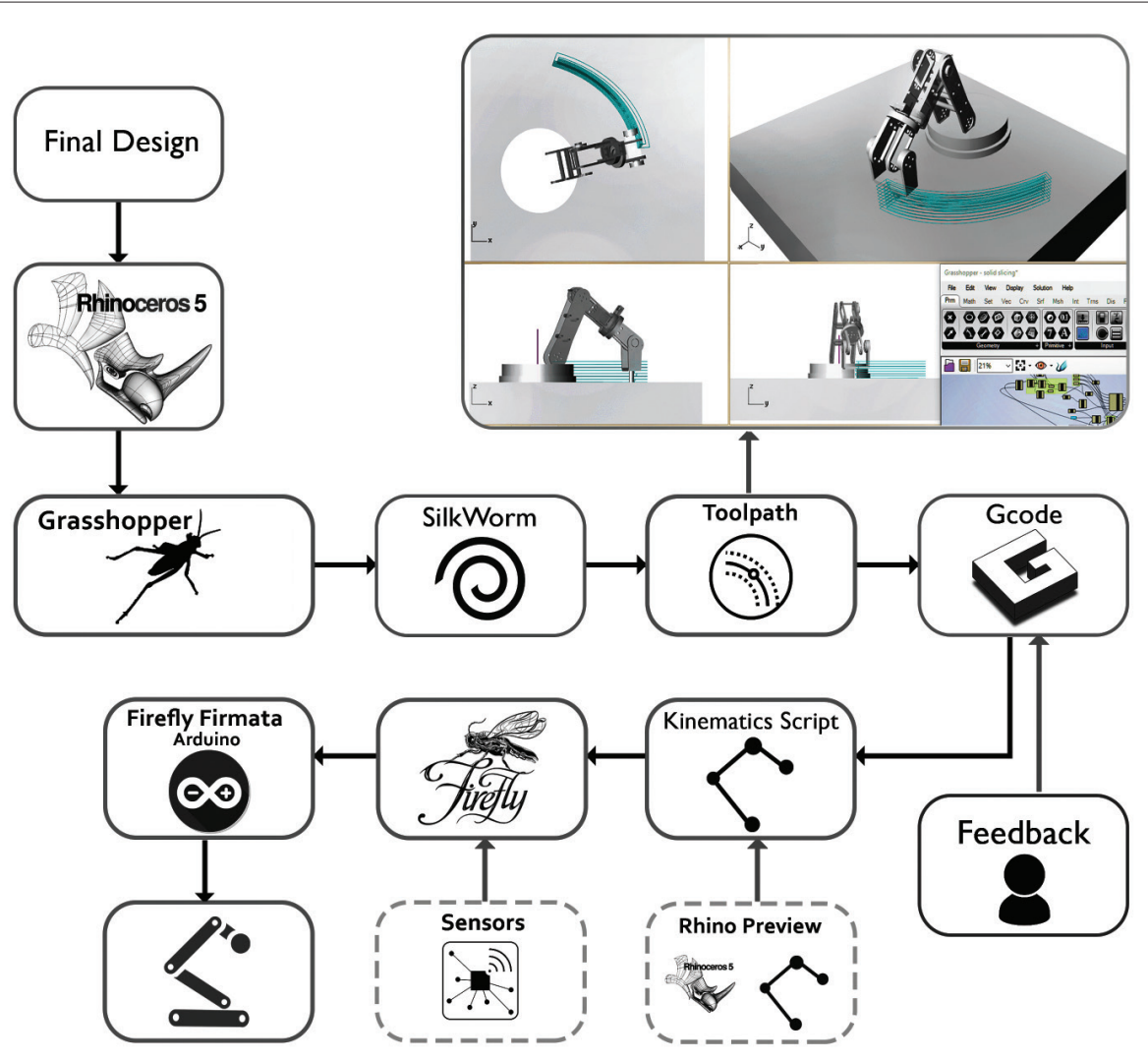
Χειρισμός

Ο χειρισμός του βραχίονα γίνεται μέσα από το περιβάλλον του Grasshopper στο οποίο έχει σχεδιαστεί script ειδικά προσαρμοσμένο στις ανάγκες του πειράματος. Για την ανάλυση και την δημιουργία του gcode για 3d εκτύπωση χρησιμοποιείται το πρόγραμμα Silkworm, το οποίο ενσωματώνεται στη συνολική διαδικασία και κατέχει βασικό ρόλο στην αποτελεσματικότητα της εφαρμογής (εικόνα 54).

Το πρόγραμμα Silkworm είναι ένα plugin του Grasshopper που στόχο έχει την μετάφραση ενός τρισδιάστατου αντικειμένου, σχεδιασμένου στο Rhinoceros 3d, σε κώδικα gcode για 3d εκτύπωση. Προσφέρει την δυνατότητα μετατροπής του εκτελέσιμου κώδικα σε πραγματικό χρόνο και επιτρέπει στον χρήστη να εισάγει πληροφορίες σχετικά με τις ιδιότητες του υλικού και τη μέθοδο εκτύπωσης. Μετά την ανάλυση του αντικειμένου σε κώδικα για εκτύπωση, στέλνει εντολές στο script διαχείρισης του βραχίονα σχετικά με την θέση του εργαλείου τελικής δράσης. Στη συνέχεια, γίνεται μία αναπαράσταση της διαδικασίας στο περιβάλλον του Rhinoceros για τον έλεγχο και την διόρθωση αποκλίσεων του εργαλείου τελικής δράσης. Μόλις η διαδικασία περάσει τον έλεγχο και ενημερωθεί για το υλικό εφαρμογής, στέλνει μέσω του Firefly στο Arduino τις θέσεις του βραχίονα καθώς και τις τιμές του μηχανισμού εκτύπωσης. Τέλος, μέσα από την χρήση αισθητήρων ενσωματωμένων στον κορμό του βραχίονα, ελέγχεται η πορεία της διαδικασίας και σε περίπτωση λάθους ενημερώνουν το Grasshopper και ο χρήστης ανάλογα με την απόκλιση του συστήματος ενεργεί μέσα από τον πίνακα ιδιοτήτων του Silkworm για οποιαδήποτε αλλαγή στην διαδικασία (εικόνα 55).



[εικόνα 54] Η διαδικασία εκτύπωσης μέσα από το Grasshopper - Silkworm. Η δημιουργία toolpath για την κατασκευή τοίχους 4 εκ.



[εικόνα 55] Το λειτουργικό διάγραμμα

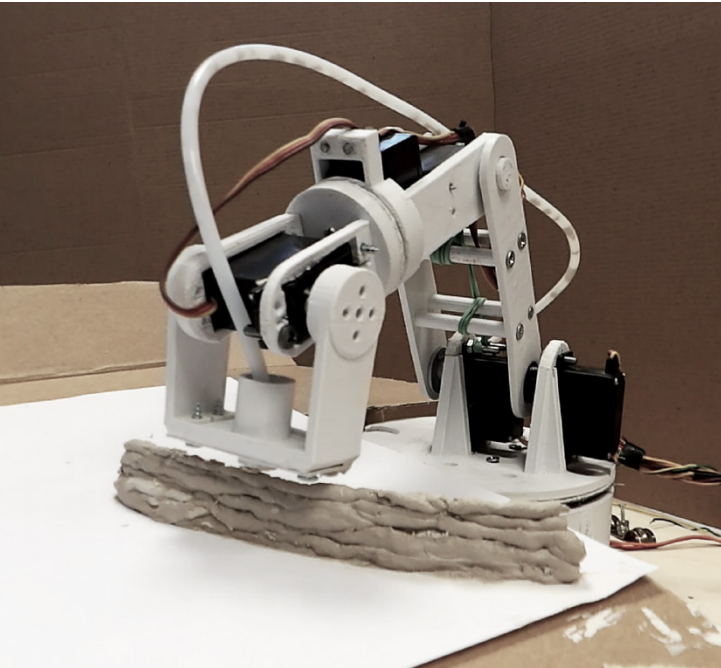
Το πείραμα

Ο βασικός στόχος του πειράματος είναι η βελτιστοποίηση της συσκευής και των διαδικασιών μέσα από την εφαρμογή ενός σεναρίου. Το πείραμα υλοποιήθηκε σε ελεγχόμενο περιβάλλον εργαστηρίου για τη μελέτη και την καταγραφή των αποκλίσεων και των αστοχιών της κατασκευής.

Το σενάριο κατασκευής τοίχου μικρής κλίμακας από πηλό:

Ο χρήστης τοποθετεί αρχικά την κεφαλή εκτύπωσης και τον μηχανισμό ώθησης υλικού. Στη συνέχεια, οριοθετεί με τα άκρα του χεριού του, την περιοχή δράσης σε ένα σταθερό επίπεδο x,y και οι ενσωματωμένοι αισθητήρες του βραχίονα καταγράφουν το πεδίο δράσης και το μεταφέρουν στο περιβάλλον του Rhinoceros. Μέσα από το Grasshopper ενεργοποιεί το Silkworm το οποίο αναμένει την εισαγωγή αρχείου από το Rhino.

Ο σχεδιαστής σχεδιάζει το 3d μοντέλο και στη συνέχεια το εισάγει στην εφαρμογή. Όταν η ανάλυση της εφαρμογής τελειώσει τότε στέλνεται το αρχείο προς κατασκευή. Καθ' όλη την διάρκεια της διαδικασίας κατασκευής, ο χρήστης εποπτεύει την πρόοδο της κατασκευής και προσαρμόζει τον κώδικα σε περίπτωση λάθους. Το σύστημα συνεχώς ζητάει από τον χρήστη τη συμμετοχή στην διαδικασία μέχρι το τελικό αποτέλεσμα να πληροί τα σχεδιαστικά κριτήρια (εικόνα 56).



[εικόνα 56] Στιγμιότυπο από την κατασκευή τοίχους από πηλό.



[εικόνα 57] Στιγμιότυπο από την κατασκευή τοίχους από πηλό.



[εικόνα 58] Το αποτέλεσμα τοίχους από πηλό. Διάμετρος κεφαλής 0,4mm.



[εικόνα 59] Αρχικό calibration βραχίονα με απόκλιση 0,3mm.



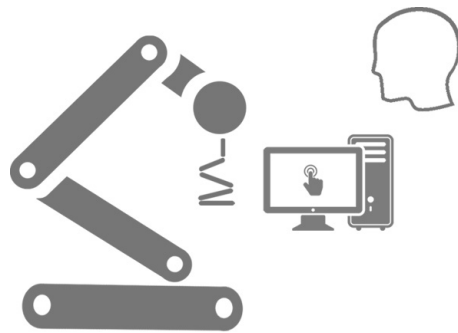
[εικόνα 60] Τελικό calibration βραχίονα με απόκλιση 0,15mm.

Συμπεράσματα

Κατά την διάρκεια του σχεδιασμού και της κατασκευής του βραχίονα παρουσιάστηκαν ορισμένα τεχνικά προβλήματα τα οποία καθόρισαν την τελική ποιότητα του αποτελέσματος (τοίχος από πηλό). Συγκεκριμένα, το πλαστικό ρουλεμάν στην άρθρωση της βάσης δημιουργούσε ταλάντωση σε όλη την κατασκευή με αποτέλεσμα το τελικό αποτέλεσμα να μην συνάδει με τον αρχικό σχεδιασμό. Επίσης, αυτή η αστάθεια του βραχίονα δημιούργησε αρκετά προβλήματα στις μεταβάσεις πραγματικού – ψηφιακού, αφού οι ενσωματωμένοι αισθητήρες δεν είχαν σταθερά σημεία ορισμού για την δημιουργία του πεδίου δράσης.

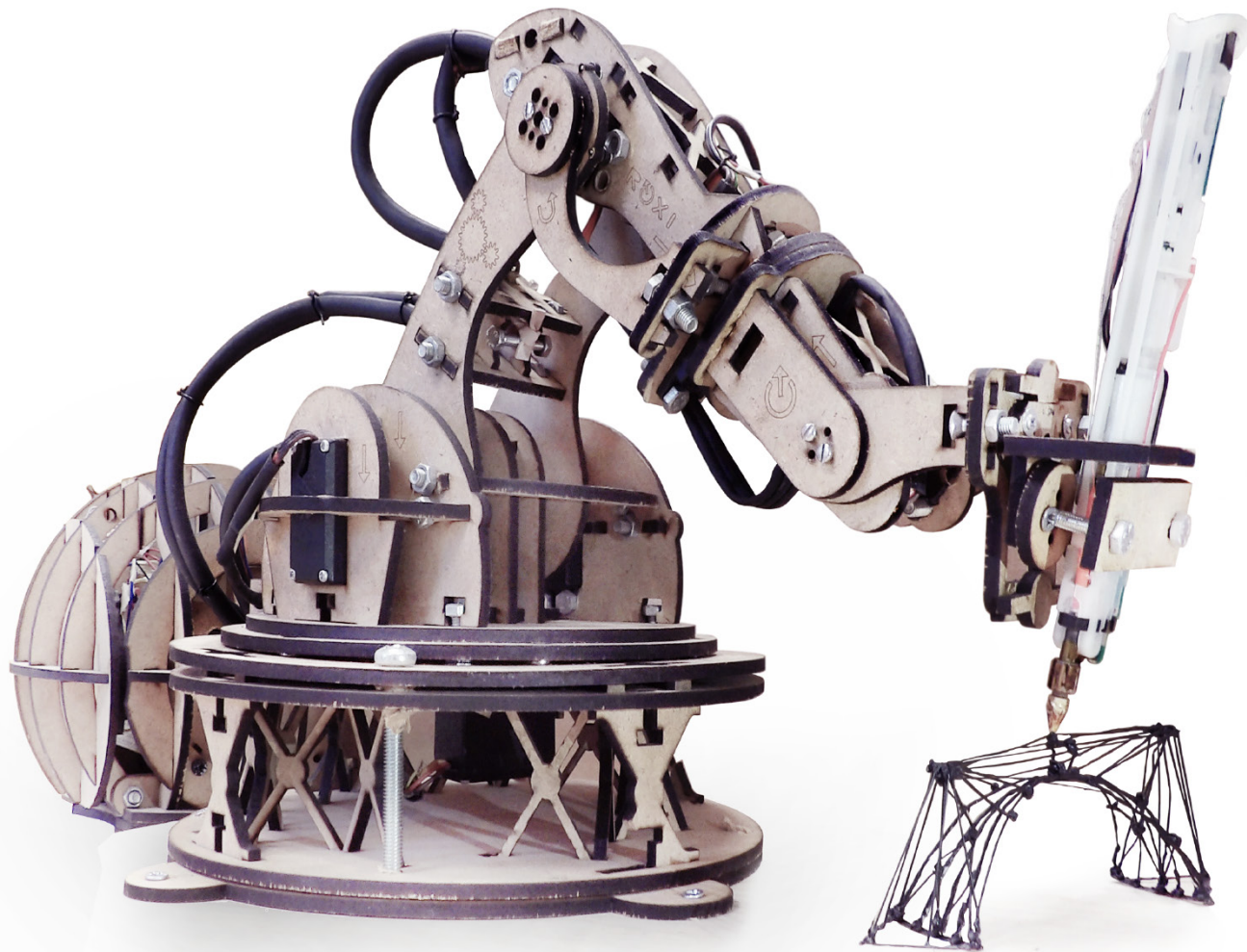
Ακόμη, ο μηχανισμός εκτύπωσης παρουσίασε αρκετά προβλήματα κατά την διάρκεια της διαδικασίας, κυρίως ως προς το ρυθμό μετάδοσης υλικού μέσα από την εφαρμογή Silkworm. Η διατομή εκτύπωσης καθώς και ο βαθμός ρευστότητας του υλικού (πηλός) αλλοίωσαν την τελική μορφή του αντικειμένου.

Συμπερασματικά, για την βελτιστοποίηση της διαδικασίας θα πρέπει να μελετηθούν νέες τεχνικές για τις αρθρώσεις του βραχίονα καθώς και ένας καλύτερος μηχανισμός εκτύπωσης με μεγαλύτερη ανάλυση και ευκολότερη διαχείριση.



M | R | A project

Model 3



MODEL 3

ROXI Robotic Arm
‘ένα κοινό περιβάλλον’

Ο ρομποτικός βραχίονας Model 3 – Roxi R.A. εντάσσεται στα πλαίσια της έρευνας “M.A.R Project | 6 axis robotic arm for designers – ρομποτικός βραχίονας 6 αξόνων για τους σχεδιαστές” και αποτελεί το τρίτο στάδιο εξέλιξης αυτού του εργαλείου. Η δομή και ο τρόπος λειτουργίας του δεν βασίζονται σε υφιστάμενο βιομηχανικό βραχίονα, αλλά αποτελεί προϊόν προσωπικής έρευνας.

Η συσκευή υποστηρίχθηκε από το εργαστήριο Μεταβαλλόμενων Ευφυών Περιβαλλόντων (TIE Lab) της Αρχιτεκτονικής σχολής Πολυτεχνείου Κρήτης σε συνεργασία με τον υπεύθυνο εργαστηρίου Κωνσταντίνο – Αλκέτα Ουγγρίνη.

Εισαγωγή

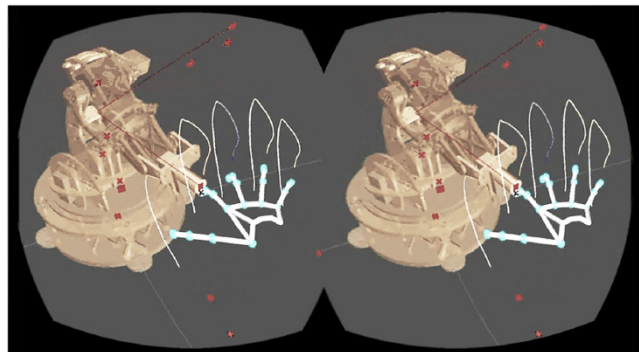
Το τρίτο μοντέλο ρομποτικού βραχίονα model 3 – Roxi R.A. εστιάζει στην επίλυση των τεχνικών προβλημάτων του model 2 και παράλληλα εξετάζετε ένα νέο περιβάλλον διασύνδεσης πραγματικού – ψηφιακού μέσω της χρήσης εικονικής πραγματικότητας, στο οποίο ο βραχίονας αποτελεί το συνδεδετικό εργαλείο αυτής της σχέσης (εικόνα 62).

Εικονική πραγματικότητα και το ρομποτικό σύστημα:

Τα ρομποτικά συστήματα συχνά παρουσιάζουν μια πολυπλοκότητα και μια δυσκολία στον χειρισμό, ιδιαίτερα στην επίλυση μιας δύσκολης εργασίας. Επιπλέον, οι χρήστες χρειάζονται αρκετό χρόνο εκπαίδευσης για τον χειρισμό και την κατανόηση της λειτουργίας ενός ρομποτικού βραχίονα. Στην παρούσα έρευνα παρουσιάζεται ένα ρομποτικό σύστημα ελέγχου που βασίζεται στην εικονική πραγματικότητα. Το σύστημα εικονικής πραγματικότητας αποτελεί ένα μέσο στο οποίο οι χρήστες εκπαιδεύονται με στόχο την διαχείριση σύνθετων ρομποτικών εφαρμογών με αποδοτικό τρόπο. Η συνεχής επίβλεψη του ρομπότ αποτρέπει πιθανά λάθη στην διαδικασία και παράλληλα παρέχει μια διδραστική ανατροφοδότηση σε πραγματικό χρόνο.

Η εικονική πραγματικότητα αποτελεί ένα μέσο διασύνδεσης ανθρώπου – υπολογιστή. Ο χρήστης εμβυθίζεται σε ένα εικονικό περιβάλλον με το οποίο μπορεί να αλληλοεπιδράσει [64]. Καθώς τα περιβαλλοντικά μοντέλα που παράγονται από τους υπολογιστές γίνονται ολοένα και πιο ρεαλιστικά και η αλληλεπίδραση του χρήστη πιο διαισθητική, ο εικονικός κόσμος γίνεται πιο πραγματικός.

Το σύστημα VR [65] που αναπτύχθηκε για τον έλεγχο και τον χειρισμό του model 3 επιτρέπει στους χρήστες την διάδραση με ρεαλιστικές συνθήκες ρομποτικών συστημάτων με φυσικό τρόπο, χρησιμοποιώντας φωνητικές εντολές και χειρονομίες για τον χειρισμό. Λόγω αυτής της φυσικής αλληλεπίδρασης και καθοδήγησης, οι σχεδιαστές μπορούν να εκπαιδευτούν και να διαχειριστούν ρομποτικές εφαρμογές στην διαδικασία της κατασκευής, ιδιαίτερα στο περιβάλλον του εργοταξίου.



[εικόνα 62] Στιγμιότυπο από τη διαδικασία κατασκευής με βραχίονα model 3, μέσα από την εικονική πραγματικότητα (OCULUS + Rhino).

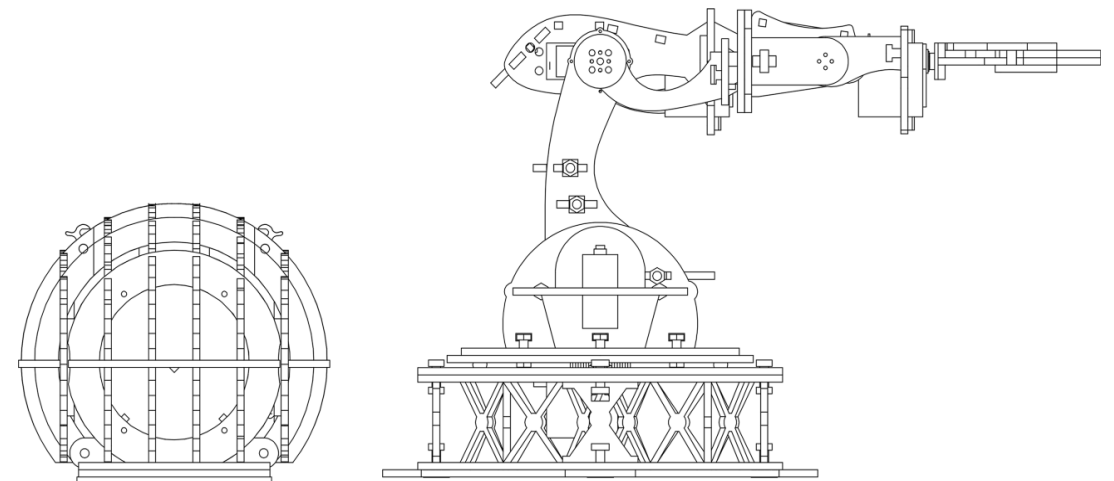
Περιγραφή βραχίονα:

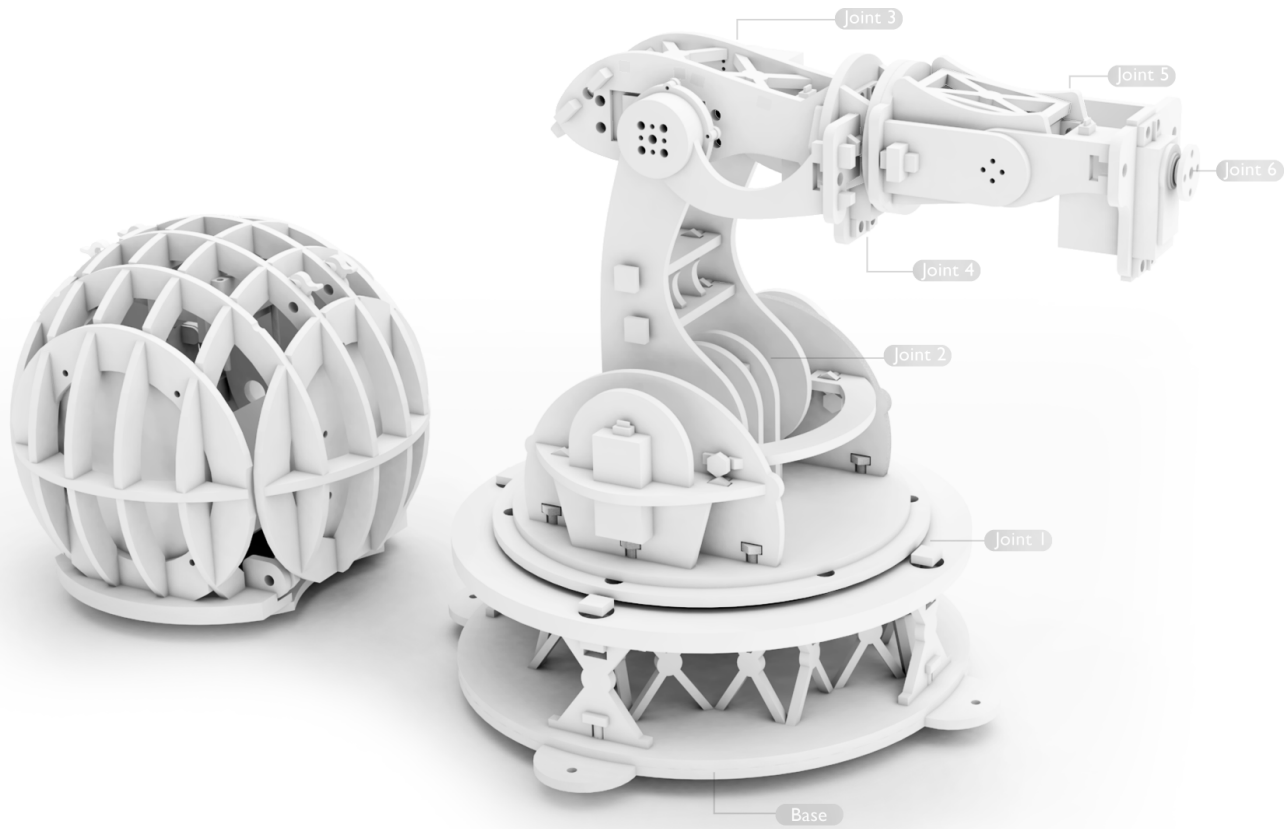
Οι βασικές αναλογίες του βραχίονα παραμένουν ίδιες με το Model 1, το οποίο ακολουθεί σαν πρότυπο τον βραχίονα KUKA KR5/R850. Όμως, η συνολικότερη κατασκευή αποτελεί προϊόν προσωπικής έρευνας. Μέσα από τον νέο σχεδιασμό της συσκευής δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στην καλύτερη διαχείριση του κέντρου βάρους καθώς και στην ενίσχυση των αρθρώσεων. Οι αρθρώσεις 1 και 2, από τη βάση του βραχίονα, ενισχύονται με μεταλλικούς servo κινητήρες μεγαλύτερης αντοχής και καλύτερης ανάλυσης βηματισμού [66]. Ακόμη, σε αυτές τις αρθρώσεις σχεδιάζονται μεταλλικά ρουλεμάν για την ελαχιστοποίηση των εσωτερικών τριβών.

Ο βραχίονας αποτελείται από κομμάτια μελαμίνης MDF κομμένα σε Laser Cutter για την μείωση του βάρους και του κόστους. Σε κάθε ένα από τα βασικά μέλη του βραχίονα είναι χαραγμένες οδηγίες συναρμολόγησης.

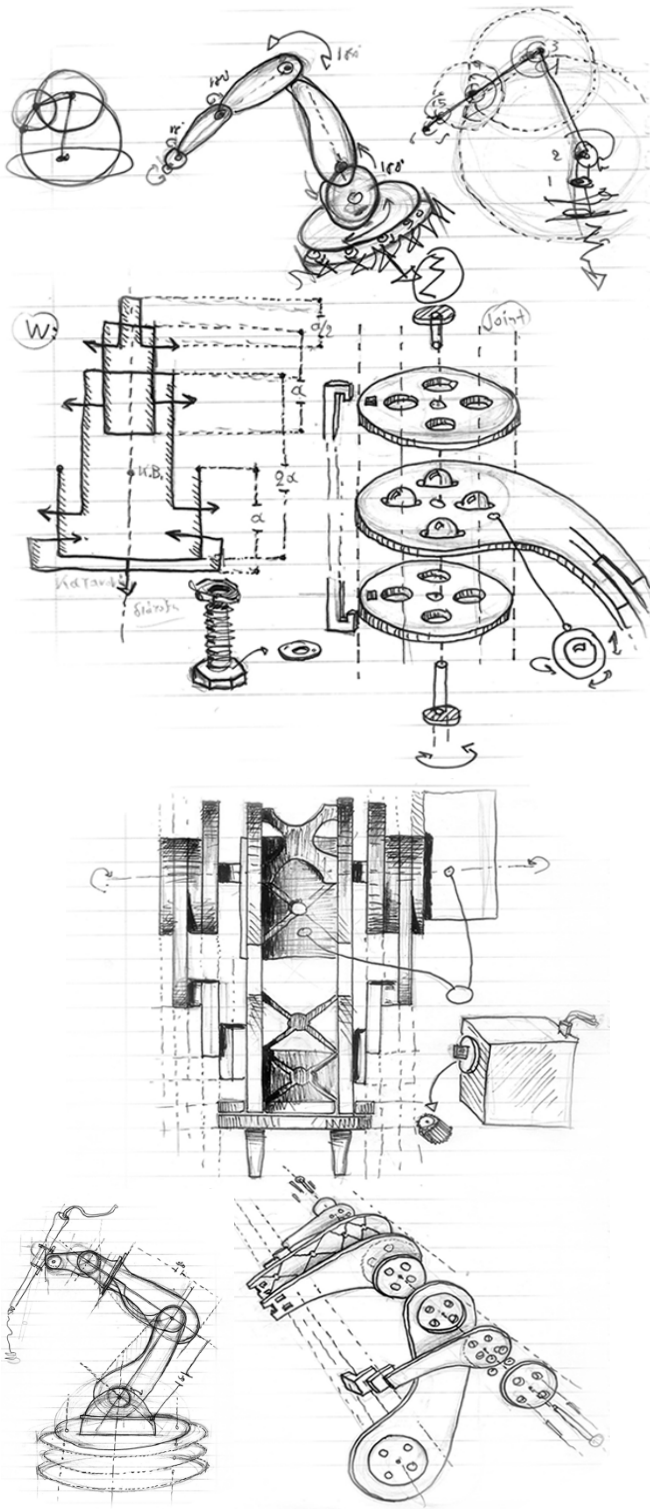
Ακόμη, το σύστημα περιλαμβάνει δύο μικροελεγκτές για την οδήγηση του ρομποτικού συστήματος και έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή για τον χειρισμό από γραφικό περιβάλλον. Λόγω της πολυπλοκότητας του ηλεκτρονικού συστήματος, έχει σχεδιαστεί μια μονάδα αποθήκευσης τεχνικού υλικού η οποία είναι εξοπλισμένη με σύστημα ψύξης. Βασικό χαρακτηριστικό αυτής της συσκευής είναι η ευκολία διαχείρισης και ελέγχου των μικροελεγκτών καθώς και η δυνατότητα ασφαλούς μεταφοράς.

[66]Βλέπε παραρτήματα σελ.252



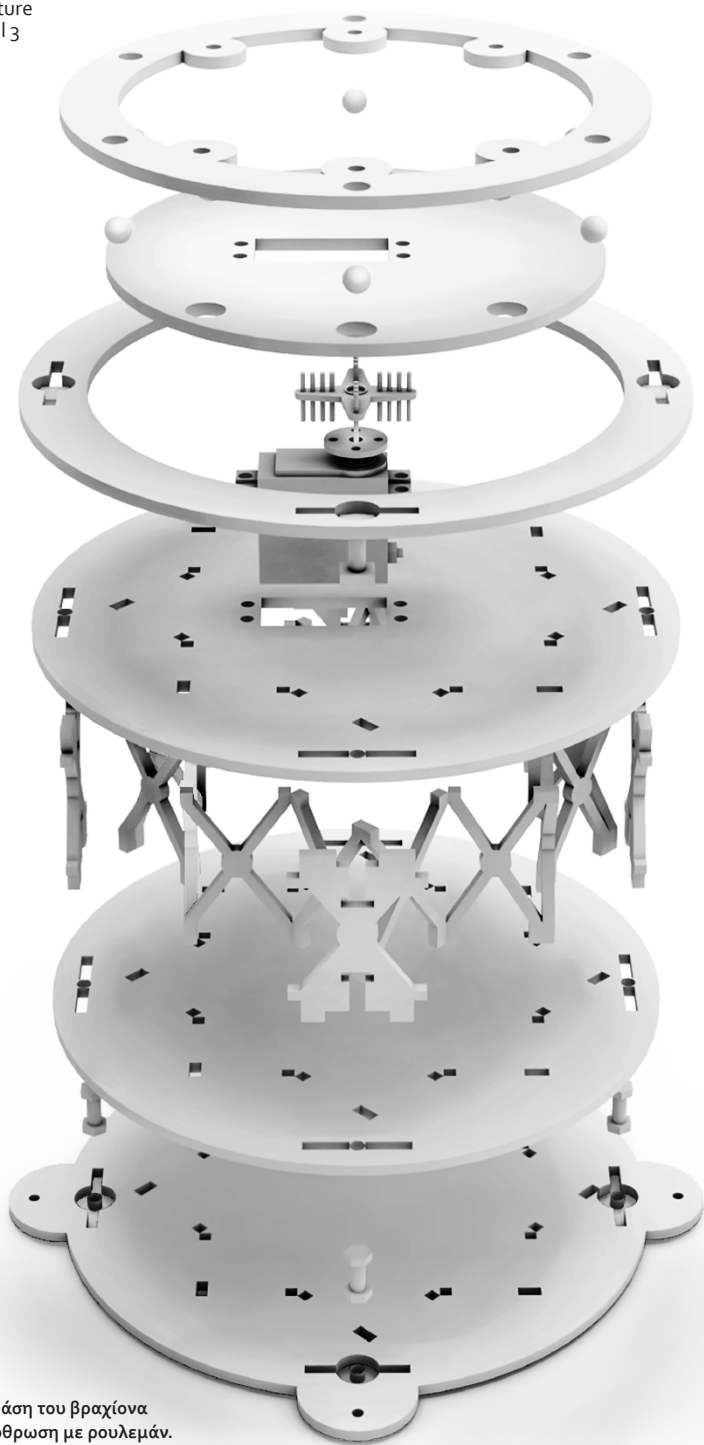


[εικόνα 64] Η δομή του βραχίονα και η μονάδα αποθήκευσης εξοπλισμού.

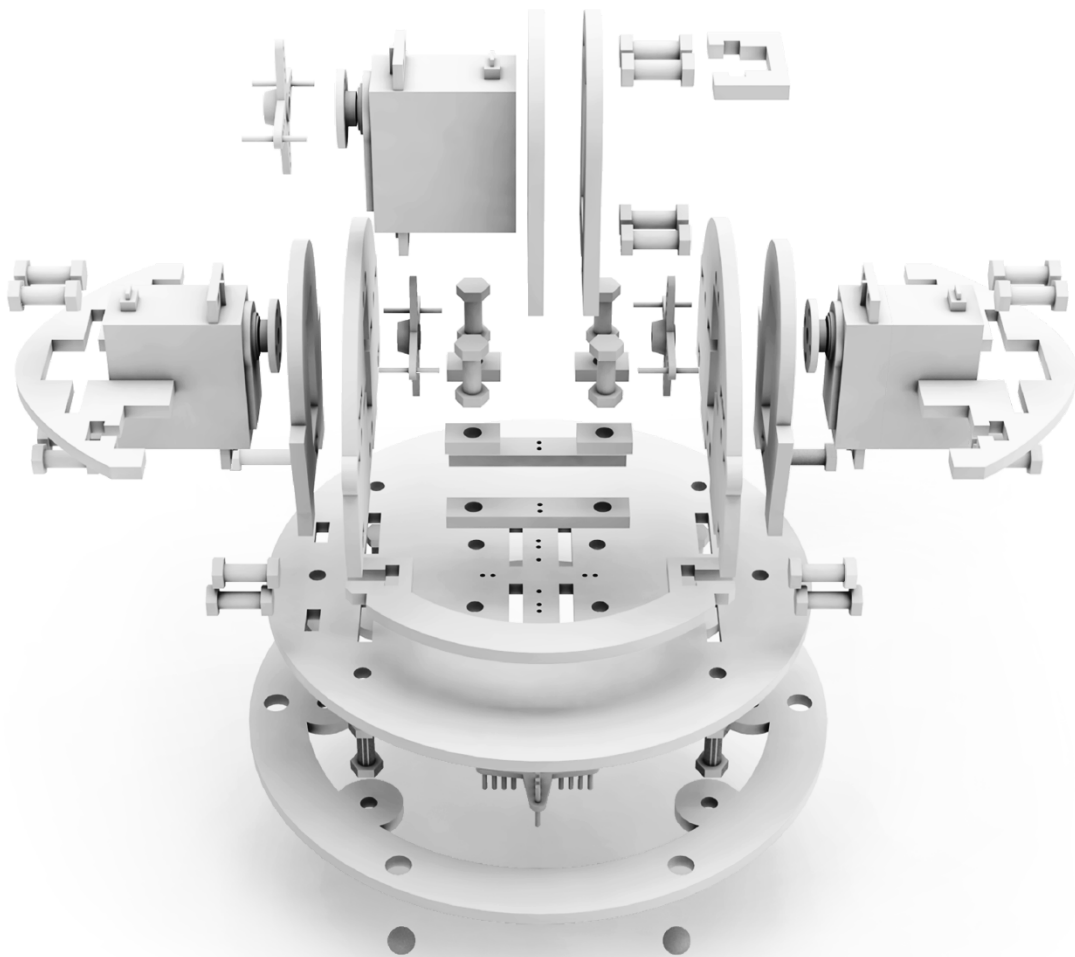


[εικόνα 65] Σκίτσα επίλυσης αναλογιών και αρθρώσεων.

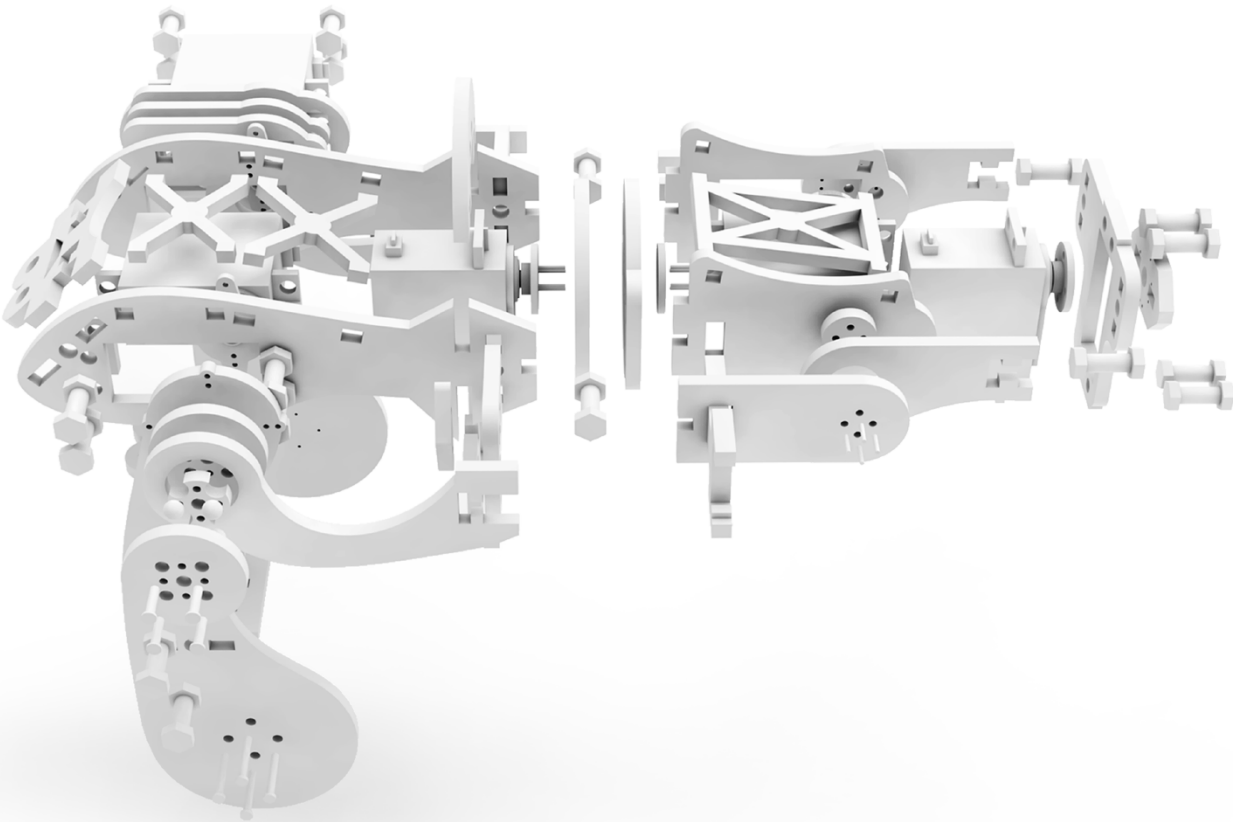
[εικόνα 66] Σκίτσα επίλυσης αναλογιών και άρθρωσης 3.



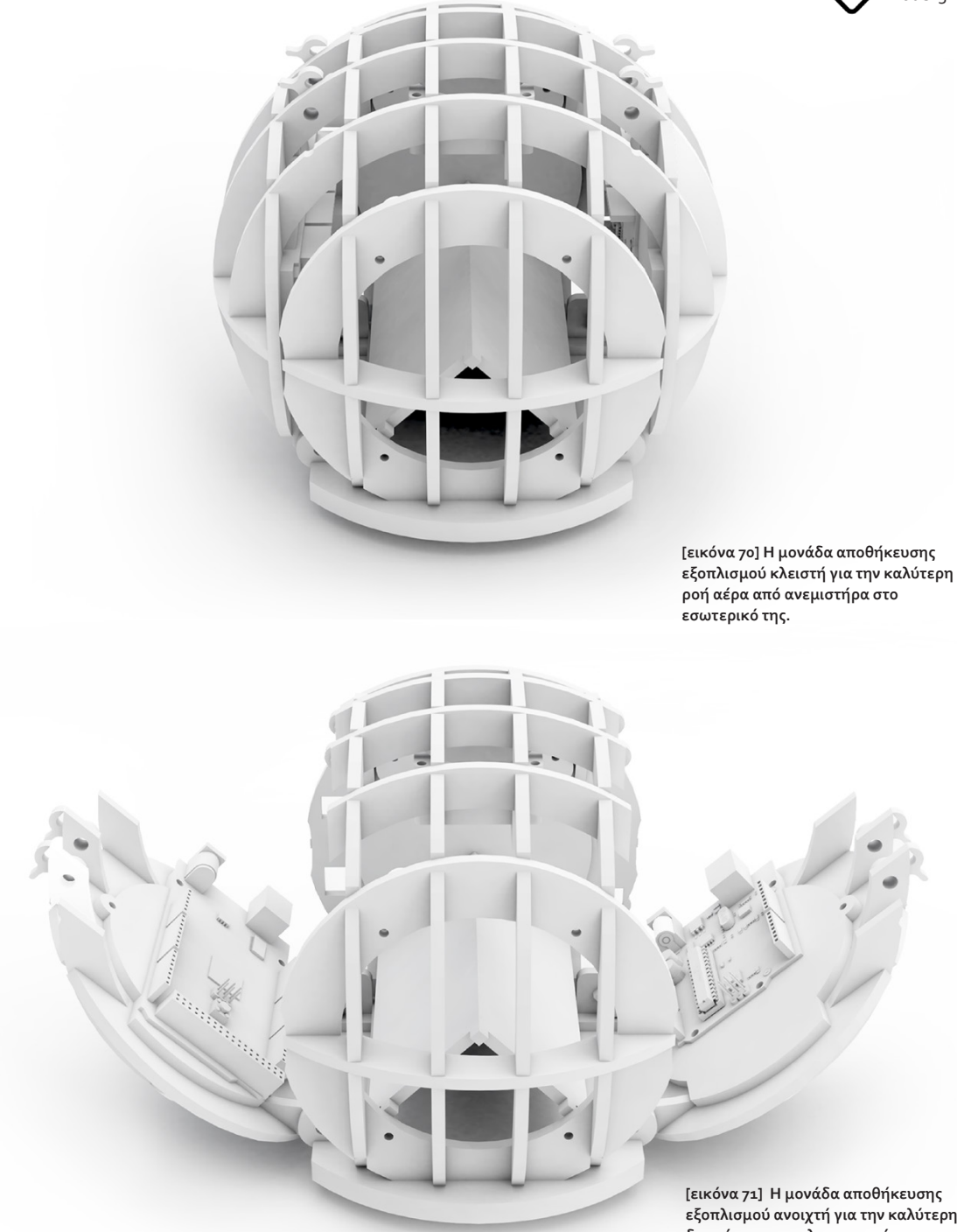
[εικόνα 67] Η βάση του βραχίονα και η πρώτη άρθρωση με ρουλεμάν.



[εικόνα 68] Η δεύτερη άρθρωση και οι κινητήρες servo μεγάλης αντοχής.



[εικόνα 69] Οι αρθρώσεις 3,4,5,6 και το σημείο τελικής δράσης.



[εικόνα 70] Η μονάδα αποθήκευσης εξοπλισμού κλειστή για την καλύτερη ροή αέρα από ανεμιστήρα στο εσωτερικό της.

[εικόνα 71] Η μονάδα αποθήκευσης εξοπλισμού ανοιχτή για την καλύτερη διαχείριση των ηλεκτρονικών.

Χειρισμός

Ο χειρισμός του εργαλείου μέσω της εικονικής πραγματικότητας διαφέρει ανά σενάριο χρήσης. Στην συγκεκριμένη έρευνα, εξετάζουμε την χρήση του στην διαδικασία κατασκευής αντικειμένου με τεχνολογία 3d εκτύπωσης. Σε αυτή την περίπτωση ο χρήστης επιβλέπει και επεμβαίνει στην κατασκευή.

Για την έναρξη της διαδικασίας ο χρήστης πρέπει πρώτα να συνδεθεί με το εικονικό περιβάλλον σχεδιασμού και μέσα από αυτό να ενεργοποιήσει την εφαρμογή διαχείρισης της συνολικής διαδικασίας. Για την σύνδεση με το εικονικό περιβάλλον γίνεται χρήση της συσκευής Oculus Rift με το plug in Mindesk [67] για Rhino, ενώ η διαχείριση του συστήματος υλοποιείται από το Grasshopper. Η συσκευή Oculus Rift αποτελείται από δύο χειριστήρια ελέγχου, τα οποία αντικαθιστούν το ποντίκι. Στην περίπτωση του πειράματος, λόγω έλλειψης χειριστηρίων, έγινε χρήση του αισθητήρα Leap Motion για την καταγραφή των κινήσεων των χεριών.

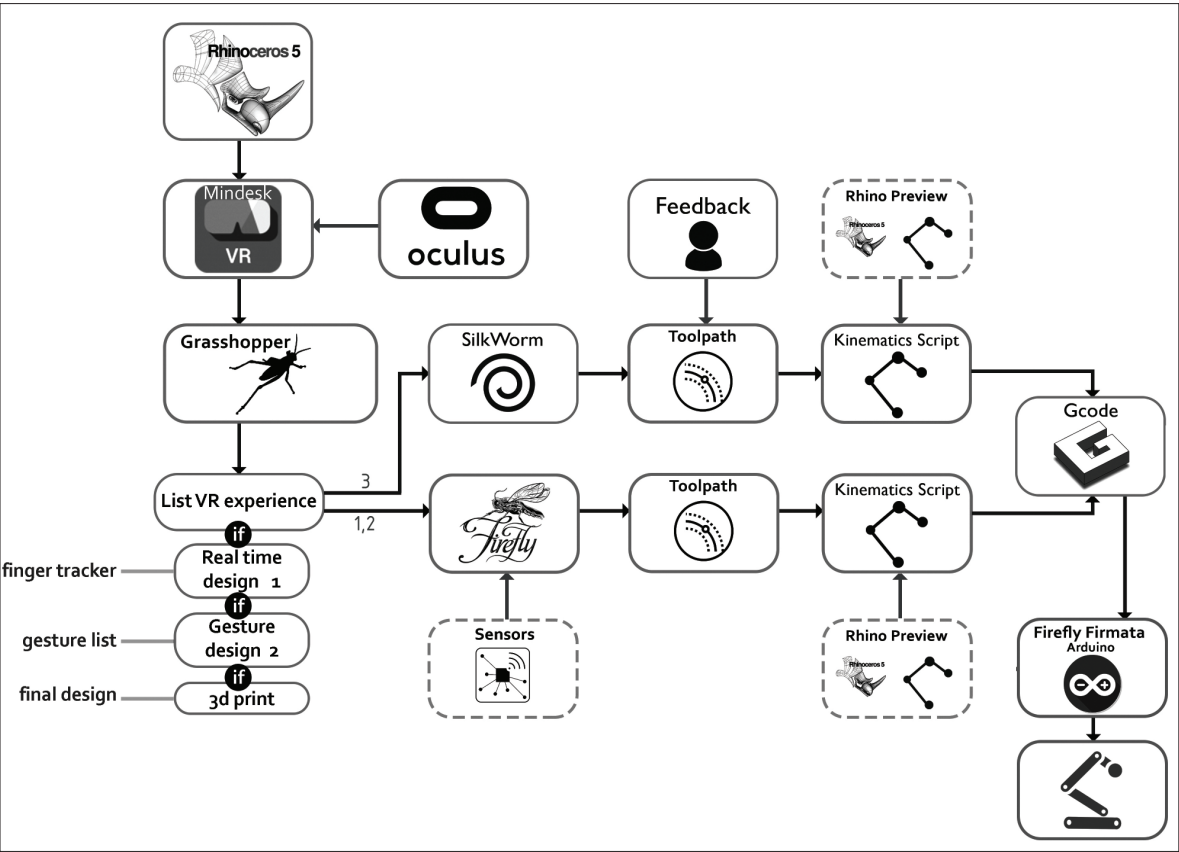
Στη συνέχεια, ο χρήστης μέσα από το εικονικό περιβάλλον επιλέγει από μια λίστα λειτουργιών (στο Grasshopper) την επιλογή VR και έπειτα επιλέγει τον χειρισμό του βραχίονα σε πραγματικό χρόνο. Η κινηματική ανάλυση του βραχίονα γίνεται με την χρήση script με δυνατότητα προβολής στο εικονικό περιβάλλον. Ένα βασικό στοιχείο της διαδικασίας είναι η εισαγωγή εντολών διαχείρισης από φωνητικές εντολές και χειρονομίες. Η εισαγωγή γίνεται από την συσκευή Oculus Rift.

Ακόμη, κατά την διάρκεια κατασκευής ο χρήστης έχει την δυνατότητα επίβλεψης του αποτελέσματος και επέμβασης σε πραγματικό χρόνο. Αυτό επιτυγχάνεται μέσα από το περιβάλλον του Rhinoceros και την χρήση των εντολών αυτού το προγράμματος. Μπορεί να διορθώσει ένα κομμάτι της κατασκευής ή να σχεδιάσει ένα συμπληρωματικό μέλος (εικόνα 72).

Τέλος, για τις ανάγκες του πειράματος τοποθετείται στο σημείο δράσης στυλό τρισδιάστατης εκτύπωσης πλαστικού ABS [68]. Ο χειρισμός της συσκευής γίνεται από το Grasshopper και απεικονίζεται στο εικονικό περιβάλλον στην παλέτα των εργαλείων του βραχίονα.

[67]Το Mindesk μπορεί να συνδεθεί επίσης με το HTC Vive και το Oculus SDK2.

[68] Το ακρυλονιτρίλιο βουταδιένιο στυρολίου (ABS) είναι ένα κοινό θερμοπλαστικό. Η θερμοκρασία της υαλώδους μεταπτώσεώς του είναι περίπου 105 °C (221 °F).



[Εικόνα 72] Λειτουργικό διάγραμμα.

Το πείραμα

Για τις ανάγκες του πειράματος, σχεδιάστηκε ένα 3d μοντέλο στο Rhinoceros. Ο σχεδιασμός του αντικειμένου υλοποιήθηκε μέσω της εικονικής πραγματικότητας χωρίς την χρήση του βραχίονα. Όταν ο σχεδιασμός κατέληξε στο σημείο της υλοποίησης τότε ενεργοποιήθηκε από τον χρήστη η διαδικασία κατασκευής με τον ρομποτικό βραχίονα. Σημαντικό ρόλο στην εξέλιξη του πειράματος έπαιξε η διαδικασία σύνθεσης από VR (εικόνα 73), μέσα από την οποία γίνονταν συνεχείς έλεγχοι της κατασκευαστικής επάρκειας αλλά και αξιολόγηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών της σύνθεσης (εικόνα 74).

Σενάριο:

Σχεδιασμός και κατασκευή τρισδιάστατης δομής μέσω της εικονικής πραγματικότητας.

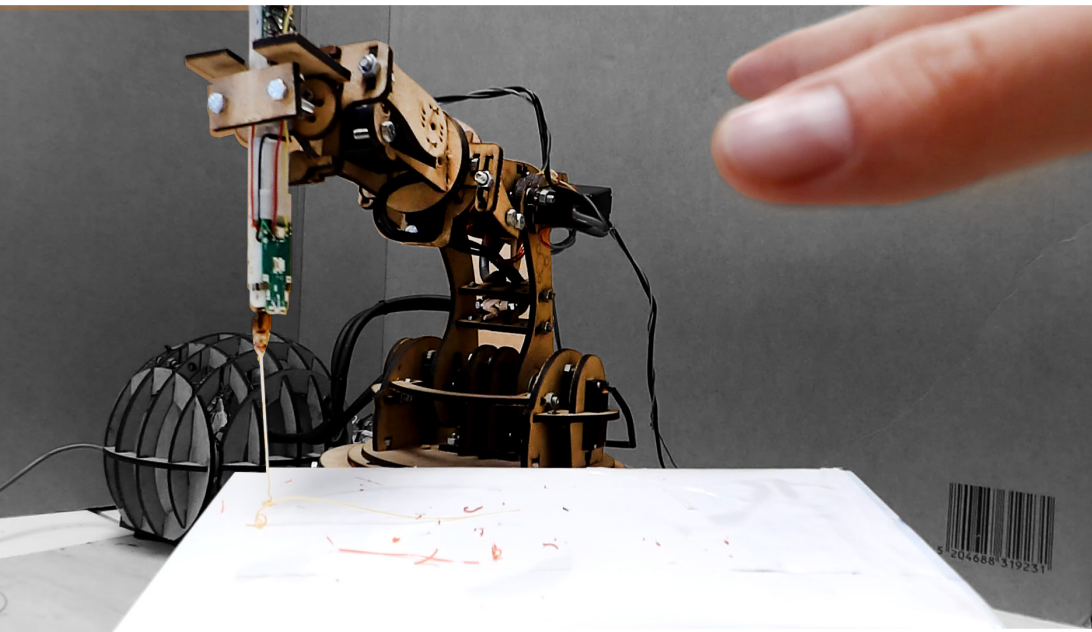
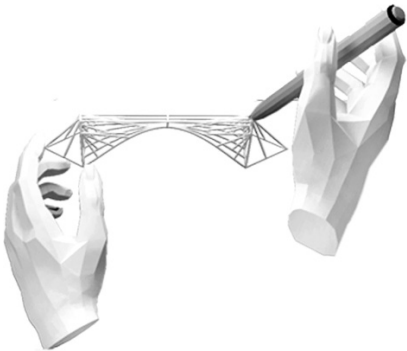
Αρχικά, ο χρήστης τοποθετεί την κεφαλή εκτύπωσης και τον μηχανισμό ώθησης υλικού. Στη συνέχεια, οριοθετεί με τα άκρα του χεριού του, την περιοχή δράσης σε ένα σταθερό επίπεδο x,y και οι ενσωματωμένοι αισθητήρες του βραχίονα καταγράφουν το πεδίο δράσης και το μεταφέρουν στο περιβάλλον του Rhinoceros.

Μέσα από το Grasshopper ενεργοποιεί το Silkworm, το οποίο αναμένει την εισαγωγή αρχείου από το Rhino, και το Mindesk για την σύνδεση του χρήστη με το εικονικό περιβάλλον.

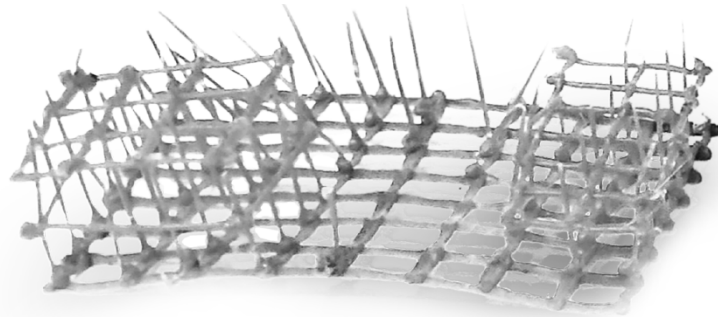
Ο σχεδιαστής σχεδιάζει το 3d μοντέλο και στη συνέχεια το εισάγει στο Grasshopper για ανάλυση και δημιουργία κώδικα για το ρομπότ. Όταν η ανάλυση της εφαρμογής τελειώσει τότε δημιουργείται στο περιβάλλον του Rhino μια προσομοίωση της κατασκευής. Ο χρήστης τροποποιεί το μοντέλο σύμφωνα με τις απαιτήσεις του βραχίονα και στέλνεται το αρχείο προς κατασκευή. Καθ' όλη την διάρκεια της διαδικασίας κατασκευής, ο χρήστης εποπτεύει την πρόοδο της κατασκευής και προσαρμόζει την διαδικασία σε περίπτωση λάθους.

Το σύστημα συνεχώς ζητάει από τον χρήστη τη συμμετοχή στην διαδικασία μέχρι το τελικό αποτέλεσμα να πληρεί τα σχεδιαστικά κριτήρια.

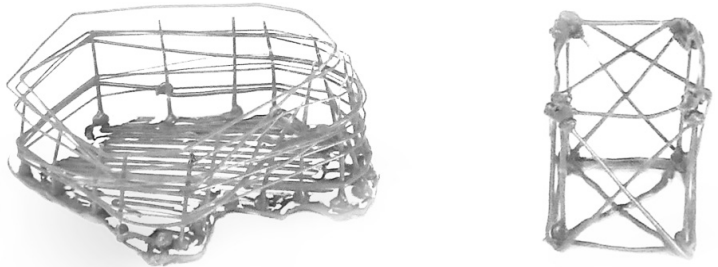
[εικόνα 73] Σχεδιασμός μέσα από την εικονική πραγματικότητα.



[εικόνα 74] Στιγμιότυπο από το χειρισμό του βραχίονα μέσα από την εικονική πραγματικότητα και τη κίνηση των χεριών του χρήστη.



[εικόνα 75] Αποτέλεσμα κατασκευής βραχίονα μικρής κλίμακας 3x4,5εκ.



[εικόνα 76] Αποτελέσματα κατασκευής βραχίονα μικρής κλίμακας 2x3εκ. και 2x2εκ.

Συμπεράσματα

Κατασκευαστικά

Ο βραχίονας model 3 λειτουργικά παρουσίασε αρκετά προβλήματα στο κομμάτι της τροφοδοσίας των servo κινητήρων και ελάχιστα στους μηχανισμούς των αρθρώσεων. Ακόμη, η μετάφραση των φωνητικών εντολών σε εντολές εκτέλεσης του βραχίονα αποδείχθηκε μη λειτουργική και αναζητάται μελλοντικά καλύτερο πρόγραμμα διαχείρισης. Επίσης, η χρήση Leap Motion για την επιλογή εντολών στο περιβάλλον του Rhino και το χειρισμό του ρομπότ επιβράδυνε την συνολική διαδικασία λόγω ευαισθησίας του αισθητήρα αναγνώρισης χειριών.

Το μέσο διασύνδεσης

Η χρήση της εικονικής πραγματικότητας σαν εργαλείο διαχείρισης του βραχίονα αλλά και ως μέσο σχεδίασης οδήγησε σε μία καλύτερη κατανόηση των διαδικασιών κατασκευής. Ένα εικονικό σύστημα μπορεί να αποτελέσει όχι μόνο μια βάση εξαγωγής πληροφοριών αλλά και να προσδώσει μια μοναδικότητα στα νέα ψηφιακά μέσα, αφού πλέον ο τρισδιάστατος χώρος καθίσταται ένας τύπος μέσου ο οποίος μπορεί να επεξεργαστεί, να αναμορφωθεί, να φιλτραριστεί και με τον οποίο μπορείς να αλληλεπιδράσεις. Μέσω των χωρικών διαδρομών σε 3D περιβάλλον, αποκαλύπτεται η γεωμετρία, η τυπολογία, η λογική και τα μυστικά του χώρου στον χρήστη. Ενισχύεται έτσι η άποψη, ότι τα εικονικά συστήματα μπορούν τελικά να βοηθήσουν στην αντίληψη του χώρου.

Μελλοντική εξέλιξη

Η συγκεκριμένη έρευνα εστίασε στην δημιουργία ενός κοινού περιβάλλοντος μεταξύ χρήστη – ρομπότ για τον σχεδιασμό και την κατασκευή ενός αντικειμένου σε ελεγχόμενο περιβάλλον. Το επόμενο βήμα είναι η δημιουργία ενός νέου περιβάλλοντος το οποίο θα περιλαμβάνει περισσότερα εργαλεία σχεδίασης και παράλληλα θα είναι φιλικό προς τον χρήστη. Ακόμη, θα πρέπει να εξεταστεί το σενάριο διαχείρισης περισσότερων ρομποτικών συστημάτων στην διαδικασία της κατασκευής, - το οποίο θα περιλαμβάνει τον χειρισμό παράλληλων εργασιών με διαφορετικά κριτήρια.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

[Σμήνος ρομποτικών πρακτόρων στην αρχιτεκτονική
κατασκευή]

4.1 Εισαγωγή

Ενώ το προηγούμενο κεφάλαιο εστίασε στις δυνατότητες των ρομποτικών βραχιόνων στην διαδικασία της σύνθεσης και της κατασκευής, το κεφάλαιο 4 εξετάζει μια διαφορετική προσέγγιση, σχετικά με την ενσωμάτωση ρομποτικών συστημάτων στην αρχιτεκτονική.

Η παρούσα έρευνα εξετάζει την χρήση ρομποτικού σμήνους στον τομέα της κατασκευής. Μέσα από την παρουσίαση δύο ερευνητικών έργων γίνεται μια προσπάθεια ανάδειξης των δυνατοτήτων και των εφαρμογών τους στο πεδίο της κατασκευής. Αρχικά, αναλύονται οι βασικές έννοιες του ρομποτικού σμήνους για την κατανόηση της δομής και λειτουργίας τους και στη συνέχεια εξετάζεται η εφαρμογή τους σε δύο διαφορετικά σενάρια. Το πρώτο αναφέρεται στον σχεδιασμό αποικίας στον πλανήτη Αρη με χρήση ρομποτικού σμήνους και το δεύτερο στην δημιουργία ενός νέου εργαλείου διαχείρισης ρομποτικού σμήνους στην κατασκευαστική διαδικασία, το Worldcraft.

