

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ  
ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ**

**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ - ΡΟΜΠΟΤΙΚΗ**

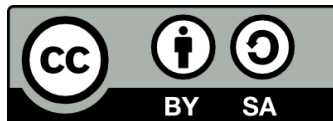
**Καθηγητής Δρ.Δ.Σαγρής**

**ΣΕΡΡΕΣ, ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2015**



## Άδειες Χρήσης

Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons. Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



Το έργο αυτό αδειοδοτείται από την Creative Commons Αναφορά Δημιουργού - Παρόμοια Διανομή 4.0 Διεθνές Άδεια. Για να δείτε ένα αντίγραφο της άδειας αυτής, επισκεφτείτε <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.el>.

## Χρηματοδότηση

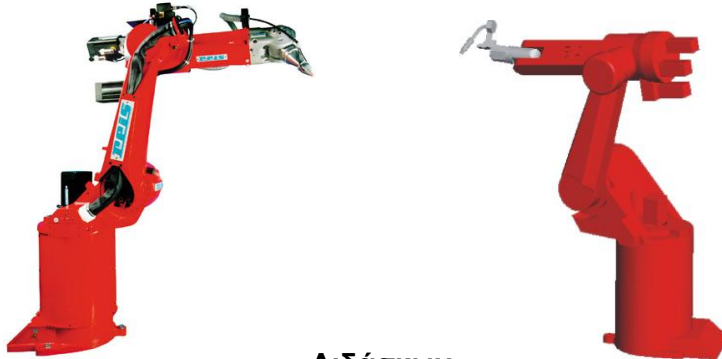
Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.

Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο ΤΕΙ Κεντρικής Μακεδονίας**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.

Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



# Συστήματα Παραγωγής - Ρομποτική



Διδάσκων  
**Δημήτριος Σαγής**  
(Δρ. Μηχανολόγος Μηχανικός)

©2014

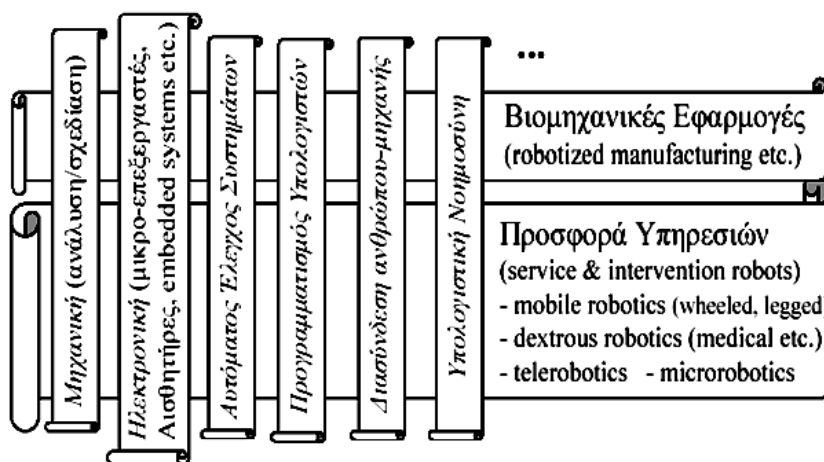
# Εισαγωγή

©2014

# Γενικά

- Τα ρομπότ είναι μηχανές, η χρήση των οποίων αποσκοπεί στην αντικατάσταση του ανθρώπου στην εκτέλεση έργου.
- Η αντικατάσταση αυτή αφορά τόσο στο φυσικό επίπεδο του έργου όσο και ... στο επίπεδο λήψης απόφασης.
- Η Ρομποτική είναι εκείνος ο κλάδος της επιστήμης του μηχανικού που έχει σαν αντικείμενο τη σύλληψη, το σχεδιασμό, την κατασκευή και τη λειτουργία ρομπότ.