4.2 Το σμήνος ρομποτικών πρακτόρων

Εμπνευσμένη από τις σύνθετες συμπεριφορές που παρουσιάζουν τα φυσικά συστήματα σμήνους (κοινωνικά έντομα κ.α.), η νοημοσύνη σμήνους (swarm intelligence) αποτελεί ένα νέο πεδίο που στοχεύει στην δημιουργία πλήρως καταναμημένων και αποκεντρωμένων συστημάτων, στην οποία η συνολική λειτουργικότητα του συστήματος αναδύεται από την αλληλεπίδραση μεμονωμένων πρακτόρων μεταξύ τους, αλλά και με το περιβάλλον τους. Ως αποτέλεσμα της προσπάθειας εφαρμογής της γνώσης που αποκτήθηκε από αυτή την έρευνα στον τομέα των πολλαπλών ρομπότ (multi-robots), εμφανίστηκε ο τομέας του σμήνους ρομπότ [69].

MULTI-ROBOT SYSTEMS

Τα συστήματα πολλαπλών ρομπότ (multi-robots) αναπτύχθηκαν με σκοπό να ξεπεράσουν την ελλιπή δυνατότητα επεξεργασίας μεγάλου όγκου πληροφορίας που παρουσιάζουν τα μεμονωμένα ρομπότ. Έχουν σημειώσει μεγάλη πρόοδο σε πολλούς τομείς, όπως στη συνεργατική μεταφορά και συγκέντρωση, στις αποστολές έρευνας και διάσωσης, καθώς και σε εφαρμογές του διαστήματος. Ωστόσο, νέες προκλήσεις παρουσιάστηκαν, όπως η αυτό-οργάνωση και ο αποκεντρωτικός έλεγχος, που ώθησαν τις έρευνες στη μελέτη συστημάτων νοημοσύνης σμήνους, με αποτέλεσμα να δημιουργηθεί ο υποτομέας έρευνας 'ρομποτικό σμήνος' (Swarm Robotics) [70].



[69]Sahin E., "Swarm Robotics: From Sources of Inspiration to Domains of Application", In Sahin E. and Spears W., editors, Proc. of the SAB 2004 Workshop on Swarm Robotics, Santa Monica, CA, USA, July, 2004. Lecture Notes in Computer Science (2005), Vol. 3342, pp. 10-20.

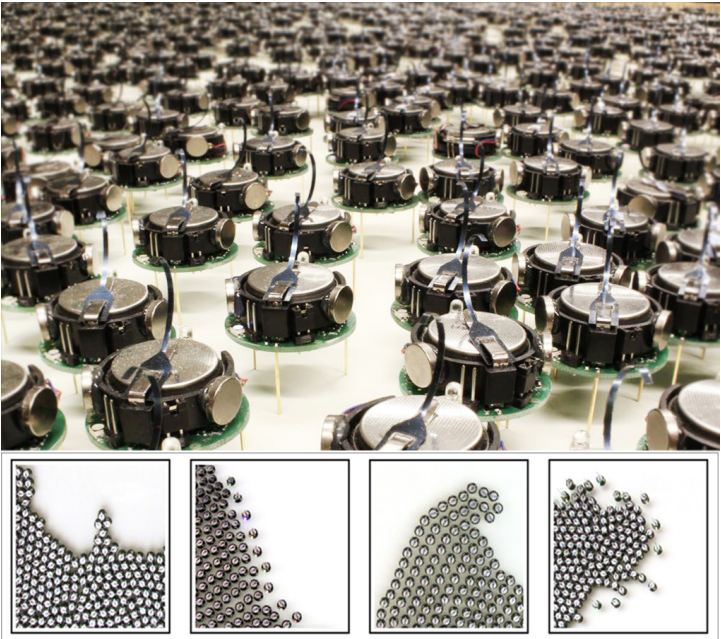
[70]Dudek Gregory, Michael Jenkin, Evangelos Milios, David Wilkes, "A Taxonomy for Multi-Agent Robotics", Autonomous Robots, 3, 4, 1996, pp. 375-397.

[εικόνα 77] Δομή ανθρώπινης κλίμακας κατασκευασμένη από σύστημα πολλαπλών ρομπότ. MOBILE ROBOTIC FABRICATION SYSTEM FOR FILAMENT STRUCTURES MARIA YABLONINA / MARSHALL PRADO / EHSAN BAHARLOU / TOBIAS SCHWINN / ACHIM MENGES Institute for Computational Design, University of Stuttgart.

SWARM ROBOTICS

Swarm robotics, ονομάζεται το ρομποτικό σμήνος όπου αποτελεί μια νέα προσέγγιση για το συντονισμό των συστημάτων multirobot που αποτελούνται από ένα μεγάλο αριθμό απλών φυσικών ρομπότ. Μια επιθυμητή συλλογική συμπεριφορά προκύπτει από τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των ρομπότ και των αλληλεπιδράσεων των ρομπότ με το περιβάλλον. Αυτή η προσέγγιση προέκυψε στον τομέα της τεχνητής νοημοσύνης του σμήνους, αφού βιολογικές μελέτες πάνω σε έντομα, μυρμηγκία αλλά και σε άλλα πεδία στην φύση δείχνουν να ακολουθούν την συμπεριφορά του σμήνους. Η νοημοσύνη σμήνους (swarm intelligence) είναι η συλλογική συμπεριφορά μη καταναμημένων, αυτό-οργανωμένων φυσικών ή τεχνητών συστημάτων. Η ιδέα εφαρμόζεται στον τομέα της τεχνητής νοημοσύνης.

Ο όρος αυτός εισήχθη από τους Gerardo Beni και Jing Wang το 1989. Τα σμήνη παρέχουν επιθυμητή απόδοση, υψηλή αξιοπιστία (ανοχή σε λάθη) αλλά και χαμηλή πολυπλοκότητα σχεδιασμού και κόστους μονάδας σε σχέση με τα κλασικά ρομποτικά συστήματα. Πρόκειται για συστήματα πολλαπλών ρομπότ, οι συλλογικές εργασίες είναι δυνατές χωρίς την ύπαρξη κεντρικού ελέγχου ή ρητής (explicit) ενδοεπικοινωνίας μεταξύ των ρομπότ [71]. Η στρατηγική του ελέγχου βάσει κανόνων του Brooks [72] έχει ωριμάσει και εφαρμόζεται ήδη σε ομάδες απλών και αυτόνομων ρομποτικών διαμεσολαβητών για την επίλυση πολύπλοκων προβλημάτων (ένα σενάριο χρήσης σε αποστολή στον Αρη περιγράφεται στο υποκεφάλαιο 4.3.1).



[71]Kube C. R. Collective Robotics: From Local Perception to Global Action.Ph.D., University of Alberta, 1997

[72]Brooks R., Intelligence without a reason, tech. rep., Artificial Intelligence Memo No 1293, 1991

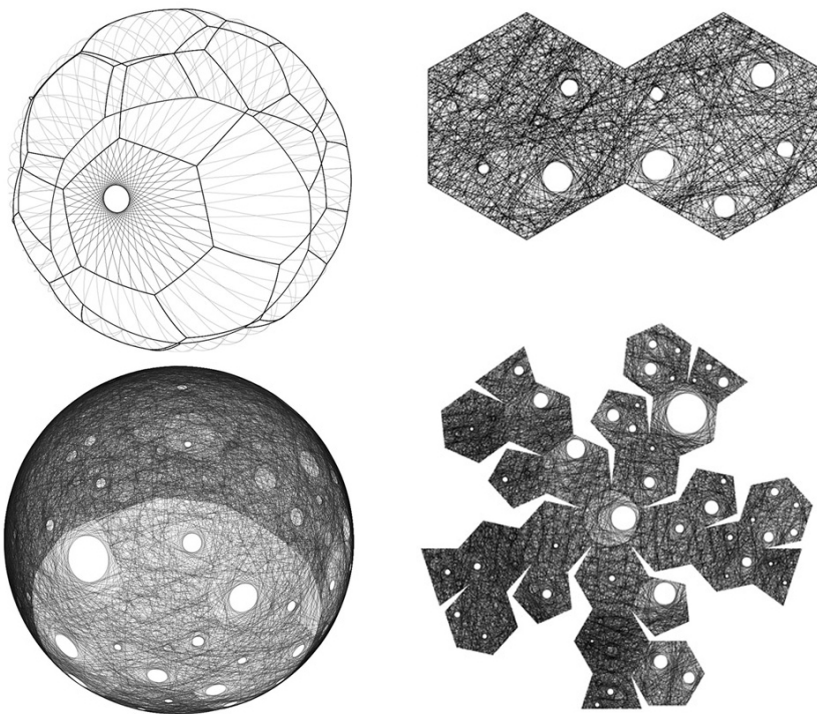
[εικόνα 78] Η έρευνα KILOBOT SWARM, από τους Radhika Nagpa, red Kavli (Harvard School of Engineering and Applied Sciences (SEAS)) και Wyss Institute for Biologically Inspired Engineering (Harvard University). Ακολουθώντας απλούς προγραμματισμένους κανόνες, τα 1024 αυτόνομα ρομπότ οργανώνονται και σχηματίζουν πολύπλοκες γεωμετρίες.

Silk Pavillion

2013 CNC Deposited Silk Fiber & Silkworm Construction MIT Media Lab



Digital fabrication and biological swarm construction.



[εικόνα 79] Το Silk Pavillion διερευνά τη σχέση μεταξύ ψηφιακής και βιολογικής κατασκευής από σμήνη στην αρχιτεκτονική. Ένα σμήνος 6.500 μεταξοσκώληκων τοποθετήθηκε στο κάτω μέρος της κατασκευής η οποία κατασκευάστηκε από ίνες, οι οποίες αποτελούν τους οδηγούς κενού – πλήρους, για τους μεταξοσκώληκες.

[73]G. Beni and J.Wang, *Swarm intelligence in cellular robotics systems*, in *Proceeding of NATO Advanced Workshop on Robots and Biological System*, 1989.

[74]M. Fleischer. *Foundations of swarm intelligence: From principles to practice*. Technical Research Report TR-2003-10, Institute for Systems Research, University of Maryland, College Park, Maryland, 2003

Νοημοσύνη σμήνους (swarm intelligence)

Η νοημοσύνη του σμήνους είναι μια ιδιότητα των συστημάτων που επιδεικνύουν συλλογική ευφυή συμπεριφορά [73]. Ενα σύστημα αντιπροσωπεύει μια οντότητα που ανιχνεύει το περιβάλλον προκειμένου να εκτελέσει μια ενέργεια που έχει επιλέξει. Η κάθε οντότητα λειτουργεί αυτόνομα και στο τέλος ως αποτέλεσμα προκύπτει μια συνολική συλλογική συμπεριφορά. Δεν παίρνουν άμεσα οδηγίες από κάποιο ηγετικό μέλος, παίρνουν μόνο συγκεκριμένες απλές αποφάσεις και μέσα από απλούς κανόνες εμφανίζονται διάφορα φαινόμενα (πχ σμήνη πουλιών, κοπάδια ψαριών, άναμμα πυγολαμπίδων, τα μυρμηγκία υπολογίζουν βέλτιστες διαδρομές προς την τροφή τους, μέλισσες να ενημερώνουν την κυψέλη για νέκταρ κτλ) τα οποία τελικά παρουσιάζουν τη μορφή της συλλογικής συμπεριφοράς και της ευφυίας. Τα συστήματα νοημοσύνης σμήνους κατά κανόνα αποτελούνται από έναν πληθυσμό απλών, αυτόνομων πρακτόρων ή διαμεσολαβητών (boids) που αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους και με το περιβάλλον τους σε τοπικό επίπεδο. Τα συστήματα είναι εμπνευσμένα από την φύση και ειδικότερα από τα βιολογικά συστήματα. Οι πράκτορες ακολουθούν πολύ απλούς κανόνες, και παρόλο που δεν υπάρχει καμία συγκεντρωτική δομή ελέγχου να υπαγορεύει πώς πρέπει να συμπεριφέρονται οι πράκτορες, τοπικές και έως ένα βαθμό τυχαίες αλληλεπιδράσεις μεταξύ τέτοιων πρακτόρων οδηγούν στην εμφάνιση μιας ευφυούς, καθολικής συμπεριφοράς, άγνωστης ως σύνολο, στους αυτόνομους πράκτορες [74].

'The swarm intelligence deals with natural and artificial systems composed of many individuals that coordinate using de-centralized control and self-organization. In particular, the swarm intelligence focuses on the collective behaviors that result from the local interactions of the individuals with each other and with their environment'.

(Dorigo M., Birattari M. 2007. *Swarm Intelligence*. Scholarpedia. 2(9), 2007)

Κανόνες σμήνους σύμφωνα με τον Craig Reynolds:

Κάθε σμήνος ακολουθεί κάποιους κανόνες οι οποίοι καθορίζουν την συμπεριφορά τους. Η ικανότητα οργάνωσης αλλά και η αυτορυθμιζόμενη συμπεριφορά τους είναι κάτι που μέχρι σήμερα παραμένει αντικείμενο μελέτης, αφού εμφανίζεται και εντυπώνεται από τα πρώτα στάδια της ανάπτυξής τους. Ο πληροφορικός Craig Reynolds ήταν ο πρώτος που ξεκίνησε την έρευνα σε αυτόν τον τομέα, και διατύπωσε το 1987 τους 3 βασικούς κανόνες για την δημιουργία σχηματισμού σμήνους στην κίνηση πουλιών:

- Να υπάρχει μια δύναμη συνάθροισης (clumping), που διατηρεί “ενωμένο” το σμήνος.
- Τα μέλη του σμήνους να είναι σε θέση να ελέγχουν την ταχύτητά τους ως προς τους γείτονες, με αποτέλεσμα το σμήνος να πετάει με κοινή ταχύτητα.
- Τα μέλη του σμήνους να υπόκεινται σε μια δύναμη διαχωρισμού (separation), η οποία αποτρέπει κάθε μέλος του σμήνους από το να πετάει πολύ κοντά με τους γείτονές του.

Στη συμπεριφορά σμήνους των μυρμηγκιών οι κανόνες είναι περισσότεροι και αφορούν την δημιουργία δομών και τη μεταφορά υλικών προϊόντων. Η συγκεκριμένη έρευνα εστιάζει περισσότερο σε αυτή την αναλογία.

Τα οφέλη

Τα πιο σημαντικά οφέλη της εφαρμογής μιας προσέγγισης βασισμένης στη νοημοσύνη των σμηνών είναι:

- Επεκτασιμότητα (scalability), με την έννοια της διατήρησης της δομής ελέγχου της ομάδας, είτε αυτή αποτελείται από λίγες είτε εκατοντάδες μονάδες. Έχει παρατηρηθεί ότι τα κοινωνικά έντομα λειτουργούν συλλογικά για ένα μεγάλο εύρος πληθυσμών ομάδων, με συμπέρασμα ότι ο μηχανισμός συντονισμού και συνεργασίας είναι ανεξάρτητος του αριθμού ατόμων στην ομάδα [75].
- Ευελιξία (flexibility), δηλαδή μονάδες μπορούν να προστεθούν ή να αφαιρεθούν δυναμικά, ενώ υπάρχει η δυνατότητα αναδιοργάνωσης ή ανακατανομής των ατόμων της ομάδας με κάποια μορφή αυτό-οργάνωσης.
- Ευρωστία (robustness), δηλαδή το τελικό συλλογικό σύστημα να είναι εύρωστο, όχι μόνο στη μείωση των μονάδων (σφάλματα κλπ) αλλά και στην ελαχιστοποίηση στη σχεδίαση της μονάδας (minimalistic design).
- Αποκέντρωση (Decentralization), εννοώντας ότι οι υπομονάδες λειτουργούν αυτόνομα (δεν υπάρχει κεντρικό σύστημα ελέγχου), ενώ το ίδιο ισχύει και για το περιβάλλον: η πληροφορία δεν είναι καθολική.

[75]Sahin E., “Swarm Robotics: From Sources of Inspiration to Domains of Application”, In Sahin E. and Spears W., editors, *Proc. of the SAB 2004 Workshop on Swarm Robotics*, Santa Monica, CA, USA, July, 2004. *Lecture Notes in Computer Science* (2005), Vol. 3342, pp. 10-20.

- Αυτό-οργάνωση (Self-Organization), με την έννοια της εύρεσης (μονοπατιού) λύσης ή οποία προκύπτει και δεν προκαθορίζεται.
- Απλότητα (Simplicity), δηλαδή οι διαμεσολαβητές σχεδιάζονται, προγραμματίζονται και ελέγχονται (σε ατομικό επίπεδο) πολύ εύκολα, μπορούν να εφαρμοστούν σε πολύ μικρές πλατφόρμες (όπως για παράδειγμα δίκτυα smart dust) και τέλος να εκπαιδευτούν με χρήση γενετικών αλγορίθμων ή particle-swarm μεθόδων σε αντιδιαστολή με άλλους αναλυτικούς αλγορίθμους μάθησης.
- Ενοποίηση με το περιβάλλον (environmental integration), με την έννοια της χρήσης των δυναμικών του περιβάλλοντος για τον έλεγχο του συστήματος (στιγματική συμπεριφορά). Σύμφωνα με το επίπεδο οργάνωσης ενός συστήματος είναι αντιστρόφως ανάλογο της συμμετρίας του συστήματος [76]. Ο θόρυβος αποτελεί το μεγαλύτερο μειονέκτημα όταν πρόκειται για ένα συμβατικό σύστημα, ενώ ένα στιγματικό σύστημα το εκμεταλλεύεται σαν ένα φυσικό τρόπο να σπάσει τις συμμετρίες των οντοτήτων και να τους επιτρέψει να αυτό-οργανωθούν.

Τα αρνητικά

Τα πιο σημαντικά αρνητικά γνωρίσματα της νοημοσύνης των σμηνών είναι τα εξής:

- Συμπεριφορά: Δεν μπορεί να γίνει εξαγωγή συμπερασμάτων από την ατομική συμπεριφορά με βάση τη συλλογική συμπεριφορά. Απλά παρατηρώντας μεμονωμένους διαμεσολαβητές δεν μπορεί κανείς να καταλήξει σε ασφαλή συμπεράσματα.
- Γνώση: η έλλειψη καθολικής γνώσης για το περιβάλλον αλλά και τη λειτουργία της ομάδας μπορεί να θεωρηθεί αρνητικός παράγοντας σε κάποιες περιπτώσεις.
- Σχεδιασμός: δεν υπάρχουν (παρά ελάχιστοι και συγκεκριμένοι) αναλυτικοί μηχανισμοί – μεθοδολογίες για το σχεδιασμό τέτοιων συστημάτων.
- Δράση: Η συμπεριφορά και οι δράσεις του ατόμου μοιάζουν με θόρυβο, ειδικά όταν η επιλογή δράσης είναι στοχαστική.
- Παράμετροι: Το σύστημα είναι εξαιρετικά ευαίσθητο στις παραμέτρους λειτουργίας του (π.χ διαφορετική ακτίνα ανίχνευσης εμποδίων), κάτι που σημαίνει ότι η αλλαγή μιας παραμέτρου μπορεί να επιφέρει μεγάλες αλλαγές στην ανάδυση (ή όχι) συλλογικών συμπεριφορών [77]. Το γεγονός αυτό συνεπάγεται εξονυχιστικό έλεγχο της συμπεριφοράς του συστήματος για διαφορετικά σύνολα παραμέτρων.

[76]Parunak, H. V. Making Swarming Happen. In Proceedings of Swarming: Network Enabled C4ISR, ASD C3I, 2003

[77]Stamatis P., Zaharakis I. D., Kameas, A. D. "Exploiting Ambient Information into Reactive Agent Architectures". In Proceedings of 2nd International Conference on Intelligent Environments (IEE06), July 5-6, 2006, Athens, Hellas



[εικόνα 80] Κώδικας που μιμείται σμήνος Drones που αναζητούν ένα στόχο. Καθώς αναπτύσσουν γραμμές μεταξύ των θέσεων τους. Οι σφαίρες αναπαριστούν τον αριθμό των Drones. Extra-terrestrial habitats workshop.

4.3 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΕΡΕΥΝΩΝ ΡΟΜΠΟΤΙΚΟΥ
ΣΜΗΝΟΥΣ ΣΤΗΝ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ

MARS

Martian colony for 40 people
design & hybrid techniques

Extra-terrestrial habitats workshop

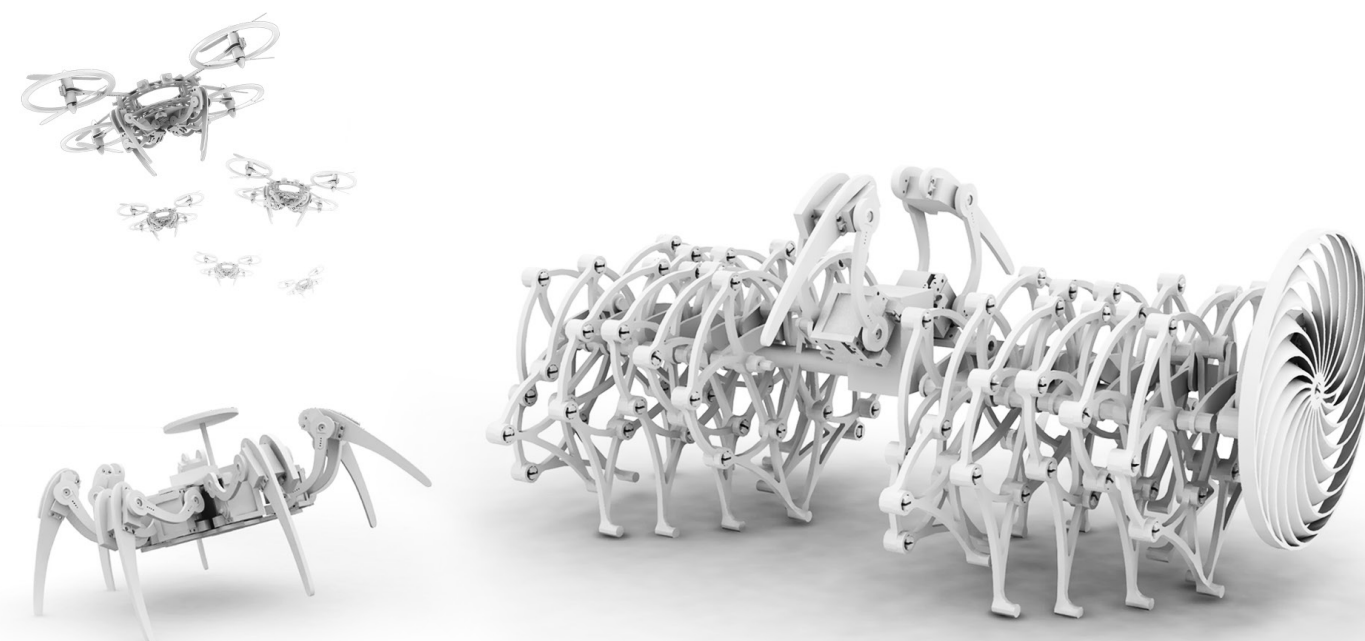
Hosted by the School of Architecture at the University of Houston
In collaboration with NASA
April 04 - 12, 2015
Houston, TX, USA





SWARM ROBOTICS FABRICATION

Fabrication and Assembly Processes on the Mars Surface



4.3.1 Extra-terrestrial habitats workshop

(Ntzoufras S., Oungrinis K.-A., Liapi M., Christoulakis M., Paterakis I., Bannova O. TUC TIE Lab / Πολυτεχνείου Κρήτης, Πανεπιστήμιο Χιούστον (SICSA), υπό την καθοδήγηση των επιστημών της NASA)

Εισαγωγή

Σκοπός της έρευνας είναι να καταστήσει περισσότερο βιώσιμες και κατοικήσιμες τις ανθρώπινες εγκαταστάσεις σε εξω – γήινα περιβάλλοντα.

Σε αυτό το πλαίσιο, εξετάζεται η δημιουργία μιας υπόγειας αποικίας στον Άρη, βασισμένη σε ανθρωποκεντρικά χαρακτηριστικά που θα μετριάσουν τα προβλήματα που προκύπτουν κυρίως από την ψυχολογική κατάπτωση, τη σχετιζόμενη με την απομόνωση σε ακραία περιβάλλοντα.

Η παρούσα έρευνα αποτελεί αποτέλεσμα της συνεργασίας των ερευνητών του εργαστηρίου TUC TIE Lab Πολυτεχνείου Κρήτης και του Πανεπιστημίου του Χιούστον (SICSA), υπό την καθοδήγηση των επιστημών της NASA και έχει ως στόχο το σχεδιασμό και τη λειτουργία μιας αποικίας 40 ατόμων στον πλανήτη Άρη.

Η έρευνα παρουσιάστηκε στο συνέδριο : 6th International Astronautical Congress (IAC2015). Jerusalem, Israel. Fabrication and Assembly Processes on the Mars Surface.

Oungrinis K.-A., Liapi M., Christoulakis M., Ntzoufras S., Paterakis I., Bannova O. (2015).

Στόχος έρευνας

Η συγκεκριμένη έρευνα εξετάζει τον συνδυασμό υβριδικών τεχνικών που απαιτούνται για την κατασκευή, λειτουργία και διατήρηση μιας κτηριακής υποδομής 4ο ατόμων στον Αρη. Υπό το πρίσμα των δυνατοτήτων που προσφέρει η σύγχρονη ρομποτική, η έρευνα συνδυάζει διαδικασίες τρισδιάστατης εκτύπωσης, αυτόνομα συστήματα πολλαπλών ρομπότ, έξυπνα υλικά και συστήματα αυτο-συναρμολόγησης (self-assembly) στην διαδικασία της κατασκευής.

Οι προτεινόμενες εγκαταστάσεις που τοποθετούνται υπογείως καθώς και η σχεδιαστική προσέγγιση που εστιάζει στις αντιληπτικές επιρροές των χωρικών χαρακτηριστικών, απαιτούν μια προηγμένη κατασκευαστική προσέγγιση. Υστερα από την μελέτη διαφορετικών κατασκευαστικών προσεγγίσεων, προτείνεται μια νέα μέθοδος κατασκευής που εστιάζει στην χρήση ρομποτικού σμήνους για την εκσκαφή, την τρισδιάστατη εκτύπωση, τη συναρμολόγηση και την επεξεργασία της ύλης. Η προσέγγιση αυτή, αντιμετωπίζει τα προβλήματα προηγούμενων ερευνών σχετικά με την χρήση ενός μεμονωμένου ρομπότ στην κατασκευή. Η χρήση ρομποτικού σμήνους μειώνει το ρίσκο της αποστολής, ενώ παράλληλα αυξάνει την ευελιξία και την παραγωγικότητα της διαδικασίας.

Η έρευνα εστιάζει στο σχέδιο υλοποίησης της αποστολής και στον τρόπο λειτουργίας της κατασκευαστικής διαδικασίας. Η συνολική προσέγγιση υποστηρίζεται από μια σειρά πειραμάτων από πρωτότυπα διαφορετικής κλίμακας, ανάλυσης πεπερασμένων στοιχείων και προσομοιώσεις των διαδικασιών κατασκευής.

[Εικόνα 83] Arachnoids robots. Αυτόνομα ρομπότ εδάφους.



Δεδομένα αποστολής

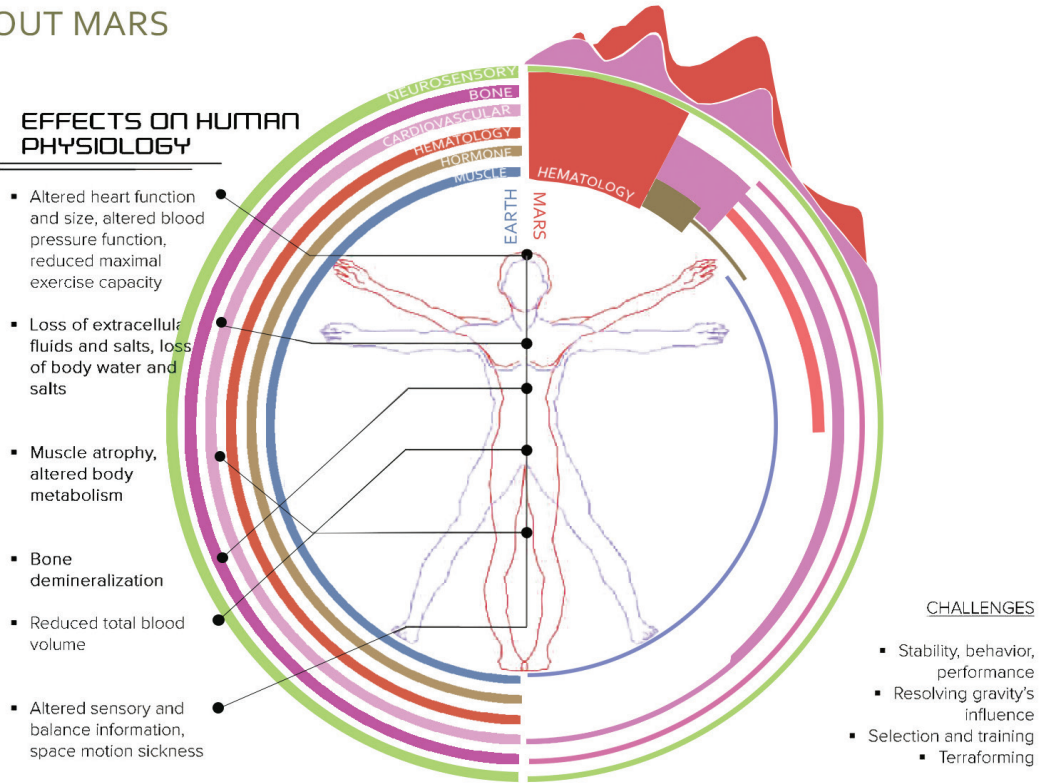
Προκειμένου να προχωρήσουμε περισσότερο στην περιγραφή του σχεδίου αποστολής, είναι απαραίτητο να παρουσιάσουμε τα βασικά χαρακτηριστικά της πρότασης σχεδιασμού και τις αποφάσεις που ελήφθησαν για την βέλτιστη ποιότητα κατοίκησης της αποικίας.

Αρχικά, οι γεωλογικές και περιβαλλοντικές συνθήκες του Αρη παίζουν καθοριστικό ρόλο στον προγραμματισμό της αποστολής. Παράμετροι όπως η κατάσταση της ατμόσφαιρας, η βαρύτητα και οι μεταβολές της έκθεσης στην ακτινοβολία καθορίζουν την πλειοψηφία των αποφάσεων της αποστολής.

Η πρώτη σημαντική απόφαση της αποστολής ήταν η τοποθέτηση των εγκαταστάσεων υπογείως. Ο βασικότερος λόγος που οδήγησε στην λήψη αυτής της απόφασης είναι τα επικίνδυνα για τον άνθρωπο επίπεδα ακτινοβολίας.

Ο ασφαλέστερος τρόπος για την μείωση του κινδύνου από τους τρεις τύπους ακτινοβολίας (μη-ιονιστική, ιονιστική και γαλαξιακή κοσμική ακτινοβολία) είναι η δημιουργία ενός υπόγειου οικισμού προκειμένου να δημιουργηθεί ένα ασφαλές περιβάλλον για τον άνθρωπο.

ABOUT MARS



Οι λόγοι για τους οποίους επιλέχθηκε αυτή η μέθοδος παρουσιάζονται παρακάτω:

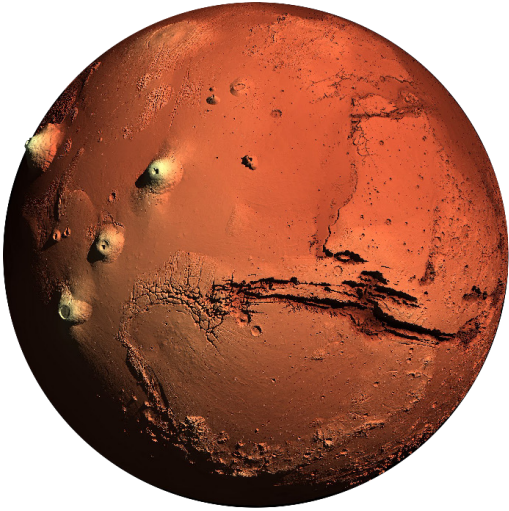
α) η προστασία από την ακτινοβολία και από φαινόμενα μεγάλης κλίμακας.

β) η δυνατότητα δημιουργίας κατασκευής μεγάλης κλίμακας η οποία θα συμβάλει στην μείωση της αίσθησης της απομόνωσης καθώς και στην δυνατότητα αναδιάταξης του χώρου, εφόσον απαιτείται από τις ανάγκες των κατοίκων.

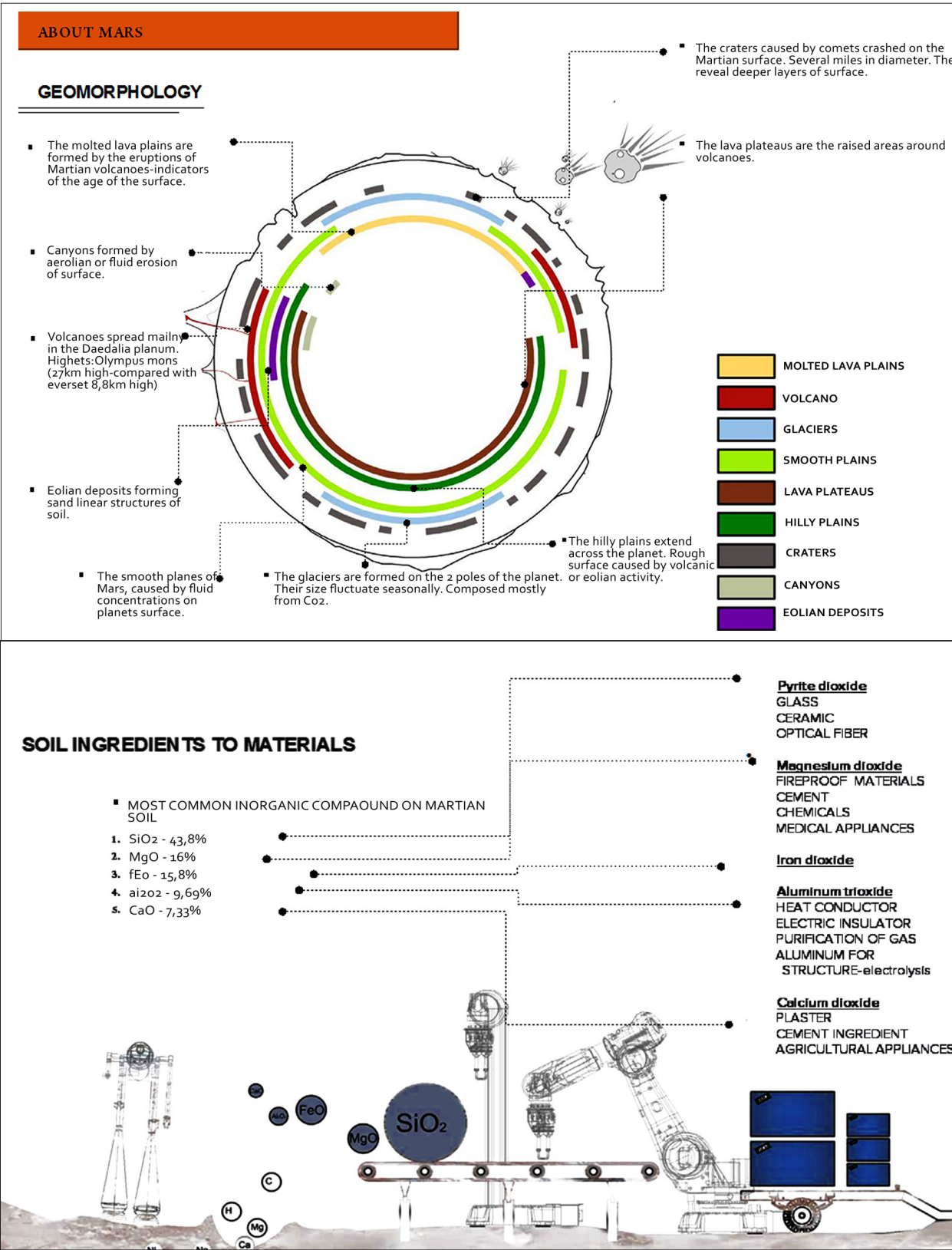
γ) η δημιουργία ενός επεκτάσιμου τεχνητού περιβάλλοντος το οποίο θα μπορεί να μεταβάλλεται καθώς ο αριθμός των ατόμων θα αυξάνεται.

δ) η μείωση εξάρτησης από τη Γη, μέσω της αξιοποίησης πόρων (ISRU) από την διαδικασία εκσκαφής για μια καλύτερη ενεργειακή διαχείριση.

Σύμφωνα με τα ευρήματα της έρευνας των M. Μπλαζουδάκη και Α. Πανταζίδη, η περιοχή Tharsis (volcano-tectonic province) στο όρος Olympus αποτελεί την ιδανική περιοχή για την δημιουργία αποικίας. Η συγκεκριμένη περιοχή αποτελείται από ορυκτά βασαλτικού τύπου (ηφαιστιογενή υλικά) με βαθμό σκληρότητας μεταξύ 5 και 7 της κλίμακας Moh. Αυτές οι συνθήκες επιτρέπουν μια ασφαλή ανασκαφή χωρίς την πιθανότητα κατάρρευσης εδάφους, το οποίο αποτελεί βασική προϋπόθεση για την δημιουργία υπόγειας κατασκευής (μέγιστο ύψος 20 μέτρα). Ακόμη, η σκληρότητα του εδάφους αποτελεί πρόκληση για την διαδικασία της εκσκαφής, αν και υπάρχουν αρκετές πιθανές τεχνικές για την επίλυση αυτού του ζητήματος.



[εικόνα 85] Το τρισδιάστατο μοντέλο του πλανήτη Αρη και η περιοχή Tharsis στο όρος Olympus.

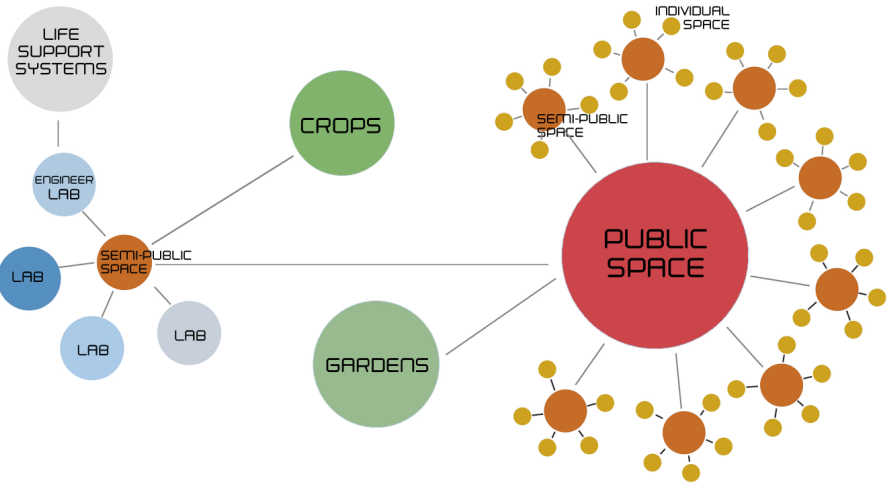


Βασικές αρχές σχεδιασμού αποικίας

Όσον αφορά τους ποιοτικούς παράγοντες που εξετάζονται σε αυτή την έρευνα, ο σημαντικότερος αφορά τις δυνατότητες της μεθόδου «layering» (στρωματοποίηση). Ο όρος ‘layering’ αναφέρεται στις ξεχωριστές “ζώνες” του γενικού σχεδίου της αποικίας, οι οποίες κατευθύνονται από μια απομονωμένη προστατευμένη περιοχή προς έναν ανοιχτό χώρο στην επιφάνεια του Αρη. Η λογική της αυτόνομης κατοικήσιμης μονάδας (module) στην επιφάνεια του πλανήτη παρουσιάζει πολλούς περιορισμούς διότι αφήνει μόνο ένα στρώμα προστασίας μεταξύ της ασφαλούς ζώνης της μονάδας και της μη κατοικήσιμης ζώνης του πλανήτη. Αυτή η κατάσταση βελτιώνεται σταδιακά με την ανάπτυξη πτυσσόμενων δομών μεταξύ των μονάδων, παρέχοντας μεγαλύτερο αριθμό προστατευόμενων περιοχών πριν την επαφή με το εξωτερικό περιβάλλον, αλλά εξακολουθεί να είναι αρκετά εκτεθειμένη σε περιβαλλοντικούς κινδύνους, διατηρώντας ένα ισχυρό αίσθημα ανασφάλειας.

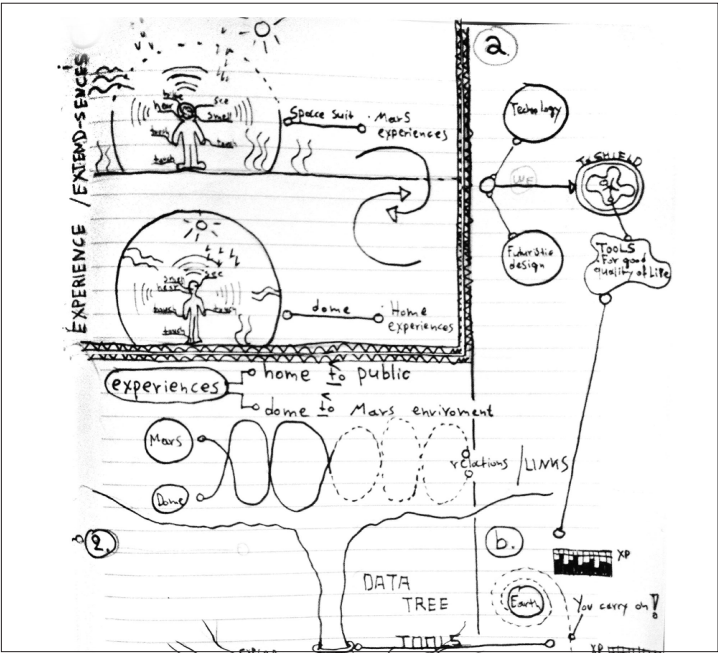
Σε αυτή τη λογική, το προτεινόμενο σχέδιο της υπόγειας αποικίας, επιδιώκει την δημιουργία ενός περιβάλλοντος πολλαπλών επιπέδων το οποίο θα παρέχει την αίσθηση της ασφάλειας ενώ παράλληλα θα δημιουργεί σταδιακές μεταβάσεις από το ιδιωτικό στο δημόσιο. Επομένως, ο σχεδιασμός χωρίζεται σε ζώνες κατοικιών, αυλών με ημιδημόσιο χαρακτήρα γύρω από τις κατοικίες, πλατείες που συνδέουν τις αυλές, πλατείες κοινότητας που λειτουργούν σαν μέρη συνάθροισης των κατοίκων και ένα πάρκο – θερμοκήπιο το οποίο αποτελεί το σημείο επαφής με την επιφάνεια του πλανήτη. Όλες οι ζώνες συνδέονται μεταξύ τους με διαφορετικούς μεταβατικούς χώρους.

COLONY MASTERPLAN - FUNCTION DIAGRAM



Δομή

- Συνδυασμός οράματος και πραγματικότητας
- Δημιουργία ισορροπημένης κοινωνίας
- Επένδυση στον ανθρωποκεντρικό σχεδιασμό
- Διασφάλιση ενός ποιοτικού τρόπου ζωής

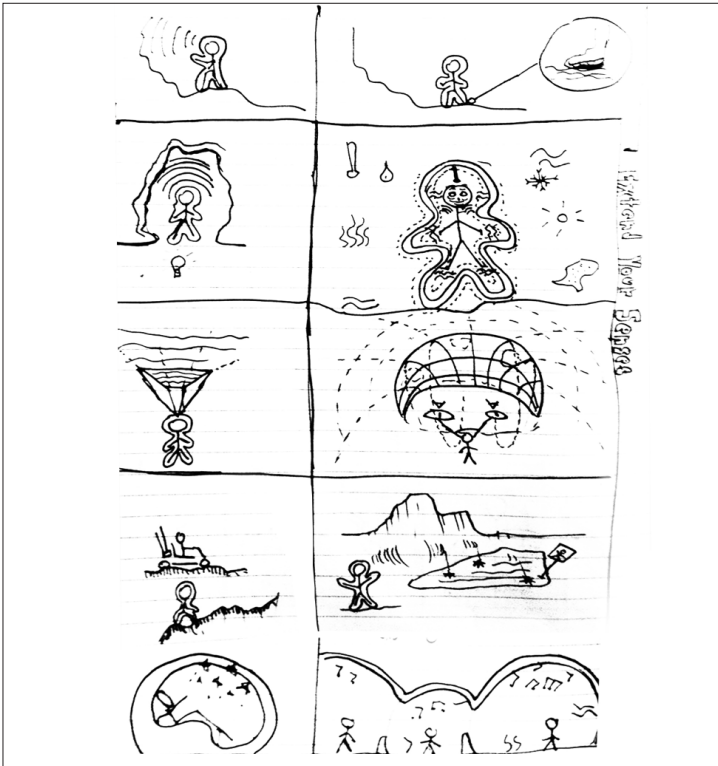


Παράγοντες σχεδιασμού

- Περιβαλλοντικές συνθήκες
- Δημιουργία μιας νέας κοινωνικής δομής
- Ανθρώπινοι ψυχολογικοί παράγοντες
- Δραστηριότητες και καθημερινή ζωή
- Λειτουργικότητα
- Πιθανές διαθέσιμες τεχνολογίες

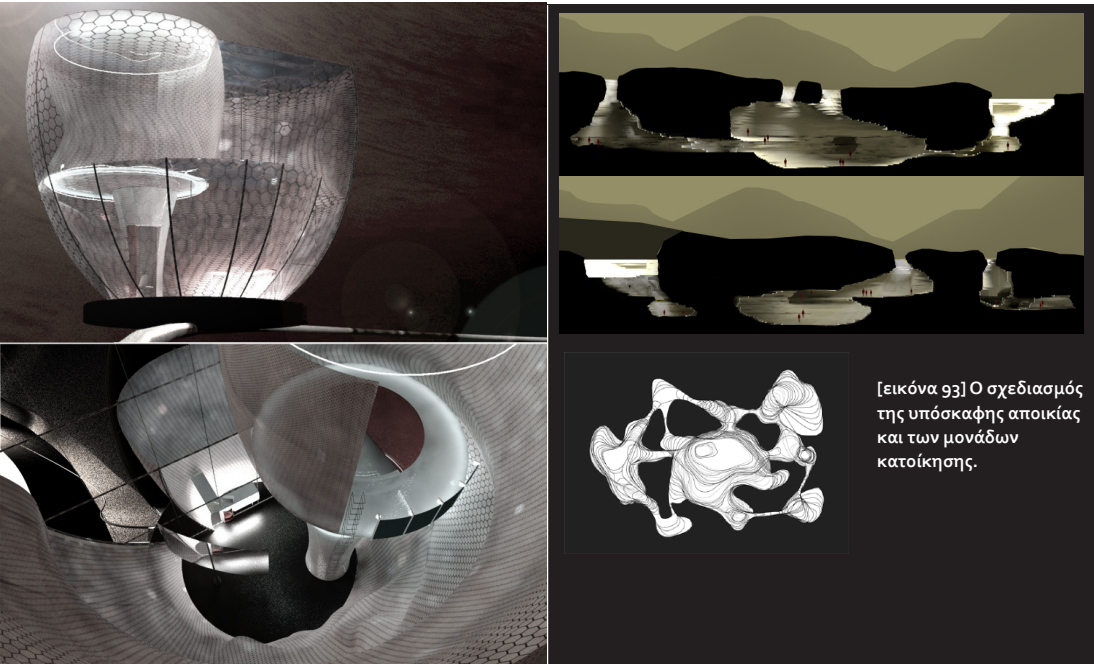
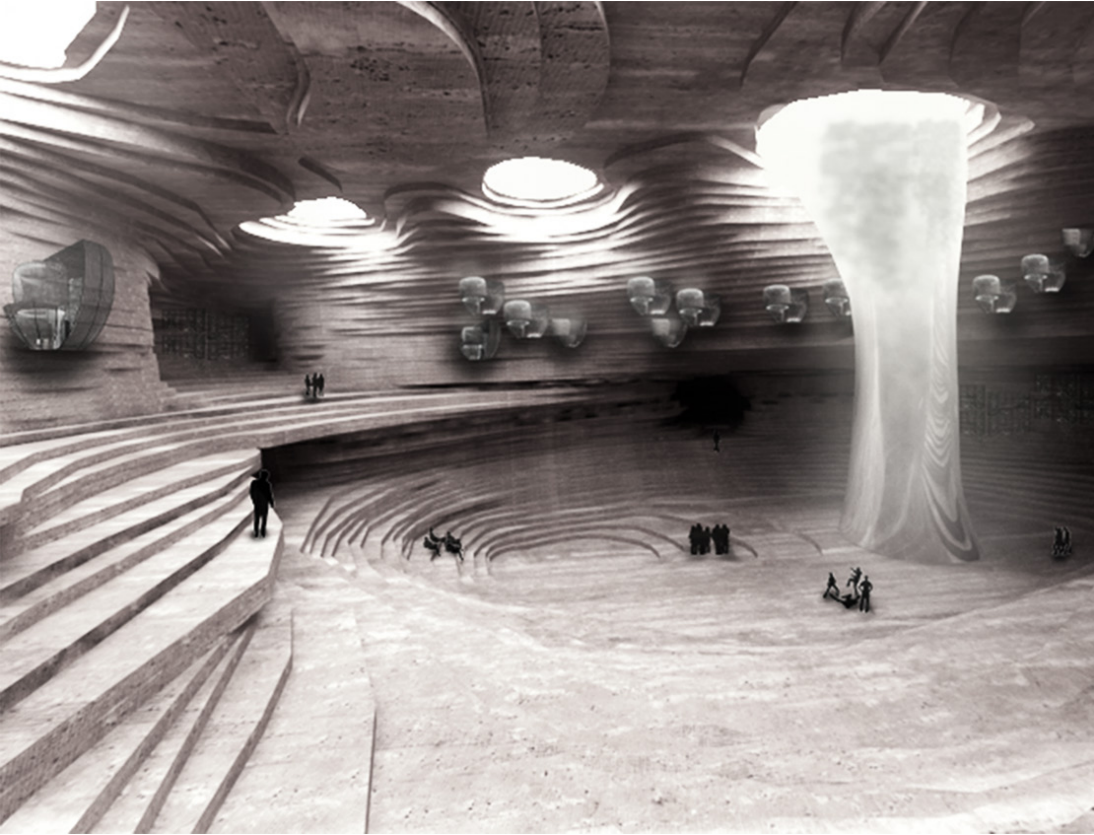
Αρχές σχεδιασμού

- Μεταβλητότητα
- Modularity - Επεκτασιμότητα
- Βιωσιμότητα
- Χωρική και βιωματική εργονομία
- Επαυξημένη πραγματικότητα - Augmented reality
- Βέλτιστη σχέση ανθρώπου – μηχανής



Στρατηγικές σχεδιασμού

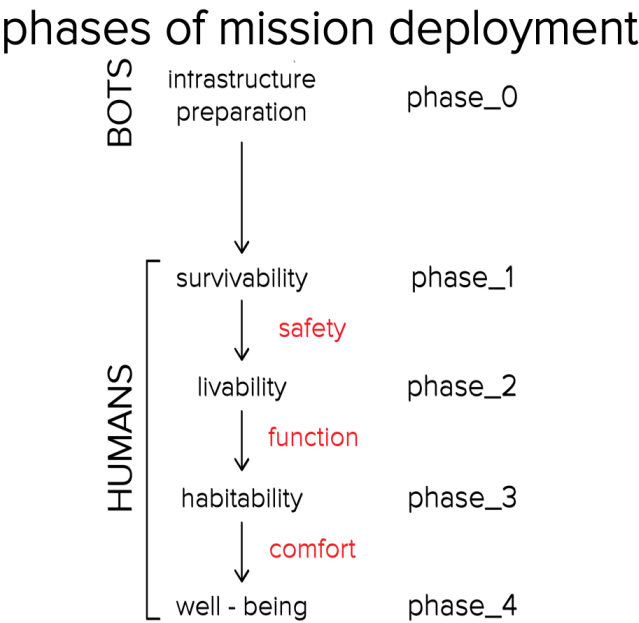
× TIME	σχέσεις σχετικά με το περιβάλλον του Άρη	→ ασφάλεια - προσβασιμότητα
	σχέσεις μεταξύ των χώρων	→ σχέδιο κατανομής χώρων προβολές
	ανάλυση των ποιοτικών χαρακτηριστικών των χώρων	→ μεταβάσεις
	σχεδιασμός βάσει δραστηριοτήτων	→ αισθήσεις και συναισθήματα
	τα σενάρια του χρήστη - παιχνίδι ρόλων	→ πιθανές δραστηριότητες σε χώρους
	τεχνολογία	→ καθημερινότητα σκέφτοντας σαν κάτοικος του Άρη
		→ υλικά διαδικασία κατασκευής



[εικόνα 93] Ο σχεδιασμός της υπόσκαφης αποικίας και των μονάδων κατοίκησης.

Πλάνο αποστολής

Στη συνέχεια, έχοντας λάβει την απόφαση για τον σχεδιασμό υπόγειας αποικίας και την κατασκευή της από σμήνος ρομπότ, παρουσιάζεται το πλάνο αποστολής, για το οποίο δίνεται μια σύντομη περιγραφή για κάθε στάδιο στα πλαίσια της εργασίας, εστιάζοντας στην διαδικασία της κατασκευής και στις αναπτυσσόμενες τεχνολογίες. Το σχέδιο αποστολής χωρίζεται σε 5 φάσεις. Η κάθε μία αποτελεί την εξέλιξη της προηγούμενης και όλες σχετίζονται με επιχειρησιακές δραστηριότητες, την κατασκευαστική ανάπτυξη, την δραστηριοποίηση των εγκαταστάσεων και τέλος την ανθρώπινη παρουσία.



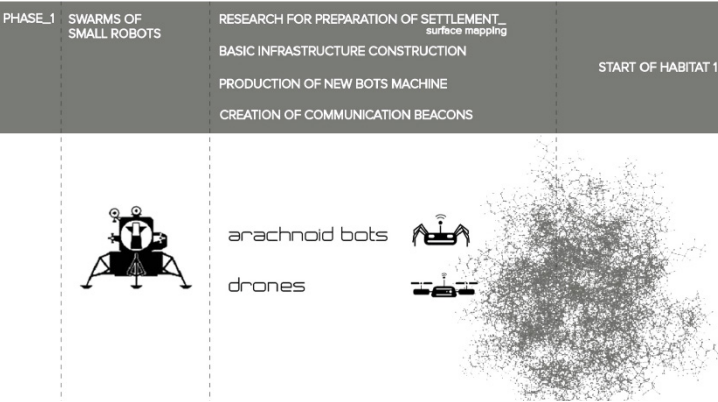
Φάση-0

Πριν φτάσει η πρώτη επανδρωμένη αποστολή στον Αρη κατασκευάζεται μία πλήρης λειτουργική εγκατάσταση (Analogue) σε επιλεγμένη περιοχή στη Γη, όπου τα γεωλογικά χαρακτηριστικά είναι όμοια με την περιοχή της αποικίας στον Αρη. Κατά την διάρκεια κατασκευής της εγκατάστασης, δοκιμάζεται το σχέδιο κατασκευής ρομποτικού σμήνους για την βελτιστοποίηση των διαδικασιών. Οι άνθρωποι που στελεχώνουν την αποστολή θα κατοικήσουν την εγκατάσταση στο τέλος της φάσης-0.

Οι παραπάνω παράγοντες οδήγησαν σε μια ακριβή διαδικασία λήψης αποφάσεων και στρατηγικών σχεδιασμού της αποικίας. Τέλος, με βάση την χωρητικότητα του οχήματος SLS (Space Launch System) διαμορφώθηκε το πλάνο αποστολής της συνολικής λειτουργίας.

1η φάση:

Οι άποικοι ζουν στην Analogue εγκατάσταση δημιουργώντας την αίσθηση της κοινότητας. Είναι σημαντικό να αποχαιρετήσουν τους ανθρώπους που θα δουν ξανά μετά από μήνες ή χρόνια και να χτίσουν την αίσθηση της αναμονής και της επανένταξης. Η πρώτη ομάδα που κατευθύνεται στον Αρη αποτελείται ως επί το πλείστον από αξιωματικούς και μηχανικούς με πείρα σε διαστημικές πτήσεις. Οι άνθρωποι που προέρχονται από άλλα πεδία θα ακολουθήσουν στη συνέχεια, σύμφωνα πάντα με την εξειδίκευση του καθενός.



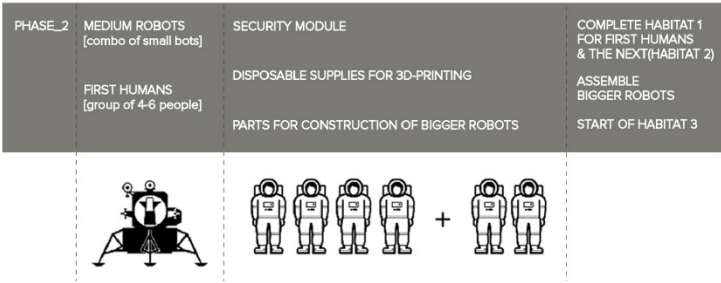
[εικόνα 95] Η πρώτη φάση.

2η φάση:

Το διαστημικό όχημα SLS θα παραδώσει στον Αρη τα αρχικά ρομπότ, ορισμένα από αυτά είναι έτοιμα για λειτουργία, άλλα αποτελούν εξαρτήματα προς συναρμολόγηση και άλλα ως υλικά τρισδιάστατης εκτύπωσης. Παράλληλα, ένα μικρό πλήρωμα θα βρίσκεται στην τροχιά του Αρη για την παρακολούθηση και τον έλεγχο, όπου απαιτείται, του ρομποτικού σμήνους. Με βάση την χωρητικότητα του SLS, ο αρχικός αριθμός των ρομπότ υπολογίζεται στα 15.000. Η ενέργεια που απαιτείται θα παρέχεται από γεννήτριες ραδιοϊσότοπων (SRG).

Σε αυτή την φάση, τα ρομπότ επιλέγουν την περιοχή επέμβασης και σκάβουν τα πιο ψηλά και μαλακά σημεία του εδάφους. Βασικός στόχος είναι η διαμόρφωση και προετοιμασία του εδάφους για την δημιουργία της βασικής κατασκευής.

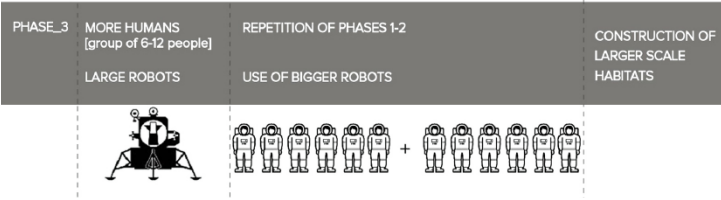
[εικόνα 96] Η δεύτερη φάση.



3η φάση:

Η δεύτερη αποστολή του οχήματος SLS μεταφέρει περισσότερα ρομπότ και εξαρτήματα προς συναρμολόγηση μεγαλύτερων και πολυπλοκότερων ρομπότ. Επίσης, στέλνονται και φορητές μονάδας επεξεργασίας υλικών κατασκευής. Έχοντας ολοκληρωθεί τα μεγαλύτερα τμήματα ανασκαφής, εισέρχονται στο εργοτάξιο πιο εξειδικευμένα ρομπότ για την σταθεροποίηση και τη βελτίωση των επιφανειών. Σε αυτή τη φάση, οι διαδικασίες επεξεργασίας υλικών επιτρέπουν την παραγωγή προηγμένων υλικών που θα εφαρμόζονται στην τελική κατασκευή, όπως ειδικών κεραμικών, μετάλλων και γυαλιών. Το πρώτο επανδρωμένο πλήρωμα φτάνει στην επιφάνεια του πλανήτη και κατοικεί στις ασφαλής περιοχές. Βασικός στόχος τους είναι ο συντονισμός του σχεδίου αποστολής και η βελτιστοποίηση των επιχειρήσεων. Οι πρώτοι χώροι διαβίωσης ασφαλίζονται και λειτουργούν. Τέλος, ενεργοποιούνται οι διαδικασίες άντλησης πόρων μέσω γεωθερμικής ενέργειας.

[εικόνα 97] Η τρίτη φάση.

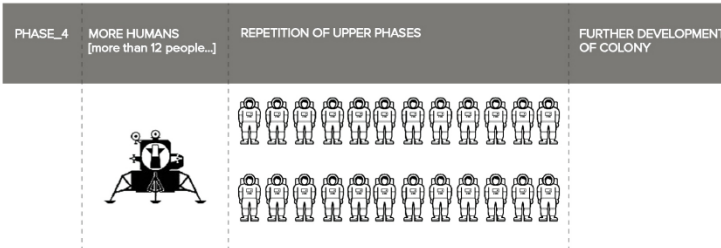


4η φάση:

Η τρίτη αποστολή οχήματος SLS μεταφέρει πιο εξειδικευμένο υλικό και εξοπλισμό για την δημιουργία μεγαλύτερων και πιο εξειδικευμένων ρομπότ, με στόχο την αύξηση ποιότητας της κατασκευής και την ελαχιστοποίηση του χρόνου υλοποίησης της. Σε αυτό το στάδιο, καταφθάνουν και άλλοι άποικοι, σύμφωνα με την εξειδίκευση του καθενός, και κατασκευάζονται οι χώροι πρασίνου και το θερμοκήπιο. Η βασική δομή της κατασκευής καθώς και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά της, όπως παράθυρα και υλικά φινιρίσματος, έχουν

ολοκληρωθεί.

Τέλος, ξεκινάει η τοπική παραγωγή ενέργειας και ολοκληρώνονται οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας υλικών κατασκευής, μειώνοντας σταδιακά την εξάρτηση με τη Γη.



[εικόνα 98] Η τέταρτη φάση.

5η φάση:

Η τελική αποστολή οχήματος SLS μεταφέρει τους υπόλοιπους ανθρώπους και τις ειδικές παραγγελίες. Η κατασκευή του υπόγειου συγκροτήματος είναι έτοιμη και οι εγκαταστάσεις λειτουργούν κανονικά. Σε αυτή τη φάση είναι διαθέσιμες οι διαδικασίες αυτόματης συναρμολόγησης και ενεργοποιούνται τα πρωτόκολλα χωρικής αναδιάταξης προκειμένου τα ρομπότ να λειτουργήσουν διορθωτικά σε μεμονωμένες κατασκευές. Στην τελική φάση, η απαιτούμενη ενέργεια για τη λειτουργία της αποικίας παράγεται αποκλειστικά από εγκαταστάσεις του συγκροτήματος, που βασίζονται σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, χρησιμοποιώντας τις γεννήτριες SRG για έκτακτη ανάγκη. Οι μεταφορές από τη Γη θα περιλαμβάνουν μόνο εξειδικευμένα προϊόντα, όπως φάρμακα. Σε αυτή τη φάση, το γενικό περιβάλλον θα έχει τη μέγιστη επίδραση στην υγεία και τη συμπεριφορά των ανθρώπων. Τέλος, το σύστημα πολλαπλών ρομποτικών πρακτόρων θα είναι διαθέσιμο για λειτουργίες συντήρησης και προσαρμογής στοιχείων της εγκατάστασης, ενώ ο κύριος πυρήνας του ρομποτικού σμήνους θα ξεκινήσει την πρώτη φάση επέκτασης του οικισμού.

Το σμήνος ρομπότ στην κατασκευαστική διαδικασία.
ROBOTIC SWARM FABRICATION

[εικόνα 99] Drones.
Αυτόνομα ρομπότ αέρα.



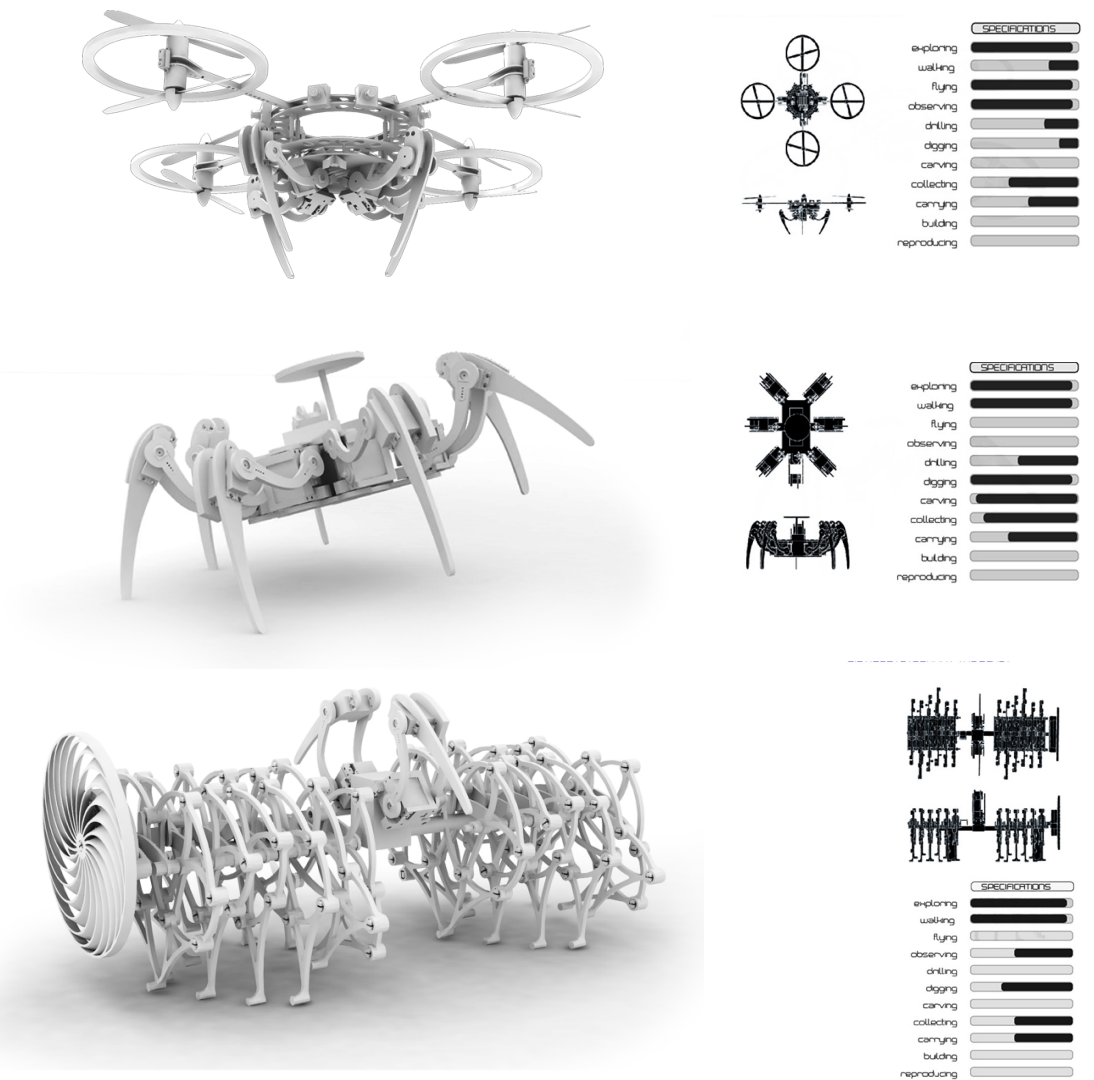
Η εφαρμογή του σχεδίου κατασκευής και η επιτυχία του, στηρίζεται στην χρήση σμήνους ρομπότ (swarm robotics), σε συστήματα πολλαπλών πρακτόρων και στην φορητή ευέλικτη 3D εκτύπωση (3D printing). Αυτές οι τεχνολογίες αποτελούν το πεδίο δράσης των πειραμάτων του εργαστηρίου TUC TIE Lab σχετικά με τα δίκτυα σμήνους ρομπότ, ως μία *“χαμηλού κόστους εναλλακτική ρομποτική λύση για την παρακολούθηση, την καταγραφή και τη συλλογή πόρων”*.

Λαμβάνοντας υπόψη την τοπογραφία του πλανήτη Αρη, η οποία αποτελείται από ανώμαλα εδάφη (σπηλιές και βουνά), τα σμήνη διαφορετικών τύπων ρομπότ αποτελούν την ιδανική επιλογή για την αντιμετώπιση δύσκολων συνθηκών. Το κύριο χαρακτηριστικό των αποστολών που έχουν πραγματοποιηθεί στον Αρη είναι η χρήση ενός τηλεκατευθυνόμενου ρομπότ (rover) σε προσβάσιμα περιβάλλοντα, το οποίο καθιστά την εξερεύνηση δυσπρόσιτων περιοχών μη εφικτή. Επομένως, η χρήση αυτόνομων συστημάτων πολλαπλών πρακτόρων, με αυτόματες λειτουργίες, σε συνδυασμό με ένα σύστημα πλοήγησης με ανοχή σε σφάλματα (Fault-Tolerant System) μπορεί να αποτελέσει μία εναλλακτική λύση εξερεύνησης και κατασκευής. Με αφετηρία την ικανότητα αυτού του συστήματος να μπορεί να διαχειρίζεται δυσπρόσιτες περιοχές, η έρευνα ξεκίνησε με τον συνδυασμό ρομποτικών πρακτόρων εδάφους και αέρα.

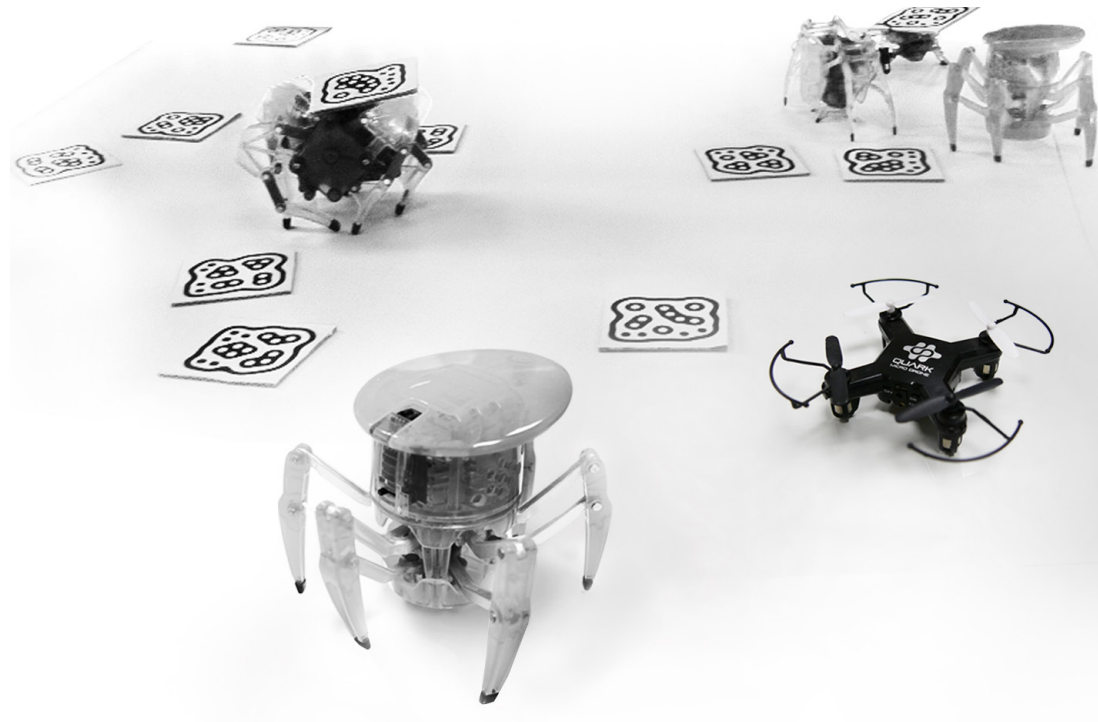
Για την περιβαλλοντική χαρτογράφηση και ανίχνευση, χρησιμοποιούνται σαρωτές laser και συστήματα ταυτόχρονου εντοπισμού και χαρτογράφησης (SLAM).

Στο σενάριο του Αρη, οι ρομποτικοί πράκτορες αναλαμβάνουν τον ρόλο της εξερεύνησης καλύπτοντας μια άγνωστη περιοχή ως συνεργατικό σμήνος. Λαμβάνοντας υπόψη τον “νεκρό χρόνο” μεταξύ Γης και Αρη (6 με 60 λεπτά καθυστέρησης ραδιοφωνικής μετάδοσης) στον οποίο δεν είναι δυνατός ο χειρισμός των ρομπότ από απόσταση, απαιτούνται αυτόματες διαδικασίες λήψης αποφάσεων και ανταπόκρισης για μια γρήγορη και επιτυχή διαδικασία.

Ακόμη, για μια ασφαλή εξερεύνηση άγνωστων περιοχών απαιτείται ένα σύστημα περιβαλλοντικής ανίχνευσης και αποδοτικής πλοήγησης, εκτός από τις αυτοματοποιημένες λειτουργίες. Επιπλέον, κάθε ρομποτικός πράκτορας χρειάζεται πληροφορίες σχετικά με την κατάσταση του, το ευρύτερο περιβάλλον και την σχετική θέση του σε αυτό αλλά και με τα υπόλοιπα μέλη του σμήνους. Μια ακριβής πλοήγηση είναι εφικτή με τον συνδυασμό συστημάτων “αυτόματης τοποθέτησης” (Self-Positioning Systems) και συστημάτων “σχετικής τοποθέτησης” (Relative – Positioning Systems). Για την πραγματοποίηση μιας σχετικής τοποθέτησης είναι κατάλληλος ένας πλήρης αλγόριθμος “ταυτόχρονης τοποθέτησης” και χαρτογράφησης.



Πειραματισμοί: Αναζήτηση και μεταφορά



[Εικόνα 101] Το σενάριο αναζήτησης.

Το σενάριο του πειράματος είναι η μεταφορά ενός αντικειμένου από την αρχική του θέση σε έναν τελικό στόχο που ορίζεται από μία φωτεινή ένδειξη. Το σύστημα καλείται να αντιμετωπίσει δύο βασικά προβλήματα, τον εντοπισμό του στόχου και την επιλογή της βέλτιστης διαδρομής του αντικειμένου. Ο στόχος δεν είναι ορατός από την αρχική θέση του αντικειμένου και οι πιθανές διαδρομές διαφέρουν μεταξύ τους σε απόσταση και δυσκολία πρόσβασης (φυσικά εμπόδια, κενά).

Η συνολική διαδικασία χωρίζεται σε τέσσερα στάδια:

- Στο πρώτο στάδιο μια ομάδα πρακτόρων αναζητά το αντικείμενο, το συλλέγει και το μεταφέρει (εικόνα 101). Παράλληλα, μια άλλη ομάδα διασκορπίζεται στο περιβάλλον αναζητώντας το στόχο.

- Στο δεύτερο στάδιο (εικόνες 102,103), οι πράκτορες δημιουργούν ένα δίκτυο μονοπατιών, συνδέοντας την αρχική και την τελική θέση του αντικειμένου, και επιλέγουν την βέλτιστη διαδρομή.

- Στο τρίτο και το τέταρτο στάδιο, οι πράκτορες που μεταφέρουν το αντικείμενο πρέπει να περάσουν πάνω από ένα άλλο αντικείμενο και μέσα από ένα στενό πέρασμα, επαναπροσδιορίζοντας την θέση τους γύρω από το αντικείμενο.

Το συγκεκριμένο σενάριο παρουσιάζει τα βασικά χαρακτηριστικά του σμήνους από ρομπότ και ιδιαίτερα τρεις βασικές πτυχές του: την αντοχή, την ευελιξία και την πλοήγηση σε μη προσβάσιμες περιοχές. Ο συλλογικός συντονισμός και η ευελιξία της αυτόσυναρμολόγησης (self-assembly) δίνουν την δυνατότητα στο σμήνος ρομπότ να ανταπεξέλθει σε δύσκολες συνθήκες εδάφους και να ολοκληρώσει την αποστολή με επιτυχία.



[Εικόνα 102] Το δεύτερο σενάριο. Οι πράκτορες δημιουργούν ένα δίκτυο μονοπατιών σε οριζόντιο επίπεδο.



[Εικόνα 103] Το δεύτερο σενάριο. Οι πράκτορες επαναπροσδιορίζουν το δίκτυο μονοπατιών σε 3d επίπεδο.

Στις εικόνες 104 και 105 παρουσιάζεται ο σχεδιασμός του περιβάλλοντος στο οποίο λειτουργήσαν οι πράκτορες στο συγκεκριμένο πείραμα. Για την διεξαγωγή του πειράματος, χρησιμοποιήθηκαν εμπορικά ρομπότ μικρής κλίμακας, με προσαρμοσμένο σύστημα ελέγχου και πρωτόκολλο επικοινωνίας. Ορισμένα από αυτά είναι:

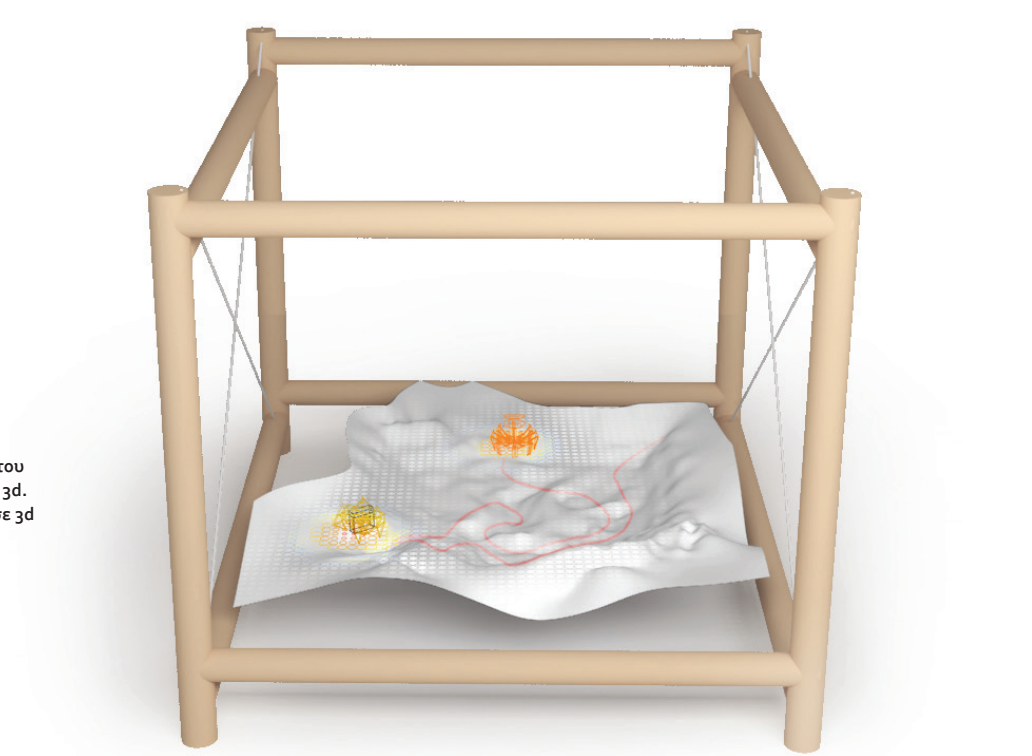
Arachnoid 6 legs-1 arm bot, το οποίο μεταφέρει έναν ρομποτικό βραχίονα για διαδικασίες εκσκαφής και τρισδιάστατης εκτύπωσης.

Nano-arachnoid, το οποίο αναλαμβάνει κυρίως εργασίες δικτύωσης, **Arachnoid drone**, το οποίο συμμετέχει σε λειτουργίες εξερεύνησης και συντονισμού, φέροντας ένα σύστημα σάρωσης.

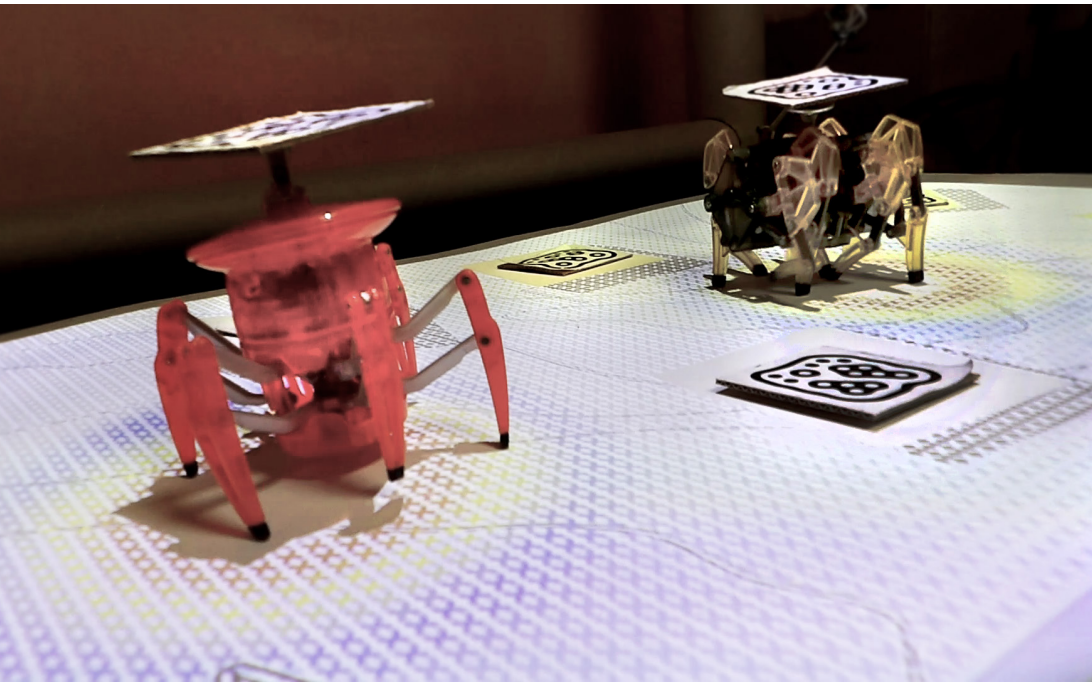
Carrier 12 legged bot, για την μετακίνηση αντικειμένων, όπως αναφέρθηκε στο σενάριο αποστολής.



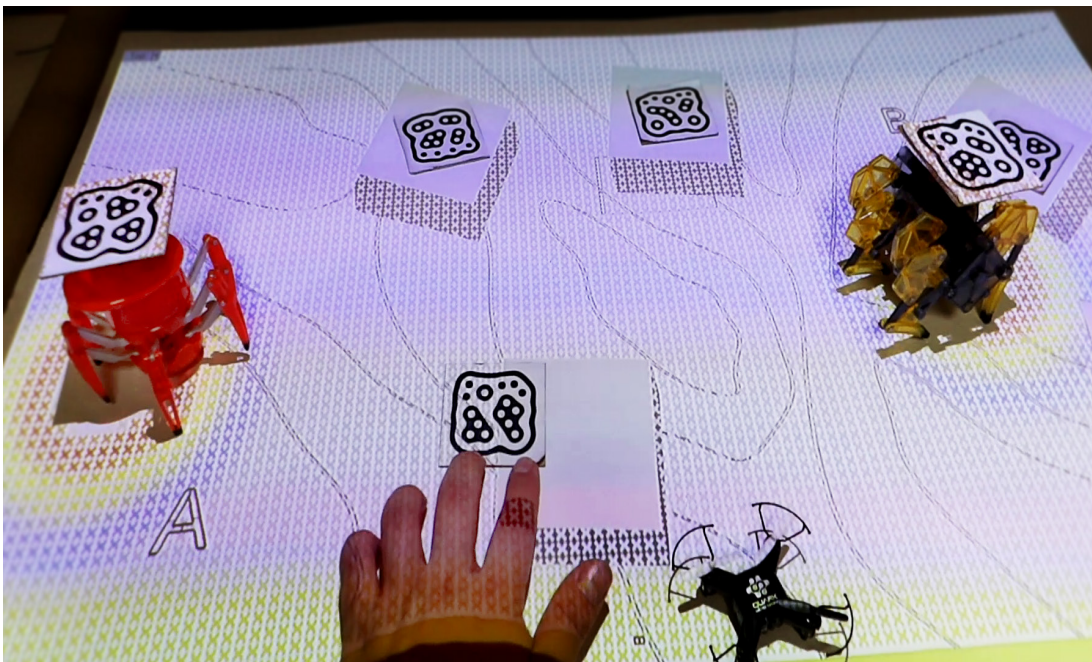
[εικόνα 104] Προσομοίωση του πειράματος στο Rhinoceros 3d. Η περίπτωση αναζήτησης σε οριζόντιο επίπεδο.



[εικόνα 105] Προσομοίωση του πειράματος στο Rhinoceros 3d. Η περίπτωση αναζήτησης σε 3d επίπεδο.



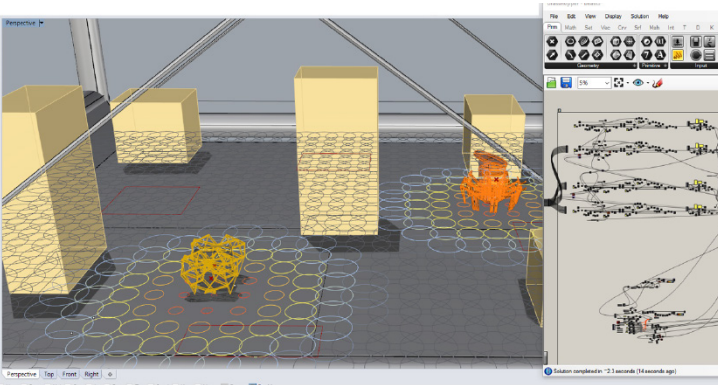
[εικόνα 106] Στιγμιότυπο από βίντεο. Το σενάριο αναζήτησης και μεταφοράς.



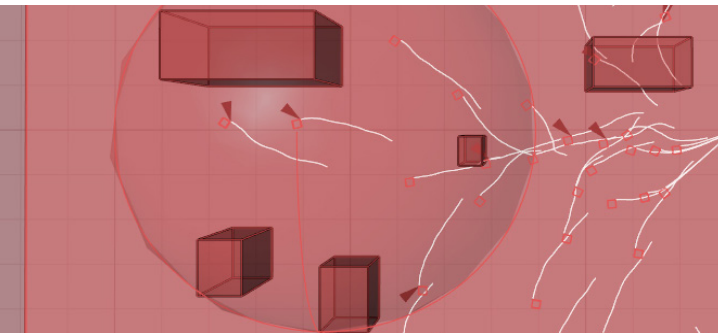
[εικόνα 107] Στιγμιότυπο από βίντεο. Το σενάριο αναζήτησης και μεταφοράς και οι αλλαγές εμποδίων σε πραγματικό χρόνο.

Εργαλείο προσομοίωσης σμήνους μέσω Grasshopper

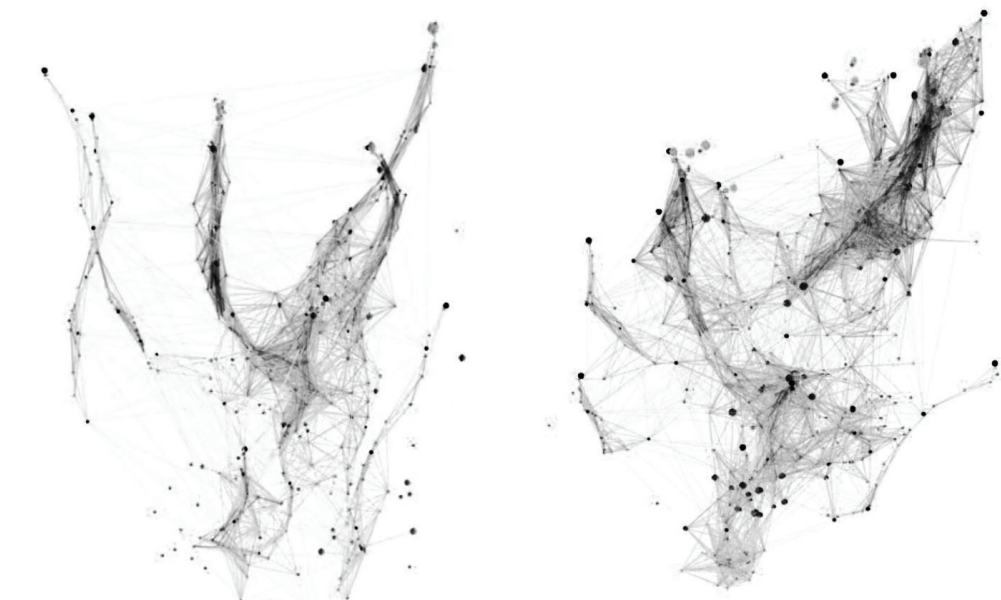
Παράλληλα με τον σχεδιασμό του περιβάλλοντος στο οποίο δρουν τα ρομπότ, αναπτύχθηκε και ένα εργαλείο προσομοίωσης συμπεριφοράς και διαχείρισης του σμήνους. Ενώ τα περισσότερα εργαλεία στην αγορά εστιάζουν σε μεμονωμένες πτυχές της συμπεριφοράς σμήνους σε δισδιάστατα περιβάλλοντα, το παρόν εργαλείο αναπτύχθηκε με σκοπό την τρισδιάστατη αναπαράσταση της κινηματικής συμπεριφοράς και διαχείρισης του σμήνους. Το εργαλείο αυτό δημιουργήθηκε μέσα στο περιβάλλον του Grasshopper και χρησιμεύει για την αξιολόγηση νέων πιθανών σχεδιαστικών διατάξεων του πειράματος σε 3d, καθώς και για την γρήγορη αξιολόγηση νέων ιδεών κατανεμημένου ελέγχου πριν τη μεταφορά σε πραγματικό εξοπλισμό.



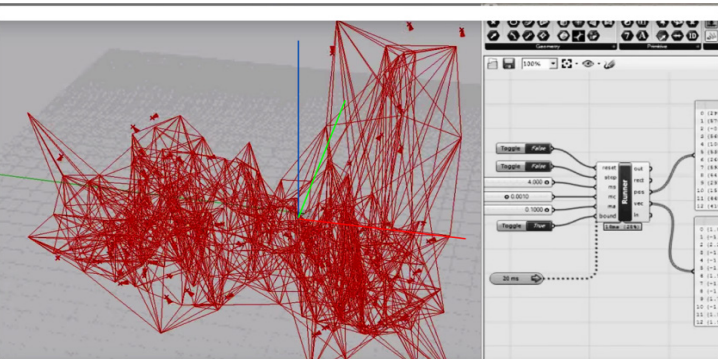
[εικόνα 108] Το εργαλείο προσομοίωσης και η σύνδεση με το πραγματικό περιβάλλον.



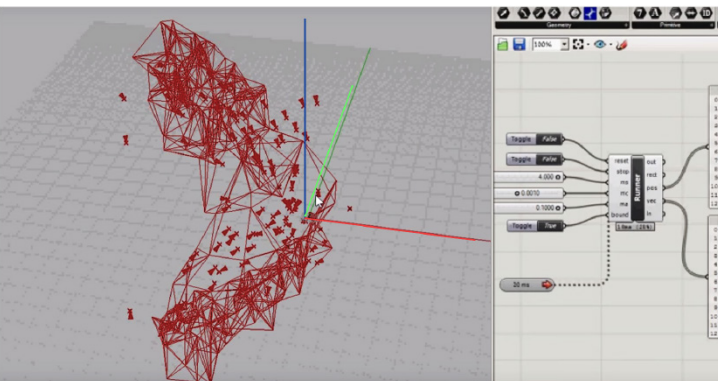
Τα κύρια χαρακτηριστικά αυτού του περιβάλλοντος είναι η τρισδιάστατη αναπαράσταση κινηματικής σμήνους, ο διαδραστικός έλεγχος, η διαχείριση μοντέλων πολλαπλών επιπέδων και ο χειρισμός του σμήνους. Ο διαδραστικός έλεγχος κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης, προσφέρει την δυνατότητα ταχείας τροποποίησης του αλγορίθμου ελέγχου. Οι χρήστες μπορούν να επιβλέψουν την διαδικασία και να την διορθώσουν ενώ βρίσκεται σε λειτουργία (εικόνες 108,109,110 και 111).



[εικόνα 109] Στιγμιότυπο κίνησης του σμήνους για την εύρεση του τελικού στόχου μέσα από μια σύντομη διαδρομή. Αποτέλεσμα των προγραμμάτων: Processing-3ds Max-Grasshopper.



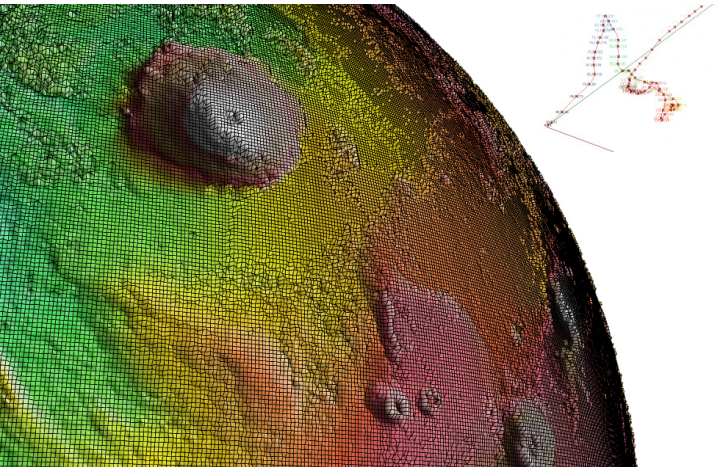
[εικόνα 110] Το σμήνος αέρα κατά τη διάρκεια δημιουργίας δικτύου επικοινωνίας μέσα από το Grasshopper.



[εικόνα 111] Το σμήνος εδάφους κατά τη διάρκεια δημιουργίας δικτύου επικοινωνίας μέσα από το Grasshopper.

Σύστημα πλοήγησης

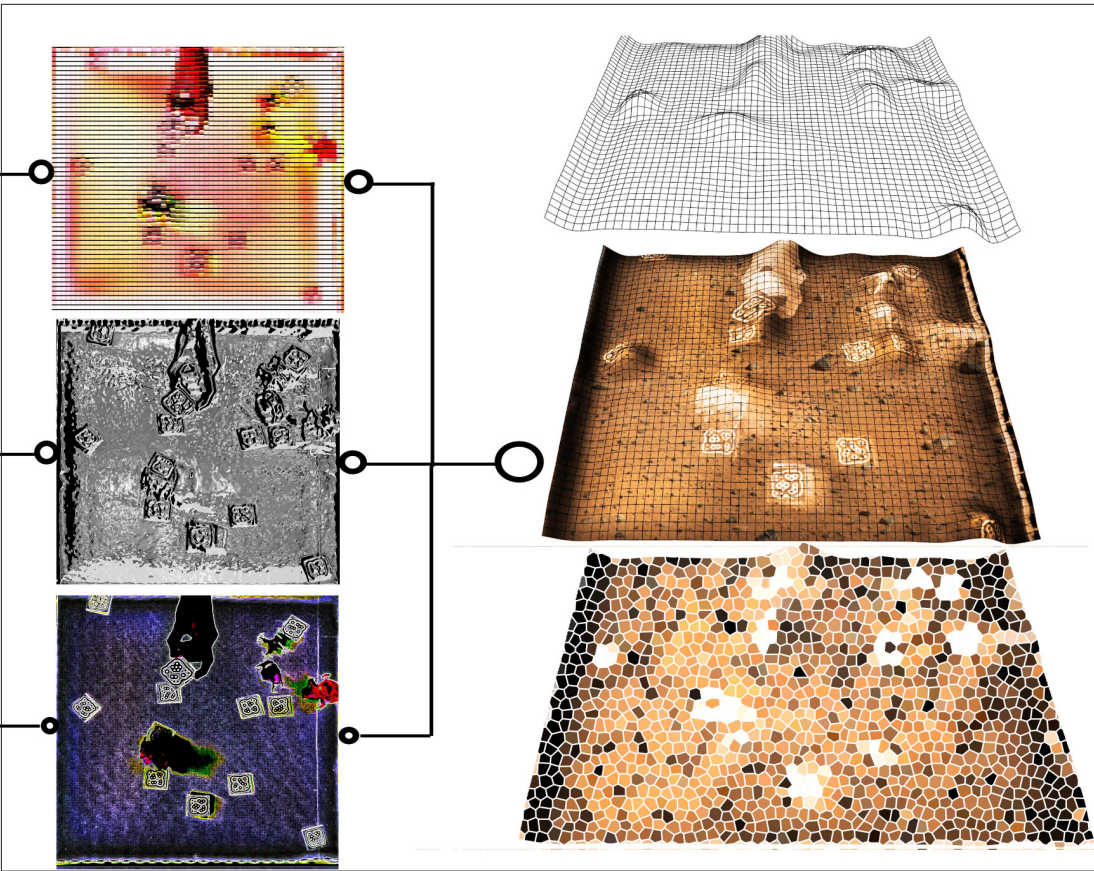
Ενα σύνθετο περιβάλλον απαιτεί ευέλικτες και αποδοτικές διαδικασίες πλοήγησης. Τα ρομπότ χρειάζονται πληροφορίες σχετικά με την θέση τους, το έδαφος στο οποίο βρίσκονται και τη σχετική θέση τους σε συνάρτηση με τα περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά και τα υπόλοιπα μέλη του σμήνους. Μια ακριβής πλοήγηση γίνεται εφικτή με τον συνδυασμό συστημάτων αυτό-τοποθέτησης (Self-Positioning Systems) και συστημάτων σχετικής τοποθέτησης (Relative – Positioning Systems), θέτοντας έτσι την βάση για έναν αλγόριθμο ταυτόχρονης τοποθέτησης και χαρτογράφησης για τον εντοπισμό μιας σχετικής θέσης (εικόνα 112).



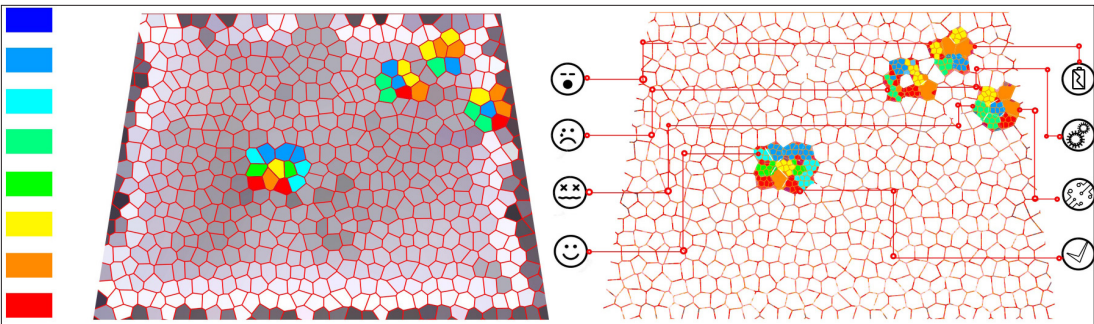
[εικόνα 112] Το ανάγλυφο του πλανήτη Αρη μέσα από το Grasshopper. Για τη δημιουργία του τρισδιάστατου έγινε χρήση των χαρτών της NASA για τα ύψη του πλανήτη. NASA, 7:35AM (GMT+1), "Touchdown confirmed for Mars Curiosity.

Χαρτογράφηση

Βασικός στόχος είναι η αναδιατύπωση της πληροφορίας εδάφους του Αρη μέσω της χρήσης νέων δεδομένων που έχουν συλλέξει τα ρομπότ. Μέσα από την χρήση μιας κοινής πλατφόρμας επικοινωνίας, η οποία αποτελείται από κοινά διακριτά σημεία και οπτικές πληροφορίες εδάφους (μέσω διαφορετικών γωνιών και υψών), παράλληλες τοπογραφικές πληροφορίες μπορούν να συνδυαστούν, να αναλυθούν και να επεξεργαστούν έτσι ώστε να δημιουργηθεί ένας συλλογικός χάρτης που μοιράζονται τα ρομπότ σε πραγματικό χρόνο (εικόνες 113 και 114). Επομένως, άγνωστα εδάφη με διαφορετικά τοπογραφικά χαρακτηριστικά μπορούν να χαρτογραφηθούν με τον βέλτιστο τρόπο έτσι ώστε να ικανοποιούν τους στόχους της αποστολής.



[εικόνα 113] Η κοινή πλατφόρμα επικοινωνίας και οι οπτικές πληροφορίες εδάφους για τη δημιουργία ενός συλλογικού χάρτη.



[εικόνα 114] Χάρτης παρακολούθησης θέσης, αναφοράς εργασίας, συναισθηματικής (λειτουργικής) κατάστασης.

Συμπεράσματα

Τα θετικά αποτελέσματα του πειράματος μας ωθήσαν στην διεξαγωγή νέων πολύπλοκων σεναρίων, όπως η δημιουργία τρισδιάστατων στοιχείων και η συναρμολόγησή τους σε συγκεκριμένες τοποθεσίες. Επίσης, διερευνάται ο βαθμός πολυπλοκότητας του σχεδιασμού σε σχέση με τις δυνατότητες της κατασκευαστικής διαδικασίας.

Ακόμη, προκύπτουν αρκετά ερωτήματα σχετικά με την επικοινωνία χρήστη και σμήνους. Στο πείραμα έγινε χρήση του προγράμματος Grasshopper ως διαμεσολαβητή μεταξύ αυτών των δύο. Εν τούτοις, χρειάζεται περαιτέρω έρευνα σχετικά με την δημιουργία ενός νέου κοινού περιβάλλοντος, το οποίο ενσωματώνει τις βασικές αρχές του σμήνους ρομπότ και παράλληλα αποτελεί ένα περιβάλλον φιλικό προς τον χρήστη, ο οποίος καλείται να διαχειριστεί την διαδικασία κατασκευής.

Στόχος του εργαστηρίου TUC TIE Lab σχετικά με τα δίκτυα σμήνους ρομπότ, ως μία "χαμηλού κόστους εναλλακτική ρομποτική λύση για την παρακολούθηση, την καταγραφή και τη συλλογή πόρων", που βασίζεται στην πρόταση του Gadsby (2010), είναι η εξερεύνηση όλων των βασικών στοιχείων τα οποία δημιουργούν ένα αξιόπιστο πλαίσιο για εφαρμογές ρομποτικού σμήνους, είτε στην κατασκευή αποικίας είτε στις αποστολές εξερεύνησης.

4.3.2 WORLDCRAFT: Μια γεφύρωση
πραγματικού – ψηφιακού

*‘Το εργαλείο Worldcraft και η περιγραφή της μεθοδολογίας για την γεφύρωση
πραγματικού - ψηφιακού με στόχο την κατασκευή’*

Μέρος Διπλωματικής εργασίας



Εισαγωγή

Στα πλαίσια της ρομποτικής στην αρχιτεκτονική, η παρούσα έρευνα εστιάζει στην επικοινωνία μεταξύ σχεδιαστή και ρομποτικού σμήνους στην διαδικασία της κατασκευής. Λαμβάνοντας υπόψη τα συμπεράσματα της προηγούμενης έρευνας (αποικία στον Αρη) και εστιάζοντας στις δυσκολίες επικοινωνίας και διαχείρισης του σμήνους από τον χρήστη, γίνεται μια προσπάθεια διερεύνησης ενός νέου εργαλείου επικοινωνίας και ανάλυσης ενός συνολικότερου συστήματος στο οποίο λαμβάνει χώρα.

Στόχος

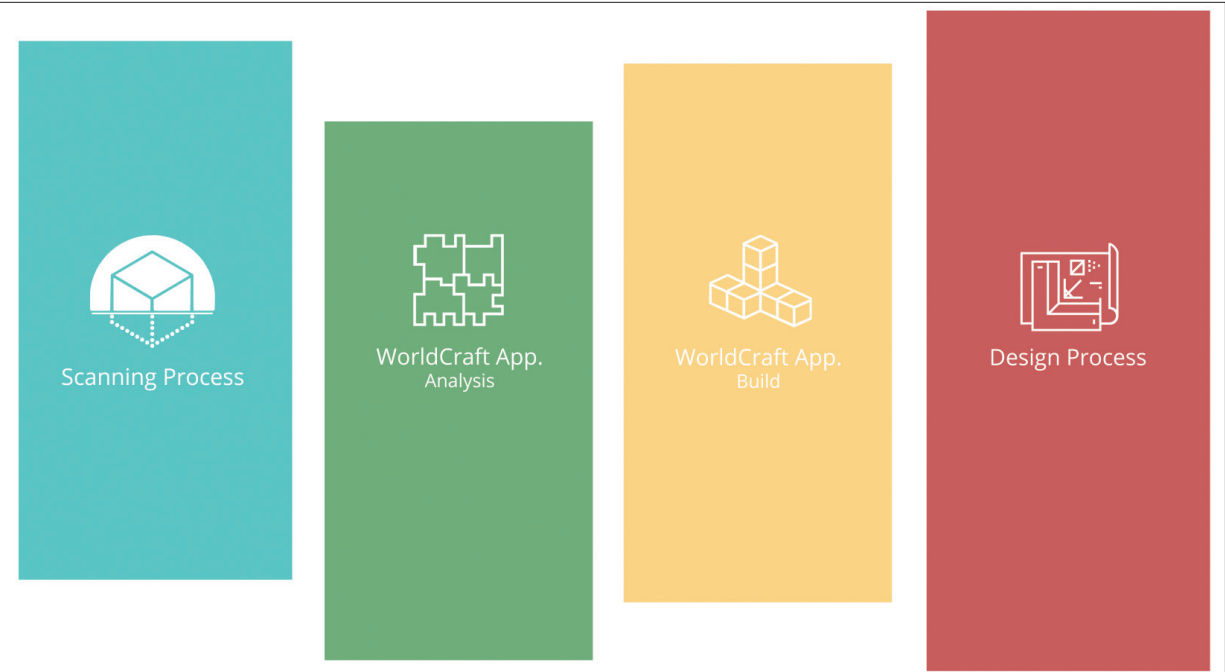
Η συγκεκριμένη έρευνα προσπαθεί να εξερευνήσει ένα νέο σχεδιαστικό εργαλείο μέσα από το οποίο ο σχεδιαστής θα έχει την δυνατότητα να επικοινωνήσει με ένα σμήνος αυτόνομων ρομποτικών πρακτόρων, με σκοπό τον σχεδιασμό και την κατασκευή ενός πολύπλοκου κτιριακού όγκου, χρησιμοποιώντας γεωμορφολογικά δεδομένα. Με λίγα λόγια, στόχος είναι να δημιουργηθεί μια αποτελεσματική πλατφόρμα επικοινωνίας μεταξύ πραγματικού – εικονικού.

Βασισμένο σε μια υπάρχουσα πλατφόρμα το Minecraft, το νέο αυτό εργαλείο προσπαθεί να μεταφέρει την εμπειρία του χώρου μεταξύ πραγματικού και ανάλυσης δομής, να διαχειριστεί την πολυπλοκότητα του σχεδιασμού, το δομημένο περιβάλλον αλλά και τον προγραμματισμό των ρομπότ, προκειμένου να προσφέρει πληροφορίες για το περιβάλλον εφαρμογής, καθώς και νέες δυνατότητες κυρίως ως προς την πραγματοποίηση απαιτητικών αρχιτεκτονικών έργων.

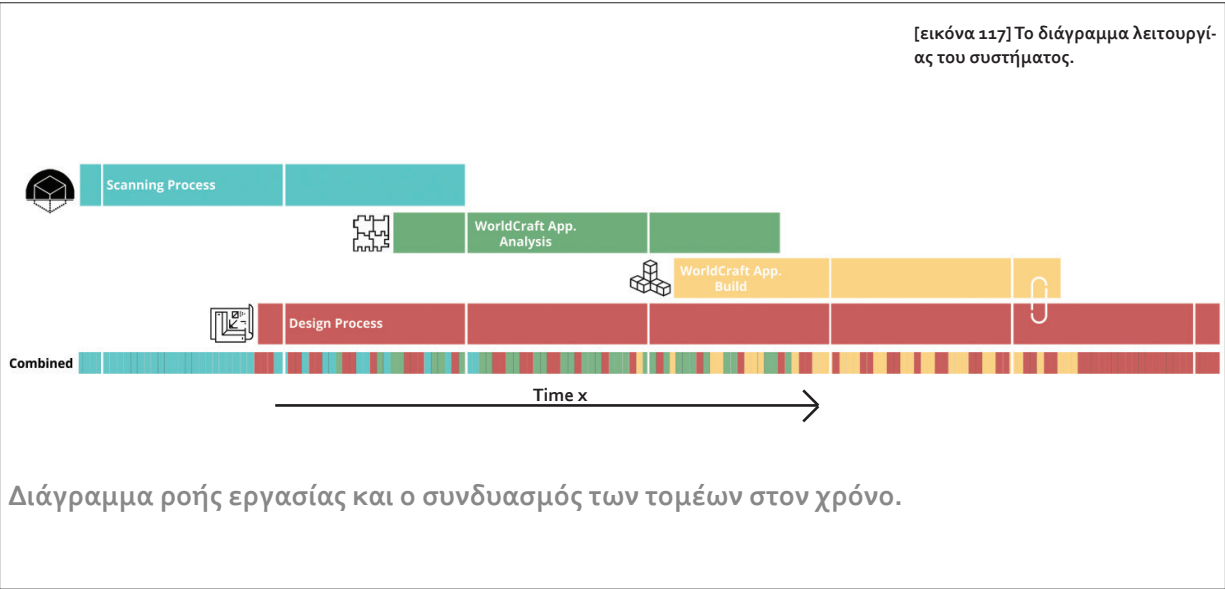
Το εργαλείο ονομάζεται Worldcraft και η λειτουργία του βασίζεται στις σχέσεις ενός ευρύτερου συστήματος. Για την κατανόηση του εργαλείου είναι σημαντική η διερεύνηση της λειτουργίας του.

Το σύστημα αποτελείται από τέσσερα στάδια, την αποτύπωση και δημιουργία βάσης δεδομένων, την διαδικασία κυβοποίησης, την κωδικοποίηση του σχεδιασμού για τη διαδικασία της κατασκευής και τέλος τη μεθοδολογία του σχεδιασμού, ο οποίος διεξάγεται από την αρχή του συστήματος παράλληλα με τα ενδιάμεσα στάδια (εικόνα 117).

Επομένως, η έρευνα εστιάζει στα διαφορετικά στάδια του συστήματος και στις σχέσεις μεταξύ αυτών, καθώς, όπως αναφέρθηκε και στο πρώτο κεφάλαιο, η ρομποτική και συγκεκριμένα το ρομποτικό σμήνος στην διαδικασία του σχεδιασμού και κατασκευής, απαιτεί μια ολιστική προσέγγιση των διαδικασιών με έμφαση στις σχέσεις ενός συστήματος.



A. Scanning Process - Αποτύπωση και δημιουργία βάσης δεδομένων
B. WorldCraft App. Analysis - Διαδικασία κυβοποίησης
C. WorldCraft App.Build - Κωδικοποίηση του σχεδιασμού για την διαδικασία της κατασκευής
D. Design Process - Ο σχεδιασμός



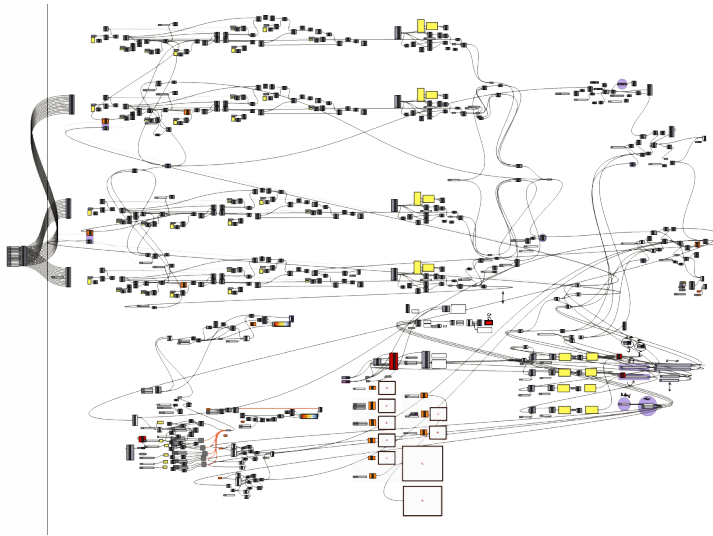
[εικόνα 117] Το διάγραμμα λειτουργίας του συστήματος.

Διάγραμμα ροής εργασίας και ο συνδυασμός των τομέων στον χρόνο.

Η τρέχουσα προσέγγιση

Τα ρομπότ στον σχεδιασμό είναι χρήσιμα στο να εκτελούν απλές εντολές σε ελεγχόμενα περιβάλλοντα. Οι σχεδιαστές είναι σε θέση να παράγουν μικρές δομές με μεγάλη σχεδιαστική ελευθερία. Ωστόσο, όταν έρχονται αντιμέτωπα με ένα ευρύτερο περιβάλλον και έναν πολύπλοκο σχεδιασμό, τα ρομπότ θα πρέπει να εκτελέσουν πιο απαιτητικές σε αριθμό και πολύπλοκες εργασίες. Αυτή η διαδικασία απαιτεί την εκτέλεση πειραμάτων και τη συλλογή δεδομένων για την ανάπτυξη και την εκπαίδευση νέων αλγορίθμων, καθώς και την δημιουργία νέων σχεδιαστικών εργαλείων τα οποία αποδεικνύονται αρκετά ακριβά. Παρ’ όλα αυτά, πολλές έρευνες εστιάζουν στην ανάπτυξη μηχανισμών και εργαλείων προκειμένου να αυξήσουν την ακρίβεια του σμήνους από ρομπότ ή τη λεπτομέρεια του προγραμματισμού τους, καθώς και την καλύτερη διαχείριση του τρισδιάστατου σχεδιαστικού μοντέλου, τα οποία απαιτούν αρκετούς πόρους.

Ακόμη, προκύπτουν αρκετά ερωτήματα σχετικά με την επικοινωνία χρήστη και σμήνους. Στο πείραμα της προηγούμενης έρευνας, έγινε χρήση του προγράμματος Grasshopper σαν μέσο επικοινωνίας μεταξύ αυτών των δύο. Το συγκεκριμένο εργαλείο απαιτεί εξειδίκευση, γνώσεις προγραμματισμού για τη διαχείριση σμήνους, καθώς παρουσιάζει δυσκολίες στην επεξεργασία δεδομένων. Εν τούτοις, χρειάζεται περαιτέρω έρευνα σχετικά με την δημιουργία ενός νέου κοινού περιβάλλοντος το οποίο ενσωματώνει τις βασικές αρχές του σμήνους ρομπότ και παράλληλα αποτελεί ένα περιβάλλον φιλικό προς τον χρήστη, ο οποίος καλείται να διαχειριστεί την διαδικασία της κατασκευής.



[εικόνα 118] Το αρχείο Grasshopper, της πρώτης έρευνας, και η πολυπλοκότητα χειρισμού του σμήνους.

Η υπόθεση

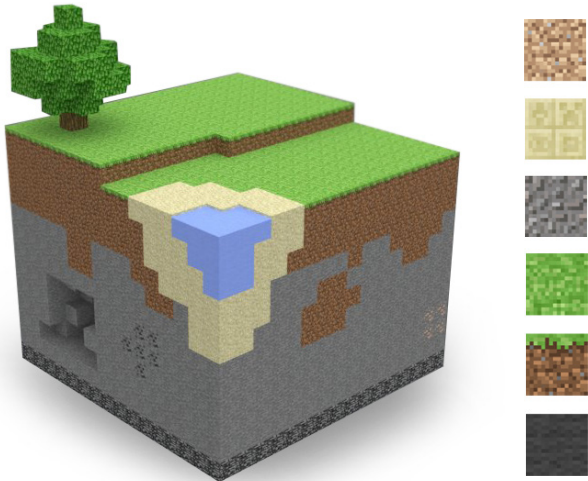
Η παρούσα εργασία βασίζεται σε μια προσέγγιση που εξερευνά την βέλτιστη αναλογία σχεδιαστικής ανάλυσης και κατασκευής, η οποία παρέχει μια εφικτή λύση για μια πλατφόρμα που μπορεί να διαχειριστεί το σμήνος ρομπότ και να δημιουργήσει ένα νέο τύπο δομημένου περιβάλλοντος. Ετσι, αντί να προδιαγράψουμε μηχανές και λογισμικό που θα χρειαστούν χρόνια ερευνών, έχει δημιουργηθεί ένα νέο εργαλείο στην υπάρχουσα πλατφόρμα Minecraft, το Worldcraft.

Το Minecraft επιλέχθηκε ως βασική πλατφόρμα εφαρμογής του εργαλείου γιατί λόγω της ιδιότητάς του ως παιχνίδι αυτο-αναβαθμίζεται και αυτο-βελτιώνεται συνεχώς, κυρίως λόγω της δυνατότητας επεξεργασίας του πηγαίου κώδικα.

Το εργαλείο αυτό εξετάζεται στα πλαίσια του αρχιτεκτονικού σχεδιασμού και κατασκευής. Για τις ανάγκες της έρευνας χρησιμοποιείται μια υφιστάμενη περιοχή και τίθενται οι σχεδιαστικές αρχές και προθέσεις.

Τι είναι το Worldcraft

Αρχικά, το Worldcraft αποτελεί ένα μέσο κωδικοποίησης του σχεδιαστικού μοντέλου σε πληροφορία κατασκευής για το ρομποτικό σμήνος. Μπορεί να μειώσει την σχεδιαστική ανάλυση, έτσι ώστε στην φάση της κατασκευής να χρησιμοποιεί λιγότερη υπολογιστική ισχύ από αυτή που παρέχουν τα παραδοσιακά μοντέλα σχεδιασμού, αλλά παρ’ όλα αυτά να παραμένει αρκετά κοντά στο πρότυπο σχεδιαστικό μοντέλο σαν ποιότητα. Επίσης, στην αρχική φάση δημιουργίας του περιβάλλοντος εφαρμογής, χρησιμοποιείται σαν εργαλείο προσομοίωσης του φυσικού κόσμου, προσφέροντας την δυνατότητα επεξεργασίας στοιχείων απαραίτητων για την διαδικασία σύνθεσης.



[εικόνα 119] Μοντέλο ανάλυσης του εργαλείου Worldcraft στο νησί Ημερη Γραμβούσα.

Το Worldcraft και το ρομποτικό σμήνος

Ενα από τα βασικά χαρακτηριστικά του εργαλείου είναι η διαδικασία επιτήρησης και αξιολόγησης της διαδικασίας κατασκευής. Κάθε φορά που το σύστημα ξαναδίνει εντολές στο σμήνος από ρομπότ, ενεργοποιείται ταυτόχρονα η ανάδραση (feedback), η οποία σχετίζεται με τους χωρικούς μετασχηματισμούς, σύμφωνα με τις παραμέτρους που έχει θέσει ο σχεδιαστής.

Σε αυτό το συγκεκριμένο σύστημα, ο παράγοντας του χρόνου παίζει καθοριστικό ρόλο. Η διαδικασία δεν ολοκληρώνεται κατά την πρώτη ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ πλατφόρμας και ρομπότ, αλλά το σύστημα πρέπει να ζητάει επαναλαμβανόμενα και να λαμβάνει επιβεβαίωση για τις χωρικές αλλαγές. Η αξιολόγηση και η επιβεβαίωση, σαν διαδικασίες, αποτελούνται από μια σειρά συνθηκών εντός του συστήματος. Επομένως, το σύστημα δεν είναι reactive (αντιδραστικό) αλλά sensible (λογικό), δηλαδή, είναι σε θέση να κατανοήσει και να ορίσει τις συνθήκες μέσα σε ένα πλαίσιο.



Το Worldcraft και η διαδικασία του σχεδιασμού

Η διαδικασία σχεδιασμού πραγματοποιείται παράλληλα με τη λειτουργία του συστήματος. Αρχικά, χρησιμοποιεί τις πληροφορίες από το εικονικό περιβάλλον της εφαρμογής και στη συνέχεια χρησιμοποιεί το εργαλείο για την διαδικασία της κατασκευής. Σε αυτό το στάδιο, ο χρήστης μπορεί να τροποποιήσει τον σχεδιασμό με βάση τις ανάγκες της κατασκευής μέχρι να καταλήξει στο επιθυμητό στάδιο επεξεργασίας, στο οποίο αρχίζει η διαδικασία κατασκευής από τα ρομπότ.

Η δομή της έρευνας

Το νέο εργαλείο αναλύεται μέσα από τα στάδια του συστήματος. Βασική προϋπόθεση για την κατανόησή του είναι αρχικά η ανάλυση της πλατφόρμας Minecraft και τα πλεονεκτήματα σαν εργαλείο έρευνας και στη συνέχεια η ανάλυση του εργαλείου Worldcraft.

Το Minecraft σαν εργαλείο έρευνας

Τι είναι το Minecraft;

Το 2009, ο προγραμματιστής Zachary Barth δημιούργησε το παιχνίδι Infiniminer (<http://www.zachtronics.com/infiniminer/>). Μέσα από αυτό το παιχνίδι, δημιουργήθηκε ένας νέος τρόπος απεικόνισης περιβάλλοντος παιχνιδιού με απλές ανεξάρτητες οντότητες σε σχήμα κύβου και η παραγωγή υλικών και τρισδιάστατων μοντέλων μέσω της μεθόδου τυχαίας αναπαραγωγής (δημιουργία δεδομένων αλγοριθμικά). Οι χρήστες που εισέρχονται σε αυτόν τον τυχαία παραγόμενο κόσμο του παιχνιδιού τοποθετούν μπλοκ και δημιουργούν δομές. Με βάση ένα απλό στοιχείο, όπως ένα pixel, μπορεί κανείς να δημιουργήσει σχεδόν ό,τι επιθυμεί. Αυτός ο έξυπνος μηχανισμός παραγωγής περιβάλλοντος ενέπνευσε τον Markus Notch Persson να δημιουργήσει την δική του έκδοση αυτού του παιχνιδιού, το Minecraft. Βασισμένο στη γλώσσα προγραμματισμού Java, προσφέρει την επιλογή τόσο του ατομικού παιχνιδιού (single player) όσο και του ομαδικού (multiplayer) μέσα από μια ποικιλία σεναρίων (survival, creative, adventure, hardcore, spectator). Η πολυπλοκότητα του Minecraft, στο διάστημα λειτουργίας του (2011 έως και σήμερα), έχει αυξηθεί σε μεγάλο βαθμό και αυτό οφείλεται στον αριθμό χρηστών που συνεχώς ανανεώνουν με νέα δεδομένα το περιβάλλον του παιχνιδιού. Περισσότερη λειτουργικότητα συμπεριλήφθηκε μέσα από μια ποικιλία νέων, διαφορετικών κύβων. Για παράδειγμα, σε έναν κύβο από χώμα μπορεί να καλλιεργηθούν φυτά, ή ένας κύβος από άνθρακα μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο άναμμα ενός φούρνου. Επομένως, οι παίκτες δεν τοποθετούν μόνο κύβους για την δημιουργία στατικών αναπαραστάσεων στοιχείων του πραγματικού κόσμου, αλλά χρησιμοποιούν και τη λειτουργικότητα των κύβων για την δημιουργία πολύπλοκων μηχανών και δυναμικών περιβαλλόντων.



Η δυνατότητα μετατροπών της πλατφόρμας, και ιδιαίτερα ο δημιουργικός χαρακτήρας του παιχνιδιού, συνέβαλαν στην δημιουργία ενός μεγάλου όγκου πληροφορίας από τους χρήστες. Σύντομα, οι χρήστες ξεπέρασαν τα όρια του παιχνιδιού και δημιούργησαν νέους κόσμους, φανταστικούς και πραγματικούς. Προσθέτοντας νέα δεδομένα και χαρακτηριστικά κατέστησαν το Minecraft ένα από τα πιο επιτυχημένα παιχνίδια της αγοράς.



[εικόνα 122] Παραδείγματα κατασκευών από τους χρήστες του Minecraft, στο creative mode.

Το Minecraft σαν εκπαιδευτικό εργαλείο

Το Minecraft χρησιμοποιείται ήδη ως εκπαιδευτικό εργαλείο σε διαφορετικά πεδία σε όλον τον κόσμο (MinecraftTeachers, 2015. Short, 2012). Μερικά από αυτά είναι η εισαγωγή στην χωρική γεωμετρία σε τάξεις του δημοτικού, η διδασκαλία σχετικά με τον αειφόρο σχεδιασμό, η ανάπτυξη κοινωνικών δεξιοτήτων, τα μαθήματα ψηφιακής τέχνης και η διδασκαλία χημείας. Η εταιρεία Mojang, ο εκδότης του παιχνιδιού, και η φιλανθρική εταιρία TeacherGaming LLC, δημιούργησαν μια παραλλαγή του παιχνιδιού ειδικά προσαρμοσμένη στις ανάγκες των εκπαιδευτικών. Η εκπαιδευτική έκδοση ενσωματώνει εργαλεία για δασκάλους σχετικά με τον σχεδιασμό και την διαχείριση της εκπαιδευτικής διαδικασίας. Στη συνέχεια, μέσα από αυτή την πλατφόρμα αναπτύχθηκε μια κοινότητα δασκάλων (MinecraftTeachers, 2015) μέσα από την οποία μοιράζονται διαφορετικά περιβάλλοντα και διερευνώνται νέοι μέθοδοι διδασκαλίας (για παράδειγμα το The Land of Turtles, στο οποίο οι μαθητές μαθαίνουν να προγραμματίζουν μικρά ρομπότ, ή το Wonderful World of Humanities όπου οι μαθητές διερευνούν διαφορετικές ιστορικές περιόδους).



[εικόνα 123] Το Minecraft στην εκπαίδευση της εταιρείας eacherGaming LLC. Minecraft Edu (<https://education.minecraft.net/>)

To Minecraft στην έρευνα

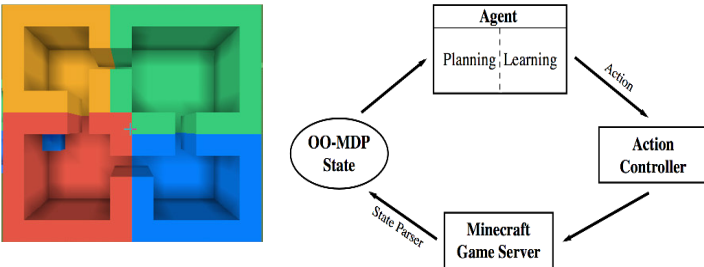
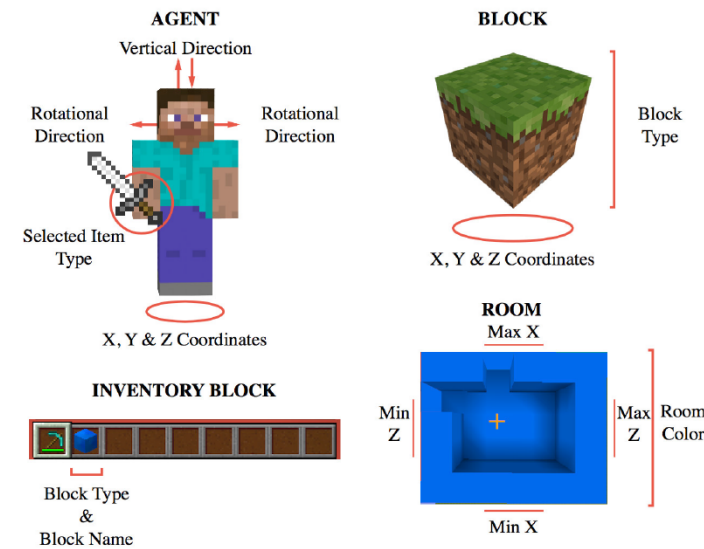
Η σχέση μεταξύ ηλεκτρονικών παιχνιδιών και έρευνας εξετάζεται αρκετό καιρό από τους ερευνητές. Τα ηλεκτρονικά παιχνίδια προσφέρουν στους ερευνητές έτοιμα εικονικά περιβάλλοντα και μια ποικιλία εργαλείων διαχείρισης αυτών. Στο πεδίο της εκπαίδευσης, οι ερευνητές προσπαθούν μέσα από υφιστάμενα παιχνίδια, να δημιουργήσουν εργαλεία μάθησης και επικεντρώνονται στην εκπαιδευτική διαδικασία παρά στην δημιουργία περιβαλλόντων. Για παράδειγμα, στο παιχνίδι “Escape from Diab” (Thompson et al., 2008), οι ερευνητές συνδύασαν τις επιστήμες της συμπεριφοράς και τα ηλεκτρονικά παιχνίδια προκειμένου να αντιμετωπίσουν την παχυσαρκία και τον διαβήτη τύπου 2. Στον τομέα της ρομποτικής, τα ηλεκτρονικά παιχνίδια χρησιμοποιούνται σαν πλατφόρμες επικοινωνίας, προγραμματισμού και εκπαίδευσης των ρομπότ [78].

Η βασική δυσκολία μετατροπής ενός παιχνιδιού σε εργαλείο έρευνας είναι η πρόσβαση στον κώδικα αυτού. Αυτό απαιτεί γνώσεις προγραμματισμού και ορισμένες φορές η μετατροπή ενός παιχνιδιού επηρεάζει την βασική δομή μιας έρευνας. Στην περίπτωση του Minecraft, η επεξεργασία και η προσαρμογή του συστήματος σε εργαλείο έρευνας δεν απαιτεί ιδιαίτερες γνώσεις προγραμματισμού καθώς βασικό χαρακτηριστικό του παιχνιδιού είναι η δυνατότητα τροποποίησης του πηγαίου κώδικα. Ακόμη, λόγω του μεγάλου αριθμού χρηστών που ενημερώνουν συνεχώς το σύστημα με νέα δεδομένα, το Minecraft αποτελεί το ιδανικό εργαλείο για έρευνες μεγάλης κλίμακας με αρκετή πολυπλοκότητα.



[εικόνα 124] Minecraft Αρχαία Ελλάδα. Μέσα από αυτό, ο παίκτης θα έχει την δυνατότητα να περιηγηθεί σε ελληνικές πόλεις (Σπάρτη, Αθήνα, Πέλλα, Ολυμπία) και να γνωρίσει ψηφιακά τόπους με ιδιαίτερη αρχαιολογική σημασία.

Οι ερευνητές Krishna Aluru, Stefanie Tellex, John Oberlin και James MacGlashan δημιούργησαν ένα νέο εργαλείο μέσα από το Minecraft, το BurlapCraft, για την μοντελοποίηση και την επίλυση ρομποτικών εργασιών μέσα σε ένα πολύπλοκο περιβάλλον, με τελικό στόχο την δημιουργία ενός δοκιμαστικού περιβάλλοντος για την εφαρμογή τεχνητής νοημοσύνης στη ρομποτική. Το Minecraft, διευκόλυνε την διαδικασία σχεδίασης διαφορετικών σεναρίων και την εισαγωγή αλγορίθμων μάθησης, με αποτέλεσμα την διεξαγωγή μεγάλου αριθμού πειραμάτων σε σύντομο χρονικό διάστημα.



[εικόνα 125] Minecraft as an ExperimentalWorld for AI in Robotics Krishna Aluru and Stefanie Tellex and John Oberlin and James MacGlashan, Humans to Robots Laboratory Brown University, Providence, RI 02912.

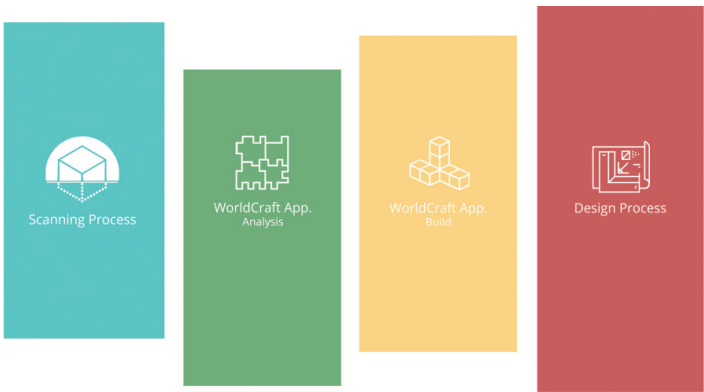
Τα πλεονεκτήματα του Minecraft σαν πλατφόρμα έρευνα.

- ο Ο χρήστης στο Minecraft έχει τη δυνατότητα να επεξεργαστεί τους κύβους και να αναπαράξει σχεδόν κάθε στατικό αντικείμενο ή σχήμα.
- ο Το παιχνίδι διαθέτει ένα απλό οικολογικό σύστημα, με διαφορετικές μορφές φυτών και ζώων, το οποίο μπορεί να αποτελέσει χρήσιμο εργαλείο για την αναπαράσταση πολύπλοκων συστημάτων.
- ο Το παιχνίδι έχει την δυνατότητα εξέλιξης από τους ίδιους τους χρήστες. Συνεργάζονται για την επίλυση προβλημάτων μεγάλης πολυπλοκότητας, και βελτιώνουν το παιχνίδι με την εισαγωγή νέων υλικών και εργαλείων.
- ο Το Minecraft προσφέρει την δυνατότητα δημιουργίας νέων εφαρμογών που βασίζονται στην δομή του παιχνιδιού, αλλά λειτουργούν αυτόνομα.
- ο Η απλή χωρική αναπαράσταση μειώνει τις απαιτήσεις υπολογιστικής ισχύος ενός συστήματος, χωρίς αυτό να επηρεάζει την ποιότητα του παιχνιδιού. Ο κάθε παίχτης υιοθετεί την δική του γραφή και όλοι μαζί δημιουργούν ένα δυναμικό περιβάλλον.
- ο Οι ερευνητές μπορούν να χρησιμοποιήσουν αυτόν τον απλό μηχανισμό δημιουργίας περιεχομένου για να παράξουν ερευνητικά περιβάλλοντα ή να συλλέξουν δεδομένα από τους χρήστες.

4.3.2.1 Το εργαλείο Worldcraft και η περιγραφή της μεθοδολογίας για τη γεφύρωση πραγματικού- ψηφιακού με στόχο την κατασκευή.

Οπως αναφέρθηκε και στην εισαγωγή της έρευνας, για την κατανόηση του εργαλείου κρίνεται απαραίτητη η ανάλυση του συστήματος στο οποίο λειτουργεί.

Το σύστημα αποτελείται από τέσσερα στάδια, την αποτύπωση και δημιουργία βάσης δεδομένων, την διαδικασία κυβοποίησης, την κωδικοποίηση του σχεδιασμού για την διαδικασία της κατασκευής και τέλος τη μεθοδολογία του σχεδιασμού, ο οποίος διεξάγεται από την αρχή του συστήματος παράλληλα με τα ενδιάμεσα στάδια.



[εικόνα 126] A. Scanning Process - Αποτύπωση και δημιουργία βάσης δεδομένων.
B. WorldCraft App. Analysis - Διαδικασία κυβοποίησης.
C. WorldCraft App.Build - Κωδικοποίηση του σχεδιασμού για την διαδικασία κατασκευής.
D. Design Process - Ο σχεδιασμός.

Τα τέσσερα στάδια του συστήματος:

Στάδιο 1: Η διαδικασία αποτύπωσης και μοντελοποίησης της νήσου Ημερη Γραμβούσα με την χρήση drones και τον συνδυασμό νέων ψηφιακών εργαλείων, καθώς και η δημιουργία βάσης δεδομένων.

Στάδιο 2: Η διαδικασία κυβοποίησης του εργαλείου Worldcraft για την δημιουργία εικονικού περιβάλλοντος εφαρμογής.

Στάδιο 3: Η κωδικοποίηση του σχεδιασμού για την διαδικασία κατασκευής με χρήση ρομποτικού σμήνους.

Στάδιο 4: Η μεθοδολογία του σχεδιασμού.

Στάδιο 1:

Η διαδικασία αποτύπωσης και μοντελοποίησης της νήσου Ημερη Γραμβούσα με την χρήση drones και τον συνδυασμό νέων ψηφιακών εργαλείων, καθώς και η δημιουργία βάσης δεδομένων.



Εισαγωγή

Πριν την χρήση του εργαλείου σαν εργαλείο κατασκευής, είναι απαραίτητο να συλλέξουμε όλες τις πληροφορίες από το πραγματικό περιβάλλον και να δημιουργήσουμε μια βάση δεδομένων με σκοπό να ενημερώσουμε το ψηφιακό περιβάλλον της εφαρμογής.

Η αποτύπωση

Οι τεχνικές αποτύπωσης και επεξεργασίας των παρατηρήσεων έχουν εξελιχθεί ραγδαία τις τελευταίες δεκαετίες, παράλληλα με την εξέλιξη της τεχνολογίας. Η ένταξη νέων οργάνων και τεχνολογιών, οδήγησε σε μεγάλη αύξηση της πληροφορίας που αποτυπώνεται τόσο ποιοτικά όσο και ποσοτικά. Η ποιοτική αναβάθμιση των τεχνικών αποτύπωσης οφείλεται κυρίως στην εξέλιξη των χρησιμοποιούμενων οργάνων και λογισμικών, προσφέροντας μεγάλη εσωτερική και εξωτερική αξιοπιστία στις παρατηρήσεις. Η ποσοτική αναβάθμιση οφείλεται στον όγκο της πληροφορίας που μπορούμε να εξάγουμε σε σχέση με τη μείωση του αντίστοιχου χρόνου.

Τα δεδομένα

Περιοχή μελέτης: Νήσος Ημερη Γραμβούσα

Στο ανατολικό άκρο της Κρήτης, κοντά στο ακρωτήριο Γραμβούσα και στη λιμνοθάλασσα του Μπάλου υπάρχουν δύο ακατοίκητα νησιά η Αγρια και η Ημερη Γραμβούσα. Η Ημερη Γραμβούσα είναι γνωστή για το ενετικό της κάστρο.



[εικόνα 127] Η περιοχή μελέτης.

Ανθρώπινη δραστηριότητα: Το κάστρο

Το κάστρο χτίστηκε πάνω σε απότομο ύψωμα της νήσου Ημερη Γραμβούσα, στην άκρη της ομώνυμης χερσονήσου, για να προστατέψει το μικρό φυσικό λιμάνι που υπάρχει στο χώρο, στα πλαίσια ενός ευρύτερου σχεδιασμού οχύρωσης της Κρήτης στα τέλη της Ενετοκρατίας. Αρχισε να κτίζεται το 1584 πάνω σε σχέδια και υπό την επίβλεψη του Latino Orsini. Το σχήμα του φρουρίου είναι ακανόνιστο τρίπλευρο με τείχη και προμαχώνες από τις τρεις πλευρές, ενώ στα βόρεια καλύπτεται από απότομα βράχια.

Η προστατευόμενη πύλη είναι στην ανατολική πλευρά και οδηγεί μέσα από θολωτή στοά στο εσωτερικό του φρουρίου. Στον χώρο του φρουρίου σώζονται δυο μεγάλες θολοσκέπαστες δεξαμενές, που συγκεντρώνουν τα νερά της βροχής από τα λιθόστρωτα. Από τα υπόλοιπα κτίσματα, σώζονται ο ναός του Ευαγγελισμού και η πυριτιδαποθήκη, ενώ διακρίνονται τα θεμέλια των στρατώνων, του διοικητηρίου και των άλλων εγκαταστάσεων. Τα τείχη είναι κτισμένα από τοπικό ασβεστόλιθο, εκτός από το cordone, που αποτελείται από λαξευτούς ψαμμίτες.

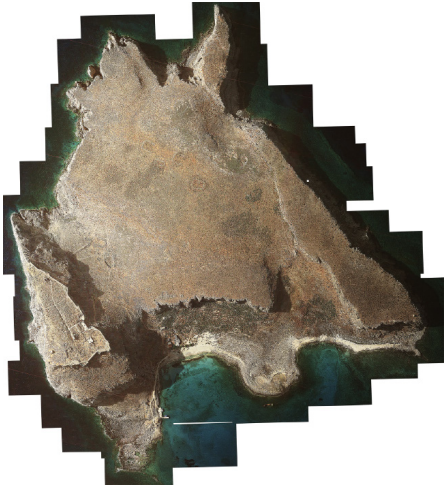


[εικόνα 128] Η πύλη και ο ναός του Ευαγγελισμού.

Γεωμορφολογικά δεδομένα

Το ανάγλυφο της Γραμβούσας αποτελείται κυρίως από λεπτοπλακώδεις ασβεστόλιθους της ενότητας Ολωνού – Πίνδου, είναι τραχύ και απότομο.

Στην περιοχή της Γραμβούσας εμφανίζονται δίνες (σε μικρή απόσταση από την ακτή και φθάνουν σε ύψος μέχρι και τα 10 μέτρα) και αιολιανίτες (πρόκειται για χονδρόκοκκους ψαμμίτες με διασταυρούμενη στρώση, εμφανίζονται σε ύψος 20-25 μέτρα).



[εικόνα 129] Το νησί Ημερη Γραμβούσα.

Τα βήματα αποτύπωσης

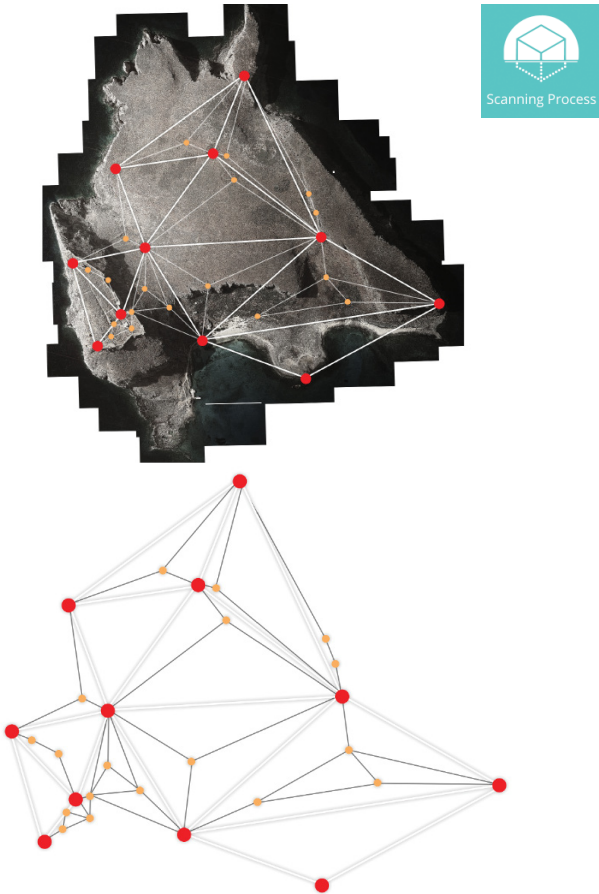
α. Η μεθοδολογία καταγραφής

1) Συνολικό πλάνο καταγραφής πριν από την αποστολή, με έμφαση στην επιλογή αποτελεσματικών μέσων και εργαλείων καταγραφής σχετικά με τις διάφορες διαδικασίες συλλογής δεδομένων που περιγράφονται. Συγχρονισμός μεταξύ των διαφόρων εργαλείων εγγραφής.

2) Η καταγραφή, η συλλογή δεδομένων και η δημιουργία βάσης δεδομένων για αποθήκευση:

- α. Αξιολόγηση και Ταξινόμηση σε βιβλιοθήκες με χρήση φίλτρων από τον χρήστη.
- β. Ο γεωγραφικός εντοπισμός της περιοχής μελέτης.
- γ. Οπτικοποίηση υφιστάμενης κατάστασης.
- δ. Διεξαγωγή συμπερασμάτων και αποτελεσμάτων.

4) Διερεύνηση σημείων ορισμού.



[εικόνα 130] Τα σημεία ορισμού.

5) Η δημιουργία patterns για αποκωδικοποίηση στοιχείων. Τα μοτίβα εδάφους περιγράφουν τις υφές και τις σχέσεις των υλικών με το περιβάλλον. Η χρήση τους κρίνεται απαραίτητη κατά την διάρκεια της διαδικασίας για την κωδικοποίηση του συνόλου.

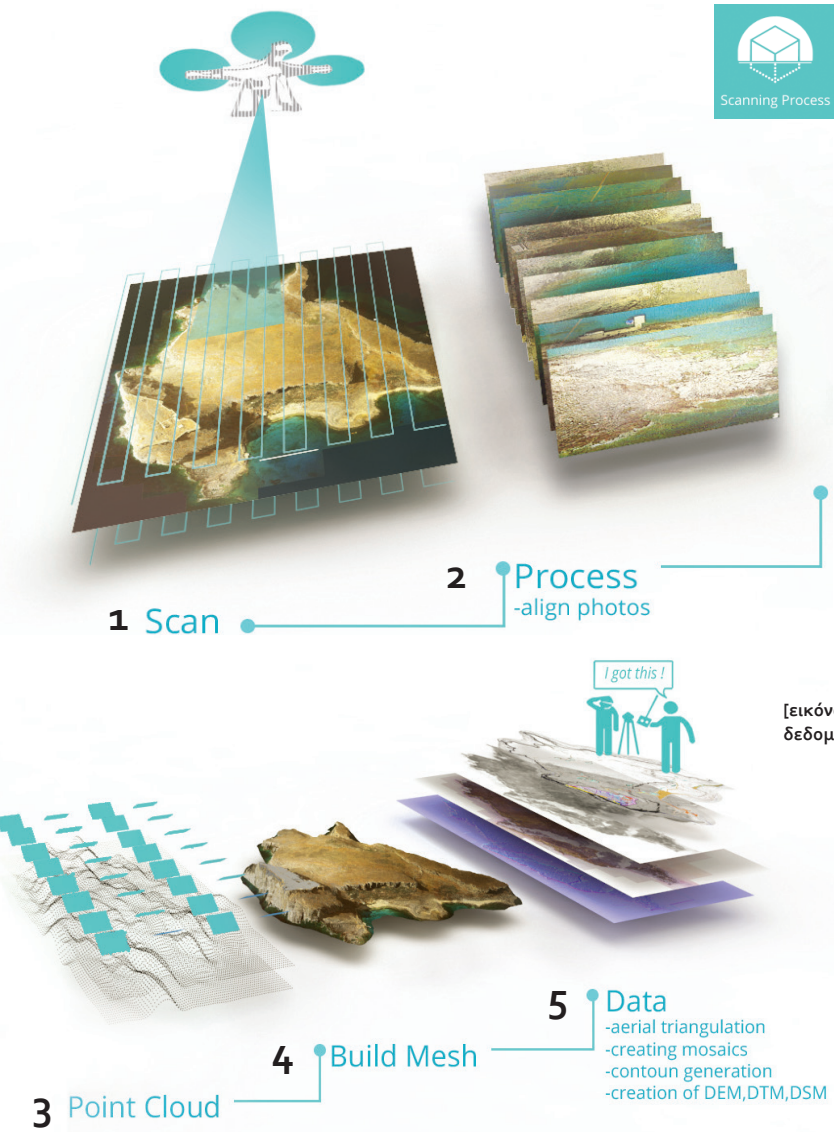


[εικόνα 131] Τα μοτίβα διαφορετικών ποιτήτων εδάφους.

6) Αποθήκευση στη βάση δεδομένων. Η συνολική διαδικασία υποστηρίζεται από μια βάση δεδομένων η οποία ενημερώνεται συνεχώς με δεδομένα και αναδιατάσσεται σε κάθε αλλαγή με στόχο την αποτελεσματικότητα του συστήματος.

β. Διαδικασίες συλλογής δεδομένων

- 1) Αυτοματοποιημένες διαδικασίες:
 - α) χρήση drone για τη λήψη αεροφωτογραφιών και βίντεο
- 2) Χειροκίνητες διαδικασίες:
 - α) λήψη φωτογραφιών υψηλής ανάλυσης.
 - β) Συμβατικές μετρήσεις για την αποτύπωση κτιριακών δομών.
 - γ) Επί τόπου σχέδια και σημειώσεις .
 - δ) μετρήσεις από GPS.



[εικόνα 132] Διαδικασία συλλογής δεδομένων για 3d χάρτες.

γ. Επεξεργασία δεδομένων

1) Δημιουργία 3d μοντέλου αποτύπωσης:

α) χρήση του προγράμματος Agisoft & photoscan data processing (βλ. παραρτήματα σελ. 257).

β) συνδυασμός τρισδιάστατων προγραμμάτων για την επεξεργασία των μοντέλων αποτύπωσης.

Προγράμματα επεξεργασίας 3d μοντέλου:

- Rhinoceros 3d (NURBS modeling)
- 3ds Studio Max
- Sketchup 3d

Προγράμματα επεξεργασίας υλικών και τελικών επιφανειών:

- ZBrush SR7
- Substance Painter
- Photoshop

2) Ανάλυση υλικών:

α) δημιουργία αρχείου grasshopper για την ταυτοποίηση και την ταξινόμηση υλικών σε σχέση με την βάση δεδομένων.

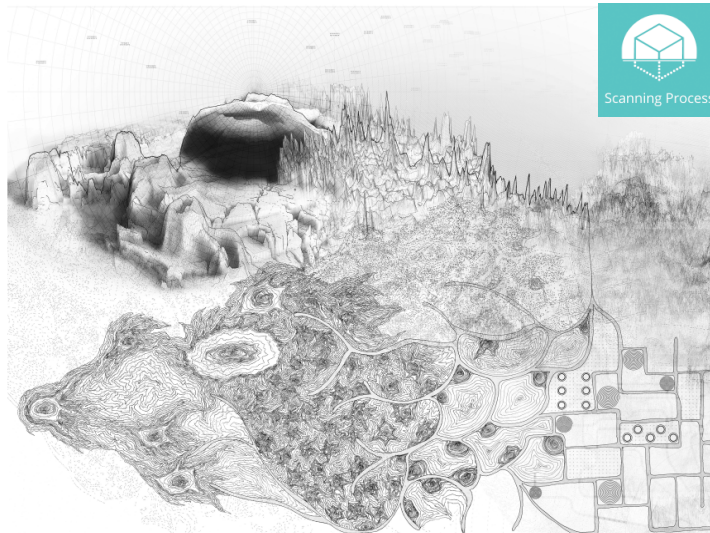
β) οπτική ανάλυση υλικών σε περιοχές όπου παρουσιάζει σφάλματα το Grasshopper, με την χρήση γυαλιών εικονικής πραγματικότητας (Oculus Rift) της Unreal Game Engine (πρόγραμμα εικονικής πραγματικότητας).

γ) αποθήκευση αποτελεσμάτων σε βάση δεδομένων.

δ. Δημιουργία λίστας εξαγωγής δεδομένων

1) διαδικασία σύνδεσης με το εργαλείο Worldcraft μέσω της χρήσης grasshopper:

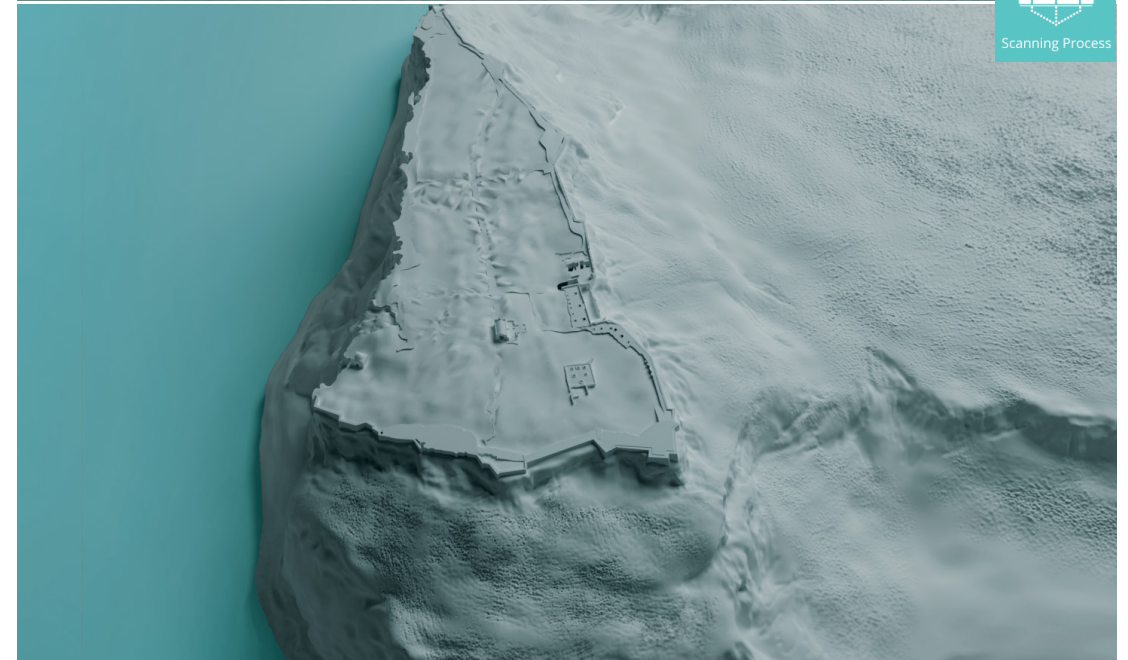
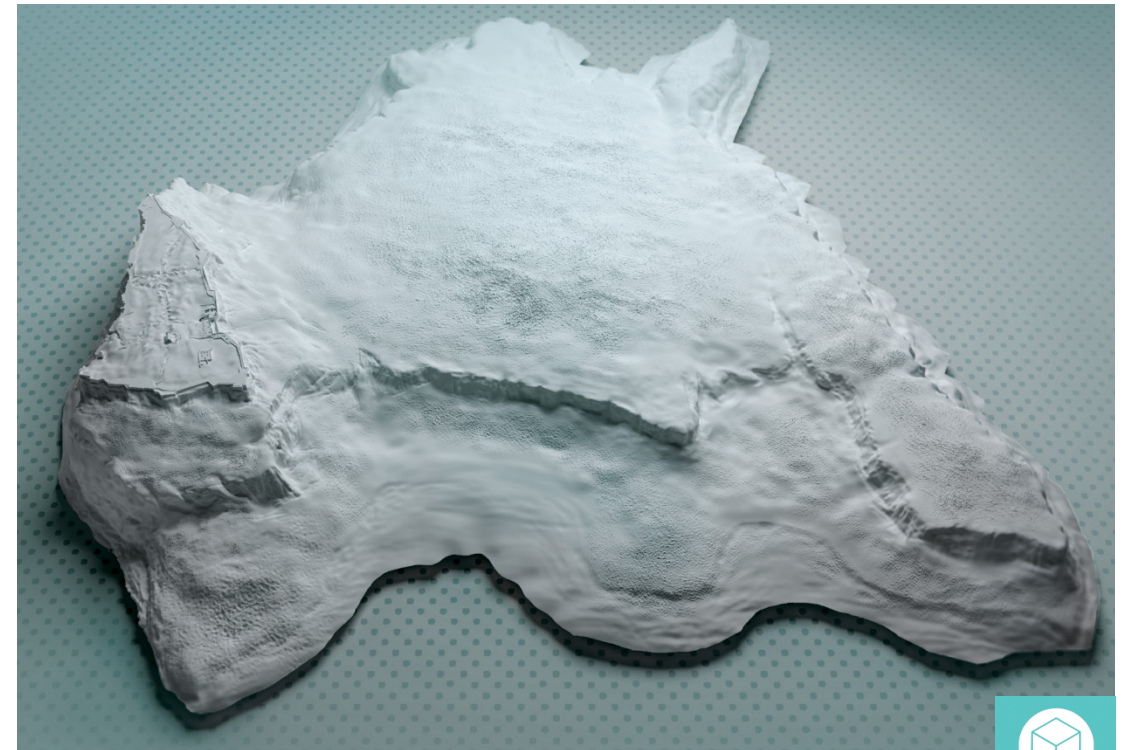
α) δημιουργία αρχείου grasshopper με σκοπό την μεταφορά πληροφορίας από τη βάση δεδομένων στο περιβάλλον του εργαλείου.



[Εικόνα 133] Χάρτης δεδομένων εδάφους.

Αποτελέσματα αποτύπωσης

(Στο τέλος του κεφαλαίου παρουσιάζονται όλα τα 3d μοντέλα αποτύπωσης, σελ. 228)



Στάδιο 2:

Η διαδικασία κυβοποίησης του εργαλείου Worldcraft για την δημιουργία εικονικού περιβάλλοντος εφαρμογής.

**Εισαγωγή**

Εφόσον έχει ολοκληρωθεί η αρχική λειτουργία αποτύπωσης, αρχίζει η επεξεργασία πληροφορίας για την δημιουργία περιβάλλοντος της εφαρμογής. Βασικός στόχος του σταδίου είναι η διαχείριση μεγάλου όγκου πληροφορίας σε ένα φιλικό προς τον χρήστη περιβάλλον. Ενας τρισδιάστατος κύβος εμπεριέχει πληροφορίες του πραγματικού περιβάλλοντος και αναλόγως τις υποδιαιρέσεις του, αυξάνεται η ανάλυση της πληροφορίας. Με αυτή τη μέθοδο, μειώνεται η υπολογιστική ισχύς και η πολυπλοκότητα του περιβάλλοντος, καθιστώντας το εργαλείο ένα ιδανικό μέσο αναπαράστασης του φυσικού κόσμου.

Ακόμη, η ιδέα μετατροπής επιφάνειας σε κύβους βασίζεται και στις χωρικές ποιότητες που προσφέρει το υφιστάμενο παιχνίδι Minecraft σχετικά με τη μετάδοση της πληροφορίας περιβάλλοντος στον χρήστη.

Μετά την ολοκλήρωση του σταδίου, ο χρήστης μπορεί να επεξεργαστεί τα δεδομένα του ευρύτερου περιβάλλοντος, αλλά και να εστιάσει σε μεμονωμένα σημεία, αυξάνοντας την ανάλυση της εφαρμογής. Η διεξαγωγή διαγραμμάτων και χαρτών αποτελούν βασικά στοιχεία της συνθετικής διαδικασίας.



Παρακάτω αναλύεται η μέθοδος υλοποίησης του σταδίου:

α. Διαδικασία ανάλυσης μοντέλου αποτύπωσης σε δομικούς κύβους:

1. εφαρμογή αρχείου grasshopper για τη μετατροπή τριγωνικής επιφάνειας σε τρισδιάστατους κύβους:
 - α. αρχική αναλογία κύβων σε σχέση με το μέγεθος του μοντέλου
2. συνεργασία grasshopper με εξωτερική εφαρμογή minedit:
 - α. εισαγωγή σε grasshopper βασικών αναλογιών και αξόνων
 - β. εξαγωγή από το minedit υλικών και αποθήκευση αυτών σε βάση δεδομένων

β. Προσδιορισμός υλικών χαρακτηριστικών:

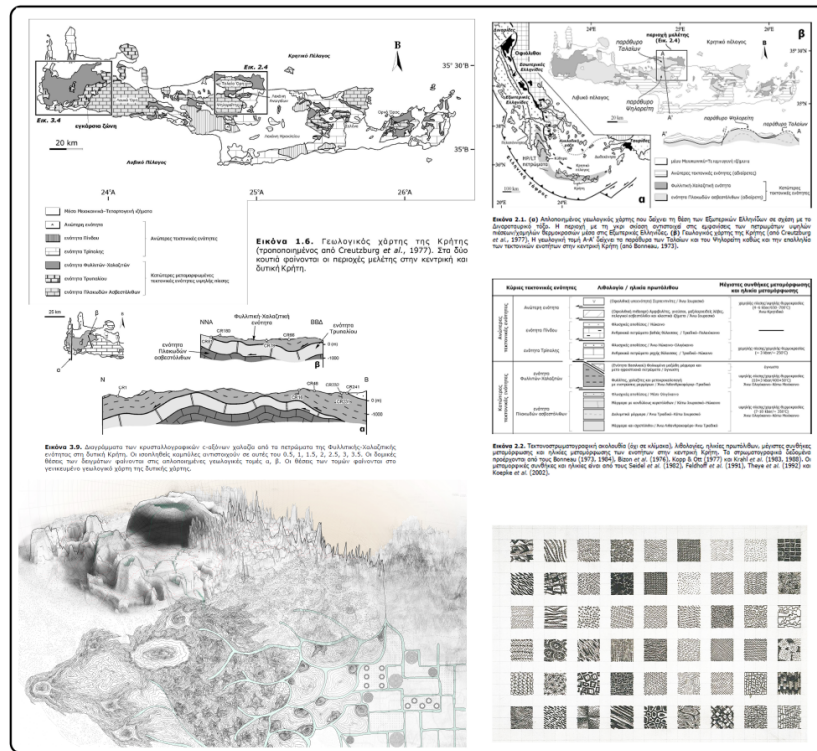
1. εφαρμογή αρχείου grasshopper για την ταυτοποίηση υλικών:
 - α. χρήση της κεντρικής βάσης δεδομένων για την ταυτοποίηση από πραγματικό υλικό σε υλικό minecraft

γ. Δημιουργία περιβάλλοντος εφαρμογής:

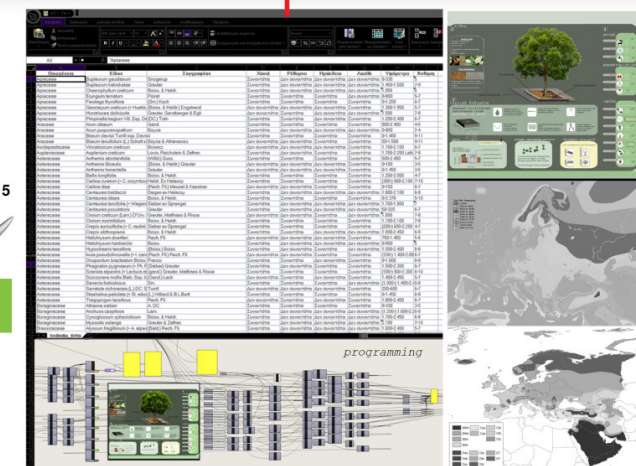
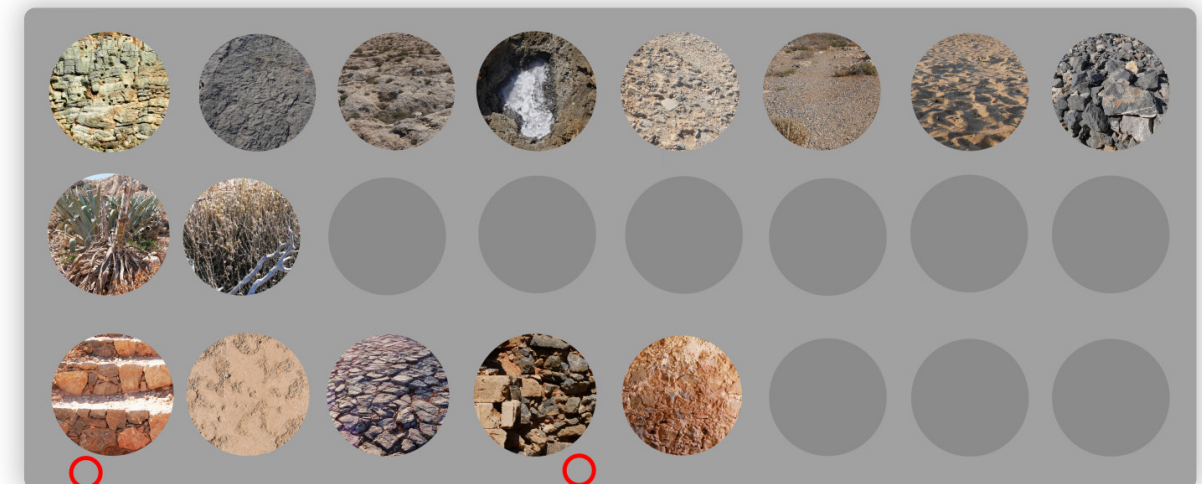
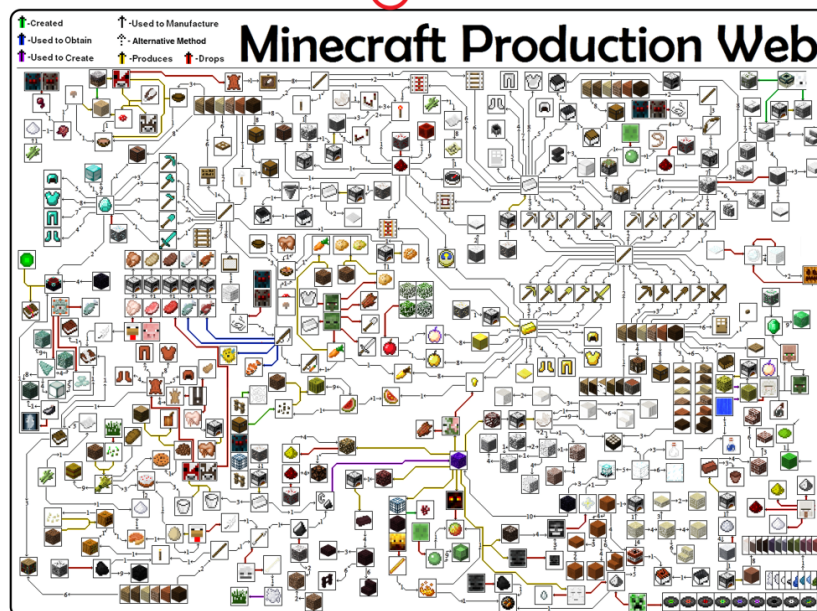
1. εφαρμογή ποιοτικών χαρακτηριστικών παιχνιδιού:
 - α. περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά
2. εξαγωγή διαγραμμάτων – τοπολογικοί χάρτες
3. αναμονή εισαγωγής εντολών από τον χρήστη

[εικόνα 136] Διαδικασία ανάλυσης μοντέλου αποτύπωσης σε δομικούς κύβους. Το περιβάλλον του Worldcraft.

Database



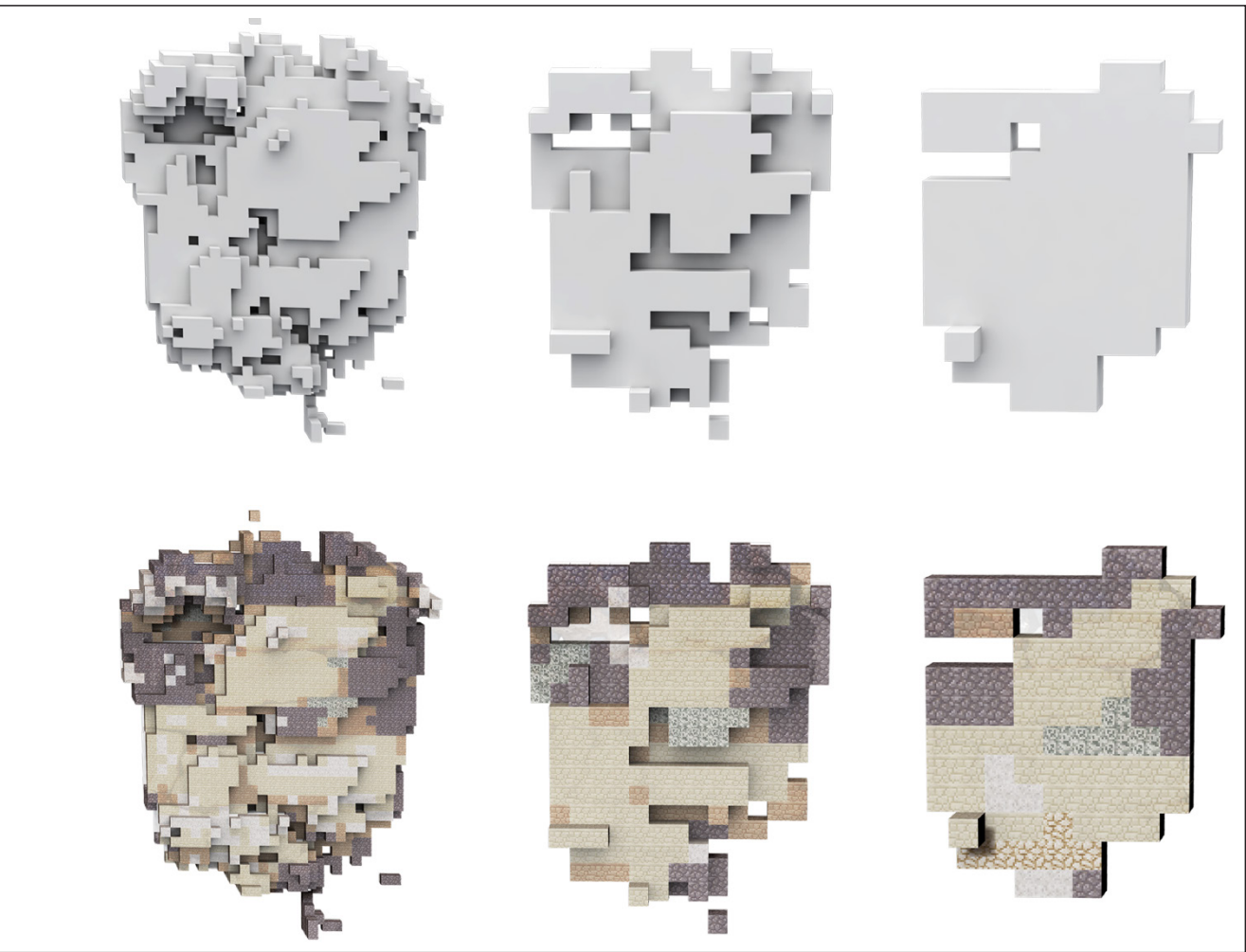
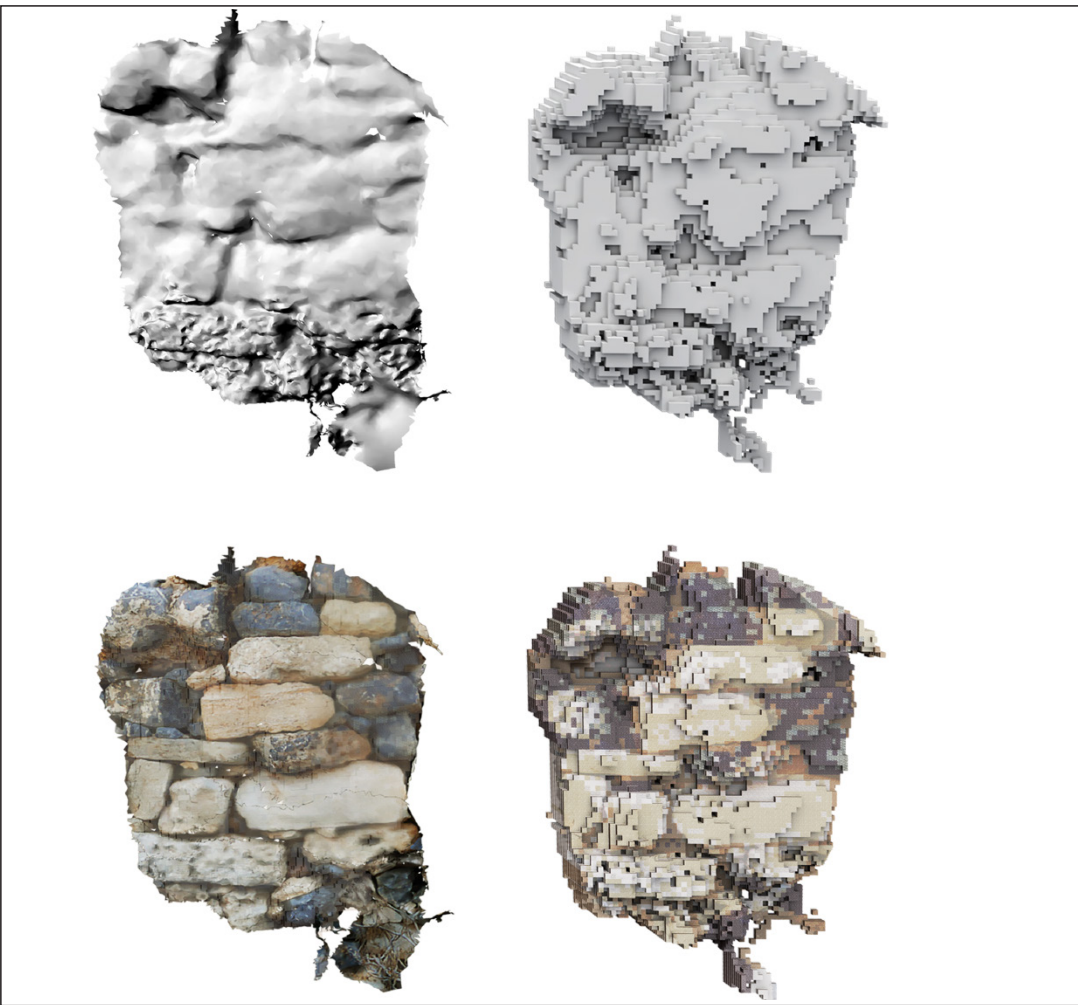
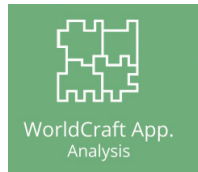
Database



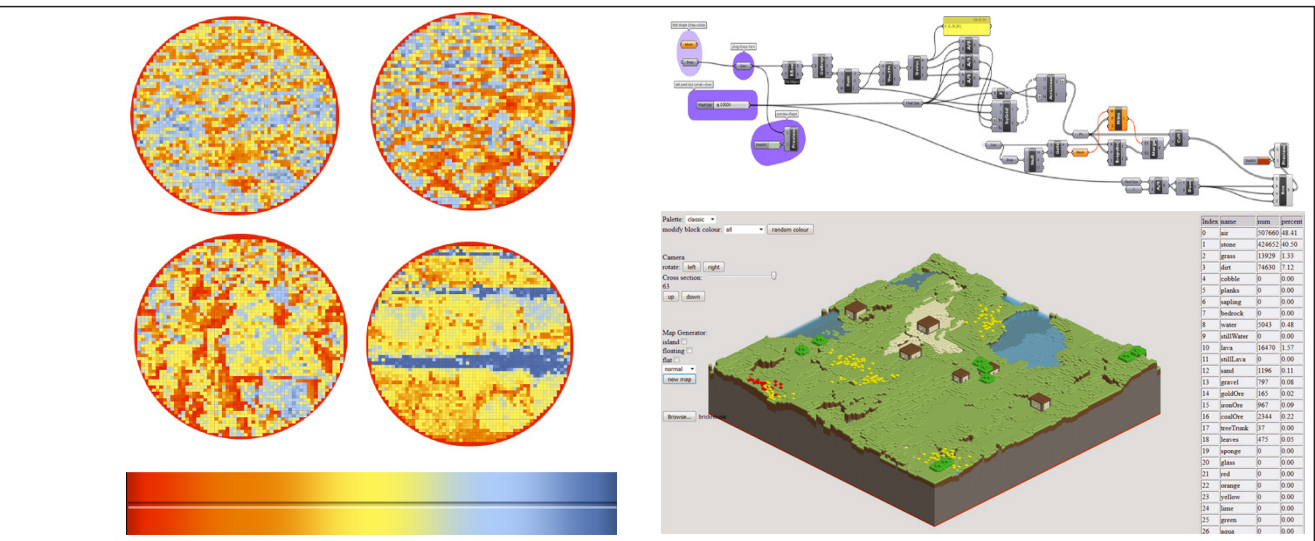
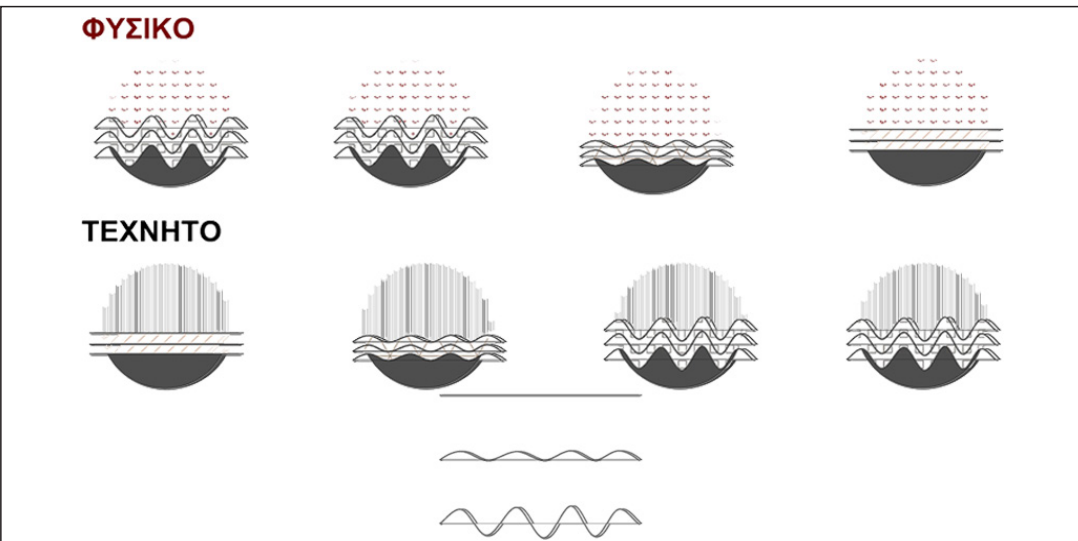
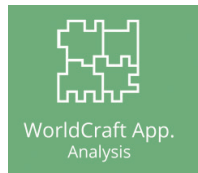
[εικόνα 137] Εφαρμογή αρ-
χείου grasshopper για την
ταυτοποίηση υλικών.
Χρήση της κεντρικής βάσης
δεδομένων για την ταυτο-
ποίηση – από πραγματικό
υλικό σε υλικό minecraft.



[εικόνα 138] Εφαρμογή αρχείου grasshopper για την ταυτοποίηση υλικών.
Η διαδικασία ανάλυσης μοντέλου αποτύπωσης σε δομικούς κύβους.

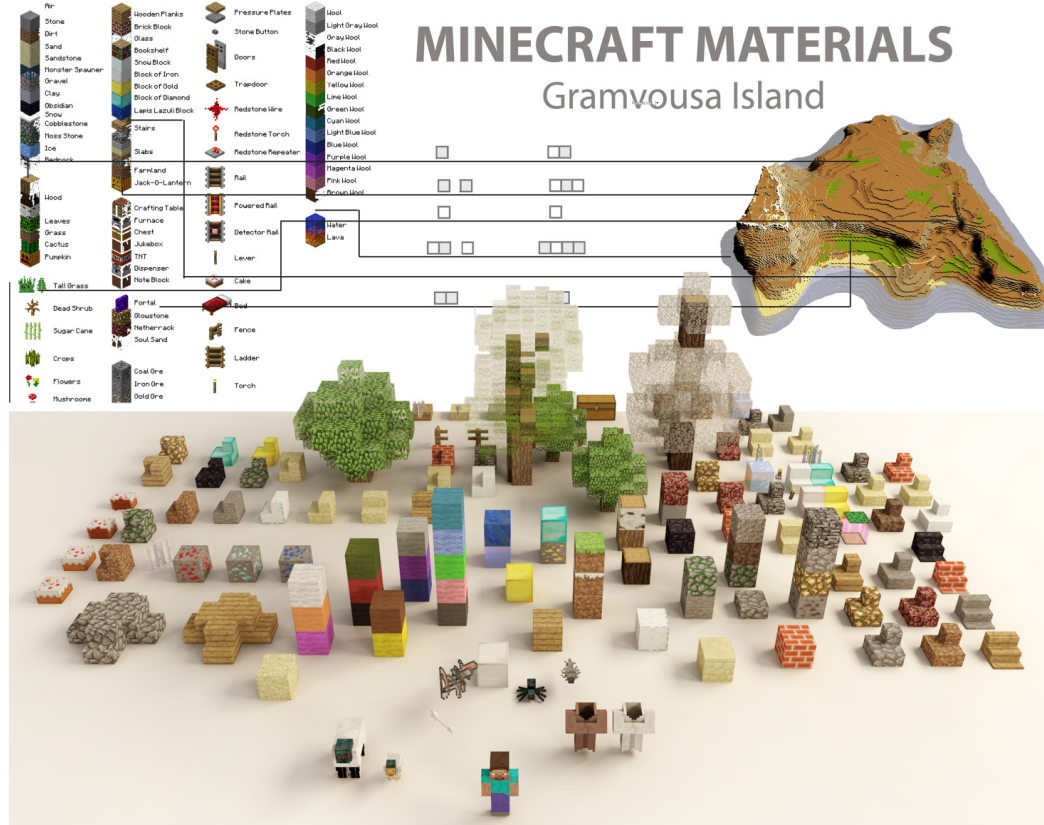
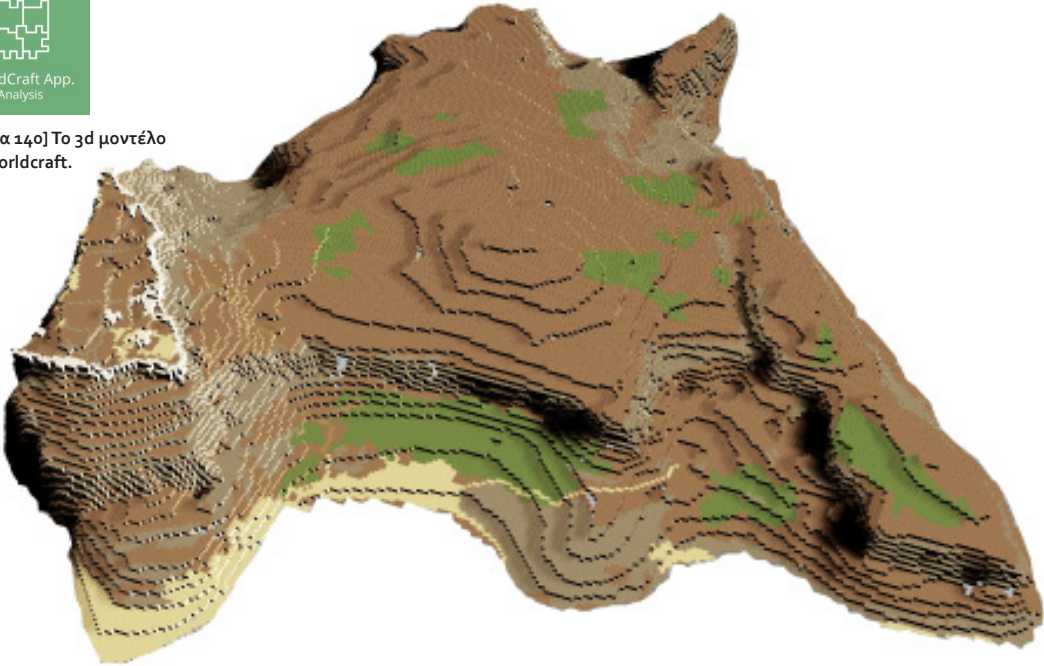


[εικόνα 139] Εφαρμογή αρχείου grasshopper για την ταυτοποίηση υλικών.
Η διαδικασία ταυτοποίησης και η ανάλυση ιδιοτήτων υλικών.

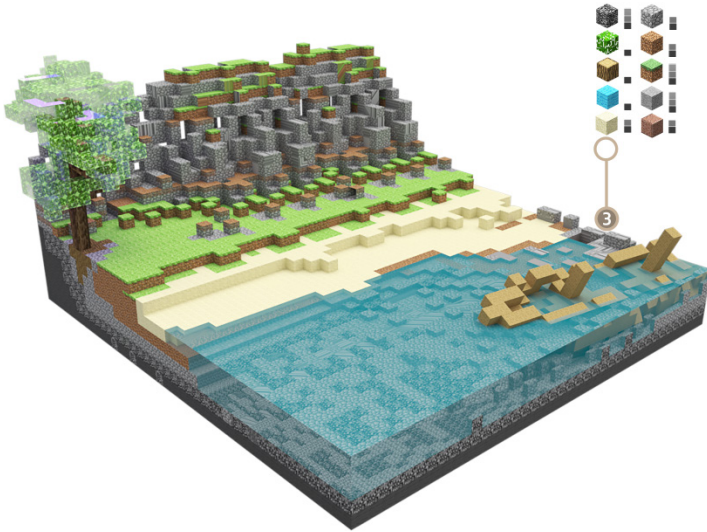
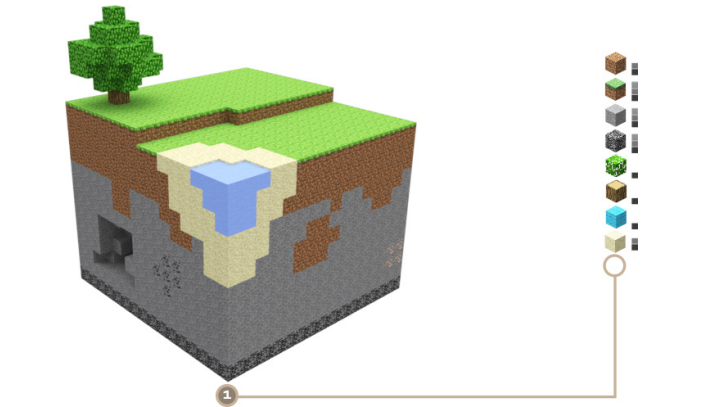




[εικόνα 140] Το 3d μοντέλο στο Worldcraft.



[εικόνα 141] Λεπτομέρεια Worldcraft Analysis, η ακτογραμμή.



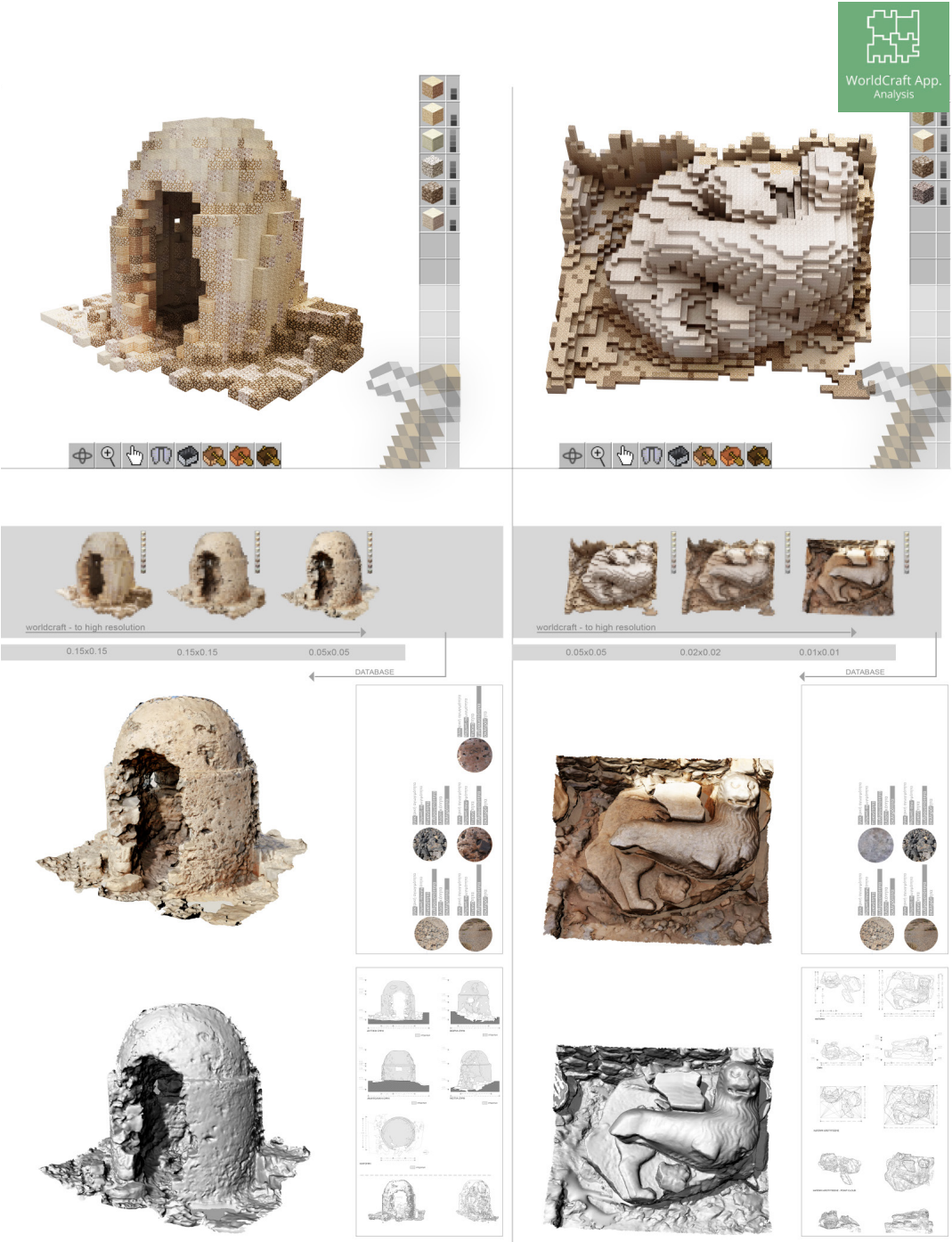
[εικόνα 142] Λεπτομέρεια Worldcraft Analysis, η ακτογραμμή, ο λόφος και το ναυάγιο του νησιού.



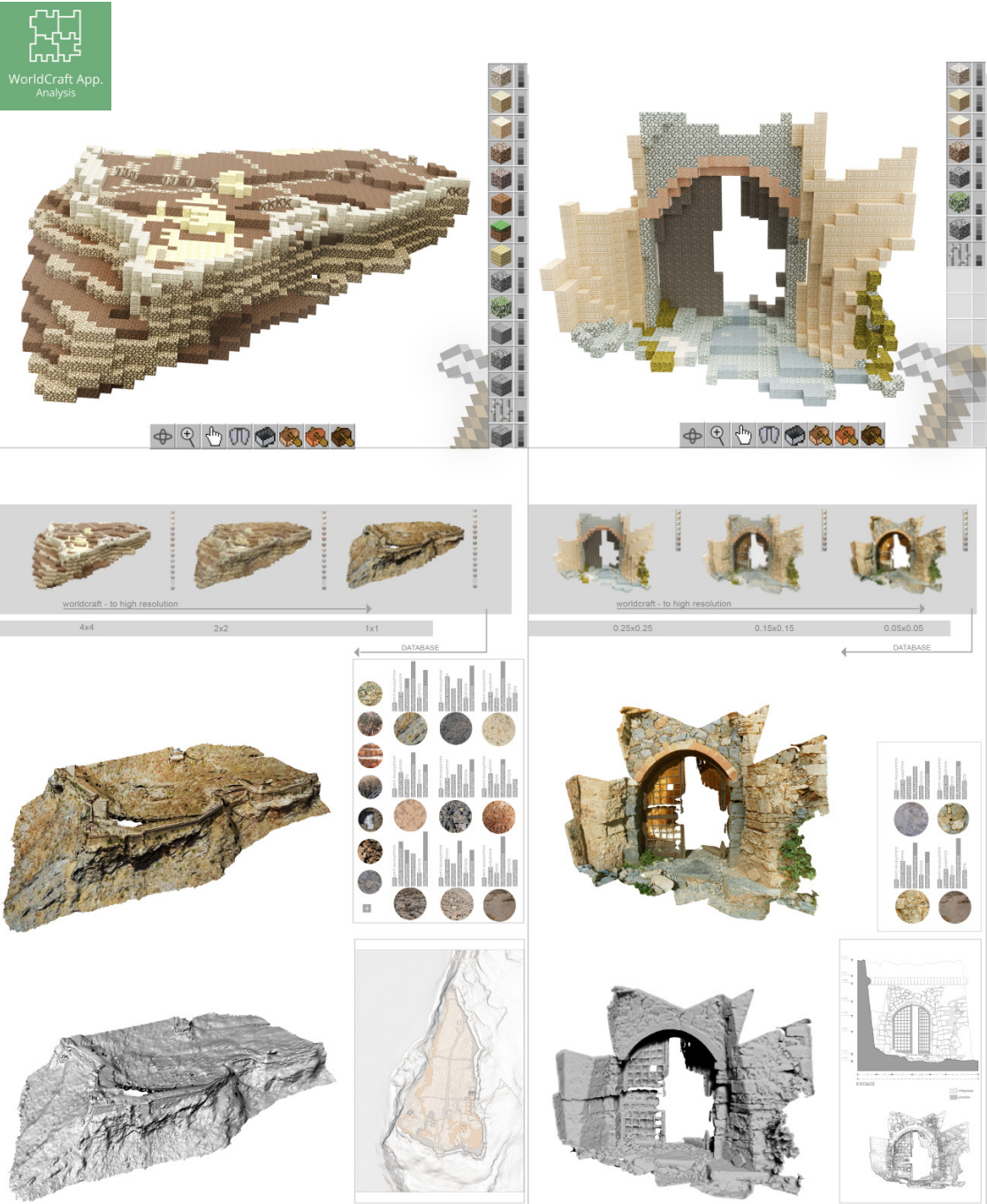
[εικόνα 143] Λεπτομέρεια Worldcraft Analysis, ο ναός Ευαγγελισμού.



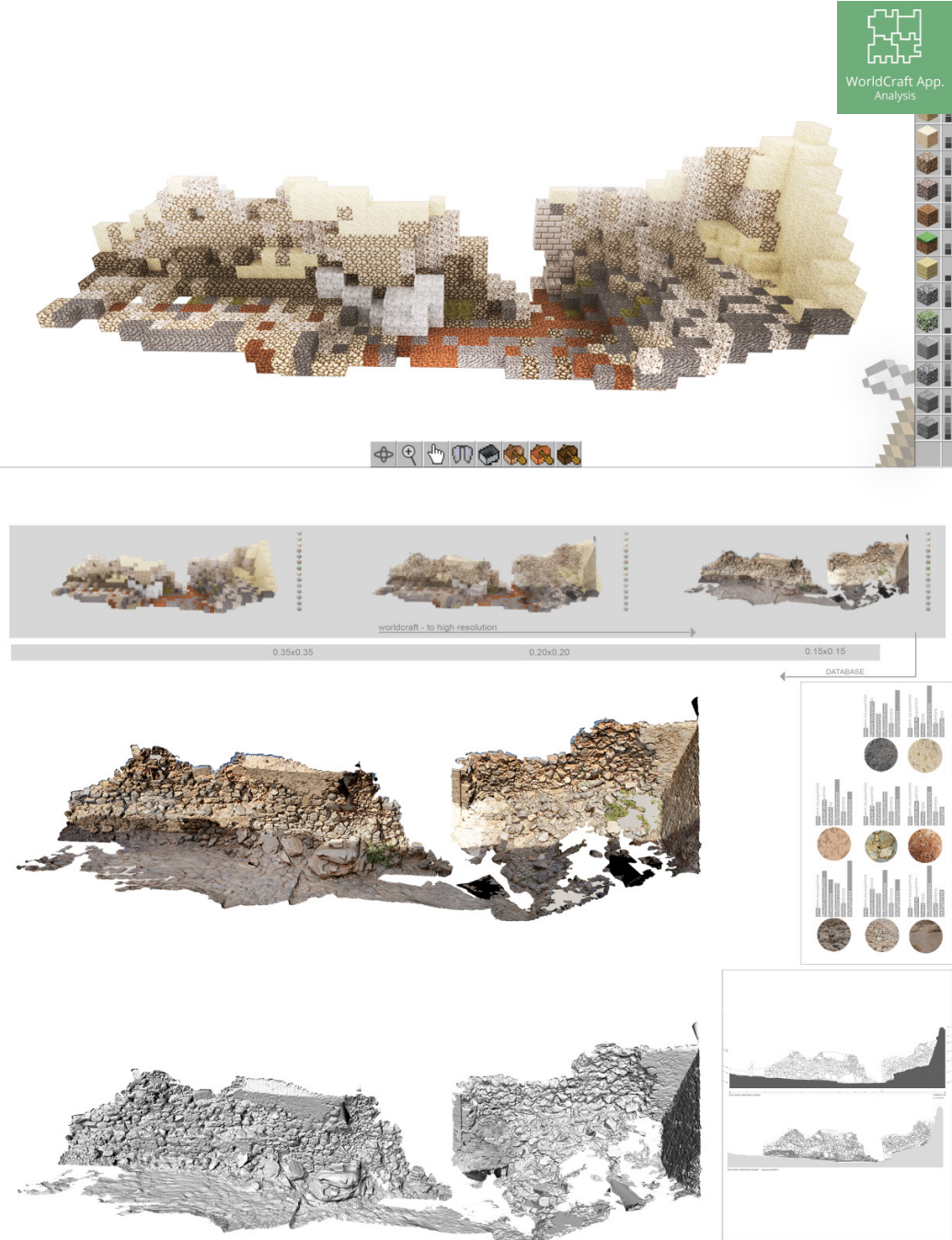
[εικόνα 144] Από την δομή στην επιφάνεια υψηλής ανάλυσης. Δεδομένα περιβάλλοντος Worldcraft: σε συγκεκριμένα σημεία ο χρήστης μπορεί να επιλέξει την προβολή υψηλής ανάλυσης.



[εικόνα 145] Από τη δομή στην επιφάνεια υψηλής ανάλυσης. Δεδομένα περιβάλλοντος Worldcraft: σε συγκεκριμένα σημεία ο χρήστης μπορεί να επιλέξει την προβολή υψηλής ανάλυσης.



[εικόνα 146] Από την δομή στην επιφάνεια υψηλής ανάλυσης. Δεδομένα περιβάλλοντος Worldcraft: σε συγκεκριμένα σημεία ο χρήστης μπορεί να επιλέξει την προβολή υψηλής ανάλυσης.



[εικόνα 147] Από τη δομή στην επιφάνεια υψηλής ανάλυσης. Δεδομένα περιβάλλοντος Worldcraft: σε συγκεκριμένα σημεία ο χρήστης μπορεί να επιλέξει την προβολή υψηλής ανάλυσης.



[εικόνα 148] Χάρτης Worldcraft για το νησί Ημερη Γραμβούσα. Τα υλικά εμφανίζονται σε πίνακες με ποσοστά και χαρακτηριστικά.

Στάδιο 3:
Η κωδικοποίηση του σχεδιασμού για την διαδικασία της κατασκευής με χρήση ρομποτικού σμήνους.



Εισαγωγή
Η διαδικασία σύνθεσης πραγματοποιείται παράλληλα με τη λειτουργία του συστήματος. Εισέρχεται σε αυτό στο τέλος της δεύτερης φάσης για να αντλήσει υλικό σχετικά με τις γεωμορφολογικές και περιβαλλοντικές συνθήκες της περιοχής μελέτης. Όταν η διαδικασία του αρχιτεκτονικού σχεδιασμού φτάσει σε ένα σημείο ωριμότητας, τότε ο σχεδιαστής επιλέγει να συνεργαστεί με το εργαλείο Worldcraft με στόχο την κατασκευή του έργου. Επομένως, ξεκινάει η δεύτερη φάση λειτουργίας του εργαλείου σαν μέσο της κατασκευαστικής διαδικασίας. Ενώ αρχικά αποτελούσε μια πλατφόρμα ανάλυσης της υφιστάμενης περιοχής, στη νέα αυτή φάση λειτουργεί σαν εργαλείο ανάλυσης της κατασκευής με στόχο την υλοποίησή της μέσω χρήσης ρομποτικού σμήνους.

Σε αυτή την φάση του συστήματος, ο σχεδιαστής καλείται να συνεργαστεί με το εργαλείο και να τροποποιήσει το σχεδιαστικό μοντέλο σύμφωνα με τις απαιτήσεις της κατασκευής. Επίσης, κάθε κύβος αποτελεί το βασικό δομικό στοιχείο της κατασκευής. Σκοπός είναι η δημιουργία ενός μοντέλου που ικανοποιεί τις συνθήκες κατασκευής, όπως υλικά και στατική επάρκεια, αλλά και τις συνθετικές ποιότητες.

Αρχικά, γίνεται εισαγωγή του μοντέλου και ξεκινάει η διαδικασία αναγνώρισης και επεξεργασίας. Ο χρήστης έχει την δυνατότητα επεξεργασίας ως προς την ανάλυση της δομής, τα υλικά, καθώς και τον σχεδιασμό στοιχείων του μοντέλου. Η πλατφόρμα προσφέρει την δυνατότητα στον σχεδιαστή να σχεδιάσει εξαρχής σε αυτό το περιβάλλον, αλλά δεν απαιτείται από το σύστημα

διότι το εργαλείο δεν είναι μονολειτουργικό και δεν αποτελεί πλατφόρμα σχεδιασμού.
Τέλος, όταν ο χρήστης καταλήξει στην τελική λύση, ξεκινάει η διαδικασία κωδικοποίησης της δομής για την δημιουργία κώδικα (gcode) κατασκευής του έργου μέσω της χρήσης ρομποτικού σμήνους και σε αυτό το σημείο αρχίζει η διαδικασία επιτήρησης και αξιολόγησης της κατασκευής μέσα από το εικονικό περιβάλλον της εφαρμογής.

Τα βήματα:

Αναγνώριση

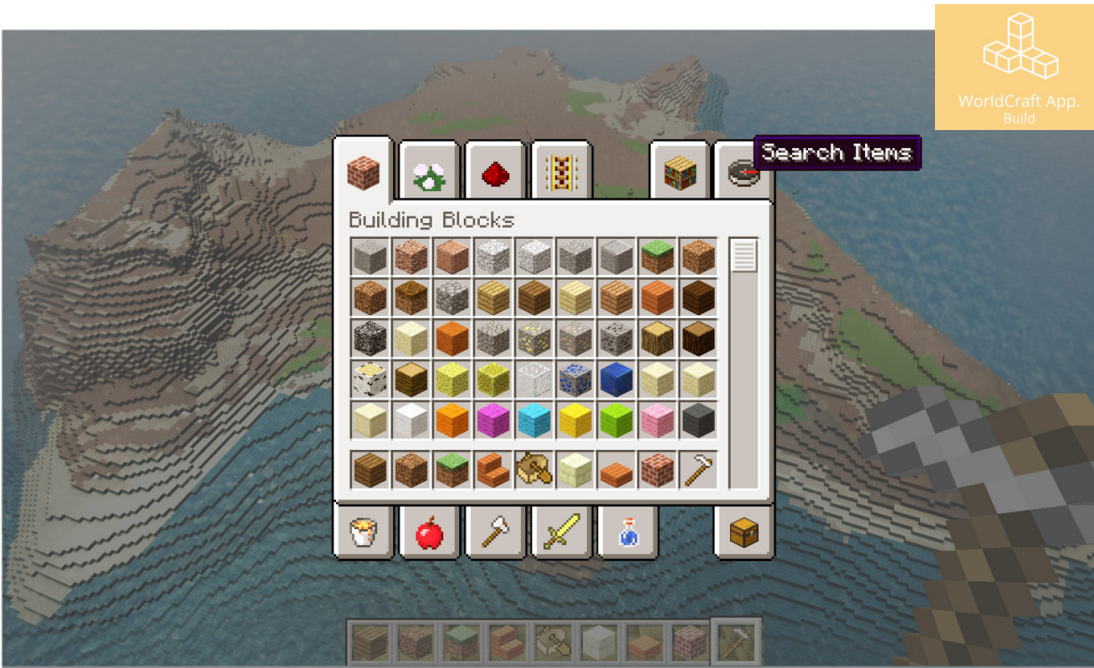
- α) εισαγωγή σχεδιαστικού μοντέλου στο Worldcraft:
- 1) αναγνώριση ιδιοτήτων επέμβασης:
 - τοποθεσία
 - υλικά
 - μορφολογία
 - 2) περιορισμοί κατασκευής από τον χρήστη σχετικά με τα:
 - υλικά
 - μέσα κατασκευής (ρομποτικό σμήνος)
 - τεχνικές κατασκευής
 - 3) επεξεργασία συστήματος για την εύρεση πόρων σύμφωνα με τις απαιτήσεις του σχεδιασμού:
- Επεξεργασία χαρτών αποτύπωσης και παρουσίαση περιοχών:
- Ανάλυση υλικών
 - Ανάλυση υφιστάμενης δραστηριότητας (προγενέστερες περιοχές πρώτων υλών κατασκευής κάστρου)



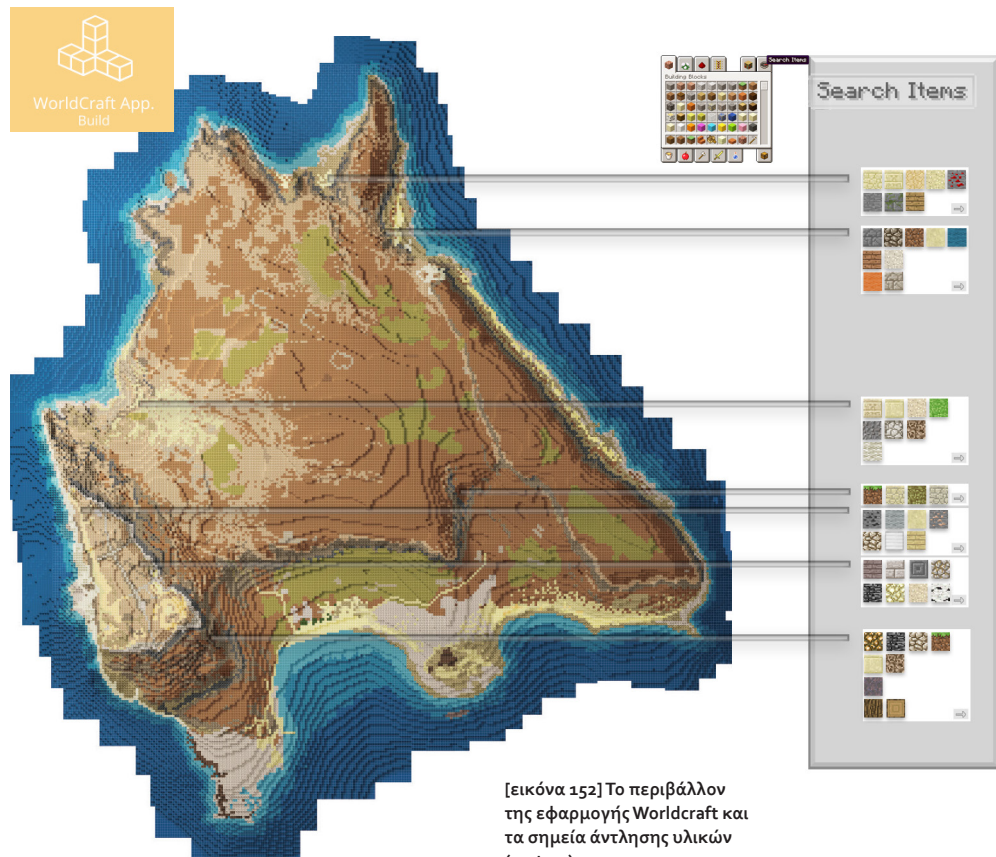
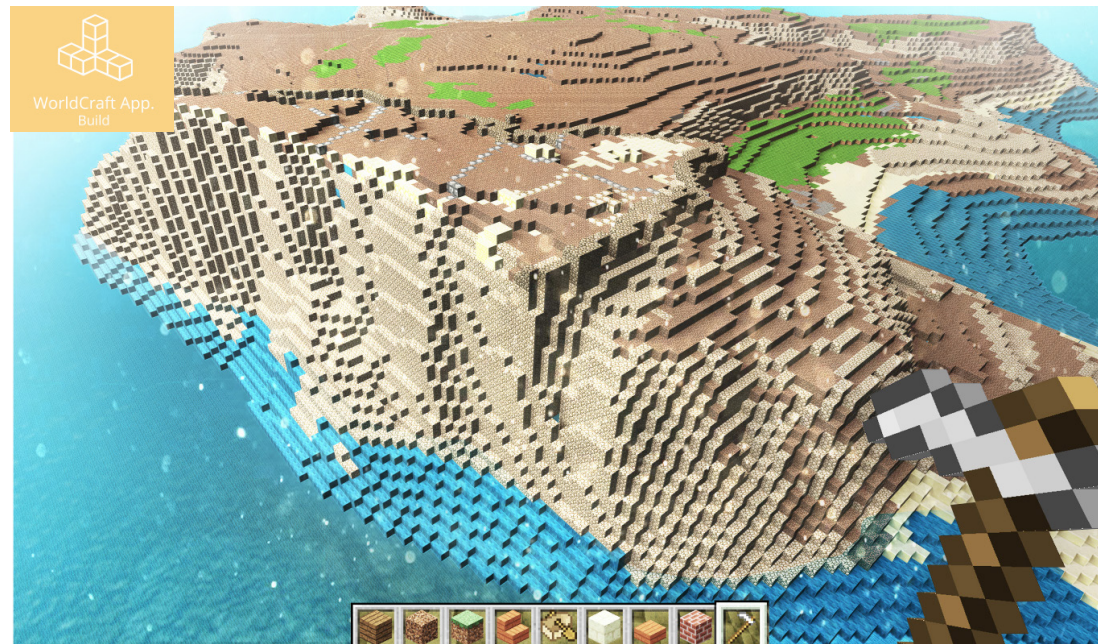
[εικόνα 149] Η εισαγωγή του σχεδιαστικού μοντέλου στο Worldcraft και οι επιλογές επεξεργασίας.



[εικόνα 150] Το περιβάλλον της εφαρμογής Worldcraft στη φάση Build.



[εικόνα 151] Το περιβάλλον της εφαρμογής Worldcraft στη φάση Build και οι επιλογές υλικών κατασκευής σε σχέση με τα σημεία άντλησης υλικών.



[εικόνα 152] Το περιβάλλον της εφαρμογής Worldcraft και τα σημεία άντλησης υλικών (sectors).

Επεξεργασία

α) Διαδικασία επεξεργασίας σχεδιαστικού μοντέλου και κωδικοποίησης σε Worldcraft:

- 1) ρυθμίσεις μετατροπής μοντέλου σε δομικά στοιχεία:
 - α) χαμηλή ανάλυση - μεσαία ανάλυση - υψηλή ανάλυση:
Οι επιλογές αυτές αποτελούν τις βασικές εντολές επεξεργασίας, όμως δεν αποτελούν ιδανική λύση σε κάθε σχεδιαστικό μοντέλο λόγω της πολυπλοκότητας του σχεδιασμού και των περιορισμών του πεδίου εφαρμογής.

β) ανάλυση βελτιστοποίησης από το σύστημα:

Με βασικό παράγοντα την οικονομία υλικού και εργασιών των ρομπότ, το σύστημα επεξεργάζεται το μοντέλο σχεδιασμού και με βάση τον βαθμό καμπυλότητας επιλέγει την ανάλυση των κύβων (μεγάλη καμπύλη, υψηλή ανάλυση – ευθεία γραμμή, χαμηλή ανάλυση). Ακόμη, ελέγχει την ποσότητα των διαθέσιμων υλικών από τα κοντινά σημεία άντλησης, προκειμένου να υπάρχει ισορροπία μεταξύ του ποσοστού αποθέματος και ζήτησης της κάθε κατασκευής. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η άντληση των απαραίτητων υλικών για την κατασκευή γίνεται από περιοχές κοντά στο σημείο επέμβασης για την ελαχιστοποίηση του χρόνου επεξεργασίας και μεταφοράς από το ρομποτικό σμήνος.

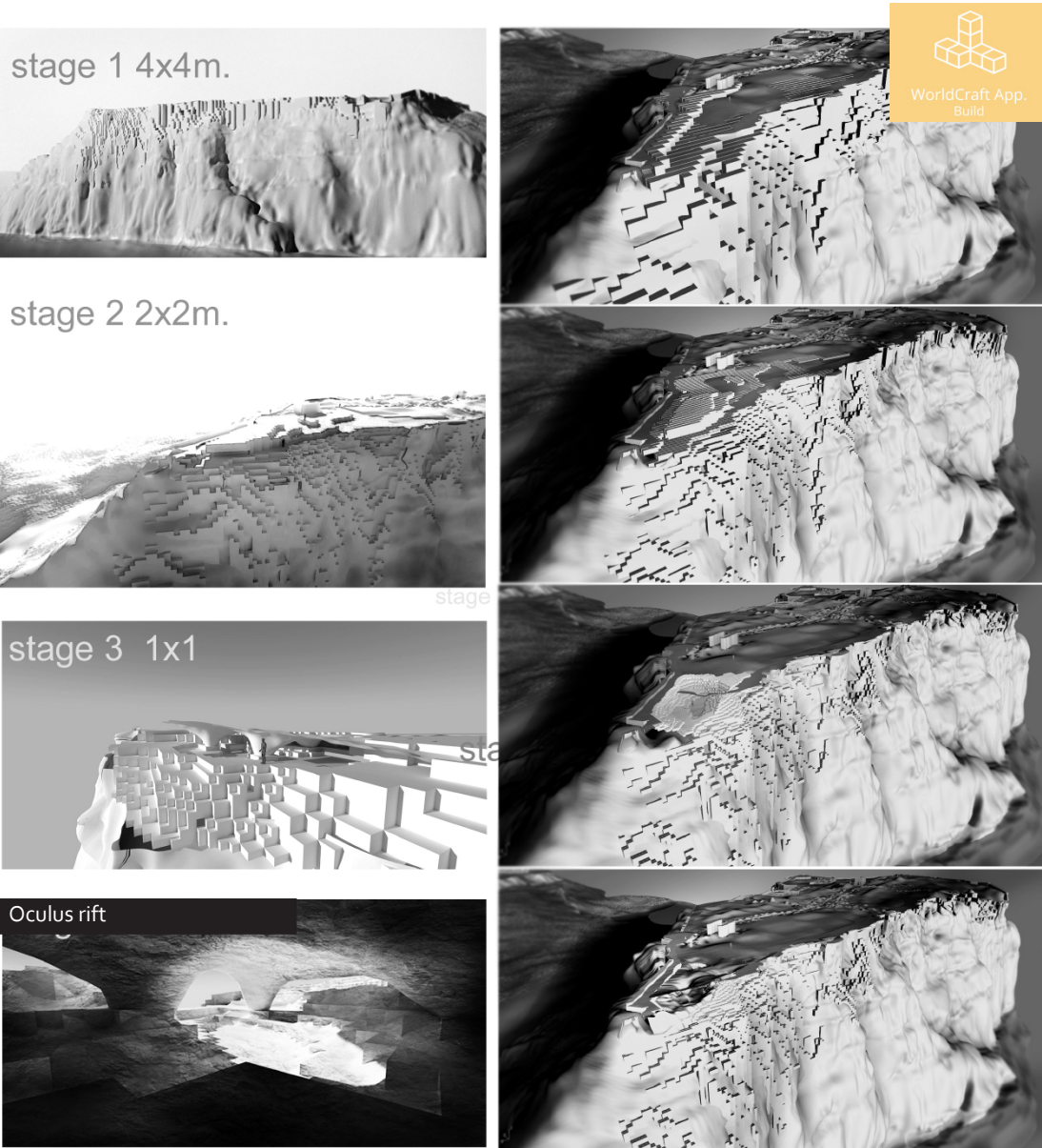
γ) επεξεργασία ανάλυσης από τον χρήστη του μοντέλου βελτιστοποίησης:

- δυνατότητα μετασχηματισμού ανάλυσης τοπικά
- δυνατότητα επεξεργασίας μοντέλου σε επίπεδο σύνθεσης με την δυνατότητα εργαλείων σχεδιασμού.

Μετά την διαδικασία βελτιστοποίησης, ο χρήστης έχει την δυνατότητα μετασχηματισμού της ανάλυσης και αναθεώρησης του σχεδιαστικού μοντέλου. Η πλατφόρμα προσφέρει δυνατότητες σύνθεσης μέσα από απλά εργαλεία. Για παράδειγμα, ο χρήστης σχεδιάζει με γραμμές οι οποίες μετατρέπονται, σε πραγματικό χρόνο, σε κύβους της επιθυμητής ανάλυσης.

Βέλτιστη λύση

Σε αυτό το σημείο έχουμε την εφαρμογή εργαλείων της πλατφόρμας για τη ρεαλιστική αναπαράσταση μοντέλου σε σχέση με το συνολικό περιβάλλον για τις τελικές μετατροπές σχεδιασμού. Η πλατφόρμα δανείζεται τα μέσα αναπαράστασης του παιχνιδιού Minecraft και τα χρησιμοποιεί σαν εργαλεία απεικόνισης του σχεδιασμού. Μερικά από αυτά τα εργαλεία συνδυάζονται με συσκευές εικονικής πραγματικότητας, όπως το Hololens και το Oculus rift.



[εικόνα 153] Διαδικασία επεξεργασίας σχεδιαστικού μοντέλου και κωδικοποίησης σε Worldcraft. Ανάλυση βελτιστοποίησης από το σύστημα.

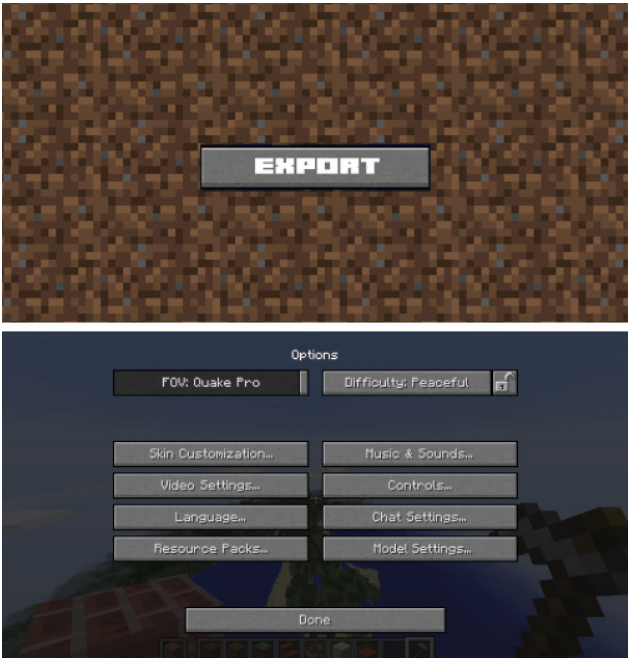
Δημιουργία κώδικα και επικοινωνία με σμήνος

Encoder:

- α) δημιουργία σημείων αναφοράς σε κάθε κύβο, τα οποία τοποθετούνται σε ένα matrix και κατηγοριοποιούνται ανάλογα με τα χαρακτηριστικά τους.
- β) σύνδεση σημείων αναφοράς για την δημιουργία toolpath:
 - το toolpath (οδηγός κατασκευής) είναι δομημένο ιεραρχικά, από πάνω προς τα κάτω.
- γ) ανάθεση εργασίας σε ρομποτικό σμήνος.
Η κατανομή εργασίας στο σμήνος γίνεται με βάση τα χαρακτηριστικά των ρομπότ και την πολυπλοκότητα του σχεδιασμού. Βασικό χαρακτηριστικό αυτής της φάσης είναι ότι τα ρομπότ θα πρέπει να αποδώσουν το επιθυμητό σχήμα με τις ιδιότητες και τα χαρακτηριστικά που έχουν τεθεί από τον σχεδιαστή.
- δ) εκτίμηση μέσου χρόνου κατασκευής (λαμβάνοντας υπόψη αστάθμητους παράγοντες, όπως ο μέσος χρόνος υλοποίησης εργασίας ενός μεμονωμένου πράκτορα).

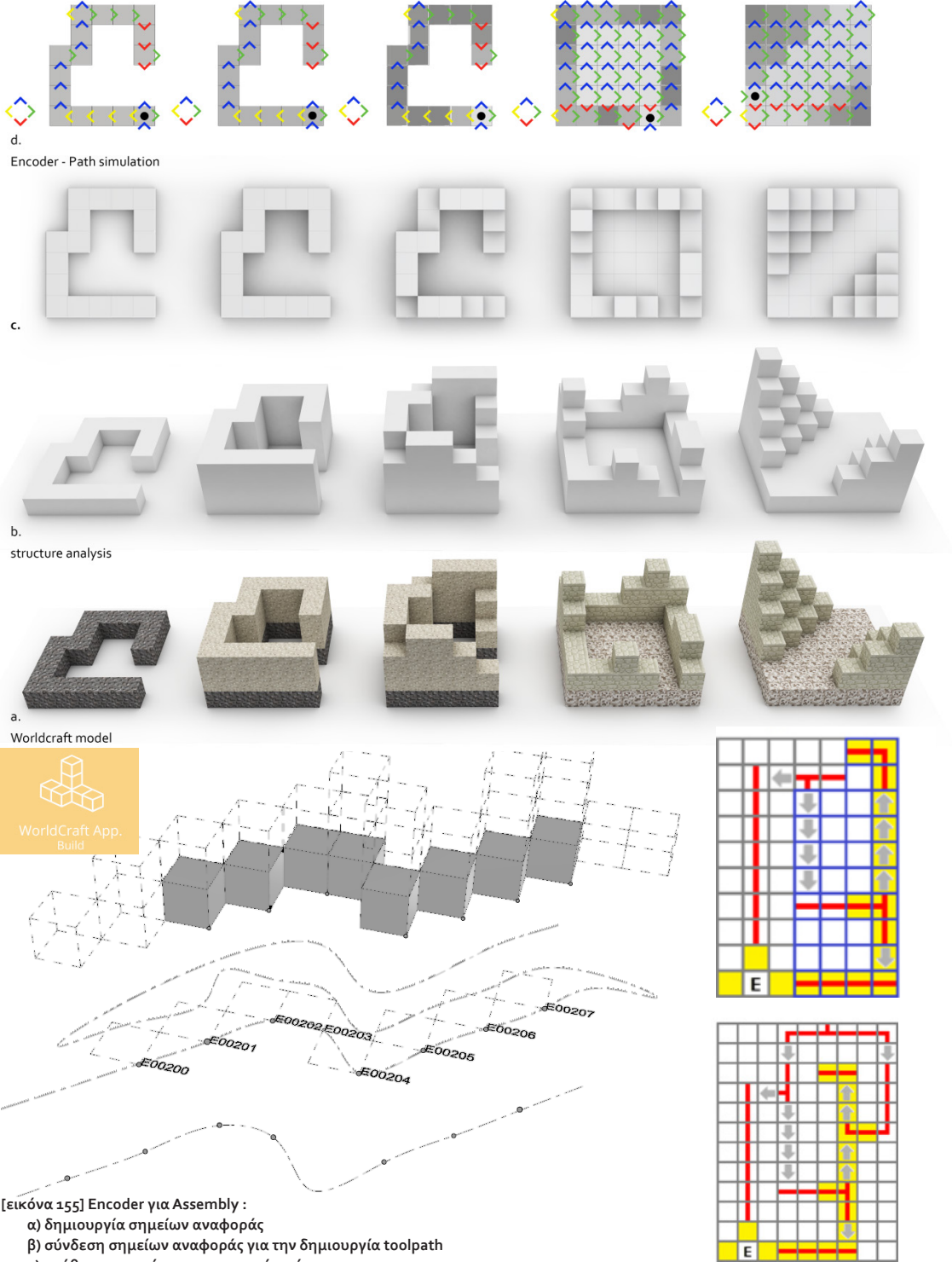
Διαδικασία επιτήρησης και αξιολόγησης

Κάθε φορά που ολοκληρώνεται ένα κομμάτι της κατασκευής, δημιουργείται παράλληλα το αντίστοιχο τρισδιάστατο μοντέλο στην πλατφόρμα με σκοπό την αξιολόγηση του έργου.

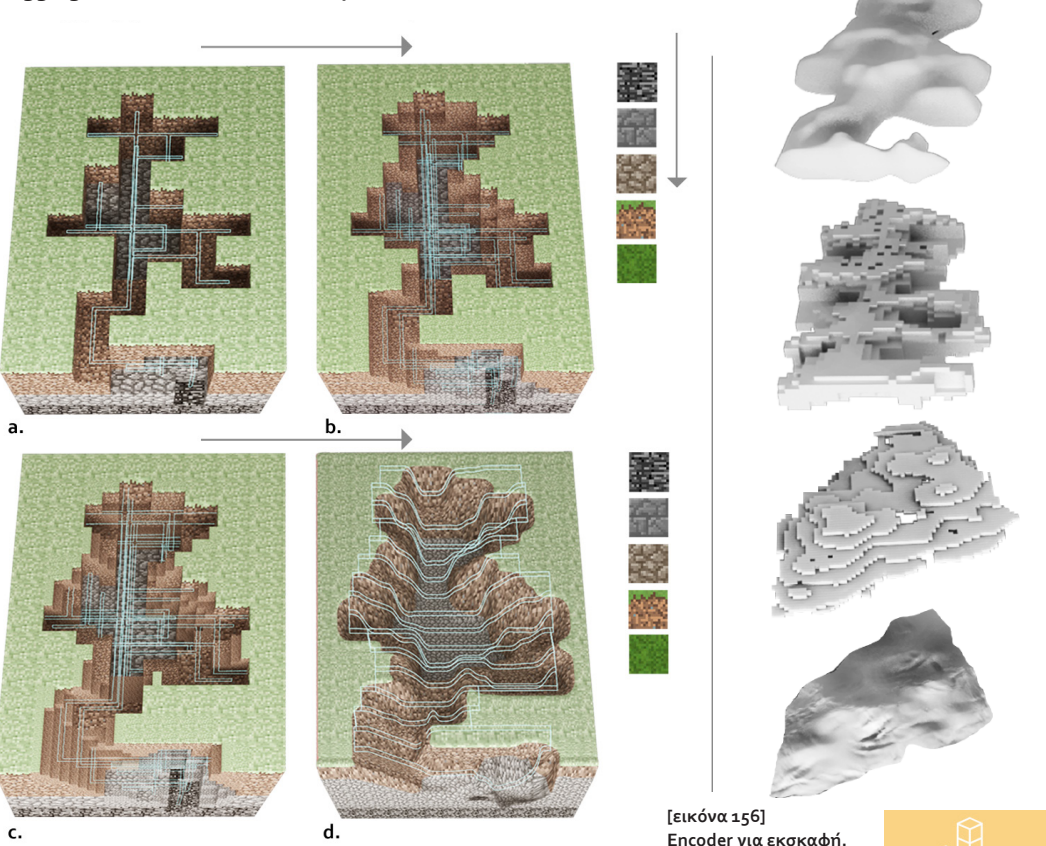


[εικόνα 154] Δημιουργία κώδικα και επικοινωνία με σμήνος.

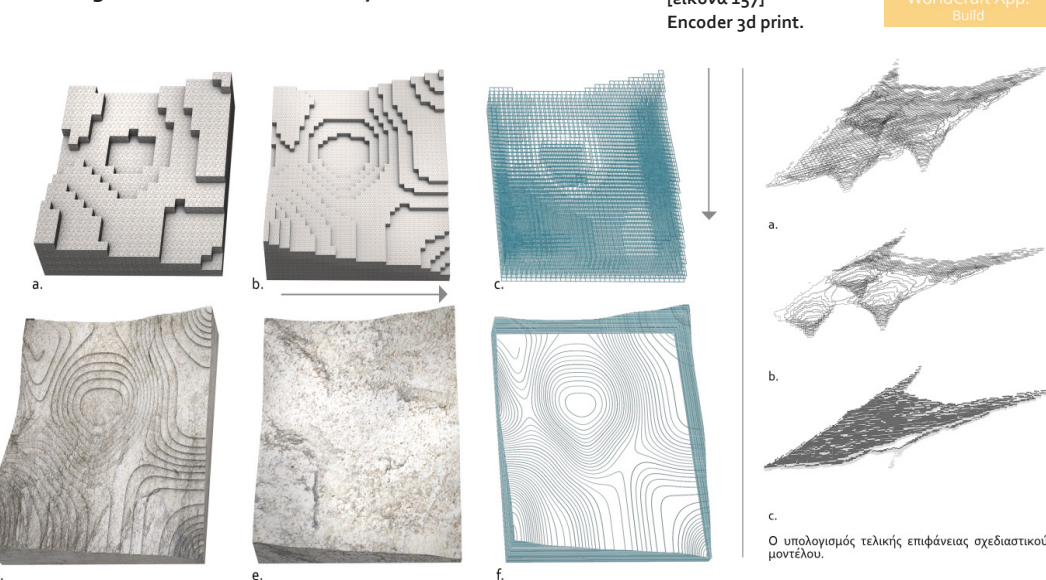
Assembly Process -Worldcraft Analysis



Digging Process -Worldcraft Analysis



3d Printing Process -Worldcraft Analysis



Διαδικασία κατασκευής με χρήση ρομποτικού σμήνους

Εισαγωγή

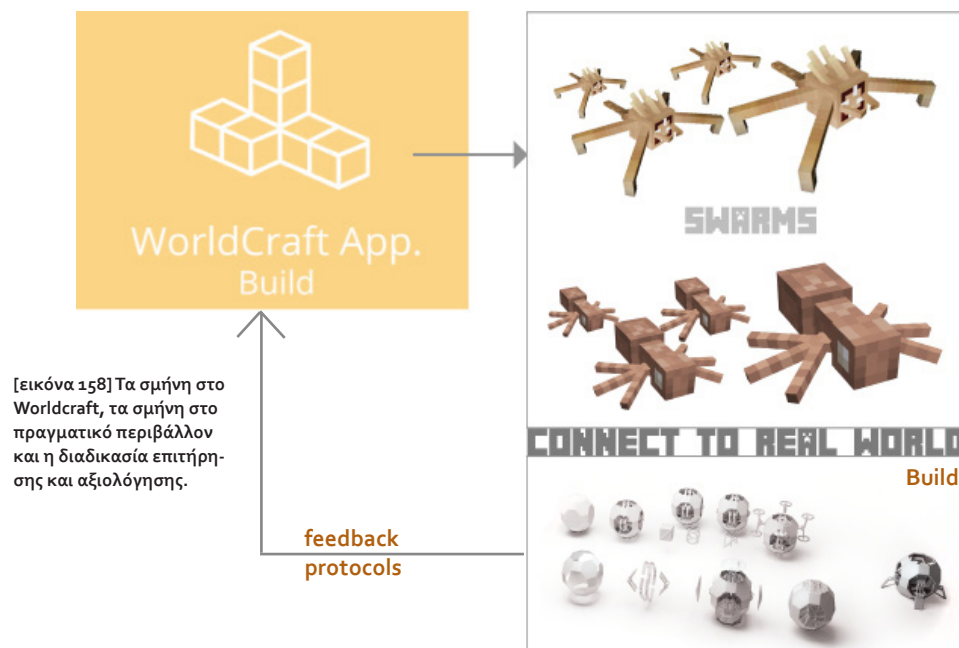
Η διαδικασία κατασκευής με την χρήση ρομποτικού σμήνους αποτελεί το τελικό στάδιο του συστήματος. Το συγκεκριμένο στάδιο αντλεί πληροφορίες από την προηγούμενη έρευνα (αποικία στον Αρη) σχετικά με τη λειτουργία και το πλάνο αποστολής του ρομποτικού σμήνους.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, το σύστημα είναι sensible (λογικό), δηλαδή, είναι σε θέση να κατανοήσει και να ορίσει τις συνθήκες μέσα σε ένα πλαίσιο. Ο χρήστης συμμετέχει επιβλέποντας την διαδικασία μέσα από το περιβάλλον της εφαρμογής και επεμβαίνει σε περίπτωση απόκλισης ή αστοχίας.

Διαδικασία επιτήρησης και αξιολόγησης

Πρωτόκολλα: Γονότυπος (G) -Φαινότυπος (PH) .

Κατά την διάρκεια της κατασκευαστικής διαδικασίας υπάρχουν αρκετά στάδια στα οποία ο χρήστης καλείται να αξιολογήσει την πρόοδο και να επέμβει σε περιπτώσεις απόκλισης από το αρχικό σχέδιο. Επομένως, το σύστημα ζητά σε ένα συγκεκριμένο χρονικό σημείο της διαδικασίας εάν οι αρχικές συνθήκες έχουν εκπληρωθεί και αν το σύστημα ακολουθεί το πρωτόκολλο- Γονότυπος (G) το οποίο ικανοποιεί τις απαιτήσεις που έχουν τεθεί αρχικά από τον σχεδιαστή, και το πρωτόκολλο – Φαινότυπος (PH) που προσπαθεί να εντάξει αρμονικά την κατασκευή στο τοπίο που εφαρμόζεται (πεδίο εφαρμογής- νήσος Γραμβούσας). Κατά συνέπεια, νέοι παράμετροι θέτονται και καινούριες αλλαγές απαιτούνται αναλόγως τις συνθήκες.



[εικόνα 158] Τα σμήνη στο Worldcraft, τα σμήνη στο πραγματικό περιβάλλον και η διαδικασία επιτήρησης και αξιολόγησης.

Πλάνο αποστολής ρομποτικού σμήνους

Στάδια αποστολής:

α. Πρώτο στάδιο : εξερεύνηση

1. Αναγνώριση περιοχής και εξέταση εγκατάστασης κεντρικής βάσης.
2. Δημιουργία τοπογραφικού με σημεία ορισμού:
 - Δημιουργία σημείου μηδέν με την χρήση στύλων (beacons) και την δημιουργία τριγωνισμών.
 - Υπολογισμός υψών
 - Εφαρμογή συστήματος επικοινωνίας

β. Δεύτερο στάδιο: Δημιουργία κεντρικής μονάδας υποστήριξης, επεξεργασίας και συλλογής υλικών και κατασκευή υποδομής βασικού κτιριακού όγκου.

- Δημιουργία δικτύου εγκαταστάσεων (Sectors) για την εξυπηρέτηση των επεμβάσεων για την βελτιστοποίηση της κατασκευαστικής διαδικασίας.
- Η υλικότητα κάθε επέμβασης έχει τα χαρακτηριστικά και τις ιδιότητες των υλικών από την κοντινότερη εγκατάσταση. Σε συνδυασμό με τις προθέσεις του σχεδιαστή, το σύστημα προσπαθεί να βρει την βέλτιστη λύση.

δ. Τρίτο στάδιο: ιεράρχηση κατασκευαστικής διαδικασίας.

Εφόσον έχουν εντοπισθεί και κατασκευαστεί οι μονάδες επεξεργασίας ξεκινάει η κατασκευή του κεντρικού όγκου και στη συνέχεια οι επιμέρους κατασκευές, όπως μονοπάτια και επεμβάσεις σε υφιστάμενα κτίρια.

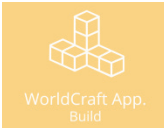
ε. Τέταρτο στάδιο: Ολοκλήρωση της κατασκευής, τελικές προσαρμογές από τον χρήστη και αξιολόγηση.

Συνολική αντιμετώπιση:

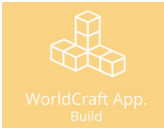
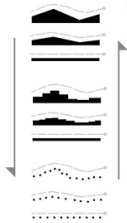
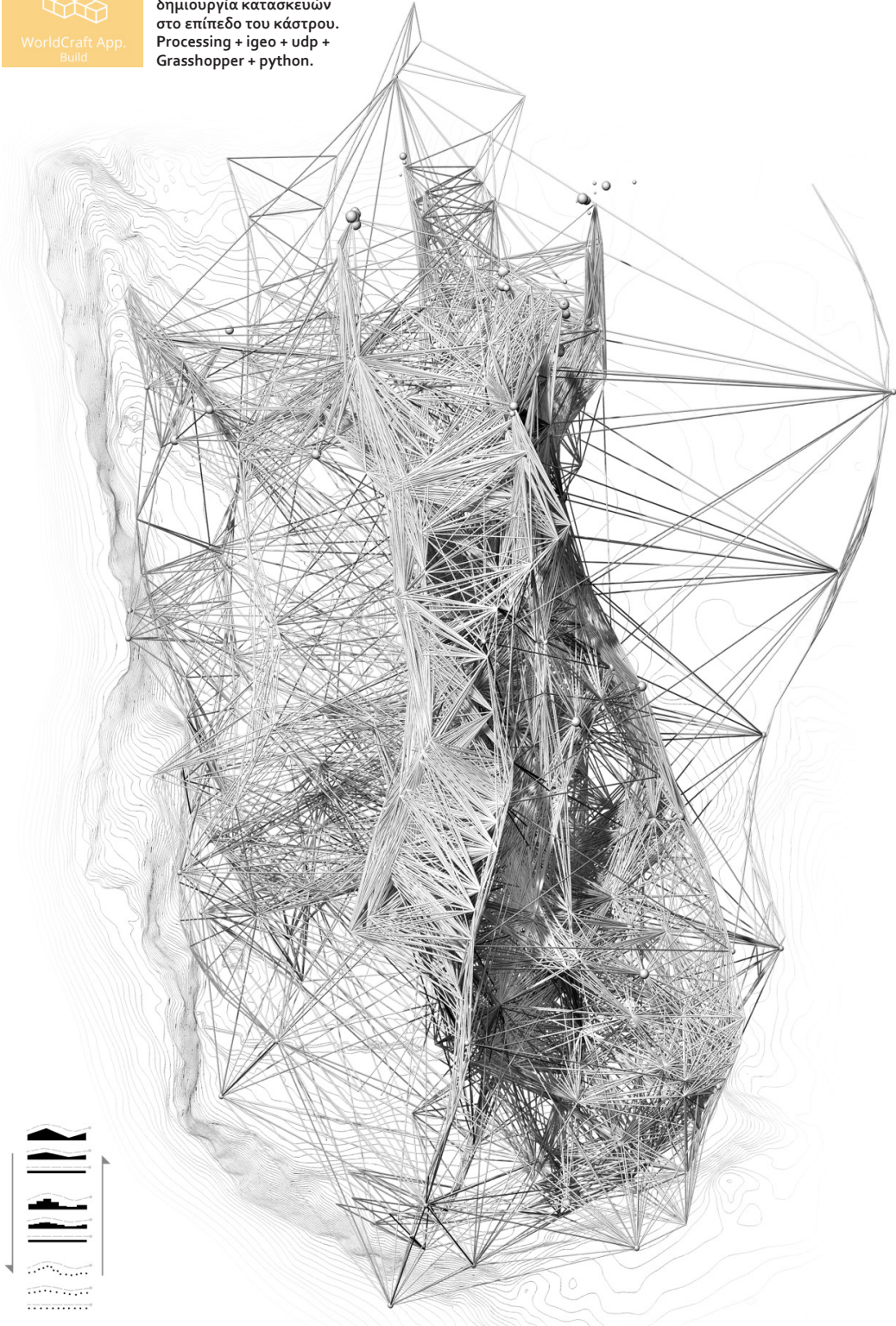
- α. Τελικές επεμβάσεις.
- β. Προετοιμασία για υποδοχή χρηστών



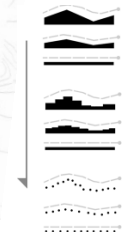
[εικόνα 159] Οι διαδρομές του σμήνους σε μια χρονική στιγμή στο πραγματικό περιβάλλον.

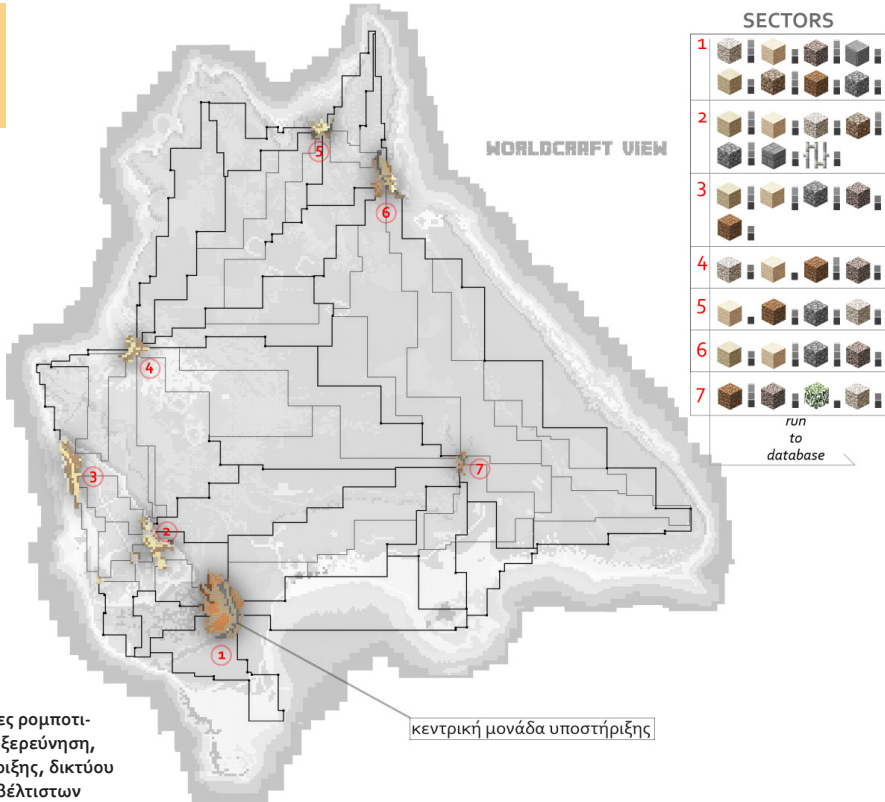


[εικόνα 160] Διαδικασία εξερεύνησης υλικών για την δημιουργία κατασκευών στο επίπεδο του κάστρου. Processing + igeo + udp + Grasshopper + python.

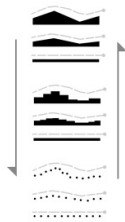
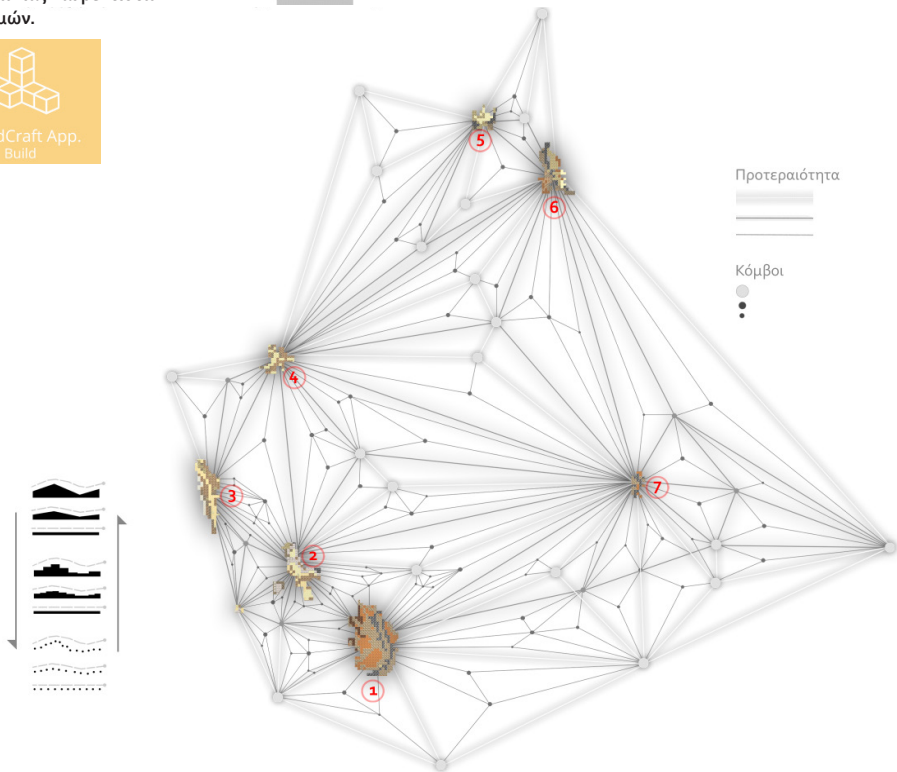


[εικόνα 161] Διαδικασία κατασκευής επεμβάσεων και μεταφοράς υλικών, στο επίπεδο του κάστρου. Processing + igeo + udp + Grasshopper + python.





[εικόνα 162] Χάρτες ρομποτικού σμήνους για εξερεύνηση, μονάδων υποστήριξης, δικτύου επικοινωνίας και βέλτιστων διαδρομών.



Περιγραφή ρομπότ και εξοπλισμού

Με βάση την πολυπλοκότητα γίνεται η κατανομή της εργασίας στο σμήνος από ρομπότ. Βασικό χαρακτηριστικό των ρομπότ είναι η απλή δομή τους αλλά και η δυνατότητα συνδυασμού τους για την δημιουργία μεγαλύτερου ρομπότ για ειδικευμένες εργασίες όπου αυτές απαιτούνται. Το μέγεθος τους και τα εργαλεία που χρησιμοποιούν, καθορίζουν την τελική μορφή της κατασκευής.

Ρομπότ εδάφους:

- α. Ρομπότ εκσκαφής
- β. Ρομπότ τήξης (Melting robots)
- γ. Ρομπότ συναρμολόγησης
- δ. Ρομπότ επικοινωνιών
- ε. Ρομπότ τρισδιάστατης εκτύπωσης
- δ. Ρομπότ μεταφορών

Ρομπότ αέρα:

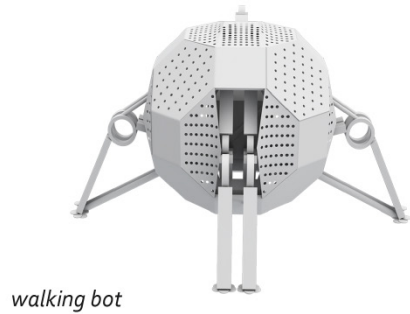
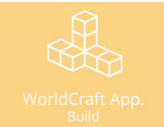
- α. Ρομπότ επικοινωνιών
- β. Ρομπότ μεταφορών
- γ. Ρομπότ συντονισμού και ελέγχου

Εξοπλισμός εγκαταστάσεων:

- α. Κέντρο ελέγχου
- β. Κέντρο συντήρησης και επισκευής ρομπότ



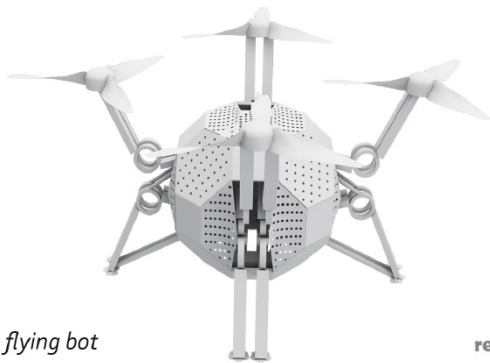
[εικόνα 163] Σημείο συντήρησης και αποθήκευσης σμήνους.



walking bot

SPECIFICATIONS	
exploring	●●●●●●●●
walking	●●●●●●●●
flying	●
observing	●●●●●●●●
drilling	●●●●●●●●
digging	●●●●●●●●
carving	●●●●●●●●
collecting	●●●●●●●●
carrying	●●
building	●●●●●●●●
reproducing	●

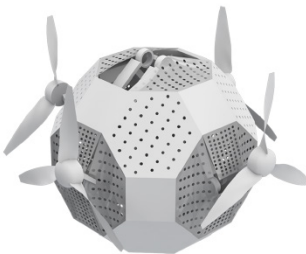
}



flying bot

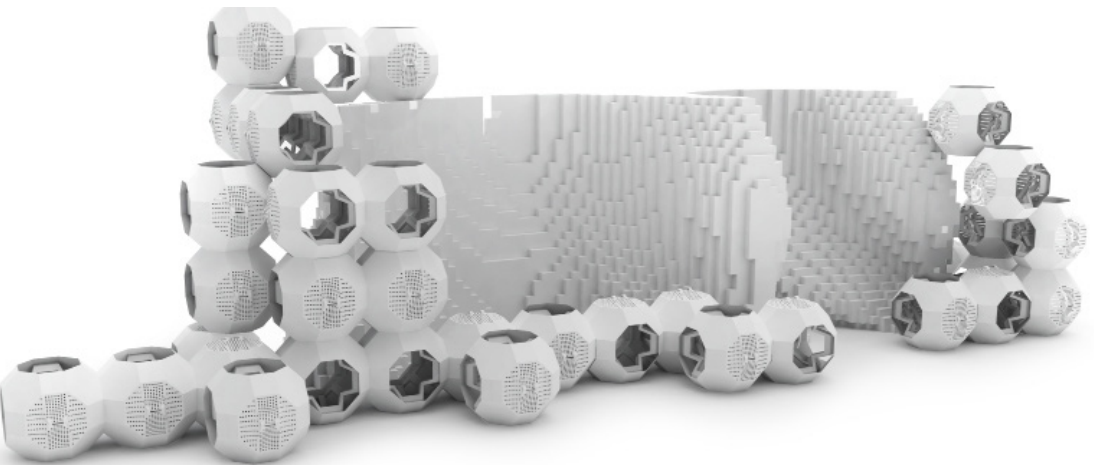
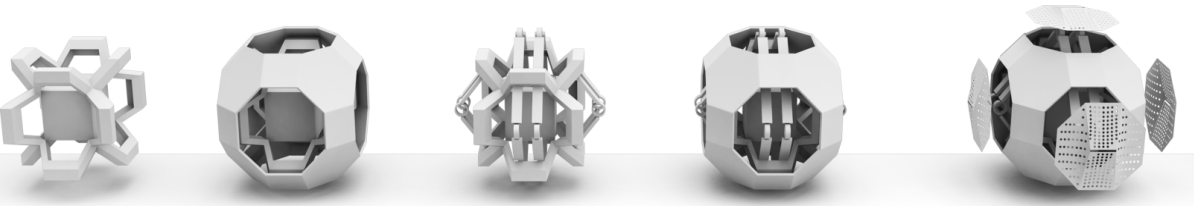
SPECIFICATIONS	
exploring	●●●●●●●●
walking	●●●●
flying	●●●●●●●●
observing	●●●●●●●●
drilling	●●●●●●●●
digging	●●●●●●●●
carving	●●●●●●●●
collecting	●●●●●●●●
carrying	●●●●●
building	●●●●●●●●
reproducing	●

[εικόνα 164] Οι διαφορετικοί τυποι πρακτόρων με κοινό κέλυφος και διαφορετικό πυρήνα, ανάλογα με τη λειτουργία.

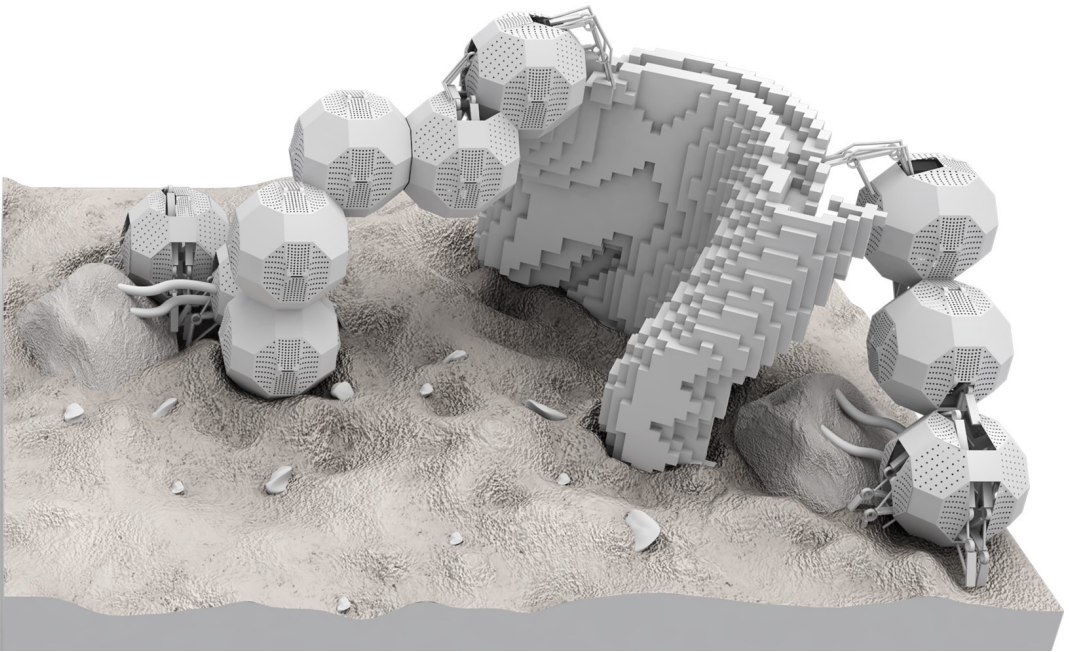


exploring bot

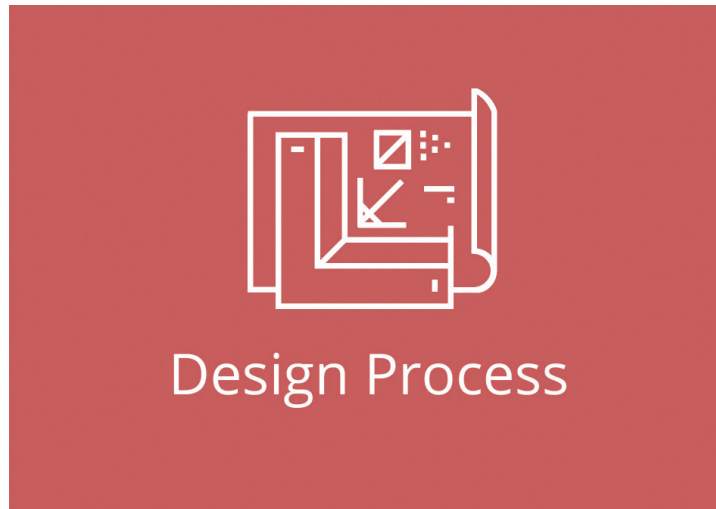
SPECIFICATIONS	
exploring	●●●●●●●●
walking	●●●●●●
flying	●●●●●●
observing	●●●●●●●●
drilling	●●●●●●
digging	●●●●●●
carving	●●●●●●
collecting	●●●●●●
carrying	●●●●●●●●
building	●●●●●●
reproducing	●



[εικόνα 165] Το ρομποτικό σμήνος στην κατασκευή. Δημιουργούνται σκαλωσιές και εσωτερικοί διάδρομοι μεταφοράς υλικού.



[εικόνα 166] Το ρομποτικό σμήνος στην κατασκευή. Εναπόθεση δομικών στοιχείων και συμπλήρωση με τοπικά κονιάματα.

Στάδιο 4: Η μεθοδολογία του σχεδιασμού

Ο αρχιτεκτονικός σχεδιασμός διεξάγεται από την αρχή του συστήματος παράλληλα με τα ενδιάμεσα στάδια. Όταν η διαδικασία φτάσει σε ένα σημείο ωριμότητας, τότε ο σχεδιαστής επιλέγει να συνεργαστεί με το εργαλείο Worldcraft Build με στόχο την κατασκευή του έργου.

Παρακάτω παρουσιάζονται οι βασικές αρχές σχεδιασμού και δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στην επιρροή του εργαλείου κατά την διάρκεια της σύνθεσης.

Αρχικός στόχος του σχεδιασμού ήταν η δημιουργία δομών στο τοπίο από υλικά του τοπίου με τους περιορισμούς του τόπου (ποσότητα ωφέλιμων υλικών – τοπογραφία κ.α). Σε συνδυασμό με το Worldcraft Analysis, ο σχεδιασμός συνεχώς τροποποιούνταν μέχρι το σημείο που ικανοποιούσε τις απαιτήσεις του συστήματος και της σύνθεσης. Στη συνέχεια, το Worldcraft Build έδωσε την τελική μορφή του σχεδιασμού μέσα από τις ιδιότητες της κατασκευής.

Τέλος, το ενδιαφέρον στην χρήση του νέου εργαλείου εντοπίζεται στο γεγονός ότι ενώ έδινε περιορισμούς στη σχεδίαση, κυρίως ως προς τα υλικά, κατάφερε να δημιουργήσει μια νέα ροή εργασίας “νέες σχέσεις” η οποία μπορεί να προσαρμόζεται και να αισθάνεται σε πραγματικό χρόνο τις αλλαγές και τους περιορισμούς του περιβάλλοντος, των υλικών και της κατασκευής.

Οι ανάγκες που παρουσιάζονται στη νήσο Γραμβούσα

- Απουσία μέριμνας του ιστορικού κάστρου Γραμβούσας καθώς και του συνολικού νησιού στα πλαίσια του προγράμματος NATURA 2000 (με αποτέλεσμα την επικινδυνότητα σημείων του κάστρου, αλλά και την καταστροφή ιστορικών στοιχείων, όπως άγαλμα βενετών – οικόσημο).

- Ανεξέλεγκτη εισροή τουριστών και παράνομες τουριστικές εγκαταστάσεις σε παραλίες.

- Καμία προσπάθεια για προστασία ή ανάδειξη του φυσικού τοπίου, χλωρίδας και πανίδας.

- Ελλιπής ενημέρωση για τα μνημεία του νησιού και απουσία καταγραφής ιστορικών φάσεων κάστρου και συνόλου.

Η ιδέα**Δομές στο τοπίο, κατασκευασμένες από το τοπίο για το τοπίο**

Ως περιβάλλον εφαρμογής της πλατφόρμας έχει επιλεγεί η νήσος Ημερη Γραμβούσα (Κρήτη). Στόχος του σχεδιασμού είναι αρχικά η διάσωση του ιστορικού κάστρου, η δημιουργία ενός δικτύου μονοπατιών για την εξερεύνηση των σημείων ενδιαφέροντος του νησιού και η κατασκευή ‘installations’ – παρατηρητήρια στο νέο δίκτυο. Με την βοήθεια αυτόνομων ρομποτικών πρακτόρων, σαν σύστημα κατασκευής και επικοινωνίας με το πραγματικό περιβάλλον, πραγματοποιείται η διαδικασία σχεδιασμού.

1. NET

Δίκτυο μονοπατιών-διαδρομές διαφορετικών επιπέδων, τα οποία συνδέουν διαφορετικές ποιότητες και επεμβάσεις (από διαμόρφωση μονοπατιού σε επιμέρους επεμβάσεις αποκατάστασης και νέου κτιστού περιβάλλοντος). Το δίκτυο απλώνεται σε όλο το νησί με βασική αρχή το στοιχείο της ανακάλυψης-εξερεύνησης.

Εναλλασσόμενες ποιότητες σε κάθε σημείο ή σταθμό-ακολουθία pattern και συλλογή αυτών σε κεντρικό κόμβο κτιστού περιβάλλοντος.

Αξιοποίηση των εντάσεων του τοπίου για την δημιουργία διαφορετικών εμπειριών σε κάθε σημείο-στάση.

2. Επέμβαση σε υφιστάμενα κτίρια

Βασικά στοιχεία:

- α. Προστασία – ανάδειξη
- β. Υποδοχή νέων χρήσεων

1) Σε πρώτη φάση επιχειρείται η διάσωση ιστορικών κτισμάτων κάστρου:

- Τοίχος κάστρου (στατικά, συμπληρώσεις, αποτύπωμα, ασφάλεια)

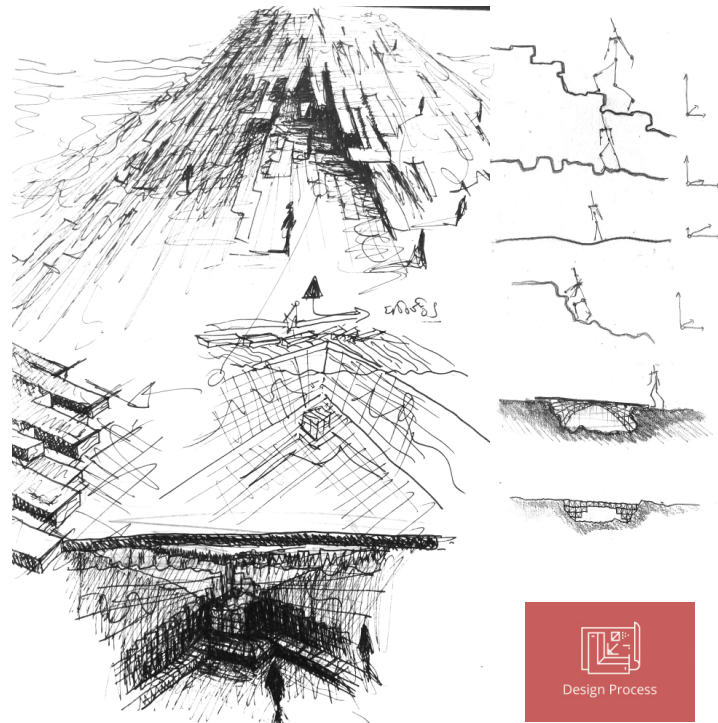
- Ο ναός του Ευαγγελισμού (στατικά, συμπληρώσεις, αποτύπωμα, ασφάλεια).
- Μπαρουταποθήκη (στατικά, συμπληρώσεις, αποτύπωμα, ασφάλεια).
- Πηγάδια (στατικά, συμπληρώσεις, αποτύπωμα, ασφάλεια).
- Φυλάκια (στατικά, συμπληρώσεις, αποτύπωμα, ασφάλεια).

2) Σε δεύτερη φάση ασχολούμαστε με κτίσματα στο ευρύτερο περιβάλλον του νησιού με άγνωστη ταυτότητα χρήσης και χρονολογία κατασκευής. Πρόκειται για ερείπια κτιρίων του νησιού, τα οποία εξυπηρετούν κυρίως την πρόθεση για ανάδειξη του τοπίου μέσα από τον περίπατο (δεν μας απασχολεί η αποκατάστασή τους αλλά η ανάδειξή τους).

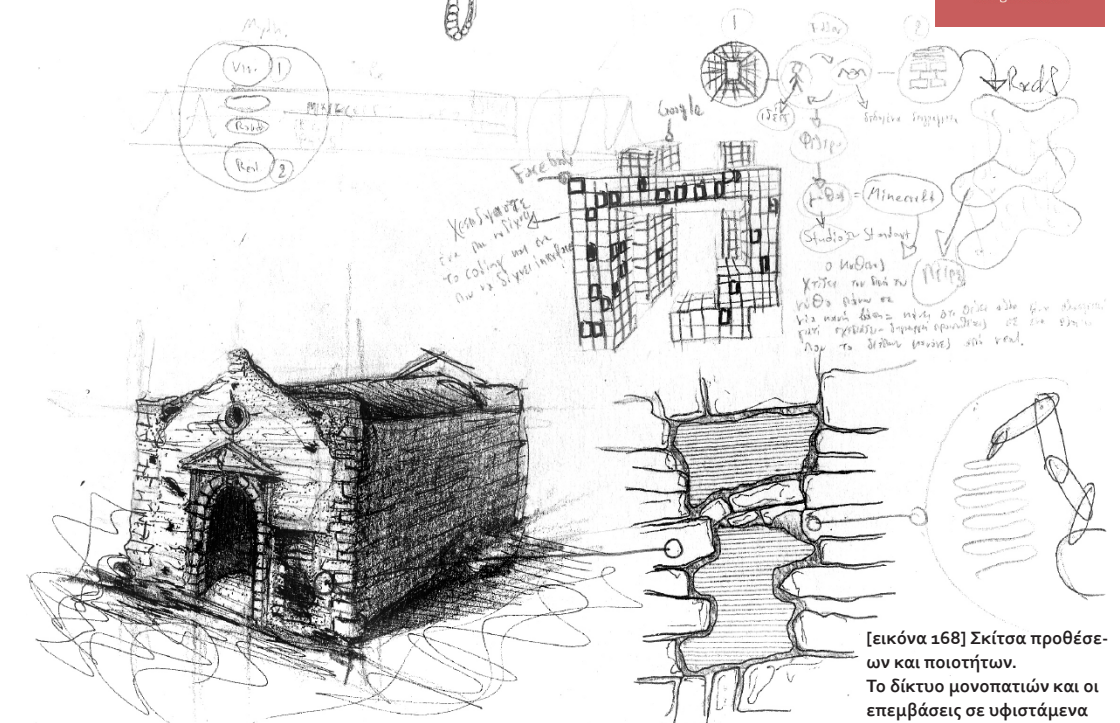
3) Σε τρίτη φάση αναγνωρίζουμε τα μονοπάτια του νησιού και τις ποιότητές τους με σκοπό τη σύνδεση των επεμβάσεων. Ουσιαστικά, πρόκειται για το σημαντικότερο στάδιο της μελέτης αφού τα μονοπάτια λειτουργούν σαν ραχοκοκαλιά πάνω στην οποία εναποθέτουμε διαφορετικές χρήσεις-ποιότητες. Αυτές οι χρήσεις αναπτύσσουν σχέσεις μεταξύ τους μέσω της ραχοκοκαλιάς.

3. Σχεδιασμός installation – παρατηρητήριο με εκθέματα

Συνοπτική παρουσίαση διαγραμμάτων και τελικών σχεδιαστικών ποιοτήτων:



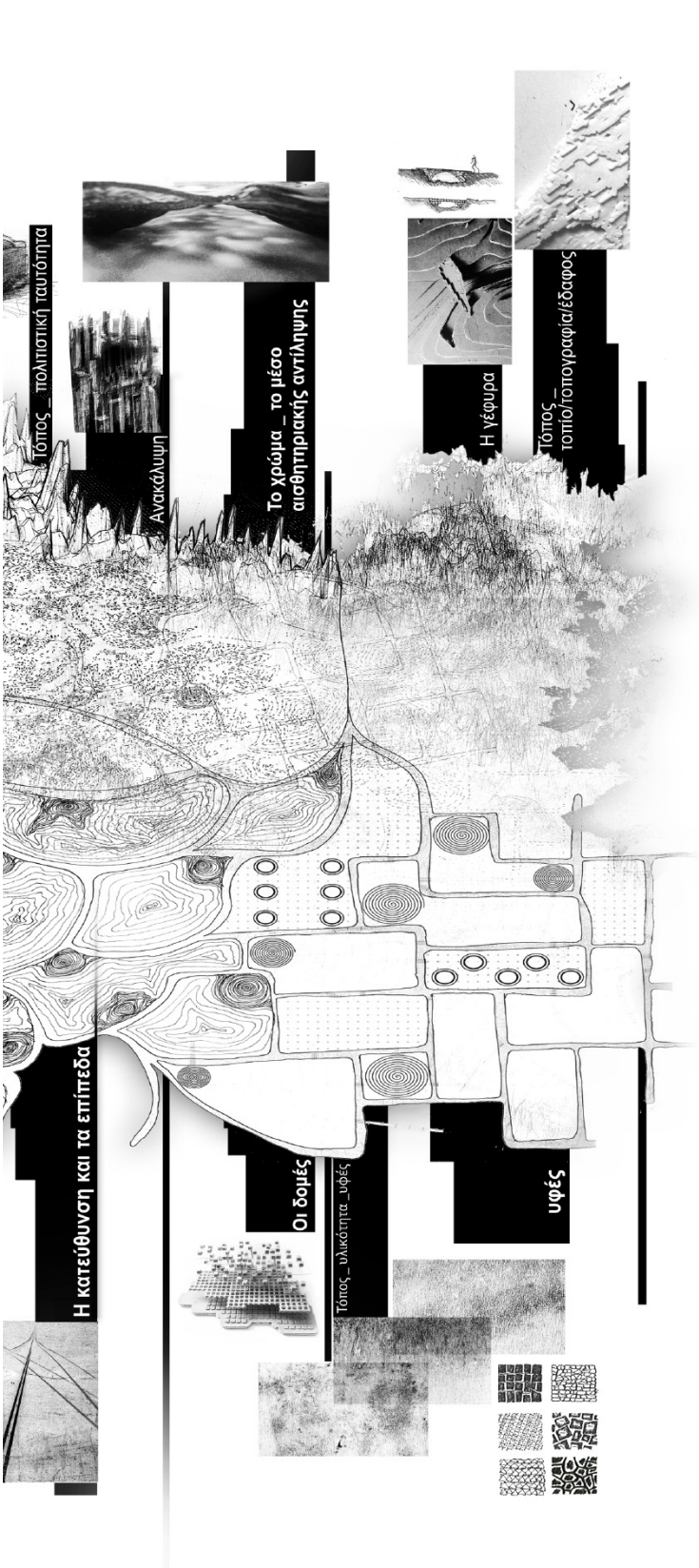
[εικόνα 167] Σκίτσα προθέσεων και ποιοτήτων.
Το παρατηρητήριο και οι εναλλαγές των μονοπατιών.



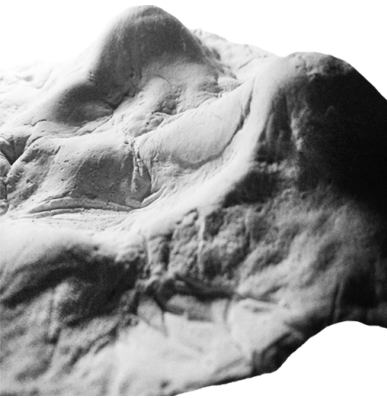
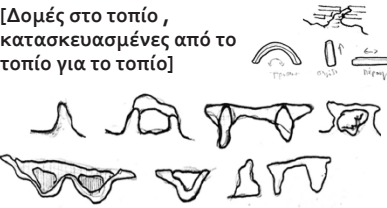
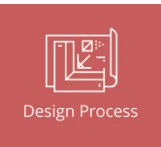
[εικόνα 168] Σκίτσα προθέσεων και ποιοτήτων.
Το δίκτυο μονοπατιών και οι επεμβάσεις σε υφιστάμενα κελύφη.



[εικόνα 169] Σκίτσο απεικόνισης τοπογραφικών εντάσεων του νησιού και σημειακές προθέσεις και ποιότητες.



[εικόνα 170] Σκίτσα - μακέτες προθέσεων και ποιότητων.





ΚΛΙΜΑΚΑ 1.4000

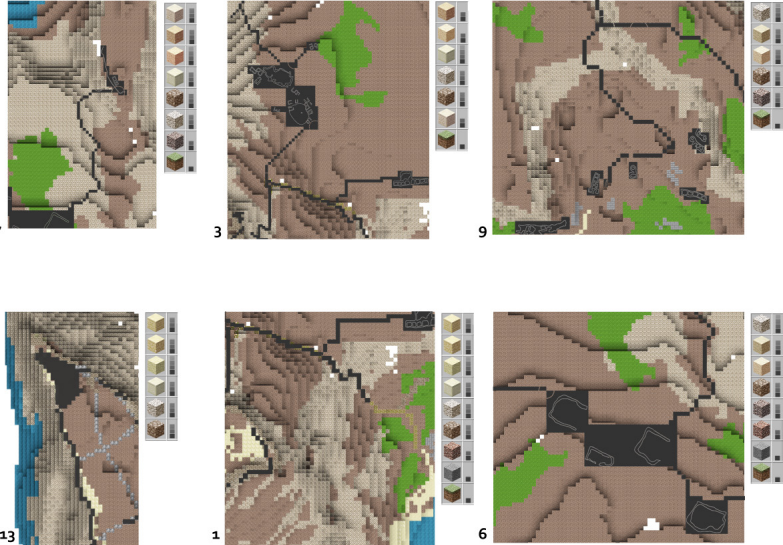
[εικόνα 171] Γενικό σχέδιο δικτύου μονο-
πατιών και επεμβάσεων σε κάστρο.



[εικόνα 172] Γενικό
σχέδιο δικτύου
μονοπατιών και
επεμβάσεων σε
κάστρο μέσα από
την εφαρμογή
Worldcrat.

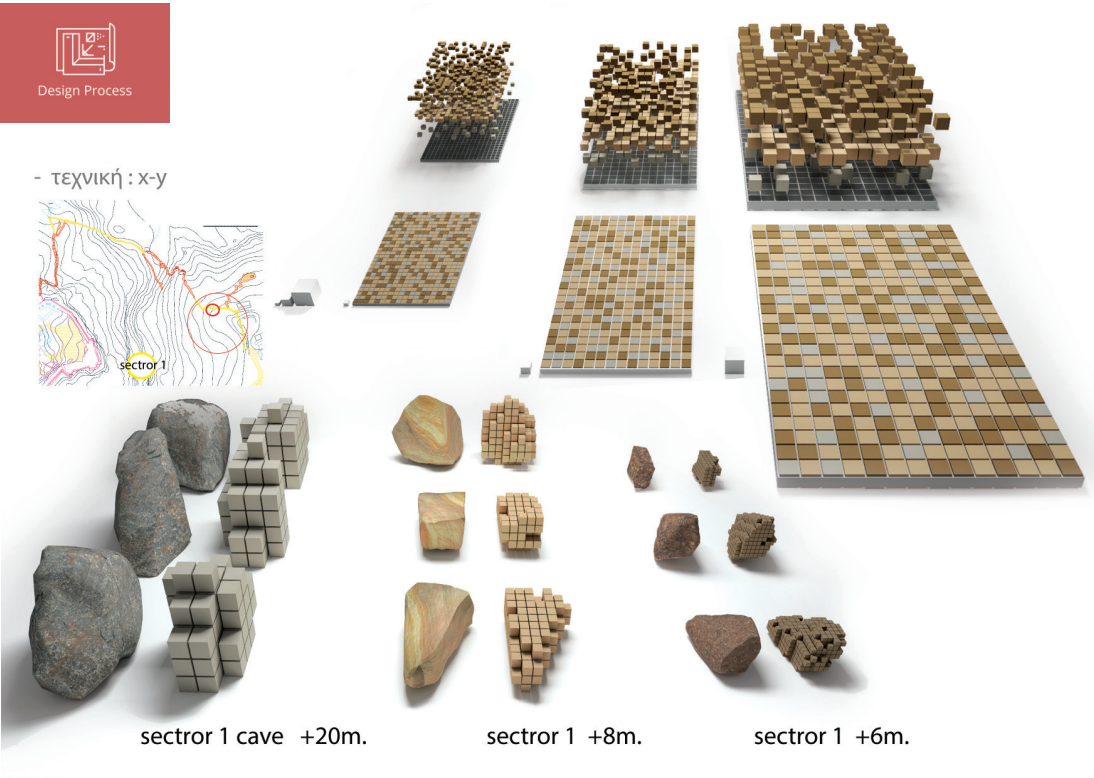
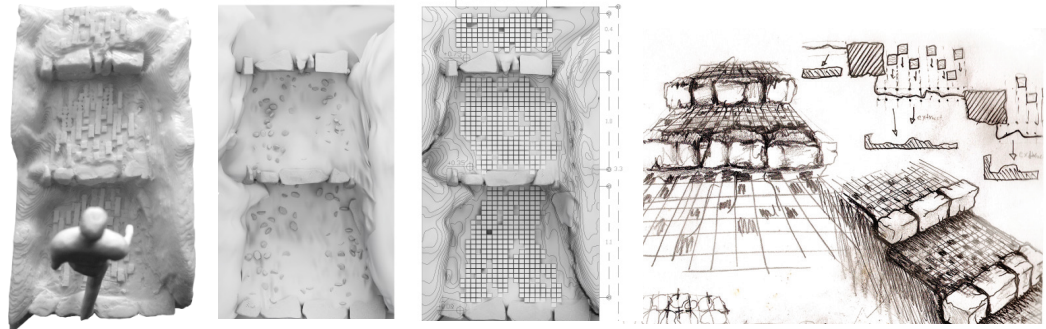
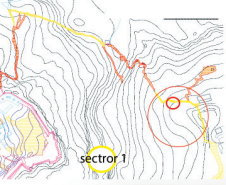


worldcrat concept

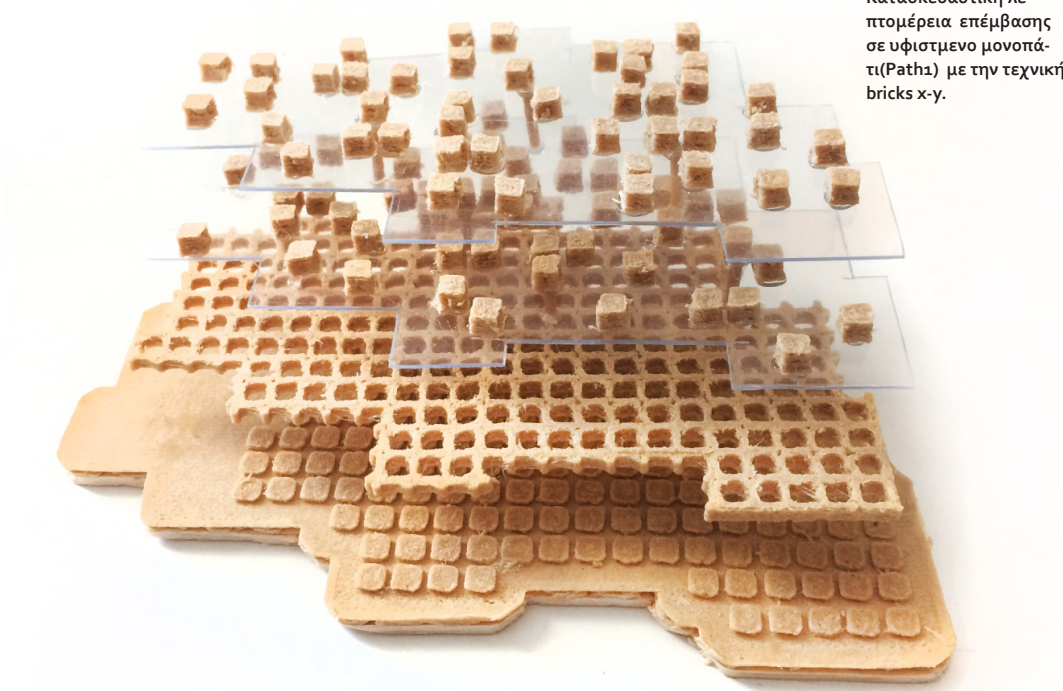




[εικόνα 173]
Επέμβαση σε
υφιστάμενο
μονοπάτι (Path 1)
με την τεχνική:
bricks x-y.
- τεχνική : x-y

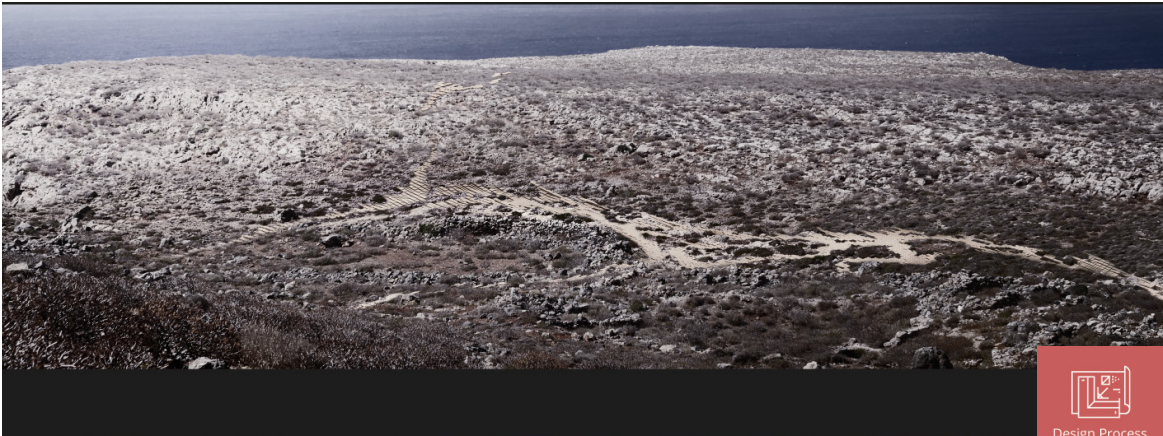
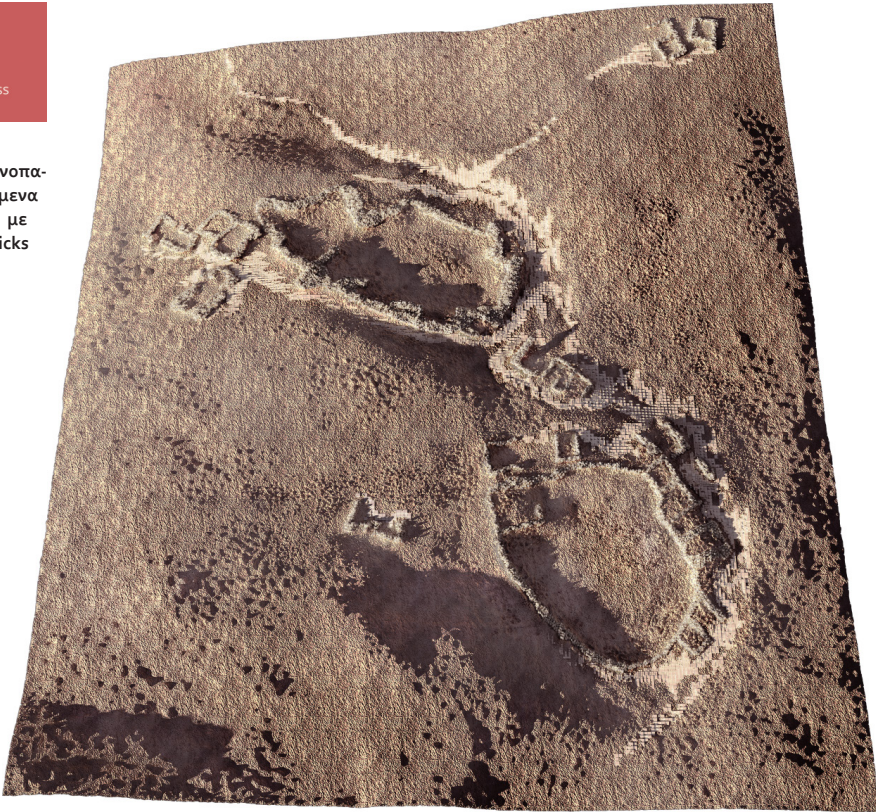


[εικόνα 174]
Κατασκευαστική λε-
πτομέρεια επέμβασης
σε υφιστάμενο μονοπά-
τι(Path1) με την τεχνική:
bricks x-y.





[εικόνα 175]
Δημιουργία μονοπατιού σε υφιστάμενα κελύφη(Path2) με την τεχνική: bricks x-y-z.



[εικόνα 176]
Επέμβαση σε υφιστάμενο μονοπάτι(Path2) με την τεχνική: bricks x-y-z.

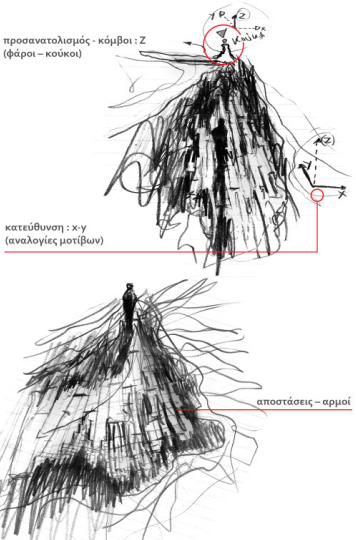
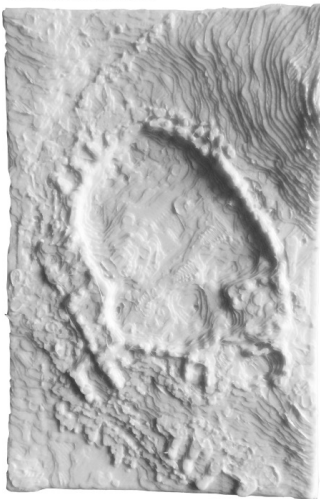


Τεχνική x-y(-z)
Sectors: 1-2-4
Bricks: 0.25m. – 0.5m – 1.0m
Μονοπάτια σμήνους – μονοπάτια ανθρώπων

Κανόνες σμήνους κατασκευής:

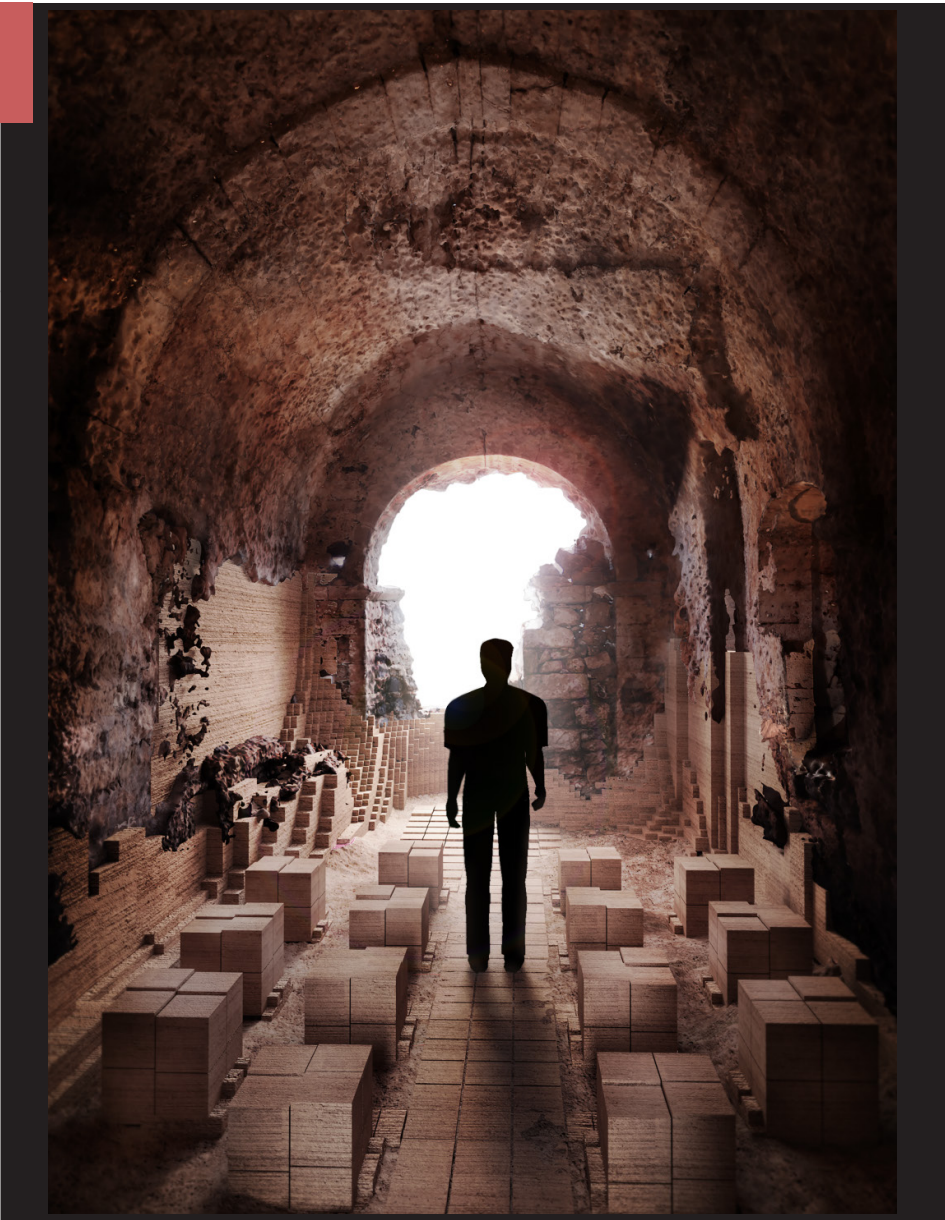
1. **μονοπάτι κίνησης:**
max πλάτος 2.5μ
min πλάτος 0.75μ
2. **κίνηση:**
μεγάλη ροή σε : 1.0x1.0μ
μεσαία ροή σε : 0.5x0.5μ
μικρή ροή σε : 0.25x0.25μ
3. **υλικότητα:**
μεγάλη επιφάνεια – solid surface : 1.0x1.0μ
μεσαία επιφάνεια – half solid surface : 0.5x0.5μ
μικρή επιφάνεια – stones : 0.25x0.25μ.
4. **υφιστάμενα:**
περίμετρος – όρια : 0.25x0.25μ stones from sectors 1-2
απόσταση από υφιστάμενα : min 0.5μ – max 1.0μ
κάλυψη περιμέτρου C/2 από το σημείο επαφής με μονοπάτι

Μακέτα ανάλυσης εδάφους

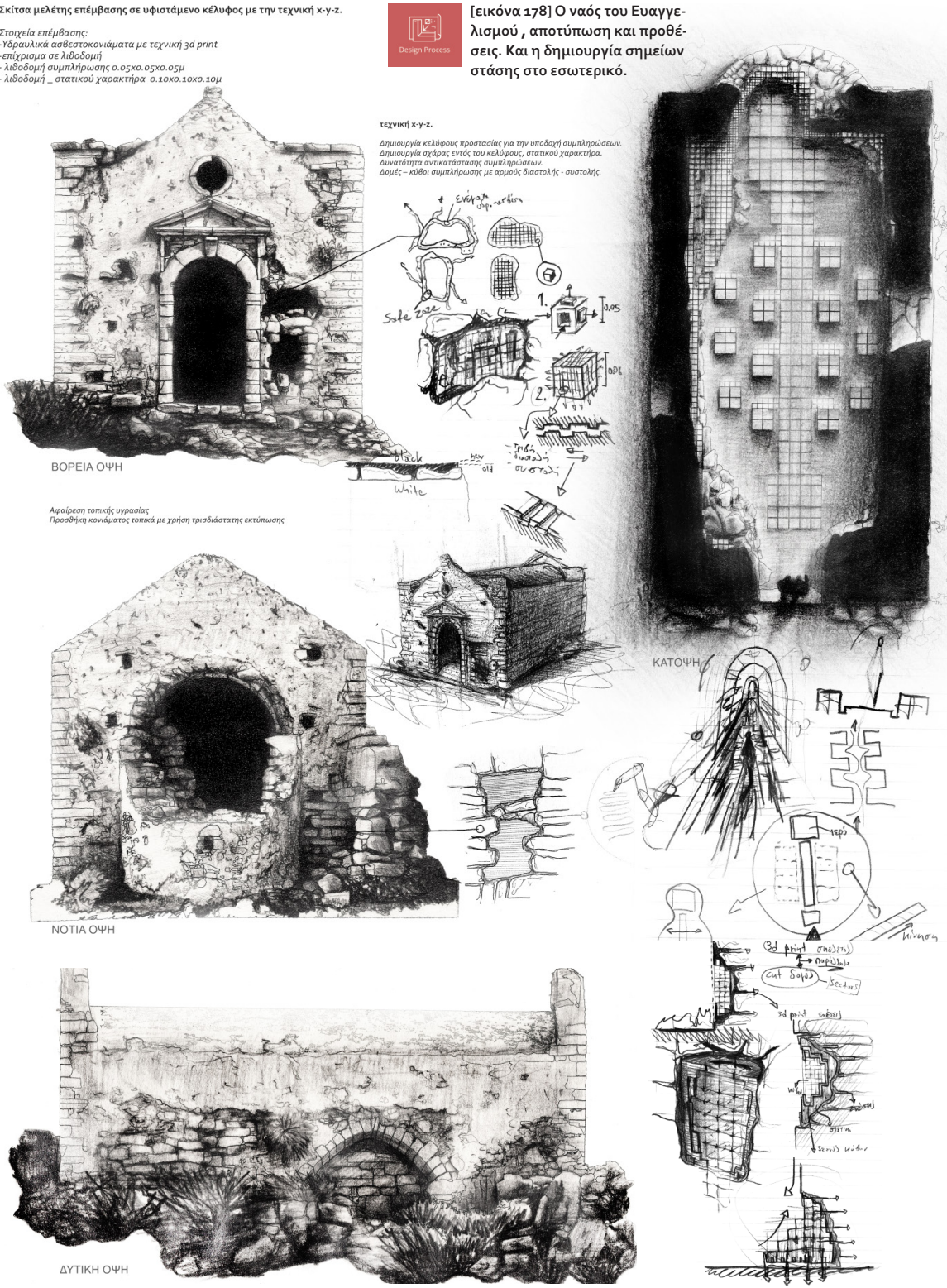


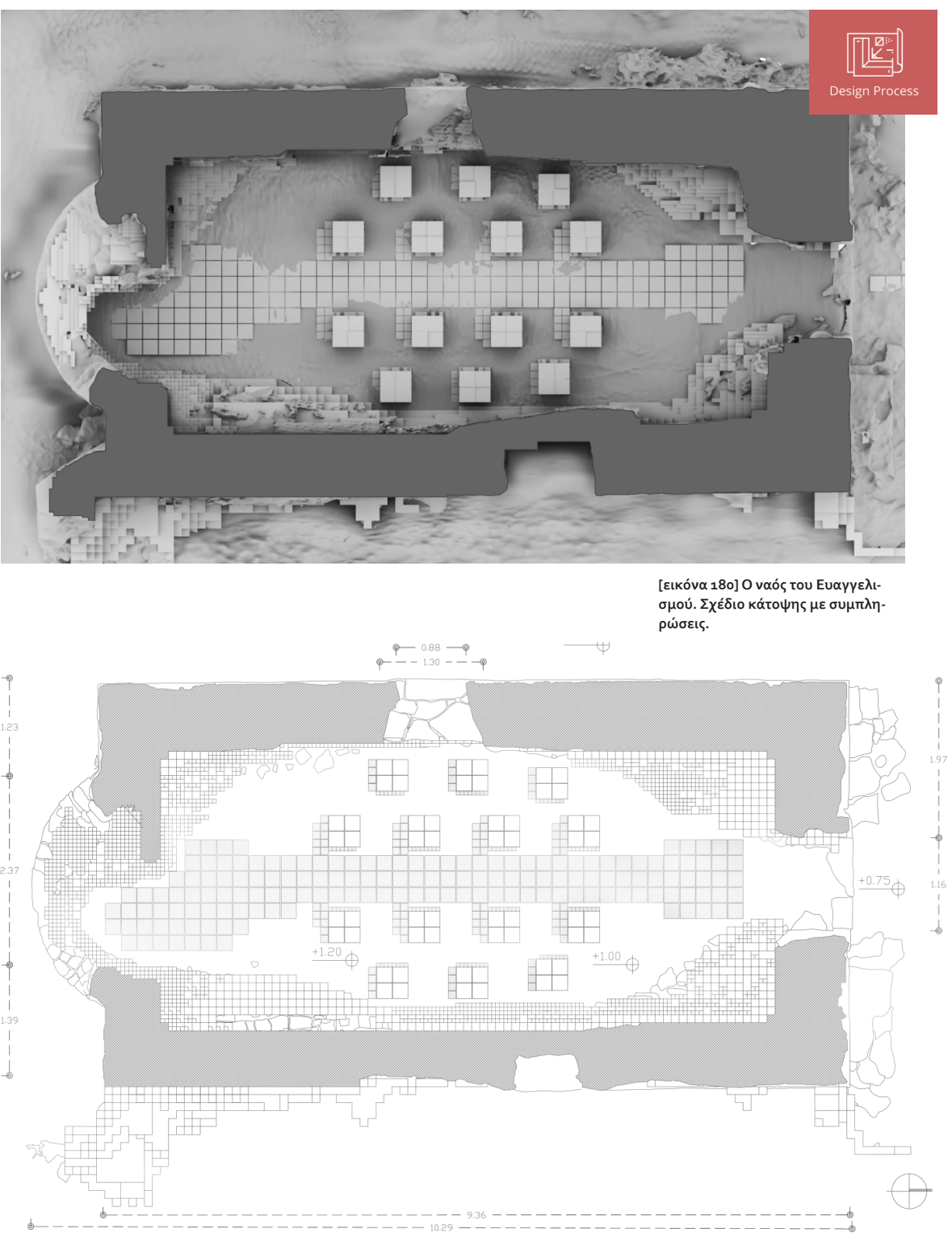


[εικόνα 177] Ο ναός του Ευαγγελισμού (στατικά, συμπληρώσεις, αποτύπωμα, ασφάλεια). Και η δημιουργία σημείων στάσης στο εσωτερικό.



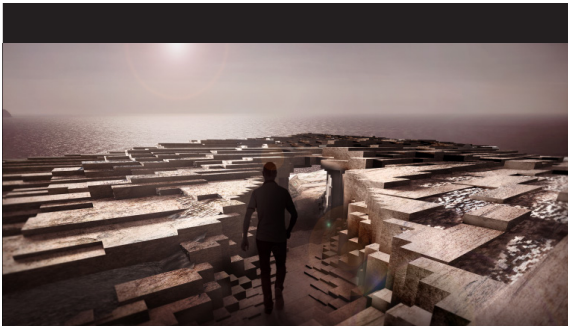
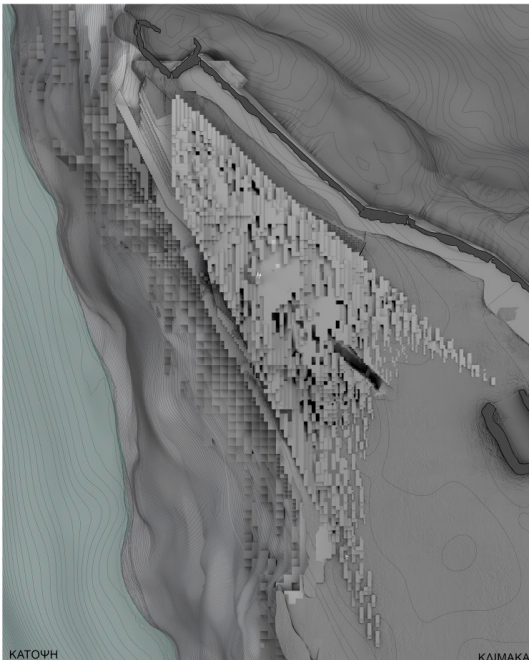
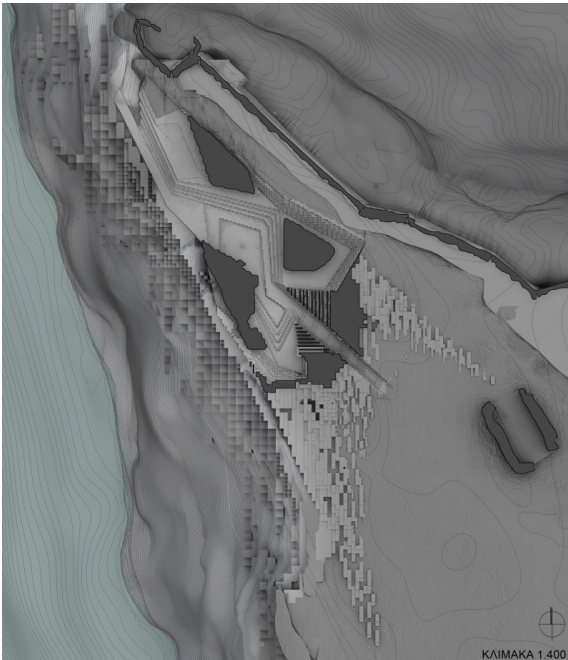
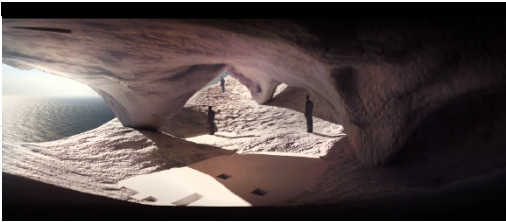
[εικόνα 178] Ο ναός του Ευαγγελισμού, αποτύπωση και προθέσεις. Και η δημιουργία σημείων στάσης στο εσωτερικό.







[εικόνα 181]
Το παρατηρητήριο και η είσοδος
από την οροφή.



Design Process

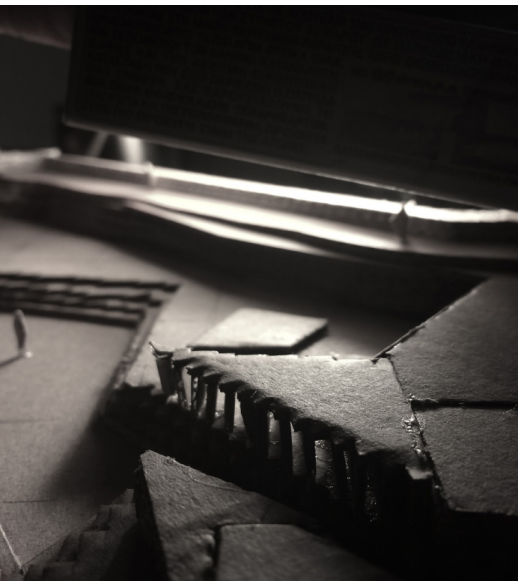
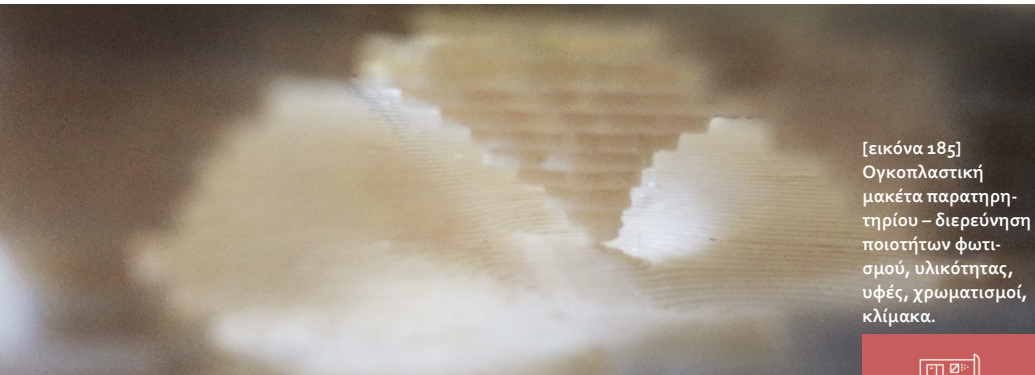
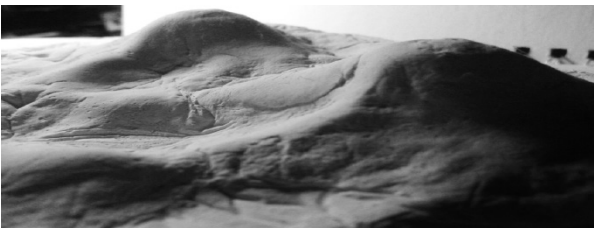
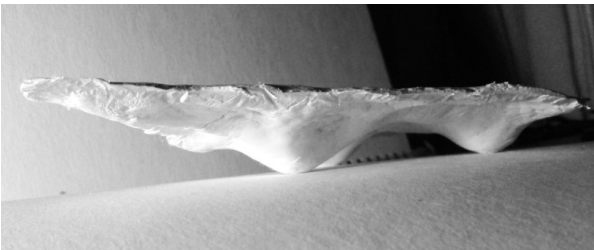
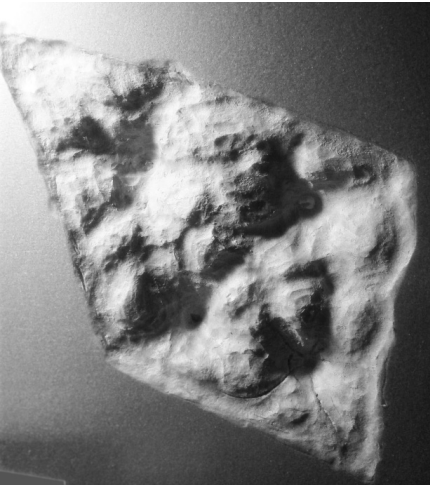
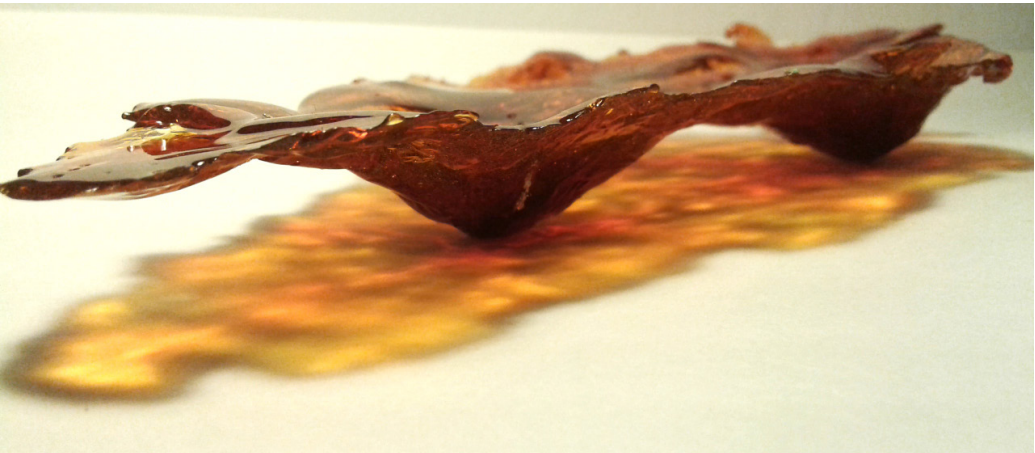
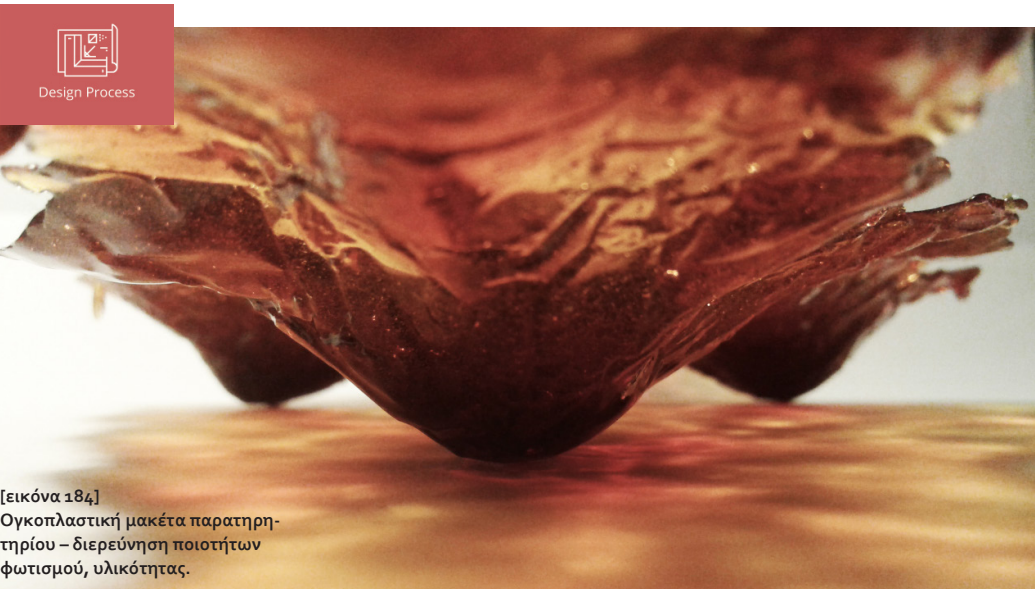
Installation – παρατηρητήριο Τεχνική x-y-z + 3d print + engraving

Λέξεις κλειδιά: η σπηλιά, ο φλοιός – κατάβαση, η βύθιση, η εσωτερική περιπλάνηση, η απτική αντίληψη, η εμπειρία, ο θράχος και η στήριξη, η κατασκευή, το φως, το χρώμα, η υλικότητα, ο χρόνος, η κλίμακα και ο ορίζοντας.

Η κατασκευή είναι αποτέλεσμα της δημιουργίας λατομείου και τοίχου στήριξης του ασβεστολιθικού βράχου από το σμήνος. Αποτελείται από υλικό του τοπίου και αντικαθιστά με τεχνητό τρόπο τις υφιστάμενες υψομετρικές του κάστρου. Εφαρμόζονται όλες οι τεχνικές που έχουν χρησιμοποιηθεί σε μονοπάτια και υφιστάμενα (τεχνικές με διαφορετικούς άξονες – οπτικές- υφές – κλίμακα). Τέλος, φιλοξενεί εκθέματα όπως τον ενετικό θυρεό και σπάνια είδη φυτών του νησιού.



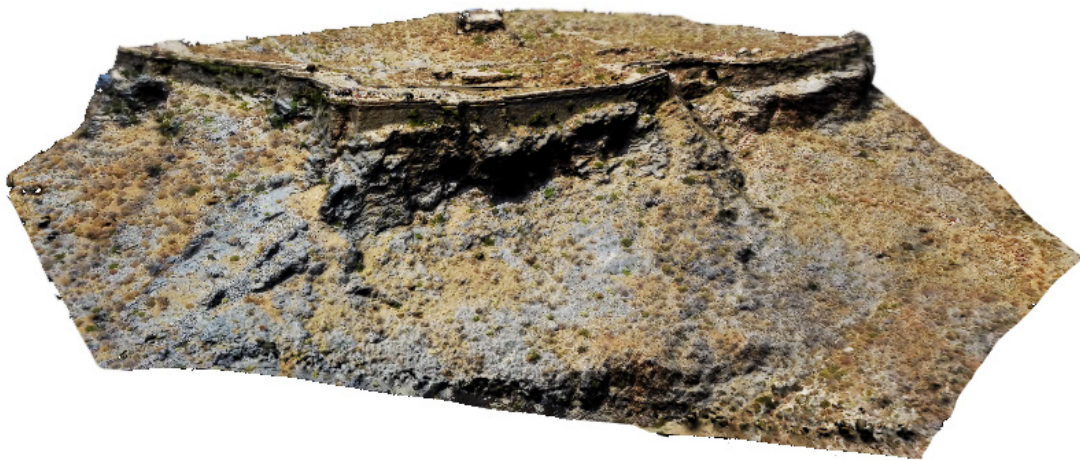
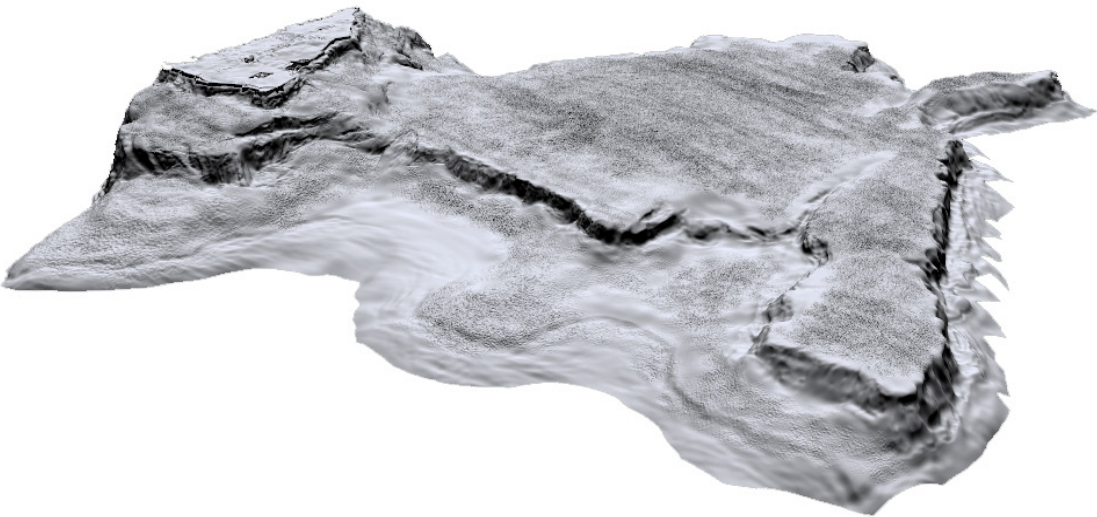
[εικόνα 183]
Το παρατηρητήριο και η δημι-
ουργία νέου – φυσικού τοίχους
στήριξης του κάστρου.



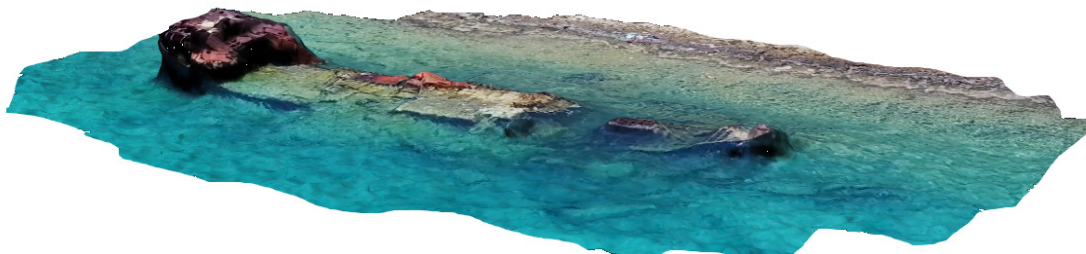
Αποτελέσματα αποτύπωσης λεπτομερώς:



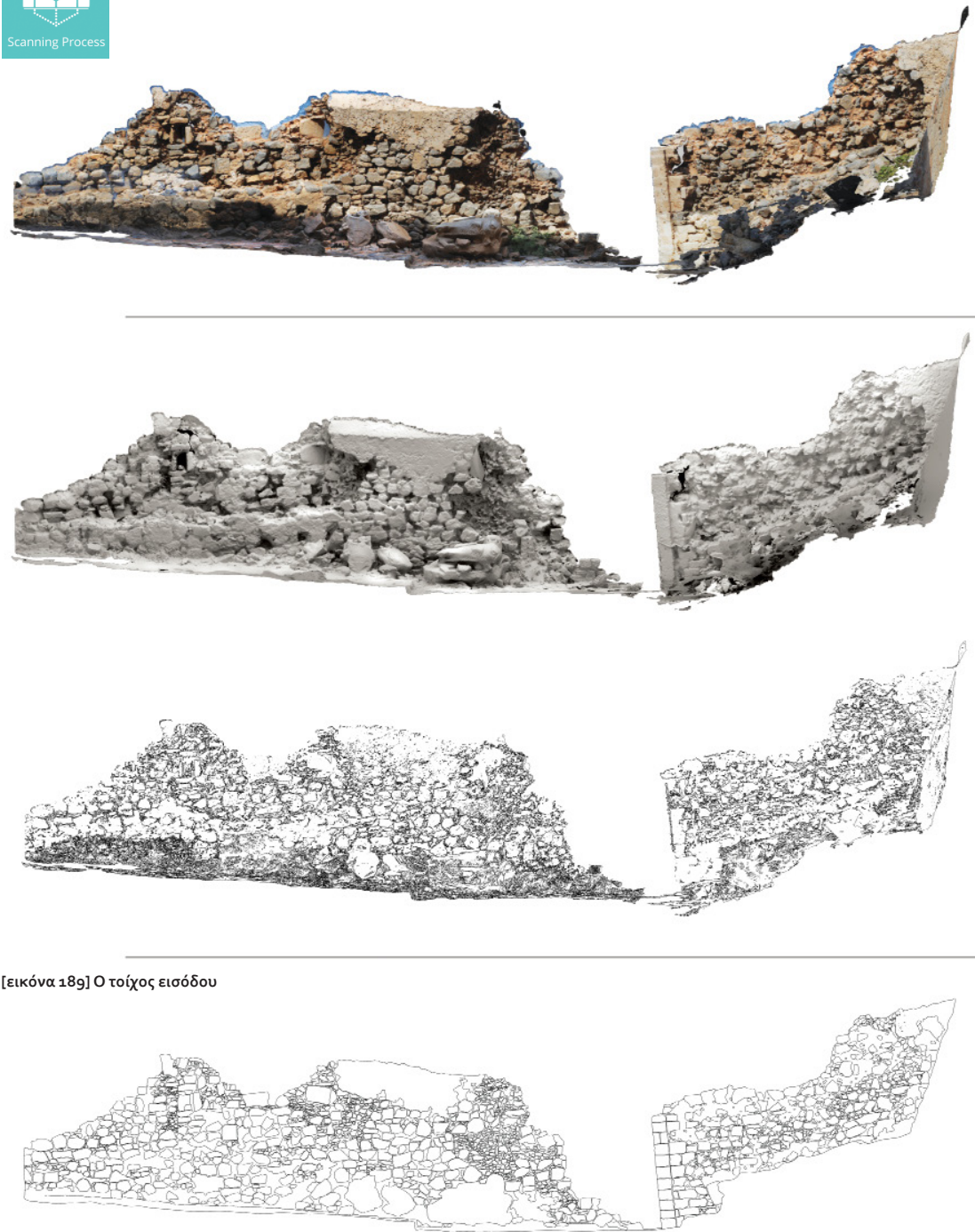
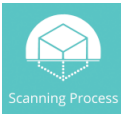
[εικόνα 186] Η Ημερη Γραμβούσα



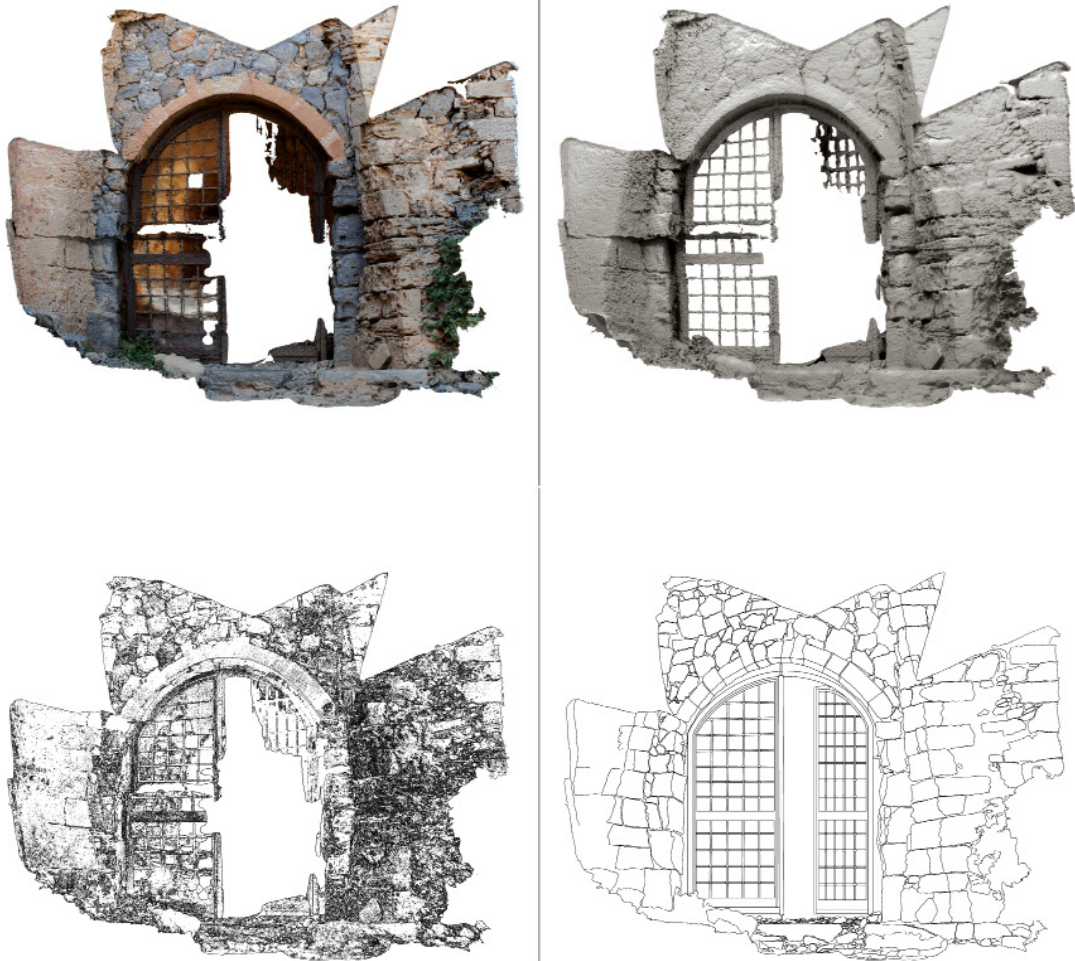
[εικόνα 187] Το κάστρο



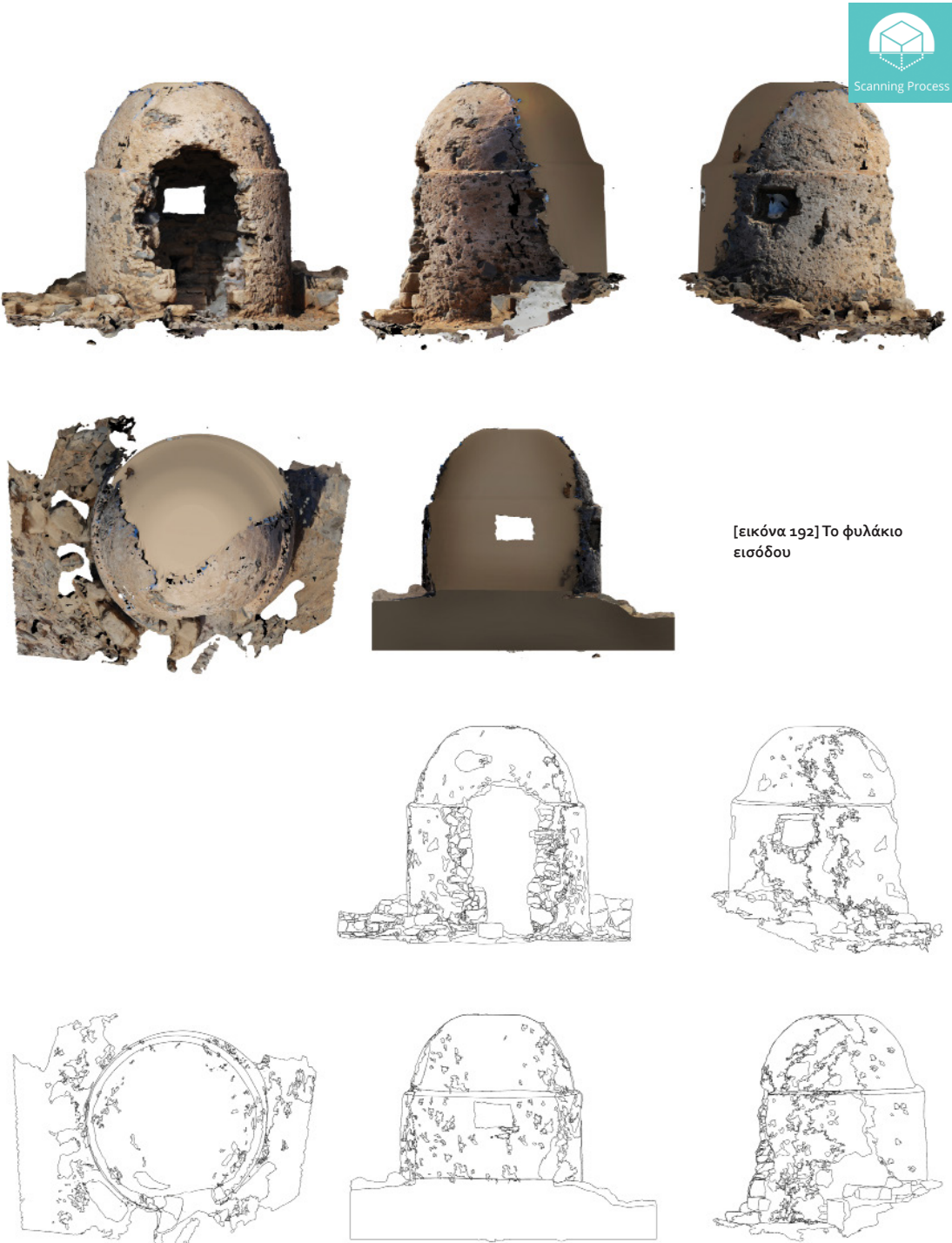
[εικόνα 188] Το ναυάγιο

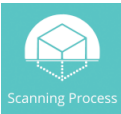


[εικόνα 189] Ο τοίχος εισόδου



[εικόνα 190] Η είσοδος του κάστρου





[εικόνα 193] Η μπαρουταποθήκη



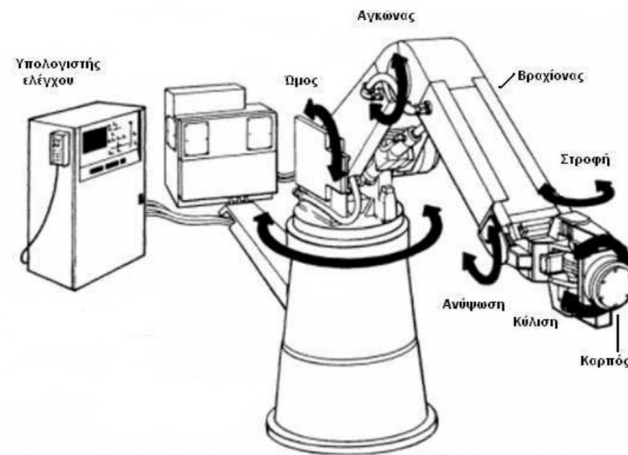
[εικόνα 194] Το ενετικό
λιοντάρι

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Χαρακτηριστικά του βιομηχανικού ρομποτικού βραχίονα

Ο βιομηχανικός ρομποτικός βραχίονας

Βασικά, ένα βιομηχανικό ρομπότ μιμείται το ανθρώπινο χέρι. Επειδή τα βιομηχανικά ρομπότ εκτελούν διάφορους χειρισμούς, ονομάζονται και μηχανικοί χειριστές ή απλώς χειριστές. Ενα ρομπότ έχει αρθρώσεις ανάλογες αυτών του ανθρώπινου χεριού.



Ο υπολογιστής ενός σύγχρονου ρομπότ περιέχει ένα πρόγραμμα ελέγχου και ένα πρόγραμμα εργασίας. Το πρόγραμμα ελέγχου δίνεται από τον κατασκευαστή και ρυθμίζει την κίνηση κάθε μιας άρθρωσης του ρομπότ. Το πρόγραμμα εργασίας δίνεται από τον χρήστη και καθορίζει τις κινήσεις, που χρειάζονται για να εκτελεστεί κάθε φορά η επιθυμητή εργασία. Ενα πρόγραμμα εργασίας μπορεί να παραχθεί είτε περνώντας το ρομπότ από τις θέσεις που απαιτεί η συγκεκριμένη εργασία, είτε χρησιμοποιώντας κατάλληλες γλώσσες προγραμματισμού. Όταν χρησιμοποιείται μια γλώσσα προγραμματισμού, το ρομπότ περιέχει έναν κατάλληλο επεξεργαστή, που μεταφράζει το πρόγραμμα εργασίας και παρέχει τα δεδομένα, που χρειάζεται το πρόγραμμα ελέγχου για να καθοδηγήσει το ρομπότ στις επιθυμητές κινήσεις. Το πρόγραμμα ελέγχου χρησιμοποιεί το πρόγραμμα εργασίας σαν είσοδο και συνεπώς, για κάθε εργασία ο χρήστης πρέπει να γράψει ένα διαφορετικό πρόγραμμα εργασίας.

Τα πλεονεκτήματα των βιομηχανικών ρομπότ συνοψίζονται ως εξής:

- α) Ευελιξία
- β) Υψηλή παραγωγικότητα
- γ) Καλύτερη ποιότητα προϊόντος
- δ) Βελτιωμένη ποιότητα ζωής

Δομή του ρομποτικού βραχίονα

Το βιομηχανικό ρομπότ είναι ένας προγραμματιζόμενος μηχανικός χειριστής, ικανός να κινείται προς διάφορες διευθύνσεις, εφοδιασμένος στο άκρο του με μια διάταξη εργασίας, που ονομάζεται τελικό σημείο δράσης (ή εργαλείο), και ικανός να εκτελεί διάφορες βιομηχανικές εργασίες, που συνήθως γίνονται από τον άνθρωπο.

Ενα σύγχρονο ρομπότ περιλαμβάνει τουλάχιστον τρία βασικά δομικά μέρη:

1) τον χειριστή (βραχίονα, χέρι), που είναι το κινούμενο μηχανικό τμήμα, 2) τα στοιχεία δράσης (κινητήρες κ.λ.π.), που ενεργοποιούν τις αρθρώσεις του βραχίονα και 3) τον υπολογιστή, που αποθηκεύει και εκτελεί τα προγράμματα εργασίας και ελέγχει τις κινήσεις του ρομπότ.

Ο βραχίονας του ρομπότ περιέχει το κύριο σώμα και τον καρπό, που έχει στο τέλος του το εργαλείο (τελικό στοιχείο δράσης). Το εργαλείο μπορεί να είναι μια κεφαλή συγκόλλησης, ένα πιστόλι χρωματίσματος, ένα μηχανικό εργαλείο ή μια αρπάγη, που ανοιγοκλείνει ανάλογα με την εφαρμογή, στην οποία πρόκειται να χρησιμοποιηθεί το ρομπότ. Επειδή όλα τα εργαλεία στερεώνονται στο τέλος των ρομπότ, λέγονται και «τελικά στοιχεία δράσης».

Το κύριο σώμα (δηλαδή ο κορμός) του ρομπότ αποτελείται από μια διαδοχή συνδέσμων ή μελών (links), που συνδέονται με αρθρώσεις (joints). Οι αρθρώσεις ελέγχουν τις κινήσεις των συνδέσμων. Η ομάδα των αρθρώσεων, που ελέγχει την κίνηση του εργαλείου, ονομάζεται «καρπός». Κάθε μια από τις αρθρώσεις του βραχίονα και του καρπού παρέχει έναν βαθμό ελευθερίας στην κίνηση του τελικού στοιχείου δράσης. Ετσι, ένα ρομπότ με 'η' βαθμούς ελευθερίας περιέχει η αρθρώσεις ή 'η' άξονες κίνησης γενικά.

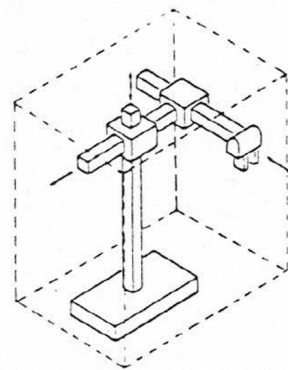
Η κίνηση του τελικού στοιχείου δράσης ρυθμίζεται ελέγχοντας τη θέση και την ταχύτητα των αξόνων κίνησης του ρομπότ. Στη ρομποτική ένας άξονας κίνησης ισοδυναμεί με έναν βαθμό ελευθερίας, ως προς τον οποίο μπορεί να κινηθεί το ρομπότ. Για να μπορέσει ένα ρομπότ να φτάσει ένα αυθαίρετο σημείο (μέσα στο χώρο εργασίας του) με έναν επιθυμητό προσανατολισμό του εργαλείου, χρειάζεται να έχει έξι άξονες (βαθμούς ελευθερίας) κίνησης. Εστω και μόνο ένας διαφορετικός προσανατολισμός του εργαλείου μπορεί να αλλάξει εντελώς τη θέση του βραχίονα του ρομπότ.

Τύποι ρομποτικών βραχιόνων και χώρος εργασίας

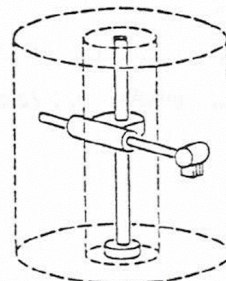
Το μηχανικό τμήμα των ρομπότ αποτελείται από μια αλληλουχία μηχανικών συνδέσμων (links) και αρθρώσεων (joints) που ενώνουν τους συνδέσμους ανά δύο. Ενα τυπικό ρομπότ αποτελείται από το κυρίως τμήμα (δηλαδή τον βραχίονα) και από τον καρπό. Τόσο ο βραχίονας (arm) όσο και ο καρπός (wrist) έχουν τρεις βαθμούς ελευθερίας, ο καθένας. Υπάρχουν όμως ρομπότ στα οποία ο καρπός έχει λιγότερους βαθμούς ελευθερίας.

Τα ρομπότ ταξινομούνται ανάλογα με το σύστημα συντεταγμένων του βραχίονα ως εξής:

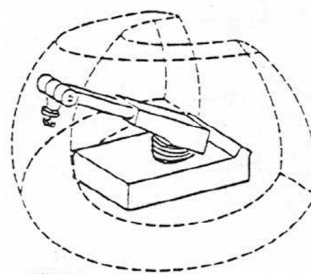
- Καρτεσιανά: Τρεις γραμμικοί άξονες
- Κυλινδρικά: Δυο γραμμικοί και ένας στροφικός άξονας
- Σφαιρικά: Ενας γραμμικός και δυο στροφικοί άξονες
- Αρθρωτά: Τρεις στροφικοί άξονες



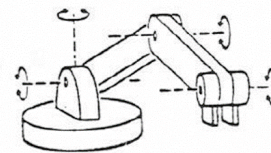
Καρτεσιανό ή
X-Y-Z ρομπότ



Κυλινδρικό
ρομπότ



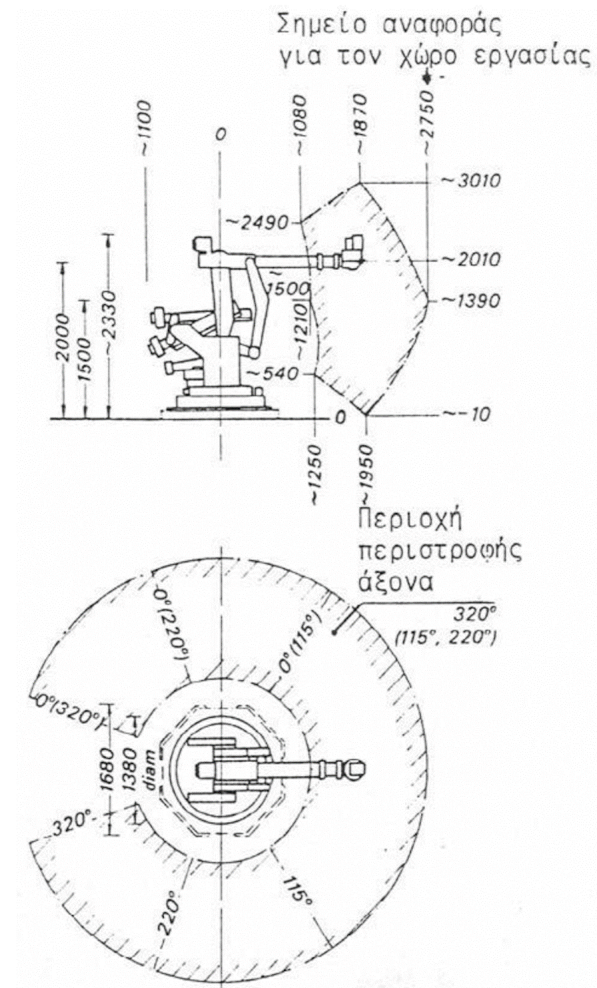
Σφαιρικό ρομπότ



Αρθρωτό
ρομπότ

Οι γραμμικές αρθρώσεις μπορούν να είναι αρθρώσεις ολίσθησης (συμβολικά S: sliding), ή πρισματικές (συμβολικά P: prismatic). Μια στροφική άρθρωση συμβολίζεται με R (revolute joint). Έτσι ο τύπος ενός ρομπότ με βάση τα συστήματα συντεταγμένων των αρθρώσεων του συμβολίζεται με την αλληλουχία των συμβόλων S, P και R αρχίζοντας από τη βάση και προχωρώντας προς τον καρπό. Ενα σφαιρικό ρομπότ μπορεί να είναι της μορφής RRP, ενώ ένα αρθρωτό ρομπότ συμβολίζεται με RRR.

Ενα από τα βασικά χαρακτηριστικά ενός βιομηχανικού ρομπότ είναι το μέγεθος και το σχήμα του χώρου εργασίας του (work volume ή reach envelope). Πρέπει να σημειωθεί ότι με την προσθήκη του τελικού στοιχείου δράσης (εργαλείου) στον καρπό του ρομποτικού βραχίονα, ο χώρος εργασίας μεταβάλλεται ανάλογα με τον τύπο και το μέγεθος του εργαλείου.



Είδη αρθρώσεων

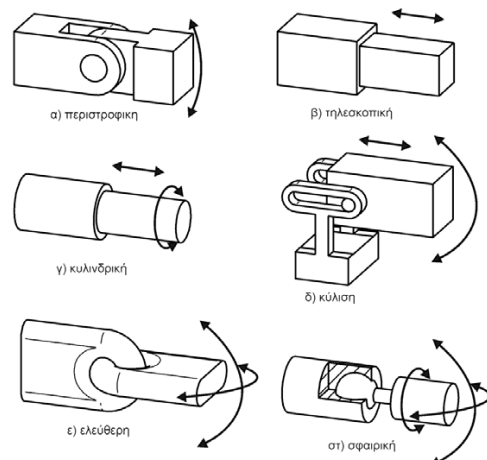
Οι ρομποτικοί βραχίονες χαρακτηρίζονται κυρίως από τον αριθμό και από τον τύπο των αρθρώσεων που έχουν. Τα είδη των αρθρώσεων διακρίνονται σε περιστροφικές αρθρώσεις (έναν βαθμό ελευθερίας), πρισματικές αρθρώσεις (έναν βαθμό ελευθερίας) και σφαιρικές αρθρώσεις (τρεις βαθμοί ελευθερίας) [βαθμός ελευθερίας = ανεξάρτητη κίνηση]. Έτσι για παράδειγμα ένας βραχίονας ο οποίος έχει δυο περιστροφικές, μια πρισματική και μια σφαιρική άρθρωση, χαρακτηρίζεται ως βραχίονας έξι βαθμών ελευθερίας.

Αρθρώσεις σε ρομποτικούς βραχίονες

Οι ρομποτικοί βραχίονες, αν και είναι μηχανισμοί με πολύ μεγάλη ευελιξία, στην πλειονότητα τους βασίζονται σε βραχίονες που συνδέονται μεταξύ τους με αρθρώσεις ενός βαθμού ελευθερίας.

Έτσι οι ρομποτικοί βραχίονες, για να μπορέσουν να επιτύχουν την προσδοκώμενη ευελιξία, σχεδιάζονται με πολλές (συνήθως από τρεις μέχρι έξι) αρθρώσεις, κατάλληλα τοποθετημένες έτσι ώστε να επιτρέπουν στους επενεργήσες να κινούνται εύκολα. Οι αρθρώσεις αυτές είναι οι:

1. Περιστροφική άρθρωση (revolute Joint), που επιτρέπει την ελεγχόμενη περιστροφή γύρω από τον άξονά της. Η περιστροφική άρθρωση κυρίως λόγω της μεγάλης ταχύτητάς της είναι η πιο κοινή άρθρωση σε ρομποτικούς βραχίονες.
2. Γραμμικές αρθρώσεις που χωρίζονται σε ολίσθησης (sliding) και πρισματικές (prismatic) και επιτρέπουν την ελεγχόμενη μετατόπιση προς μία κατεύθυνση. Οι αρθρώσεις αυτές χαρακτηρίζονται για την μεγάλη ακρίβειά τους, και χρησιμοποιούνται κυρίως σε διατάξεις συναρμολόγησης.



Κινηματική θεωρία

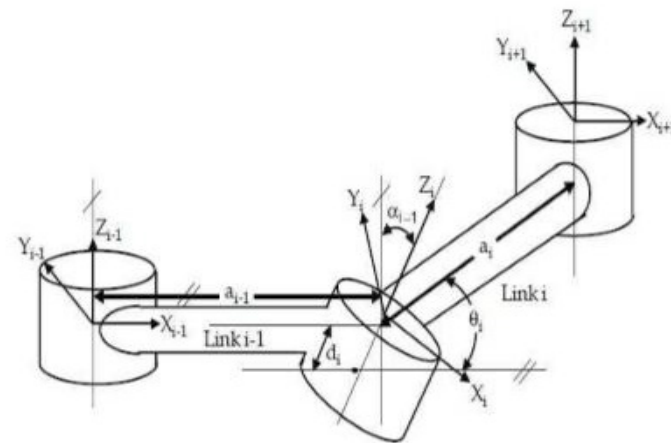
Κινηματική είναι η επιστήμη που μελετά την κίνηση χωρίς να λαμβάνει υπόψη τις δυνάμεις που την προκαλούν. Στην κινηματική ενδιαφερόμαστε για την θέση, την ταχύτητα, την επιτάχυνση και όλες τις παραγώγους των μεταβλητών που περιγράφουν τη θέση.

Η κινηματική ανάλυση ενός βραχίονα αφορά την επίλυση δύο προβλημάτων, του ευθέως και του αντίστροφου κινηματικού προβλήματος. Το ευθύ κινηματικό πρόβλημα συνίσταται στην εύρεση της θέσης και του προσανατολισμού του άκρου του βραχίονα ως προς την βάση του, όταν γνωρίζουμε την θέση κάθε άρθρωσης, ενώ το αντίστροφο κινηματικό πρόβλημα συνίσταται στην εύρεση της θέσης της κάθε άρθρωσης, η οποία τοποθετεί το άκρο του βραχίονα σε μια συγκεκριμένη θέση και προσανατολισμό σε σχέση με την βάση του. Ο βαθμός δυσκολίας επίλυσης των προβλημάτων αυτών εξαρτάται από την γεωμετρία του βραχίονα.

Για την μετακίνηση του άκρου του βραχίονα από την παρούσα θέση του στην επιθυμητή είναι απαραίτητη η γνώση των γωνιών των αρθρώσεων που αντιστοιχούν στη επιθυμητή θέση. Οι γωνίες αυτές υπολογίζονται επιλύοντας το αντίστροφο κινηματικό πρόβλημα. Η μετάβαση μεταξύ δύο διαδοχικών καταστάσεων του βραχίονα γίνεται μέσω ευθύγραμμης τροχιάς με παραβολική μείξη στο επίπεδο των αρθρώσεων ώστε να επιτυγχάνεται τόσο η ομαλή κίνηση της κατασκευής όσο και η ταυτόχρονη έναρξη και λήξη της κίνησης όλων των κινητήρων.

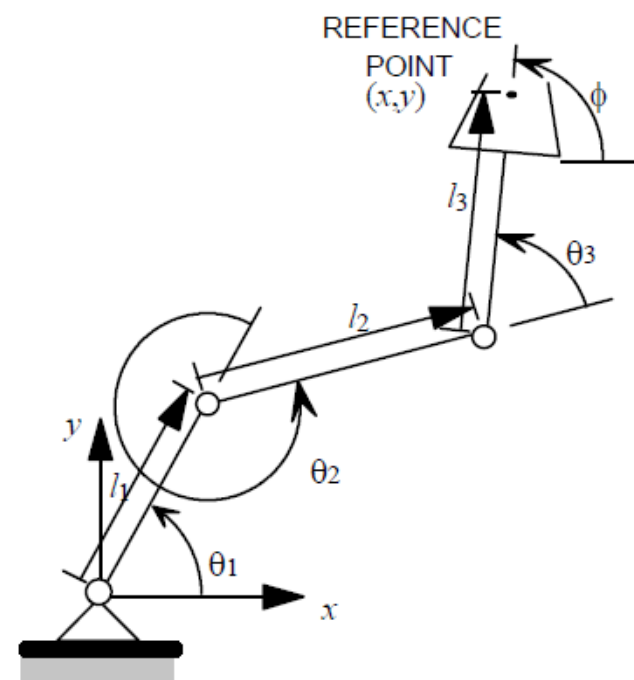
Ευθύ κινηματικό πρόβλημα

Ενας βραχίονας αποτελείται από σειριακούς συνδέσμους οι οποίοι τοποθετούνται σε κάθε άρθρωση από τη βάση μέχρι το εργαλείο τελικής δράσης. Για να εφαρμοστεί το ευθύ κινηματικό σε ένα ρομπότ θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε ένα κατάλληλο κινηματικό μοντέλο. Η μεθοδολογία Denavit - Hartenberg που χρησιμοποιεί τέσσερις παραμέτρους είναι η πιο κοινή μέθοδος για την περιγραφή του κινηματικού προβλήματος ενός ρομπότ. Ενα σύστημα συντεταγμένων επισυνάπτεται σε κάθε άρθρωση και καθορίζει τις DH παραμέτρους. Βάσει της μεθόδου αυτής επιλέγονται με συγκεκριμένο τρόπο τα συστήματα συντεταγμένων που είναι προσαρμοσμένα σε κάθε σύνδεσμο του ρομποτικού βραχίονα εκτελώντας τα βήματα του αλγορίθμου. Έτσι προσδιορίζεται η θέση και ο προσανατολισμός του άκρου εργασίας ως προς το ακίνητο σύστημα συντεταγμένων.



Αντίστροφο κινηματικό πρόβλημα

Το αντίστροφο κινηματικό πρόβλημα αναφέρεται στον προσδιορισμό των μεταβλητών των αρθρώσεων του ρομπότ ενώ μας δίνεται η θέση και ο προσανατολισμός του εργαλείου της τελικής δράσης. Την επίλυση αυτού του προβλήματος αποτελεί η λύση μη γραμμικών αλγεβρικών εξισώσεων. Για την αριθμητική επίλυση μη γραμμικών συστημάτων εξισώσεων υπάρχουν πολλές αριθμητικές μέθοδοι που συγκλίνουν προς την λύση.



Arduino IDE –UNO & MEGA boards

Εμπορικές εκδόσεις:

Arduino Uno, Mini, Lilypad, Mega, Due, Micro, Leonardo κ.α.

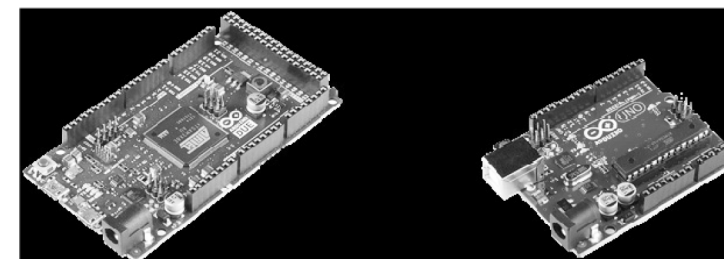
Πλατφόρμα Arduino

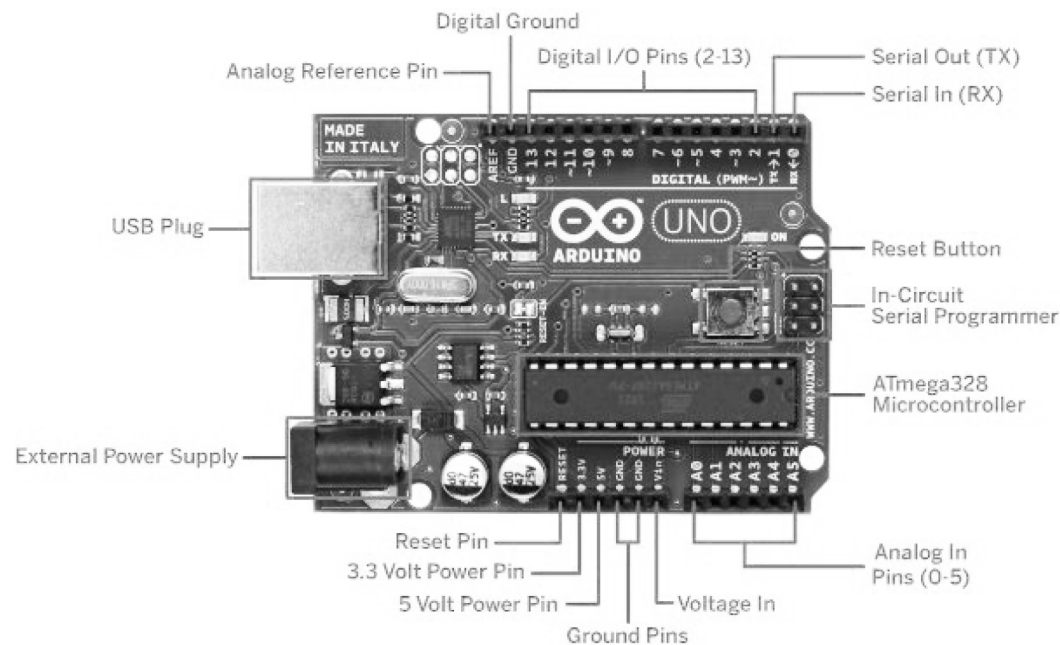
Το Arduino είναι μια υπολογιστική πλατφόρμα βασισμένη σε μια απλή μητρική πλακέτα με ενσωματωμένο μικροελεγκτή και εισόδους/εξόδους, και η οποία μπορεί να προγραμματιστεί με τη γλώσσα Wiring.

Το arduino μπορεί να διαβάσει το περιβάλλον λαμβάνοντας σήματα από διάφορους αισθητήρες και μπορεί να το επηρεάσει ελέγχοντας φώτα, μηχανισμούς και άλλα. Ο μικροελεγκτής που βρίσκεται σε κάθε πλακέτα arduino μπορεί να προγραμματιστεί σε γλώσσα arduino programming language (βασισμένη στην Wiring) και το προγραμματιστικό περιβάλλον του arduino είναι βασισμένο στη γλώσσα Processing. Οι arduino εφαρμογές μπορούν να λειτουργούν μόνες τους (stand-alone) ή μπορούν να επικοινωνούν με διάφορα προγράμματα σε ένα υπολογιστή (π.χ Flash, Processing, MaxMSP).

Υπάρχουν διάφορες πλακέτες arduino βασισμένες σε διαφορετικούς μικροελεγκτές οι οποίες ανάλογα με τα χαρακτηριστικά έχουν και την ανάλογη τιμή. Το πρόγραμμα compiler του arduino είναι δωρεάν και διαθέσιμο από το επίσημο site (arduino.cc).

Επιπλέον, η γλώσσα προγραμματισμού, οι διάφορες βιβλιοθήκες και το ολοκληρωμένο περιβάλλον ανάπτυξης που υπάρχουν για τον προγραμματισμό της πλατφόρμας Arduino αποτελούν ανοιχτό λογισμικό προσφέροντας έτσι ανεκτίμητη γνώση σε όλους.



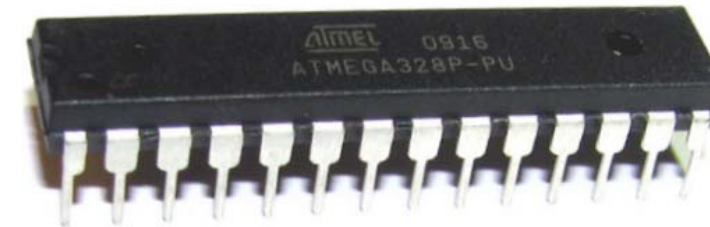


Μία πλακέτα Arduino αποτελείται από έναν cmos 8 ψηφίων Atmel AVR μικροελεγκτή (ATmega328 και ATmega168 στις νεότερες εκδόσεις, ATmega8 στις παλαιότερες) και συμπληρωματικά εξαρτήματα για την διευκόλυνση του χρήστη στον προγραμματισμό και την ενσωμάτωση του σε άλλα κυκλώματα. Όλες οι πλακέτες περιλαμβάνουν ένα γραμμικό ρυθμιστή τάσης 5V και έναν κρυσταλλικό ταλαντωτή 16MHz. Ο μικροελεγκτής είναι από κατασκευής προγραμματισμένος με ένα bootloader, έτσι ώστε να μην χρειάζεται εξωτερικός προγραμματιστής.

Ο μικροελεγκτής σε κάθε πλατφόρμα Arduino είναι προγραμματισμένος και περιέχει έναν ειδικό φορτωτή εκκίνησης ο οποίος απλοποιεί κυρίως την διαδικασία της τοποθέτησης προγραμμάτων στην ενσωματωμένη μνήμη Flash της πλατφόρμας, με αποτέλεσμα να μην είναι απαραίτητη κάποια εξωτερική συσκευή προγραμματισμού μικροελεγκτών AVR. Οι πιο πρόσφατες πλατφόρμες Arduino μπορούν να προγραμματιστούν μέσω της θύρας USB που διαθέτουν, με την βοήθεια όμως ενός κυκλώματος μετατροπής από USB σε σειριακή όπως το FTDI FT232.

Γενικά όλες οι πλακέτες είναι προγραμματισμένες μέσω μιας σειριακής σύνδεσης RS-232, αλλά ο τρόπος με τον οποίο αυτό υλοποιείται ποικίλλει ανάλογα με την έκδοση. Οι σειριακές πλακέτες Arduino περιέχουν ένα απλό κύκλωμα αντιστροφής για την μετατροπή ανάμεσα στα σήματα των επιπέδων RS-232 και TTL.

Μνήμη



Ο μικροελεγκτής διαθέτει ενσωματωμένη μνήμη τριών τύπων:

- 2Kb μνήμης SRAM που είναι η ωφέλιμη μνήμη που μπορούν να χρησιμοποιήσουν τα προγράμματά μας για να αποθηκεύουν μεταβλητές, πίνακες κ.λπ. κατά το runtime. Όπως και σε έναν υπολογιστή, αυτή η μνήμη χάνει τα δεδομένα της όταν η παροχή ρεύματος στο Arduino σταματήσει ή αν γίνει reset.

- 1Kb μνήμης EEPROM η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για «ωμή» εγγραφή/ανάγνωση δεδομένων (χωρίς datatype) ανά byte από τα προγράμματά μας κατά το runtime. Σε αντίθεση με την SRAM, η EEPROM δεν χάνει τα περιεχόμενά της με απώλεια τροφοδοσίας ή reset οπότε είναι το ανάλογο του σκληρού δίσκου.

- 32Kb μνήμης Flash, από τα οποία τα 2Kb χρησιμοποιούνται από το firmware του Arduino που έχει εγκαταστήσει ήδη ο κατασκευαστής του. Το firmware αυτό που στην ορολογία του Arduino ονομάζεται bootloader είναι αναγκαίο για την εγκατάσταση των δικών μας προγραμμάτων στον μικροελεγκτή μέσω της θύρας USB, χωρίς δηλαδή να χρειάζεται εξωτερικός hardware programmer. Τα υπόλοιπα 30Kb της μνήμης Flash χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση αυτών ακριβώς των προγραμμάτων, αφού πρώτα μεταγλωττιστούν στον υπολογιστή μας. Η μνήμη Flash, όπως και η EEPROM δεν χάνει τα περιεχόμενά της με απώλεια τροφοδοσίας ή reset.

Είσοδοι – Εξοδοι

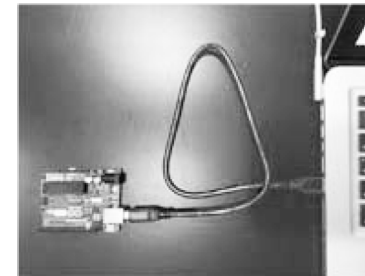
Το Arduino διαθέτει σειριακό interface. Ο μικροελεγκτής ATmega υποστηρίζει σειριακή επικοινωνία, την οποία το Arduino προωθεί μέσα από έναν ελεγκτή Serial-over-USB ώστε να συνδέεται με τον υπολογιστή μέσω USB. Η σύνδεση αυτή χρησιμοποιείται για την μεταφορά των προγραμμάτων που σχεδιάζονται από τον υπολογιστή στο Arduino αλλά και για αμφίδρομη επικοινωνία του Arduino με τον υπολογιστή μέσα από το πρόγραμμα την ώρα που εκτελείται.

Επιπλέον, στην πάνω πλευρά του Arduino βρίσκονται 14 θηλυκά pin, αριθμημένα από 0 ως 13, που μπορούν να λειτουργήσουν ως ψηφιακές εισοδοι και εξοδοι. Λειτουργούν στα 5V και καθένα μπορεί να παρέχει ή να δεχτεί το πολύ 40 mA ρεύμα. Μερικά από αυτά τα 14 pin, εκτός από ψηφιακές εισοδοι/εξοδοι έχουν και δεύτερη λειτουργία. Συγκεκριμένα:

- Τα pin 0 και 1 λειτουργούν ως RX και TX της σειριακής όταν το πρόγραμμά μας ενεργοποιεί την σειριακή θύρα. Ετσι, όταν λόγου χάρη το πρόγραμμά μας στέλνει δεδομένα στην σειριακή, αυτά προωθούνται και στην θύρα USB μέσω του ελεγκτή Serial-Over-USB αλλά και στο pin 0 για να τα διαβάσει ενδεχομένως μια άλλη συσκευή (π.χ. ένα δεύτερο Arduino στο δικό του pin 1). Αυτό φυσικά σημαίνει ότι αν στο πρόγραμμά μας ενεργοποιήσουμε το σειριακό interface, χάνουμε 2 ψηφιακές εισόδους/εξόδους.
- Τα pin 2 και 3 λειτουργούν και ως εξωτερικά interrupt (interrupt 0 και 1 αντίστοιχα). Συγκεκριμένα μπορούμε να τα ρυθμίσουμε μέσα από το πρόγραμμά μας ώστε να λειτουργούν αποκλειστικά ως ψηφιακές εισοδοι στις οποίες όταν συμβαίνουν συγκεκριμένες αλλαγές, η κανονική ροή του προγράμματος σταματάει και εκτελείται μια συγκεκριμένη συνάρτηση. Τα εξωτερικά interrupt είναι ιδιαίτερα χρήσιμα σε εφαρμογές που απαιτούν συγχρονισμό μεγάλης ακρίβειας.
- Τα pin 3, 5, 6, 9, 10 και 11 μπορούν να λειτουργήσουν και ως ψευδοαναλογικές εξοδοι με το σύστημα PWM (Pulse Width Modulation), δηλαδή το ίδιο σύστημα που διαθέτουν οι μητρικές των υπολογιστών για να ελέγχουν τις ταχύτητες των ανεμιστήρων. Ετσι, μπορούμε να συνδέσουμε λόγω χάρη ένα LED σε κάποιο από αυτά τα pin και να ελέγξουμε πλήρως την φωτεινότητά του με ανάλυση 8bit (256 καταστάσεις από 0-σβηστό ως 255-πλήρως αναμμένο) αντί να έχουμε απλά την δυνατότητα αναμμένο-σβηστό που παρέχουν οι υπόλοιπες ψηφιακές εξοδοι. Είναι σημαντικό να καταλάβουμε ότι το PWM δεν είναι πραγματικά αναλογικό σύστημα και ότι θέτοντας στην έξοδο την τιμή 127, δεν σημαίνει ότι η έξοδος θα δίνει 2.5V αντί της κανονικής τιμής των 5V, αλλά ότι θα δίνει ένα παλμό που θα εναλλάσσεται με μεγάλη συχνότητα και για ίσους χρόνους μεταξύ των τιμών 0 και 5V.

Στην κάτω πλευρά του Arduino, με τη σήμανση ANALOG IN, θα βρούμε μια ακόμη σειρά από 6 pin, αριθμημένα από 0 ως 5. Το καθένα από αυτά λειτουργεί ως αναλογική είσοδος κάνοντας χρήση του ADC (Analog to Digital Converter) που είναι ενσωματωμένο στον μικροελεγκτή. Για παράδειγμα, μπορούμε να τροφοδοτήσουμε ένα από αυτά με μια τάση την οποία μπορεί να κυμαίνεται με ένα ποτενσιόμετρο από 0V ως μια τάση αναφοράς Vref η οποία, αν δεν κάνουμε κάποια αλλαγή είναι προρυθμισμένη στα 5V. Τότε, μέσα από το πρόγραμμά μας μπορούμε να «διαβάσουμε» την τιμή του pin ως ένα ακέραιο αριθμό ανάλυσης 10-bit, από 0 (όταν η τάση στο pin είναι 0V) μέχρι 1023 (όταν η τάση στο pin είναι 5V). Η τάση αναφοράς μπορεί να ρυθμιστεί με μια εντολή στο 1.1V, ή σε όποια τάση επιθυμείτε (μεταξύ 2 και 5V) τροφοδοτώντας εξωτερικά με αυτή την τάση το pin με την σήμανση AREF που βρίσκεται στην απέναντι πλευρά της πλακέτας.

Τροφοδοσία



Σύνδεση με υπολογιστή μέσω USB



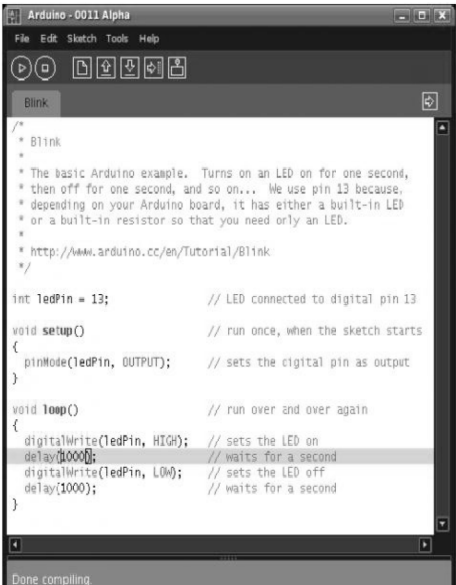
Εξωτερική τροφοδοσία από μετασχηματιστή AC/DC

Το Arduino μπορεί να τροφοδοτηθεί με ρεύμα είτε από τον υπολογιστή μέσω της σύνδεσης USB, είτε από εξωτερική τροφοδοσία που παρέχεται μέσω μιας υποδοχής φισ των 2.1mm (θετικός πόλος στο κέντρο) και βρίσκεται στην κάτω αριστερή γωνία του Arduino. Η τάση λειτουργίας της πλατφόρμα Arduino είναι 5V. Για να μην υπάρχουν προβλήματα, η εξωτερική τροφοδοσία πρέπει να είναι από 7 ως 12V και μπορεί να προέρχεται από ένα κοινό μετασχηματιστή του εμπορίου, από μπαταρίες ή οποιαδήποτε άλλη πηγή DC. Δίπλα από τα pin αναλογικής εισόδου, υπάρχει μια ακόμα συστοιχία από 6 pin με την σήμανση POWER. Η λειτουργία του καθενός έχει ως εξής:

- Το πρώτο, με την ένδειξη RESET, όταν γειωθεί (σε οποιοδήποτε από τα 3 pin με την ένδειξη GND που υπάρχουν στο Arduino) έχει ως αποτέλεσμα την επανεκκίνηση του Arduino.

- Το δεύτερο, με την ένδειξη 3.3V, μπορεί να τροφοδοτήσει τα εξαρτήματά μας με τάση 3.3V. Η τάση αυτή δεν προέρχεται από την εξωτερική τροφοδοσία αλλά παράγεται από τον ελεγκτή Serial-over-USB και έτσι η μέγιστη ένταση που μπορεί να παρέχει είναι μόλις 50mA.
- Το τρίτο, με την ένδειξη 5V, μπορεί να τροφοδοτήσει τα εξαρτήματά μας με τάση 5V. Ανάλογα με τον τρόπο τροφοδοσίας του ίδιου του Arduino, η τάση αυτή προέρχεται είτε άμεσα από την θύρα USB (που ούτως ή άλλως λειτουργεί στα 5V), είτε από την εξωτερική τροφοδοσία αφού αυτή περάσει από ένα ρυθμιστή τάσης για να την «φέρει» στα 5V.
- Το τέταρτο και το πέμπτο pin, με την ένδειξη GND, είναι φυσικά γειώσεις.
Το έκτο και τελευταίο pin, με την ένδειξη Vin έχει διπλό ρόλο. Σε συνδυασμό με το pin γείωσης δίπλα του, μπορεί να λειτουργήσει ως μέθοδος εξωτερικής τροφοδοσίας του Arduino, στην περίπτωση που δεν μας βολεύει να χρησιμοποιήσουμε την υποδοχή του φισ των 2.1mm. Αν όμως έχουμε ήδη συνδεδεμένη εξωτερική τροφοδοσία μέσω του φισ, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε αυτό το pin για να τροφοδοτήσουμε εξαρτήματα με την πλήρη τάση της εξωτερικής τροφοδοσίας (7~12V), πριν αυτή περάσει από τον ρυθμιστή τάσης όπως γίνεται με το pin των 5V.

Ολοκληρωμένο περιβάλλον ανάπτυξης



Το IDE του Arduino είναι γραμμένο σε Java και μπορεί να τρέξει σε πολλαπλές πλατφόρμες. Περιλαμβάνει επεξεργαστή κώδικα (επεξεργαστή κειμένου με διάφορα εύχρηστα εργαλεία) και μεταγλωττιστή, και έχει την ικανότητα να φορτώνει εύκολα το πρόγραμμα μέσω σειριακής θύρας από τον υπολογιστή στην πλακέτα.

Το περιβάλλον ανάπτυξης είναι βασισμένο στην Processing, ένα περιβάλλον ανάπτυξης σχεδιασμένο να εισαγάγει στον προγραμματισμό νέους χρήστες μη εξοικειωμένους με την ανάπτυξη λογισμικού. Η συγκεκριμένη γλώσσα προγραμματισμού προέρχεται από την Wiring, μια γλώσσα που μοιάζει με την C η οποία παρέχει παρόμοια λειτουργικότητα για μια πιο περιορισμένης σχεδίασης πλακέτα, της οποίας το περιβάλλον ανάπτυξης βασίζεται επίσης στην Processing.
Στην πραγματικότητα, το ολοκληρωμένο περιβάλλον ανάπτυξης είναι αυτό το οποίο κατά την μεταγλώττιση αποθηκεύει σε ένα προσωρινό αρχείο τον πηγαίο κώδικα του προγράμματος που έχουμε συγγράψει και στην συνέχεια προσθέτει σε αυτό όλα όσα είναι απαραίτητα (πρωτότυπα συναρτήσεων, υλοποίηση συνάρτησης main, ενσωμάτωση επικεφαλίδων) ώστε να είναι δυνατή η μεταγλώττιση του.
Η μεταφορά των δεδομένων του τελικού αρχείου στην πλατφόρμα Arduino γίνεται μέσω USB. Για την επίτευξη αυτής της διαδικασίας χρησιμοποιείται από το ολοκληρωμένο περιβάλλον ανάπτυξης το εργαλείο avrdude και ο φορτωτής εκκίνησης της πλατφόρμας Arduino.

Οι ενεργοποιητές που χρησιμοποιήσαμε

Σερβοκινητήρες

Οι σερβοκινητήρες είναι συστήματα κινητήρων, τα οποία ανήκουν στην κατηγορία των συστημάτων αυτομάτου ελέγχου κλειστού βρόγχου ή αλλιώς των συστημάτων ελέγχου με ανάδραση. Δύο βασικά είδη:



Χαρακτηριστικά σερβοκινητήρα MG996R:

Rotation range: 180°

Design: Double ball bearing

Weight: 55g

Stall torque: 9.4 kgF-cm (4.8 V), 11 kgF-cm (6 V)

Operating speed: 0.17 s/60° (4.8 V), 0.14 s/60° (6 V)

Operating voltage: 4.8 V to 7.2 V

Running Current: 500 mA – 900 mA (6V)

Stall Current: 2.5 A (6V)

Dead band width: 5 μs

Temperature range: 0 °C – 55 °C

Οι αισθητήρες που χρησιμοποιήθηκαν στα πειράματα

Οι αισθητήρες είναι όργανα που μετρούν μία φυσική ποσότητα και τη μετατρέπουν σε ένα σήμα που μπορεί να διαβαστεί από ένα παρατηρητή ή ένα ηλεκτρονικό όργανο. Στην περίπτωση μας οι αισθητήρες είναι κυκλώματα, συνήθως μικρού μεγέθους, που μετατρέπουν τη φυσική ποσότητα που μετρούν σε σήμα που μπορεί να διαβαστεί από τον μικροελεγκτή Arduino. Έχουν σημαντικότατο ρόλο σε ένα ρομπότ καθώς προσδιορίζουν την ικανότητα κατανόησης του περιβάλλοντος και έτσι, έμμεσα, τα πλαίσια δράσης του.

Κατηγοριοποίηση αισθητήρων ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας τους

Οι αισθητήρες χωρίζονται ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας τους σε δύο κύριες κατηγορίες, σε ενεργητικούς και παθητικούς.

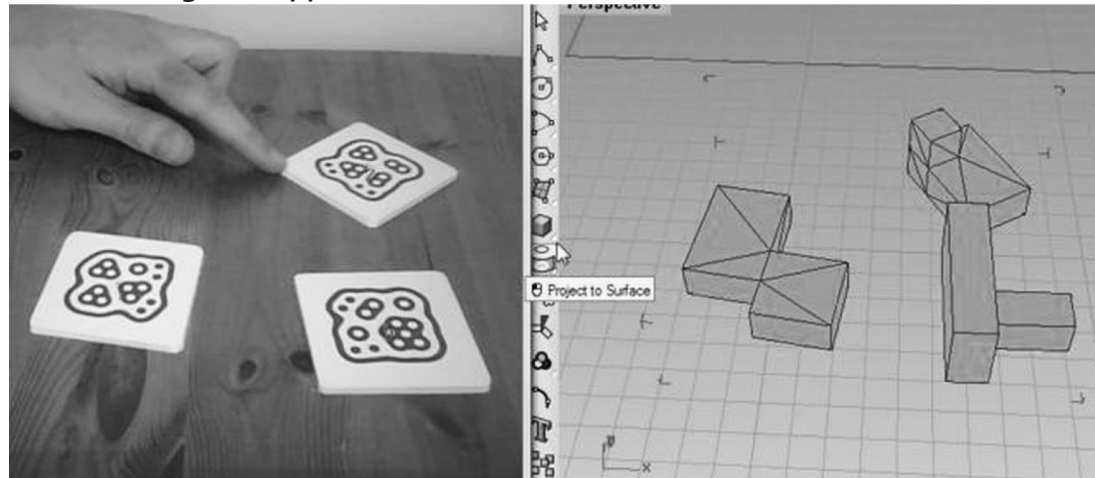
- Ενεργητικοί αισθητήρες είναι αισθητήρες που εκπέμπουν κάποια μορφή ενέργειας (κύματα ήχου, φωτός κ.α.) στο περιβάλλον, με σκοπό να μετρήσουν τις αλλαγές που προκύπτουν στην εκπεμπόμενη ενέργεια. Δηλαδή εκπέμπουν και μετρούν ταυτόχρονα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα ενεργητικού αισθητήρα είναι το SONAR, οι ενεργητικοί υπέρυθροι αισθητήρες (Infrared) κ.α.

- Παθητικοί αισθητήρες είναι οι αισθητήρες οι οποίοι δεν εκπέμπουν κάποια μορφή ενέργειας αλλά μετρούν την ενέργεια που προέρχεται από κάποια φυσική πηγή. Οι τυπικοί αισθητήρες στους συναγερμούς κτηρίων είναι υπέρυθροι αισθητήρες κίνησης οι οποίοι είναι παθητικοί αισθητήρες.



Αισθητήρες Απόστασης

Οι αισθητήρες αυτοί μετρούν την απόσταση που υπάρχει ανάμεσα στους ίδιους και σε ένα φυσικό εμπόδιο που βρίσκεται μπροστά τους.

Camera _point tracker**Reactivision grasshopper****Kinect****Κάμερα RGB**

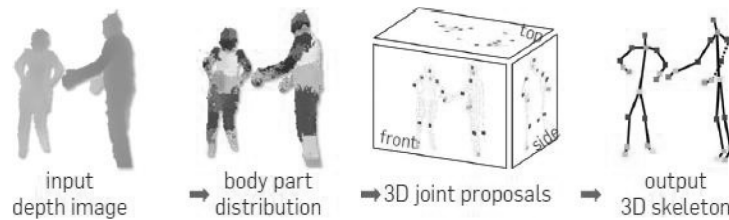
Κάμερα βάθους
Κινητήρας κλίσης
Σειρά μικροφώνων

Το Kinect βασίζεται σε λογισμικό που έχει αναπτύξει η Rare, θυγατρική της Microsoft Game Studios, και σε τεχνολογία κάμερας εύρους της Ισραηλινής εταιρείας PrimeSense, η οποία ανέπτυξε ένα σύστημα που αναγνωρίζει συγκεκριμένες κινήσεις των χρηστών του χρήστη, καθιστώντας δυνατή τη χρήση ηλεκτρονικών συσκευών χωρίς την ανάγκη χειριστηρίων μέσω υπερϊώδους προβολέα και αισθητήρα και ενός ειδικού microchip για να ακολουθεί την κίνηση αντικειμένων και ατόμων στις τρεις διαστάσεις. Μπορεί να εντοπίσει μέχρι και έξι άτομα, εκ των οποίων τα δύο να είναι ενεργοί παίκτες. Λειτουργεί ιδανικά σε ένα εύρος απόστασης μεταξύ 1.2m και 3.5m, αν και μπορεί να διατηρήσει τον εντοπισμό του χρήστη σε εύρος 0.7m μέχρι 7m. Ο χώρος κίνησης που απαιτείται από το χρήστη είναι περίπου 6m².

Αντίθετα με το προφανές συμπέρασμα ότι το Kinect μέσω του εξοπλισμού και μιας σειράς αλγορίθμων υπολογίζει τις κινήσεις του σώματος του χρήστη, η αλήθεια είναι ελαφρώς διαφορετική. Πρακτικά, το Kinect «συμπεραίνει» τις κινήσεις που εκτελεί ο χρήστης. Η διαδικασία του προσδιορισμού της θέσης του σώματος αποτελείται από 3 στάδια. Πρώτα, κατασκευάζεται ένας χάρτης βάθους (depth map) χρησιμοποιώντας την τεχνική δομημένου φωτός, στην συνέχεια προσδιορίζονται τα μέλη σώματος μέσω εκμάθησης μηχανής (machine learning) που έχει προηγηθεί και, τέλος, υπολογίζονται οι θέσεις των αρθρώσεων ενός 3D σκελετού που αναπαριστά τη θέση και την στάση του χρήστη. Τα μαθηματικά που χρησιμοποιεί το σύστημα είναι πανεπιστημιακού επιπέδου.

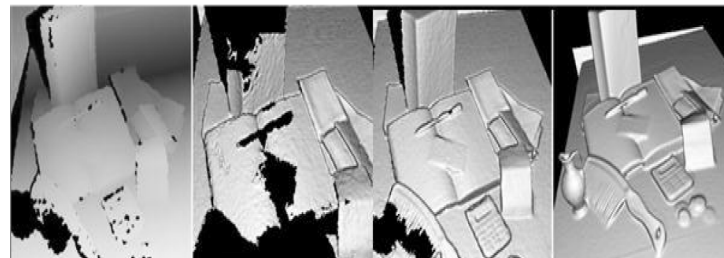
Εφαρμογές του αισθητήρα Kinect

Το Kinect, εκτός από την χρήση του στην παιχνιδομηχανή XBOX 360, έγινε αναπόσπαστο κομμάτι κυρίως σε εφαρμογές έρευνας που χρειαζόταν χαμηλού κόστους αισθητήρες. Πλήθος ερευνών το χρησιμοποίησαν με χαρακτηριστικό παράδειγμα τα ρομποτικά συστήματα, Virtual Reality και Augmented Reality εφαρμογές, εφαρμογές για άτομα με ειδικές ανάγκες κ.α.



Αλγόριθμος Kinect Fusion (KinFu)

Το KinFu [XII] είναι ένας αλγόριθμος που δημιουργήθηκε από την Microsoft Research το 2011, επιτρέποντας στους χρήστες του, την αναδημιουργία (ανοικοδόμηση) 3D επιφανειών σε πραγματικό χρόνο, χρησιμοποιώντας το Kinect. Κάνει χρήση της PCL για να εισάγει τα δεδομένα βάθους που προέρχονται από το Kinect στον υπολογιστή. Με την βοήθεια των αλγορίθμων της φιλτράρει τα δεδομένα για την αποφυγή του θορύβου που εισάγεται. Στην συνέχεια, με την βοήθεια των αλγορίθμων αναδημιουργίας επιφανειών ενώνει τα points μεταξύ τους ώστε να χτιστεί και η επιφάνεια να αρχίσει να παίρνει μορφή. Ωστόσο, απαιτούνται πολύ μεγάλες ποσότητες μνήμης και έχουν παρουσιαστεί πολλά προβλήματα με αντικείμενα που έχουν πολύπλοκες επιφάνειες αλλά αυτό είναι αποτέλεσμα των σχετικά χαμηλών δυνατοτήτων του αισθητήρα.



Το λογισμικό Agisoft PhotoScan

Το Agisoft PhotoScan είναι ένα ψηφιακό πρόγραμμα φωτογραμμετρίας με το οποίο ο χρήστης μπορεί να δημιουργήσει με ακρίβεια τρισδιάστατα μοντέλα αντικειμένων του πραγματικού κόσμου μέσω της ψηφιοποίησης κοινών σημείων σε σειρές φωτογραφιών οι οποίες λαμβάνονται από διαφορετικές θέσης. Τόσο ο προσανατολισμός των εικόνων όσο και το 3D μοντέλο είναι μια διαδικασία πλήρως αυτοματοποιημένη.

Λειτουργία προγράμματος

Το λογισμικό PhotoScan έχει ως κύρια δεδομένα τις φωτογραφίες που εμείς του εισάγουμε. Επομένως υπάρχουν και κάποιοι περιορισμοί / προϋποθέσεις που πρέπει να τηρούν έτσι ώστε να υπάρχει η δυνατότητα από το πρόγραμμα, να τις αναγνωρίσει και να τις επεξεργαστεί. Θα πρέπει λοιπόν να ελεγχθούν και να επιλεχθούν όσες φωτογραφίες είναι κατάλληλες για την δημιουργία 3D μοντέλου πριν τοποθετηθούν για προσανατολισμό. Οι φωτογραφίες μπορούν να ληφθούν από οποιαδήποτε τυπική ψηφιακή φωτογραφική μηχανή, αρκεί να ακολουθούνται κάποιες συγκεκριμένες κατευθυντήριες γραμμές λήψης. Αυτή η ενότητα περιγράφει τις γενικές αρχές για τη λήψη και την επιλογή των φωτογραφιών που παρέχουν τα πιο κατάλληλα στοιχεία για την παραγωγή 3D μοντέλου όπως τις προτείνει το λογισμικό.

Βασικοί κανόνες:

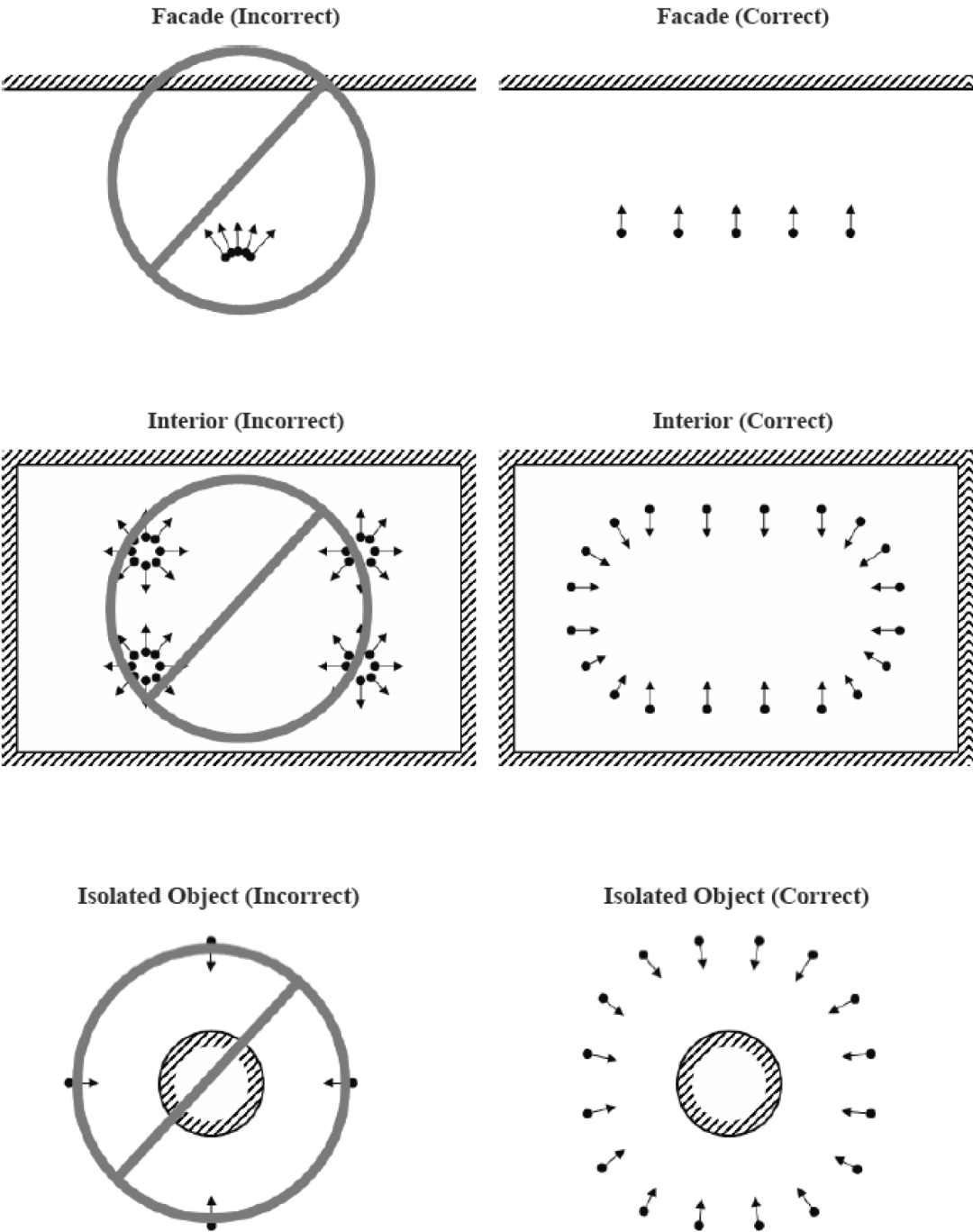
- Χρησιμοποιήστε μια ψηφιακή φωτογραφική μηχανή με αρκετά υψηλή ανάλυση (5 Mpix ή περισσότερα).
- Ευρυγώνιους φακούς που να ταιριάζουν καλύτερα για την ανακατασκευή χωρικών σχέσεων μεταξύ των αντικειμένων από τηλεφάκο.
- Αποφεύγετε να μην υπάρχει υφή και επίπεδα αντικείμενα ή σκηνές.
- Αποφύγετε λαμπερά και διαφανή αντικείμενα.
- Αποφύγετε τα ανεπιθύμητα προσκηνία και την μετακίνηση των αντικειμένων όσο το δυνατόν περισσότερο.
- Αν υπάρχουν λαμπερά αντικείμενα τραβήξτετα κάτω από ένα συννεφιασμένο ουρανό.
- Τραβήξτε φωτογραφίες της σκηνής με πολλές επικαλύψεις.
 - Τραβήξτε αρκετές φωτογραφίες από το πιο σημαντικό περιεχόμενο της σκηνής και από πολλαπλές οπτικές γωνίες (3 ή περισσότερα).
- Μην περικόψετε ή μετατρέψετε γεωμετρικά τις εικόνες.
- Περισσότερες φωτογραφίες είναι καλύτερα από το να μην υπάρχει επικάλυψη.
 - Πάρε τον απαραίτητο χρόνο έξω στο πεδίο για να προγραμματίσεις σωστά και πλήρως την λήψη των φωτογραφιών.

Περιορισμοί:
Σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να είναι πολύ δύσκολο ή ακό-
μη και αδύνατο να χτίσει ένα σωστό τρισδιάστατο μοντέλο από
ένα σύνολο φωτογραφίες.

Τροποποιήσεις των φωτογραφιών
Το PhotoScan μπορεί να επεξεργαστεί μόνο μη τροποποιημένα
φωτογραφίες που είχαν ληφθεί από μια ψηφιακή φωτογραφική
μηχανή. Οι φωτογραφίες που περικόπηκαν ή γεωμετρικά δια-
στρεβλώθηκαν με το χέρι είναι πιθανό να αποτύχουν ή να παρά-
γουν πολύ ανακριβή αποτελέσματα. Οι φωτομετρικές τροποποι-
ήσεις δεν επηρεάζουν τα αποτελέσματα της ανασυγκρότησης.

Ελλιψη δεδομένων EXIF
Για να εκτιμηθεί το οπτικό πεδίο για κάθε φωτογραφία από το
PhotoScan, χρησιμοποιεί τις πληροφορίες που αποθηκεύονται
στο τμήμα της κάθε EXIF εικόνα.
Αν τα EXIF δεδομένα είναι διαθέσιμα, τότε μπορείτε να περιμένε-
τε ότι θα πάρετε 3D ανακατασκευή. Ωστόσο 3D σκηνή μπορεί ε-
πίσης να ανακατασκευαστεί εάν απουσιάζουν τα δεδομένα EXIF.
Σε αυτή την περίπτωση PhotoScan υποθέτει ότι τα 35mm εστια-
κό μήκος (φίλμ) ισοδυναμεί με 50 mm φακό προσπαθώντας να
ευθυγραμμίσει τις φωτογραφίες σύμφωνα με την παρούσα υ-
πόθεση. Εάν η σωστή τιμή εστιακού μήκους διαφέρει σημαντι-
κά από τα 50 mm, η ευθυγράμμιση μπορεί να δώσει λανθασμέ-
να αποτελέσματα ή ακόμα και να αποτύχει. Στις περιπτώσεις αυ-
τές απαιτείται να καθοριστεί η αρχική βαθμονόμηση της κάμε-
ρας χειροκίνητα.

Διαστροφή του φακού
Η διαστροφή του φακού που χρησιμοποιείται για την λήψη των
φωτογραφιών πρέπει να είναι καλά μοντελοποιημένες χρησιμο-
ποιώντας τον Brown's model παραμόρφωσης. Διαφορετικά, εί-
ναι σχεδόν αδύνατο να χτίσει με ακρίβεια το 3D μοντέλο.



Στόχος του λογισμικού

Σε γενικές γραμμές ο τελικός στόχος της επεξεργασίας φωτογραφιών από το PhotoScan είναι να δημιουργηθεί ένα 3D μοντέλο ή και ορθοφωτοχάρτης του αντικειμένου.

Η διαδικασία επεξεργασίας των φωτογραφιών και η κατασκευή του τρισδιάστατου μοντέλου αποτελείται από τρία κύρια στάδια:

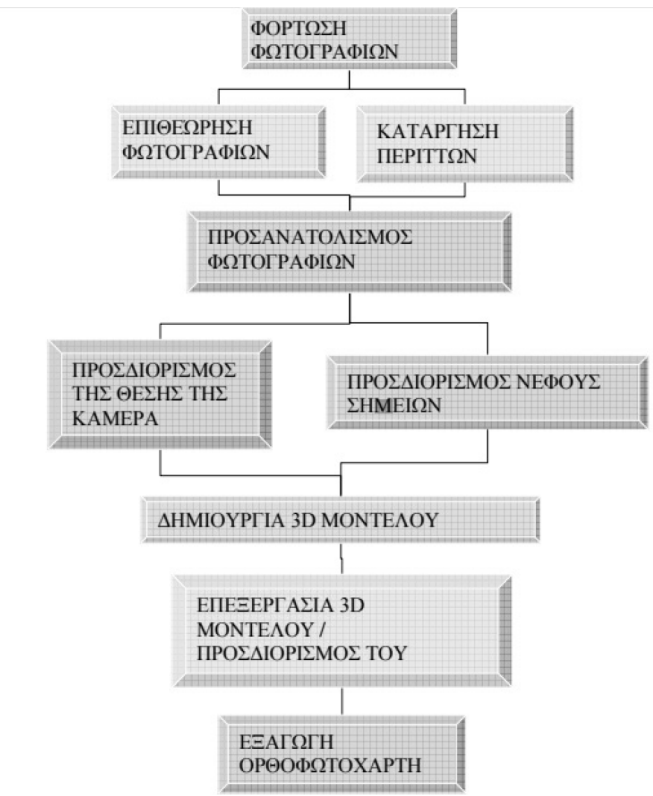
1. Το πρώτο στάδιο είναι ο προσανατολισμός των φωτογραφιών. Σε αυτό το στάδιο, το λογισμικό αναζητά για κοινά σημεία στις φωτογραφίες, να υπολογίζει τη θέση της φωτογραφικής μηχανής για τη κάθε εικόνα καθώς και να εξευγενίζει τις παραμέτρους βαθμονόμησης της μηχανής. Το αποτέλεσμα σε αυτό το στάδιο είναι ένα αραιό νέφος σημείων και το σύνολο των θέσεων λήψης των φωτογραφιών. Το νέφος σημείων παριστά τα αποτελέσματα του προσανατολισμού των φωτογραφιών και δεν θα χρησιμοποιηθεί άμεσα στην περαιτέρω διαδικασία κατασκευής 3D μοντέλου. Για παράδειγμα, το μοντέλο νέφος σημείων μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ένα 3D επεξεργαστή ως αναφορά. Αντίθετα, το σύνολο των θέσεων λήψης, απαιτείται για την περαιτέρω κατασκευή του τρισδιάστατου μοντέλου στο PhotoScan.

2. Το επόμενο στάδιο είναι η δημιουργία 3D μοντέλου. Με βάση τις εκτιμώμενες θέσεις της κάμερας και τις εικόνες δημιουργείται ένα 3D πλέγμα πολυγώνων, που αντιπροσωπεύει την επιφάνεια του αντικειμένου. Στο PhotoScan διατίθενται τέσσερις αλγοριθμικές μέθοδοι οι οποίες μπορούν να εφαρμοστούν για την δημιουργία 3D πλέγματος:

- Arbitrary - Smooth,
- Arbitrary - Sharp,
- Height field – Smooth και • Height field - Sharp methods.

Όταν δημιουργηθεί το πλέγμα στην συνέχεια πολύ πιθανόν να χρειαστεί να υποστεί επεξεργασία. Ορισμένες διορθώσεις που μπορεί να πραγματοποιηθούν από το λογισμικό είναι: ο αποδεκατισμός του πλέγματος, η αφαίρεση των στοιχείων που δεν χρειάζονται, το κλείσιμο των οπών στο πλέγμα, κλπ. Για πιο σύνθετες επεξεργασίες θα πρέπει να συμμετάσχουν εξωτερικά 3D εργαλεία επεξεργασίας. Το PhotoScan επιτρέπει να εξάγετε το πλέγμα, να το επεξεργαστείτε με άλλο λογισμικό και να το εισάγετε ξανά.

3. Μετά την γεωμετρία (δηλ. το πλέγμα) που έχει κατασκευαστεί, δημιουργείται η υφή – προβολή των εικόνων πάνω στην επιφάνεια η οποία χρησιμοποιείται για την παραγωγή ορθοφωτοχαρτών.



Κώδικες
Δομές και λειτουργίες για συγγραφή προγράμματος (sketch)
για το Arduino

Δομές ελέγχου ροής

• if (δομή ελέγχου μίας συνθήκης)
• if else (δομή ελέγχου πολλαπλών συνθηκών)
• for (δομή επαναληπτικού ελέγχου συνθήκης)
• while (δομή επαναληπτικού ελέγχου συνθήκης)
• do while (δομή επαναληπτικού ελέγχου συνθήκης)
• switch case (δομή ελέγχου περιπτώσεων)
• break (εντολή διακοπής μιας επαναληπτικής δομής)
• continue (εντολή παράλειψης της τρέχουσας επανάληψης)
• return (εντολή επιστροφής από μία συνάρτηση)
• goto (εντολή μετάβασης σε κάποιο σημείο του κώδικα)
Αριθμητικοί τελεστές
• = (τελεστής εκχώρησης)
• + (τελεστής πρόσθεσης)
• - (τελεστής αφαίρεσης)
• * (τελεστής πολλαπλασιασμού)
• / (τελεστής διαίρεσης)
• % (τελεστής υπόλοιπου ακεραίας διαίρεσης)
Λογικοί τελεστές
• && (λογική σύζευξη)
• (λογική διάζευξη)
• ! (λογική άρνηση)
Δυαδικοί τελεστές
• & (δυαδική σύζευξη)
• (δυαδική διάζευξη)
• ^ (δυαδική αποκλειστική διάζευξη)
• ~ (δυαδική άρνηση)
• << (δυαδική αριστερή ολίσθηση)
• >> (δυαδική δεξιά ολίσθηση)

Τελεστές αύξησης και μείωσης
• ++ (αύξηση κατά μία ακέραιη μονάδα)
• -- (μείωση κατά μία ακέραιη μονάδα)
Σύνθετοι τελεστές
• +=, -=, *=, /=, %= (σύνθετοι αριθμητικοί τελεστές)
• &=, =, ^=, ~=, <<=, >>= (σύνθετοι δυαδικοί τελεστές)
Τελεστές σύγκρισης
• == (ισότητα)
• != (ανισότητα)
• < (μικρότερο)
• > (μεγαλύτερο)
• <= (μικρότερο ή ίσο)
• >= (μεγαλύτερο ή ίσο)
Τελεστές δεικτών
• * (τελεστής απόκτησης περιεχομένου)
• & (τελεστής απόκτησης διεύθυνσης) 82
Σταθερές
• HIGH (τιμή υψηλής στάθμης για μία επαφή εισόδου ή εξόδου)
• LOW (τιμή χαμηλής στάθμης για μία επαφή εισόδου ή εξό- δου)
• false (λογικό επίπεδο ψεύδους σε μία συνθήκη)
• true (λογικό επίπεδο αλήθειας σε μία συνθήκη)
• INPUT (χρησιμοποιείται για τον ορισμό μίας επαφής ως εί- σοδο)
• OUTPUT (χρησιμοποιείται για τον ορισμό μίας επαφής ως έ- ξοδο)
• A0, ..., A5 (συμβολοσταθερές για τις αναλογικές επαφές εισό- δου)

Τύποι δεδομένων
• boolean (λογική δυαδική τιμή)
• char (προσημασμένος χαρακτήρας 8 ψηφίων)
• unsigned char (μη προσημασμένος χαρακτήρας 8 ψηφίων)
• byte (μη προσημασμένος χαρακτήρας 8 ψηφίων)
• int (προσημασμένος ακέραιος αριθμός 16 ψηφίων)
• unsigned int (μη προσημασμένος ακέραιος αριθμός 16 ψηφίων)
• word (μη προσημασμένος ακέραιος αριθμός 16 ψηφίων)
• long (προσημασμένος ακέραιος αριθμός 32 ψηφίων)
• unsigned long (μη προσημασμένος ακέραιος αριθμός 32 ψηφίων)
• float, double (αριθμός κινητής υποδιαστολής απλής ακρίβειας)
• string (αντικείμενο αλφαριθμητικού με χρήσιμες μεθόδους)
Συναρτήσεις μετατροπής τύπων
• char(), byte()
• int(), word(), long()
• float(), double()
Συναρτήσεις εισόδου και εξόδου
• pinMode() (ορίζει μια επαφή ως είσοδο ή έξοδο)
Συναρτήσεις ψηφιακής εισόδου και εξόδου
• digitalWrite() (γράφει σε μία ψηφιακή επαφή εξόδου)
• digitalRead() (διαβάζει από μία ψηφιακή επαφή εισόδου)
Συναρτήσεις αναλογικής εισόδου και εξόδου
• analogReference() (ορίζει την τάση αναλογικής αναφοράς)
• analogWrite() (γράφει PWM σήματα σε μία επαφή εξόδου)
• analogRead() (διαβάζει από μία αναλογική επαφή εισόδου)

Προηγμένες συναρτήσεις εισόδου και εξόδου
• tone() (παράγει ένα τετραγωνικό σήμα ορισμένης συχνότητας)
• noTone() (διακόπτει την παραγωγή τετραγωνικών σημάτων)
• shiftOut() (ολισθαίνει τα ψηφία μιας τιμής σε μία επαφή εξόδου)
• pulseIn() (επιστρέφει την διάρκεια σε μs ενός παλμού HIGH ή LOW)
Συναρτήσεις χρόνου
• millis() (διάρκεια εκτέλεσης του προγράμματος σε ms)
• micros() (διάρκεια εκτέλεσης του προγράμματος σε μs)
• delay() (παύση προγράμματος - η διάρκεια δίδεται σε ms)
• delayMicroseconds() (παύση προγράμματος - η διάρκεια δίδεται σε μs)
Μαθηματικές και Τριγωνομετρικές συναρτήσεις
• max() (βρίσκει τον μεγαλύτερο ανάμεσα σε δύο αριθμούς)
• min() (βρίσκει τον μικρότερο ανάμεσα σε δύο αριθμούς)
• abs() (επιστρέφει την απόλυτη τιμή ενός αριθμού)
• constrain() (ελέγχει για υπερχείλιση ή υποχείλιση ορίων)
• map() (πραγματοποιεί γραμμικό μετασχηματισμό ορίων) 83
• pow() (επιστρέφει το αποτέλεσμα μίας δύναμης)
• sqrt() (επιστρέφει την ρίζα ενός αριθμού)
• sin() (υπολογίζει το ημίτονο ενός αριθμού)
• cos() (υπολογίζει το συνημίτονο ενός αριθμού)
• tan() (υπολογίζει την εφαπτομένη ενός αριθμού)
Συναρτήσεις γεννήτριας τυχαίων αριθμών
• random() (δίδεται ένας νέος αριθμός από την γεννήτρια)
• randomSeed() (θέτει τον σπόρο της γεννήτριας παραγωγής)

Συναρτήσεις επεξεργασίας δυαδικών αριθμών
• lowByte() (επιστρέφει το δεξιότερο byte μίας μεταβλητής)
• highByte() (επιστρέφει το αριστερότερο byte μίας μεταβλητής)
• bitRead() (διαβάζει ένα συγκεκριμένο ψηφίο μίας μεταβλητής)
• bitWrite() (γράφει σε ένα συγκεκριμένο ψηφίο μιας μεταβλητής)
• bitSet() (γράφει την τιμή 1 σε κάποιο ψηφίο μίας μεταβλητής)
• bitClear() (γράφει την τιμή 0 σε κάποιο ψηφίο μιας μεταβλητής)
• bit() (υπολογίζει μία συγκεκριμένη δύναμη με βάση το 2)
Συναρτήσεις χρήσης ρουτινών εξυπηρέτησης διακοπών
• attachInterrupt() (ενεργοποιεί μία ρουτίνα εξυπηρέτησης διακοπής)
• detachInterrupt() (απενεργοποιεί μία ρουτίνα εξυπηρέτησης διακοπής)
Συναρτήσεις ενεργοποίησης και απενεργοποίησης διακοπών
• interrupts() (ενεργοποιεί τα σήματα διακοπής)
• noInterrupts() (απενεργοποιεί τα σήματα διακοπής)
Υποστήριξη σειριακής επικοινωνίας
• Serial (αντικείμενο σειριακής επικοινωνίας με χρήσιμες μεθόδους)

Firefly Firmata_Arduino Sketch (grasshopper-arduino bridge)
/*
Created by Andrew Payne and Jason Kelly Johnson
Latest Update March 25th, 2015
Copyright 2015 All Rights Reserved
This Firmata allows you to control an Arduino board from Rhino/Grasshopper/Firefly.
Updates, Questions, Suggestions visit: http://www.fireflyexperiments.com
1. Plug Arduino boards into your USB port; confirm that your Arduino's green power LED is on
2. Select your specific Arduino Board and Serial Port (Tools > Board; Tools > Serial Port) *Take note of your Serial Port COM #
3. Verify (play button) and Upload (upload button) this program to your Arduino, close the Arduino program
4. then open ... Rhino/Grasshopper/Firefly
Note: The Firefly Firmata sets the following pins to perform these functions:
*****ON STANDARD BOARDS (ie. Uno, Diecimila, Duemilanove, Lillypad, Mini, etc.)*****
ANALOG IN pins 0-5 are set to return values (from 0 to 1023) for analog sensors
DIGITAL IN pins 2,4,7 will return 0's or 1's; for 3 potential digital sensors (buttons, switches, on/off, true/false, etc.)
DIGITAL/ANALOG OUT pins 3,5,6,11 (marked with a ~) can be used to digitalWrite, analogWrite, or Servo.write depending on the input status of that Firefly pin
DIGITAL OUT pins 8,9,10,12,13 can be used to digitalWrite, Servo.write, or analogWrite depending on the input status of that Firefly pin

*****ON MEGA BOARDS (ie. ATMEGA1280, ATMEGA2560)*****
ANALOG IN pins 0-15 will return values (from 0 to 1023) for 16 analog sensors
DIGITAL IN pins 22-31 will return 0's or 1's; for digital sensors (buttons, switches, on/off, true/false, etc.)
DIGITAL/ANALOG OUT pins 2-13 can be used to digitalWrite, analogWrite, or Servo.write depending on the input status of that Firefly pin
DIGITAL OUT pins 32-53 can be used to digitalWrite, Servo.write, or analogWrite depending on the input status of that Firefly pin
*****ON LEONARDO BOARDS*****
ANALOG IN pins 0-5 are set to return values (from 0 to 1023) for analog sensors
DIGITAL IN pins 2,4,7 will return 0's or 1's; for 3 potential digital sensors (buttons, switches, on/off, true/false, etc.)
DIGITAL/ANALOG OUT pins 3,5,6,11 (marked with a ~) can be used to digitalWrite, analogWrite, or Servo.write depending on the input status of that Firefly pin
DIGITAL OUT pins 8,9,10,12,13 can be used to digitalWrite, Servo.write, or analogWrite depending on the input status of that Firefly pin
*****ON DUE BOARDS (ie. SAM3X8E)*****
ANALOG IN pins 0-11 will return values (from 0 to 4095) for 12 analog sensors
DIGITAL IN pins 22-31 will return 0's or 1's; for digital sensors (buttons, switches, on/off, true/false, etc.)
DIGITAL/ANALOG OUT pins 2-13 can be used to digitalWrite, analogWrite, or Servo.write depending on the input status of that Firefly pin
DIGITAL OUT pins 32-53 can be used to digitalWrite, Servo.write, or analogWrite depending on the input status of that Firefly pin
DAC0 and DAC1 can be used to output an analog voltage on those pins (only available on DUE boards)
*/
#include <Servo.h> // attach Servo library (http://www.arduino.cc/playground/ComponentLib/Servo)

#include <pins_arduino.h> // attach arduino pins header file to determine which board type is being used
#define BAUDRATE 115200 // Set the Baud Rate to an appropriate speed
#define BUFFSIZE 512 // buffer one command at a time
/*=====
=====
* GLOBAL VARIABLES
*=====
=====*/
char buffer[BUFFSIZE]; // declare buffer
uint8_t bufferidx = 0; // a type of unsigned integer of length 8 bits
char *parseptr;
char buffidx;
int counter = 0;
int numcycles = 1000;
#if defined(__AVR_ATmega328P__) defined(__AVR_ATmega168__) // declare variables for STANDARD boards
Servo Servo13, Servo12, Servo11, Servo10, Servo9, Servo8, Servo6, Servo5, Servo3;
Servo SERVO_CONFIG[] = {Servo13, Servo12, Servo11, Servo10, Servo9, Servo8, Servo6, Servo5, Servo3}; // declare array of Servo objects
int WRITE_PIN_CONFIG[] = {13,12,11,10,9,8,6,5,3};
int READ_APIN_CONFIG[] = {0,1,2,3,4,5};
int READ_DPIN_CONFIG[] = {2,4,7};
#endif
#if defined(__AVR_ATmega32U4__) defined(__AVR_ATmega16U4__) // declare variables for LEONARDO board

Servo Servo13, Servo12, Servo11, Servo10, Servo9, Servo8, Servo6, Servo5, Servo3;
Servo SERVO_CONFIG[] = {Servo13, Servo12, Servo11, Servo10, Servo9, Servo8, Servo6, Servo5, Servo3}; // declare array of Servo objects
int WRITE_PIN_CONFIG[] = {13,12,11,10,9,8,6,5,3};
int READ_APIN_CONFIG[] = {0,1,2,3,4,5};
int READ_DPIN_CONFIG[] = {2,4,7};
#endif
#if defined(__AVR_ATmega1280__) defined(__AVR_ATmega2560__) // declare variables for MEGA boards
Servo Servo2, Servo3, Servo4, Servo5, Servo6, Servo7, Servo8, Servo9, Servo10, Servo11, Servo12, Servo13, Servo32, Servo33, Servo34, Servo35, Servo36, Servo37, Servo38, Servo39, Servo40, Servo41, Servo42, Servo43, Servo44, Servo45, Servo46, Servo47, Servo48, Servo49, Servo50, Servo51, Servo52, Servo53;
Servo SERVO_CONFIG[] = {Servo2, Servo3, Servo4, Servo5, Servo6, Servo7, Servo8, Servo9, Servo10, Servo11, Servo12, Servo13, Servo32, Servo33, Servo34, Servo35, Servo36, Servo37, Servo38, Servo39, Servo40, Servo41, Servo42, Servo43, Servo44, Servo45, Servo46, Servo47, Servo48, Servo49, Servo50, Servo51, Servo52, Servo53}; // declare array of Servo objects
int WRITE_PIN_CONFIG[] = {2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,32,33,34,35,36,37,38,39,40,41,42,43,44,45,46,47,48,49,50,51,52,53};
int READ_APIN_CONFIG[] = {0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15};
int READ_DPIN_CONFIG[] = {22,23,24,25,26,27,28,29,30,31};
#endif
#if defined(__SAM3X8E__) // declare variables for DUE boards

Servo FDACo, FDAC1, Servo2, Servo3, Servo4, Servo5, Servo6, Servo7, Servo8, Servo9, Servo10, Servo11, Servo12, Servo13, Servo32, Servo33, Servo34, Servo35, Servo36, Servo37, Servo38, Servo39, Servo40, Servo41, Servo42, Servo43, Servo44, Servo45, Servo46, Servo47, Servo48, Servo49, Servo50, Servo51, Servo52, Servo53;
Servo SERVO_CONFIG[] = {FDACo, FDAC1, Servo2, Servo3, Servo4, Servo5, Servo6, Servo7, Servo8, Servo9, Servo10, Servo11, Servo12, Servo13, Servo32, Servo33, Servo34, Servo35, Servo36, Servo37, Servo38, Servo39, Servo40, Servo41, Servo42, Servo43, Servo44, Servo45, Servo46, Servo47, Servo48, Servo49, Servo50, Servo51, Servo52, Servo53}; // declare array of Servo objects
int WRITE_PIN_CONFIG[] = {0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,32,33,34,35,36,37,38,39,40,41,42,43,44,45,46,47,48,49,50,51,52,53}; //Note: first two values correspond to the DAC pins
int READ_APIN_CONFIG[] = {0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11};
int READ_DPIN_CONFIG[] = {22,23,24,25,26,27,28,29,30,31};
#endif
/*=====
=====
* SETUP() This code runs once
*=====
=====*/
void setup()
{
Init(); //set initial pinmodes
Serial.begin(BAUDRATE); // Start Serial communication
#if defined(__SAM3X8E__) //if the connected board is an Arduino DUE
analogReadResolution(12); //Set the analog read resolution to 12 bits (acceptable values between 1-32 bits). This is only for DUE boards
analogWriteResolution(12); // Set the analog write resolution to 12 bits (acceptable values between 1-32 bits). This is only for DUE boards
#endif
}

/*=====
=====
* LOOP() This code loops
*=====
=====*/
void loop()
{
if(Serial){
ReadSerial(); // read and parse string from serial port
and write to pins
if (counter >= numcycles){ // Wait every nth loop
ReadInputs(); // get input data and print data to the
serial port
counter = 0; // reset the counter
}
counter ++; // increment the writecounter
}
}
/*=====
=====
* FUNCTIONS()
*=====
=====*/
/*
* Initializes the digital pins which will be used as inputs
*/
void Init(){
int len = sizeof(READ_DPIN_CONFIG)/sizeof(READ_DPIN_
CONFIG[o]); //get the size of the array
for(int i = 0; i < len; i++){
pinMode(READ_DPIN_CONFIG[i], INPUT);

}
}
/*
* Reads the incoming ADC or digital values from the
corresponding analog and digital input
* pins and prints the value to the serial port as a formatted
commma separated string
*/
void ReadInputs(){
int len = sizeof(READ_APIN_CONFIG)/sizeof(READ_APIN_
CONFIG[o]); //get the size of the array
for(int i = 0; i < len; i++){
int val = analogRead(READ_APIN_CONFIG[i]); //read value
from analog pins
Serial.print(val); Serial.print(«,»);
}
len = sizeof(READ_DPIN_CONFIG)/sizeof(READ_DPIN_
CONFIG[o]); //get the size of the array
for(int i = 0; i < len; i++){
int val = digitalRead(READ_DPIN_CONFIG[i]); //read value
from digital pins
Serial.print(val); Serial.print(«,»);
}
Serial.println(«eol»); //end of line marker
}
/*
* Retrieve the latest incoming serial value and split the string at
the comma delimiter.
* When a comma is found, the value is offloaded to a temporary
variable and written
* to the corresponding digital pin.
*/
void ReadSerial(){
char c; // holds one character from the serial port
if (Serial.available()) {


```
c = Serial.read();    // read one character
buffer[bufferidx] = c;  // add to buffer
if (c == '\n') {
    buffer[bufferidx+1] = 0; // terminate it
    parseptr = buffer;    // offload the buffer into temp variable
    int len = sizeof(WRITE_PIN_CONFIG)/sizeof(WRITE_PIN_CONFIG[0]); //get the size of the array
    for(int i = 0; i < len; i++){
        //parse all incoming values and assign them to the appropriate variable
        int val = parsedecimal(parseptr);    // parse the incoming number
        if(i != len - 1) parseptr = strchr(parseptr, ',')+1; // move past the «,»
        WriteToPin(WRITE_PIN_CONFIG[i], val, SERVO_CONFIG[i]);
        //send value out to pin on arduino board
    }
    bufferidx = 0;          // reset the buffer for the next read
    return;                // return so that we don't trigger the index increment below
}                          // didn't get newline, need to read more from the buffer
bufferidx++;              // increment the index for the next character
if (bufferidx == BUFFSIZE-1) bufferidx = 0; // if we get to the end of the buffer reset for safety
}
}

/*
 * Send the incoming value to the appropriate pin using pre-defined logic (ie. digital, analog, or servo)
 */
void WriteToPin(int _pin, int _value, Servo _servo){
    if (_value >= 10000 && _value < 20000)    // check if value should be used for Digital Write (HIGH/LOW)
```

```
{
    if (_servo.attached()) _servo.detach();    // detach servo is one is attached to pin
    pinMode(_pin, OUTPUT);
    _value -= 10000;          // subtract 10,000 from the value sent from Grasshopper
    if (_value == 1) digitalWrite(_pin, HIGH);
    else digitalWrite(_pin, LOW);
}

else if (_value >= 20000 && _value < 30000)    // check if value should be used for Analog Write (0-255)
{
    if (_servo.attached()) _servo.detach();    // detach servo is one is attached to pin
    pinMode(_pin, OUTPUT);
    _value -= 20000;          // subtract 20,000 from the value sent from Grasshopper
    analogWrite(_pin, _value);
}

else if (_value >= 30000 && _value < 40000)    // check if value should be used for Servo Write (0-180)
{
    _value -= 30000;          // subtract 30,000 from the value sent from Grasshopper
    if (!_servo.attached()) _servo.attach(_pin); // attaches a Servo to the PWM pin (180 degree standard servos)
    _servo.write(_value);
}

else if (_value >= 40000 && _value < 50000)    // check if value should be used for Analog Write (0-4096) for DACs
{
    if (_servo.attached()) _servo.detach();    // detach servo is one is attached to pin
    pinMode(_pin, OUTPUT);
    _value -= 40000;          // subtract 40,000 from the value sent from Grasshopper
    WriteToDAC(_pin, _value);
}
}
```

/*	
* Parse a string value as a decimal	
*/	
uint32_t parsedecimal(char *str){	
uint32_t d = 0;	
while (str[o] != o) {	
if ((str[o] > '5o') (str[o] < 'o'))	
return d;	
d *= 10;	
d += str[o] - 'o';	
str++;	
}	
return d;	
}	
/*	
* Send the incoming value to the appropriate DAC for DUE boards.	
* Note: analogWrite resolution (default is 12 bits) is defined in the Setup function.	
*/	
#if defined(__SAM3X8E__)	
void WriteToDAC(int _pin, int _value){	
if(_pin == o)	
analogWrite(DACo, _value);	
else if (_pin == 1)	
analogWrite(DAC1, _value);	
}	
#endif	

Forward Kinematics script_Grasshopper
using Rhino;
using Rhino.Geometry;
using Rhino.DocObjects;
using Rhino.Collections;
using GH_IO;
using GH_IO.Serialization;
using Grasshopper;
using Grasshopper.Kernel;
using Grasshopper.Kernel.Data;
using Grasshopper.Kernel.Types;
using System;
using System.IO;
using System.Xml;
using System.Xml.Linq;
using System.Linq;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Reflection;
using System.Collections;
using System.Windows.Forms;
using System.Collections.Generic;
using System.Runtime.InteropServices;

/// <summary>
/// This class will be instantiated on demand by the Script component.
/// </summary>
public class Script_Instance : GH_ScriptInstance
{
#region Utility functions
/// <summary>Print a String to the [Out] Parameter of the Script component.</summary>
/// <param name=»text»>String to print.</param>
private void Print(string text) { /* Implementation hidden. */ }
/// <summary>Print a formatted String to the [Out] Parameter of the Script component.</summary>
/// <param name=»format»>String format.</param>
/// <param name=»args»>Formatting parameters.</param>
private void Print(string format, params object[] args) { /* Implementation hidden. */ }
/// <summary>Print useful information about an object instance to the [Out] Parameter of the Script component. </summary>
/// <param name=»obj»>Object instance to parse.</param>
private void Reflect(object obj) { /* Implementation hidden. */ }
/// <summary>Print the signatures of all the overloads of a specific method to the [Out] Parameter of the Script component. </summary>
/// <param name=»obj»>Object instance to parse.</param>
private void Reflect(object obj, string method_name) { /* Implementation hidden. */ }
#endregion
#region Members
/// <summary>Gets the current Rhino document.</summary>
private readonly RhinoDoc RhinoDocument;
/// <summary>Gets the Grasshopper document that owns this script.</summary>

private readonly GH_Document GrasshopperDocument;
/// <summary>Gets the Grasshopper script component that owns this script.</summary>
private readonly IGH_Component Component;
/// <summary>
/// Gets the current iteration count. The first call to RunScript() is associated with Iteration==0.
/// Any subsequent call within the same solution will increment the Iteration count.
/// </summary>
private readonly int Iteration;
#endregion
/// <summary>
/// This procedure contains the user code. Input parameters are provided as regular arguments,
/// Output parameters as ref arguments. You don't have to assign output parameters,
/// they will have a default value.
/// </summary>
private void RunScript(Point3d P1, Point3d P2, Point3d P3, Point3d P4, double A1, double A2, double A3, double A4, double A5, double A6, Plane BasePlane, Mesh J1, Mesh J2, Mesh J3, Mesh J4, Mesh J5, Mesh J6, Mesh J7, ref object Robot, ref object EndPlane)
{
//your code here
double pi = Math.PI;
double A1Rad = (A1 / 180) * pi;
double A2Rad = (A2 / 180) * pi;
double A3Rad = (A3 / 180) * pi;
double A4Rad = (A4 / 180) * pi;
double A5Rad = (A5 / 180) * pi;
double A6Rad = (A6 / 180) * pi;

Mesh[] RobotMesh = {J1, J2, J3, J4, J5, J6, J7};
Plane AP1 = Plane.WorldZX;
AP1.Origin = P1;
Plane AP2 = Plane.WorldZX;
AP2.Origin = P2;
Plane AP3 = Plane.WorldYZ;
AP3.Origin = P3;
Plane AP4 = Plane.WorldZX;
AP4.Origin = P3;
Plane AP5 = Plane.WorldYZ;
AP5.Origin = P3;
Plane AP6 = Plane.WorldYZ;
AP6.Origin = P4;
Plane[] AxisPlanes = {AP1,AP2,AP3,AP4,AP5,AP6};
Transform Rot1 = Rhino.Geometry.Transform.Rotation(-1 * A1Rad, BasePlane.ZAxis, BasePlane.Origin);
for (int i = 1;i < 7;i++)
{
RobotMesh[i].Transform(Rot1);
}
for (int i = 0; i < 6;i++)
{
AxisPlanes[i].Transform(Rot1);
}

Transform Rot2 = Rhino.Geometry.Transform.Rotation(A2Rad + pi / 2, AxisPlanes[0].ZAxis, AxisPlanes[0].Origin);
for (int i = 2;i < 7;i++)
{
RobotMesh[i].Transform(Rot2);
}
for (int i = 1; i < 6;i++)
{
AxisPlanes[i].Transform(Rot2);
}
Transform Rot3 = Rhino.Geometry.Transform.Rotation(A3Rad - pi / 2, AxisPlanes[1].ZAxis, AxisPlanes[1].Origin);
for (int i = 3;i < 7;i++)
{
RobotMesh[i].Transform(Rot3);
}
for (int i = 2; i < 6;i++)
{
AxisPlanes[i].Transform(Rot3);
}
Transform Rot4 = Rhino.Geometry.Transform.Rotation(A4Rad * -1.0, AxisPlanes[2].ZAxis, AxisPlanes[2].Origin);
for (int i = 4;i < 7;i++)
{
RobotMesh[i].Transform(Rot4);
}
for (int i = 3; i < 6;i++)
{
AxisPlanes[i].Transform(Rot4);

Transform Rot5 = Rhino.Geometry.Transform.Rotation(A5Rad, AxisPlanes[3].ZAxis, AxisPlanes[3].Origin);
for (int i = 5; i < 7; i++)
{
RobotMesh[i].Transform(Rot5);
}
for (int i = 4; i < 6; i++)
{
AxisPlanes[i].Transform(Rot5);
}
Transform Rot6 = Rhino.Geometry.Transform.Rotation(-1.0 * A6Rad, AxisPlanes[4].ZAxis, AxisPlanes[4].Origin);
for (int i = 6; i < 7; i++)
{
RobotMesh[i].Transform(Rot6);
}
for (int i = 5; i < 6; i++)
{
AxisPlanes[i].Transform(Rot6);
}
Robot = RobotMesh;
EndPlane = AxisPlanes[5];
}
// <Custom additional code>
// </Custom additional code>
}

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Made by Robots: Challenging Architecture at a Larger Scale (Architectural Design) 1st Edition, by Fabio Gramazio (Editor), Matthias Kohler (Editor).
- FABRICATE RETHINKING DESIGN AND CONSTRUCTION – April 10, 2017 by Achim Menges (Author), Bob Sheil (Author), Ruairi Glynn (Author), Marilena Skavara (Author)
- Windisch K. G., Inanimate reason; or a circumstantial account of that astonishing piece of mechanism, M. de Kempelen's chess-player: now exhibiting at No. 8, Savile- Row, Burlington-Gardens. Gale ECCO, Print editions, 2010.
- Walz A., Kilian A. and Schindler S. "Programming Knowledge" Candide. Journal for architectural knowledge, 2009.
- Nourbakhsh I. R., Robot Futures. Cambridge, Massachusetts: MIT Press, 2013.
- Gramazio F., Kohler M. and Jan Willmann, The robotic touch: How robots change architecture. Park Books, 2014.
- Robotics Vision and Control(Fundamental Algorithms in MATLAB) [ROBOTICS VISION & CONTROL][Vinyl-bound] – March 31, 2013. by Peter Corke (Author).
- Intelligent machines: An introductory perspective of artificial intelligence and robotics Authors: Gevarter, W.B. Publication Date: 1985-01-01
- Rob|Arch 2012: Robotic Fabrication in Architecture, Art and Design. Sigrid Brell-Cokcan Johannes Braumann ,16 Δεκεμβρίου 2013. Springer Science & Business Media.
- Robotic Fabrication in Architecture, Art and Design 2014, Wes McGee Monica Ponce de Leon ,20 Μαρτίου 2014, Springer Science & Business Media.
- Robotic Fabrication in Architecture, Art and Design 2016. Editors: Reinhardt, Dagmar, Saunders, Rob, Burry, Jane (Eds.)
- The New Structuralism: Design, Engineering and Architectural Technologies, July/August 2010. Volume 80, Issue 4, Pages 1–136, i–iii. Issue edited by: Rivka Oxman, Robert Oxman.
- Rethinking Prototyping: Proceedings of the Design Modelling Symposium Berlin 2013, Christoph Gengnagel Axel Kilian Julien Nembrini Fabian Scheurer 2 Οκτωβρίου 2013.
- Leon Battista Alberti, De Re Aedificatoria, Libro VI, cap.1, εκδ. Il Polifilo, Μιλάνο, 1966.

- Σταύρος Καρβέλης και Σοφία Παπαδέα (επ.), Αρχιτεκτονική Θεωρία: από την Αναγέννηση μέχρι σήμερα, μτφρ. Π. Μαρτινίδης, Εκδόσεις Taschen / Γνώση 2006.
- Sheer D.R. (2014), The Death of Drawing Architecture in the Age of Simulation. 2014.
- Witt A.J. (2010), A Machine Epistemology in Architecture. Encapsulated Knowledge and the Instrumentation of Design 2010.
- Η θαυμαστή εποχή της νέας τεχνολογίας Εργασία, πρόοδος και ευημερία στα χρόνια των έξυπνων τεχνολογιών Eric Brynjolfsson, Andrew McAfee Μτφρ. Γιώργος Ναθαναήλ Κριτική 2016.
- Site Automation: Automated/Robotic On-Site Factories. Thomas Bock Thomas Linner .16 Απριλίου 2016, Cambridge University Press.
- Swarm robotics: a review from the swarm engineering perspective. Authors and affiliations: Manuele Brambilla Email author, Eliseo Ferrante, Mauro Birattari, Marco Dorigo.
- Structures and Architecture: New concepts, applications and challenges. Paulo J. da Sousa Cruz, 27 Ιουνίου 2013. CRC Press.
- Swarm Intelligence: From Natural to Artificial Systems (Santa Fe Institute Studies on the Sciences of Complexity) 1st Edition by Eric Bonabeau (Author), Guy Theraulaz (Author), Marco Dorigo (Author).
- Applications of AI, Machine Vision and Robotics. K L Boyer L Stark H Bunke, 28 Φεβρουαρίου 1995, World Scientific.
- Swarm Robotics: SAB 2004 International Workshop, Santa Monica, CA, USA, July 17, 2004. Erol Sahin William M. Spears, 28 Ιανουαρίου 2005. Springer.
- Gerogiannis V., G. Kakarotzas, A. Kameas, I. Stamelos, and P. Fitsilis, Αντικειμενοστρεφής Ανάπτυξη Λογισμικού με την UML, : Κλειδάριθμος, 2006. RTF, Tagged, XML, BibTex, Google Scholar
- Kamimura A., Murata S., Yoshida E., Kurokawa H., Tomita K. and Kokaji S. 2001. Self-Reconfigurable Modular Robot–Experiments on Reconfiguration and Locomotion. In: Proceedings of the 2001 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems IROS 2001. Vol. 1. pp. 606–612. IEEE Press, Piscataway, New Jersey, USA.

[Από πρακτικά συνεδρίων]

- Özel G., "Case for an architectural singularity: Synchronization of robotically actuated motion, sense-based interaction and computational inference.," in Proceedings of the 34rd Annual Conference of the Association for Computer Aided Design in Architecture, ACADIA 2014, 2014, pp. 399–408.
- Daas M., "Toward a taxonomy of architectural robotics," Sociedad Iberoamericana Grafica Digital (SIGRADI) 2014 Conference, vol. 14, pp. 623–626, 2014.
- Braumann J. and Brell-Çokcan S., "Digital and Physical Computing for Industrial Robots in Architecture," Beyond Codes and Pixels: Proceedings of the 17th International Conference on Computer-Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA), pp. 317–326, 2012.
- ACADIA 2012 // Synthetic Digital Ecologies. IN-SITU ROBOTIC CONSTRUCTION: EXTENDING THE DIGITAL FABRICATION CHAIN IN ARCHITECTURE. Volker Helm, Selen Ercan, Fabio Gramazio, Matthias Kohler.
- Lavallee J., Vroman R. and Keshet Y., "Automated Folding of Sheet Metal Components with a Six-axis Industrial Robot," Proceedings of ACADIA 2011, pp. 144–151, 2011.
- International Journal of Computer Applications (0975 – 8887) Volume 126 – No.2, September 2015. An Overview of Swarm Robotics: Swarm Intelligence Applied to Multi-robotics. Belkacem Khaldi, Foudil Cherif, Department of Computer Science. LESIA Laboratory, University of Biskra, Algeria.
- «The da Vinci robot». J. Endourol. 20 (12): 986–90. December 2006. Keating S. and Oxman N., "Compound fabrication: A multi-functional robotic platform for digital design and fabrication," Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, vol. 29, no. 6, pp. 439–448, 2013.
- ElMaraghy H.A., "Flexible and reconfigurable manufacturing systems paradigms," International Journal of Flexible Manufacturing Systems, no. 4, pp. 261–276, 2005.
- "Fibrous Structures: An Integrative Approach to Design Computation, Simulation and Fabrication for Lightweight, Glass and Carbon Fibre Composite Structures in Architecture Based on Biomimetic Design Principles". July 2014. Steffen Reichert, Tobias Schwinn, Riccardo La Magna, Achim Menges.
- Bonwetsch T., Gramazio F., Kohler M. (2012). R-O-B: Towards a Bespoke Building Process. In Manufacturing the Bespoke Making and Prototyping Architecture, edited by Bob Sheil. Ad Reader, Hoboken, N.J.: 78-87.

- Bonwetsch T., Gramazio F., Kohler M. (2010). Digitales Handwerk, GAM 06. Nonstandard Structures (Graz Architecture Magazine). Wien: 172-179.
- Bonwetsch T., Baertschi R., Oesterle S. (2008). Adding Performance Criteria to Digital Fabrication Room - Acoustical Information of Diffuse Respondent Panels. Silicon+Skin, Biological Processes and Computation, Proceedings of the 28th Annual Conference of the Association for Computer Aided Design in Architecture. Minneapolis: 364-369.
- Schlueter A., T. Bonwetsch (2008). Design Rationalization of Irregular Cellular Structures. International Journal of Architectural Computing, Vol. 6, No. 2. 197-211.
- Picon Antoine. 2014. "Robots and Architecture: Experiments, Fiction, Epistemology." Architectural Design 84(3): 54–59.
- Jason Lim, Fabio Gramazio, Matthias Kohler. 2013. "A Software Environment for Designing through Robotic Fabrication." In Proceedings of the 18th International Conference on Computer-Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA 2013), 45–54.
- Virtual Reality: Theory, Practice and Promise Paperback – January, 1991. by Sandra K. Helsel (Author), Judith Paris Roth (Editor).
- G. Beni and J. Wang, Swarm intelligence in cellular robotics systems, in Proceeding of NATO Advanced Workshop on Robots and Biological System, 1989.
- User Interfaces for Human Robot Interactions with a Swarm of Robots in Support to Firefighters. Jeremi Gancet, Elvina Motard, Amir Naghsh, Chris Roast, Miguel Munoz Arancon and Lino Marques. 2010 IEEE International Conference on Robotics and Automation Anchorage Convention District, May 3-8, 2010, Anchorage, Alaska, USA.
- Swarm Intelligence and Its Applications in Swarm Robotics. ALEKSANDAR JEVTIĆ, Universidad Politécnica de Madrid, E.T.S.I. Telecomunicación, SPAIN. DIEGO ANDINA Universidad Politécnica de Madrid, E.T.S.I. Telecomunicación, SPAIN. 6th WSEAS Int. Conference on Computational Intelligence, Man-Machine Systems and Cybernetics, Tenerife, Spain, December 14-16, 2007
- Minecraft as an Experimental World for AI in Robotics. Krishna Aluru and Stefanie Tellex and John Oberlin and James MacGlashan. Humans to Robots Laboratory, Brown University. Providence, RI 02912.

- Zooids: Building Blocks for Swarm User Interfaces. Mathieu Le Goc, Lawrence H. Kim, Ali Parsaei, Jean-Daniel Fekete, Pierre Dragicevic, Sean Follmer.
- An Interactive Virtual Reality Simulation System for Robot Control and Operator Training. Nadine E. Miner, Sharon A. Stansfield. Intelligent Systems and Robotics Center. Sandia National Laboratories.

[Συγγράμματα διαθέσιμα στο διαδίκτυο]

- Corke P., "Introduction to Robotics, robot futures," <https://moocs.qut.edu.au/courses/814/learn> [25-05-2015]
- Bonsignorio F. , "The new AI and robotics: Lecture by Fabio Bonsignorio," (IJARS), International Journal of Advanced Robotic Systems, 2015. [Online].Available: <http://robohub.org/the-new-ai-and-robotics-lecture-by-fabio-bonsignorio/>. [12-03-2015].
- Goldberg K., "Let's Ditch the Singularity and Focus on Multiplicity," World Economic Forum, Davos 2015, 2015. [Online].Available: <http://robohub.org/forgetsingularity-lets-talk-multiplicity-ken-goldberg-on-ai-at-the-wef/>. [02-02-2015].
- Lev Manovich SOFTWARE TAKES COMMAND THIS VERSION: November 20, 2008. http://softwarestudies.com/softbook/manovich_softbook_11_20_2008.pdf.
- Brooks R. A. (1991) Intelligence without representation. Artificial Intelligence 47(1–3): 139–160. Available at <http://cepa.info/4059>
- M. Fleischer. Foundations of swarm intelligence: From principles to practice. Technical Research Report TR-2003-10, Institute for Systems Research, University of Maryland, College Park, Maryland, 2003. <http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a440801.pdf>
- Parunak, H. V. Making Swarming Happen. In Proceedings of Swarming: Network Enabled C4ISR, ASD C3I, 2003. http://www.cs.huji.ac.il/course/2005/aisemin/articles2006/docs/pa7d4_903.pdf
- Sacksteder K. R., and Sanders G. B. (2007). In-situ resource utilization for lunar and mars exploration. In: AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit. AIAA 2007-345. Retrieved from <http://arc.aiaa.org/doi/abs/10.2514/6.2007-345> (24/04/2015).

- 3D print structures on the moon (2013). In: <http://www.fosterandpartners.com/news/archive/2013/01/foster-partners-works-with-european-space-agency-to-3d-print-structures-on-the-moon/> (12/04/2015)
- Matthaei J., Kruger T., Nowak S., and Bestmann U. (2013). Swarm Exploration of Unknown Areas on Mars Using SLAM. In: Proceedings of the International Micro Air Vehicle Conference and Flight Competition (IMAV2013). Retrieved from <http://tinyurl.com/oedn8z5> (15/09/2015).

[Αρθρα/Δοκίμια]

- ΡΟΜΠΟΤΙΚΟ ΣΜΗΝΟΣ ΟΙΚΙΑΚΗΣ ΕΞΥΠΗΡΕΤΗΣΗΣ: ΜΙΑ ΔΙΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ. Ιωάννου _ημήτριος, Μουλιανίτης Βασίλειος, Παπανίκος Παρασκευάς, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Τμήμα Μηχανικών Σχεδίασης Προϊόντων και Συστημάτων (DimitrisIoannou@aegean.gr)
- Κατελής Βίγκλας, «Η έννοια του ομοιώματος με παραδείγματα από την επιστημονική φαντασία», Φρέαρ, τεύχος 12/13 (Οκτώβριος 2015)
- Wood Gaby (15 February 2002). «Living Dolls: A Magical History Of The Quest For Mechanical Life by Gaby Wood». The Guardian. Retrieved 21 November 2016.
- A taxonomy for multi-agent robotics. December 1996, Volume 3, Issue 4, pp 375–397. Authors and affiliations: Gregory Dudek, Michael R. M. Jenkin, Evangelos Milios, David Wilkes.

[Διατριβές/Εργασίες]

- Robotics in Construction ,IQP Final Report, 3/24/2016. An Interactive Qualifying Project Report Submitted to the Faculty of Worcester Polytechnic Institute. In partial fulfillment of the requirements for the Degree of Bachelor by Alexander Ruggiero, Sebastian Salvo, Chase St. Laurent.
- Έυρετικοί αλγόριθμοι τύπου σμήνους & αποικίας μυρμηγκιών. ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ, Ελένη Γ. Μπίκου. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. Τμήμα Μαθηματικών. Μεταπτυχιακό πρόγραμμα: "Θεωρητική Πληροφορική και Θεωρία Συστημάτων και Ελέγχου".

- Μελέτη αποδοτικού μηχανισμού επικοινωνίας σε σμήνος που αποτελείται από διαμεσολαβητές περιορισμένων δυνατοτήτων. ΣΤΑΜΑΤΗΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ Διπλωματική διατριβή. ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ Τμήμα Μηχανικών Η/Υ και Πληροφορικής Μεταπτυχιακό πρόγραμμα Επιστήμης και Τεχνολογίας Υπολογιστών.
- «Εννοιολογικός προσδιορισμός παραμετρικών ιδιοτήτων αρχιτεκτονικών κατασκευαστικών στοιχείων και δομικών υλικών»Ε.Μ.Π. Σταυρίδου Α., Παπαδόπουλος Δ.: «ΠΕΒΕ 2007». www.gr/archtech/forum/BASIKI%20EREYNA%20FULL.pdf
- Kube C. R. Collective Robotics: From Local Perception to Global Action. Ph.D., University of Alberta, 1997.
- Gadsby R. (2010). Robotic Swarm Networks: A LowCost Alternative Robotic Solution for Surveillance, Documentation, and Resource Gathering. Graduate Thesis Boston College.
- Michalicek G. (2010). Development of a 3D SLAM Exploration System. PhD thesis, Universitat Hamburg.
- Η ΜΕΘΟΔΟΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΜΕ ΑΠΟΙΚΙΕΣ ΜΥΡΜΗΓΚΙΩΝ:ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΕ ΔΙΑΚΡΙΤΑ ΚΑΙ ΣΥΝΕΧΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ. Διπλωματική εργασία του:Γιώργου Ε. Φαινέκου. ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΟΜΕΑΣ ΡΕΥΣΤΩΝ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΣΤΡΟΒΙΛΟΜΗΧΑΝΩΝ.
- Τεχνικές Αναπαράστασης του χώρου και Μορφογένεση στον 20ο αιώνα. Επιδράσεις των ψηφιακών εργαλείων σχεδιασμού στην αρχιτεκτονική. Ελένη Βλαχονάσιου. Διδακτορική διατριβή. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 2012.
- ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ.η συνεργατική διαδικασία αρχιτέκτονα και υπολογιστή. Σπουδαστής: Ανδρέας Γ. Κυριάκου. Επιβλέπων Καθηγητής: Δημήτρης Παπαλεξόπουλος. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών. Τομέας IV: Συνθέσεων Τεχνολογικής Αιχμής. Περιοχή Οικοδομικής. Διάλεξη 9ου Εξαμήνου, Ιούλιος 2013, Αθήνα.
- Αρχιτεκτονικός Σχεδιασμός και Νέες Τεχνολογίες. Από την αναλογική διαδικασία/ process στην ψηφιακή επεξεργασία/ processing. ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ: Ελισάβετ Ν. Μανδουλίδου. ΔΗΜΟΚΡΙΤΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΡΑΚΗΣ, ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ ΞΑΝΘΗΣ, ΤΜΗΜΑ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ, ΤΟΜΕΑΣ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ, 2014.

[Πηγές παρατημάτων]

- Ρομποτικός βραχίονας 4 βαθμών ελευθερίας .Κατασκευή και εφαρμογή στον εντοπισμό και μετακίνηση αντικειμένων. IEEE Robotics Chapter Team of AUTH .Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών Μηχανικών. Υπολογιστών ΑΠΘ. <http://robotics.ee.auth.gr,robchapter@ee.auth.gr>.
- Πτυχιακή εργασία Τίτλος: Ανάπτυξη σαρωτή τριών διαστάσεων (3D) με τη χρήση αισθητήρα Kinect. Γεώργιος Ψιστάκης ΑΜ: 2545. Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ιδρυμα Κρήτης Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής.
- ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΗΣ ΑΝΑΣΚΑΦΗΣ ΜΩΣΑΪΚΩΝ ΜΕ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΨΗΦΙΑΚΗΣ ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑΣ:ΒΑΣΙΛΙΚΗ ΣΤΟ ΑΚΡΩΤΗΡΙΟ ΤΗΣ ΚΥΠΡΟΥ. ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ, ΧΡΙΣΤΟΦΟΡΟΥ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ.ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ ΤΟΠΟΓΡΑΦΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ.

[Πηγές εικόνων]

- <http://www.art-wallpaper.net/vintage-poster/Metropolis/index.htm> [10-6-2015]
Publicity photo for the 1956 MGM motion picture Forbidden Planet
- <http://www.messynessychic.com/2013/10/02/10-reasons-why-vintage-hollywoodsci-fi-is-still-so-good/> [10-6-2015]
- <https://mit.zenfs.com/1555/2013/05/Counterparts.jpg> [05-03-2015]
- *Publicity photo for the 1956 MGM motion picture Forbidden Planet*<http://www.messynessychic.com/2013/10/02/10-reasons-why-vintage-hollywoodsci-fi-is-still-so-good/> [10-6-2015]

[Ιστοσελίδες]

- <http://www.art-wallpaper.net/vintage-poster/Metropolis/index.htm> [10-6-2015]
- Feringa, J., "IaaC lecture series," <https://www.youtube.com/watch?v=vSxjsdlbXp4> [10-03-2015].
- <http://www.mindfully.org/Reform/RUR-Capek-1920.htm#2> [10-6-2015]

- <https://mit.zenfs.com/1555/2013/05/Counterparts.jpg> [05-03-2015] *A Collaborative Approach to Digital Fabrication: A Case Study for the Design and Production 215 of Concrete 'Pop-up' Structures*
- <http://skipsheffield.blogspot.co.uk/2012/08/a-robot-and-national-treasure.html> [05-03-2015]
- <http://cyberneticzoo.com/teleoperators/1948-ge-master-slave-manipulator-johnpayne-american/> [05-03-2015]
- <http://www.mediamatic.net/153767/en/vaucans-on-s-digesting-duck-virtual-voices-1> [18-03-2015]
- http://archive.computerhistory.org/resources/still-image/Chess_temporary/stillimage/10.The_Turk.Granger_Collection_0059574_H.Lo2645400.jpg [10-06-2015]
- <http://brunelleschi.imss.fi.it/genscheda.asp?appl=LIR&xsl=paginamanoscritto&chiave=100548> [11-06-2015]
- [http://www.bustler.net/index.php/article/robofold_nominated_for_emerging_design_studio_at_the_icon_magazine_awards_2_'Arum'_sculpture by Zaha Hadid Architects](http://www.bustler.net/index.php/article/robofold_nominated_for_emerging_design_studio_at_the_icon_magazine_awards_2_'Arum'_sculpture_by_Zaha_Hadid_Architects). Image: Matthias Urschler [10-06-2015]
- <http://blog.metmuseum.org/alexandermcqueen/dress-no-13/> [11-06-2015]
- <http://robohub.org/architectural-robotics-shape-of-the-robots-that-will-shapeyour-home-in-dom-reconfigurable-spaces/> [30-05-2015]
- <http://www.mantadesign.com/baxter-robot-designer.html> [11-06-2015]
- <http://www.concretcanvas.com/> [08-02-2015] 216 Alicia
- <https://www.mathworks.com/videos/robotics-system-toolbox-history-and-development-123408.html>
- <https://moocs.qut.edu.au/courses/814/learn> [25-05-2015]
- <https://www.scribd.com/document/160222540/30-Great-Moments-in-the-History-of-Robots-Forbes>
- <http://robohub.org/ideahub-abb-launch-new-robotics-accelerator-programme/>
- Blockworks, BABEL. 1 Builder- 8M Blocks -31 Day Turnaround (<http://blockworksmc.com/project/babel/>)
- Minecraft Edu (<https://education.minecraft.net/>)