©2014

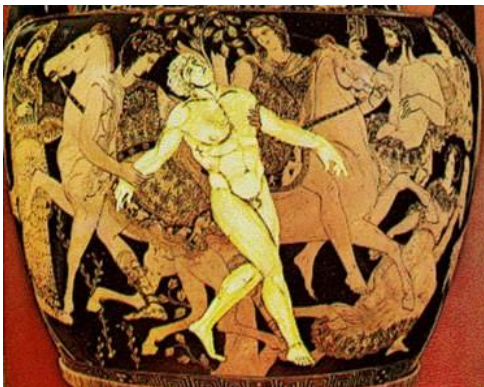


©2014

# Ιστορικά στοιχεία

- Η φιλοδοξία του ανθρώπου να δημιουργήσει μηχανές που θα του μοιάζουν τόσο στη μορφή όσο και τη λειτουργία πρωτοεμφανίζεται στην ελληνική μυθολογία όπου:
  - ο τιτάνας Προμηθέας έπλασε την ανθρωπότητα από πηλό. και
  - ο Τάλως, ο μυθικός χάλκινος γίγαντας που κατασκεύασε ο Ήφαιστος για να προστατεύει την Κρήτη από τους εισβολείς, αποτελεί το πρώτο «αυτόματο» στην ανθρώπινη ιστορία.
- Το 1921 ο τσέχος θεατρικός συγγραφέας Karel Capek στο θεατρικό έργο "Rossum's Universal Robots" φαντάζεται ένα μηχανικό κατασκεύασμα, το οποίο και ονομάζει robot από την τσέχικη λέξη robotů για την καταναγκαστική εργασία. Το «αυτόματο» του Rossum στρέφεται τελικά εναντίον της ανθρωπότητας.
- Κατά τη δεκαετία του '40. ο Ρώσος συγγραφέας επιστημονικής φαντασίας Isaac Asimov συνέλαβε το robot ως ένα «αυτόματο» με εμφάνιση ανθρώπου, αλλά απαλλαγμένο από συναισθήματα. Η συμπεριφορά του υπαγορευόταν από ένα «ποζιτρονικό μυαλό» προγραμματισμένο από τον άνθρωπο κατά τέτοιο τρόπο ώστε να ανταποκρίνεται σε συγκεκριμένες αρχές ηθικής συμπεριφοράς.

©2014



Ο Τάλως – Ανθρωπόμορφος μεταλλικός μηχανισμός σε αθηναϊκή ερυθρόμορφη υδρία του 4ου π.Χ. αιώνα.



Robot rebellion, Paris 1922  
Karel Capek (Τσέχος σκηνοθέτης)

©2014

### Robotic Institute of America:

«Ρομπότ είναι ένας επαναπρογραμματιζόμενος, πολυλειτουργικός χειριστής, σχεδιασμένος να μεταφέρει υλικά, αντικείμενα, εργαλεία ή ειδικές συσκευές, μέσω μεταβλητών προγραμματιζόμενων κινήσεων, προκειμένου να εκτελέσει διάφορα έργα.»

### Webster's Seventh New Collegiate Dictionary:

«Ένα αυτόματο μηχάνημα ή συσκευή, το οποίο εκτελεί λειτουργίες που συνήθως αναθέτονται σε ανθρώπινα όντα ή λειτουργεί με σχεδόν ανθρώπινη ευφυΐα.»

### Διεθνής Οργανισμός Προτύπων (International Standards Organization - ISO):

«Ένα βιομηχανικό ρομπότ είναι ένας αυτόματος, σερβοελεγχόμενος, ελεύθερα προγραμματιζόμενος, πολλών εφαρμογών χειριστής, με αρκετούς άξονες, για τη διαχείριση αντικειμένων, εργαλείων, ή ειδικών συσκευών. Μεταβλητά προγραμματιζόμενες ενέργειες καθιστούν δυνατή την εκτέλεση πολλαπλών έργων.»

©2014

Σύμφωνα με το **Robot Institute of America**, ως ρομπότ μπορούμε να ορίσουμε ένα μηχανισμό σχεδιασμένο ώστε μέσω προγραμματιζόμενων κινήσεων, να μεταφέρει υλικά, τεμάχια, εργαλεία ή ειδικευμένες συσκευές με σκοπό την επιτέλεση ποικιλίας εργασιών.

Ένας τέτοιος μηχανισμός περιλαμβάνει συνήθως τις ακόλουθες συνιστώσες:

- Ένα **μηχανολογικό υποσύστημα**, το οποίο ενσωματώνει τη δυνατότητα του ρομπότ να εκτελέσει έργο. Το υποσύστημα αυτό αποτελείται από μηχανισμούς που επιτρέπουν στο ρομπότ να κινείται όπως αρθρώσεις, συστήματα μετάδοσης κίνησης. επενεργητές-κινητήρες οδηγούς κλπ..
- Ένα **υποσύστημα αίσθησης**, μέσω του οποίου το ρομπότ συγκεντρώνει πληροφορίες για την κατάσταση στην οποία βρίσκονται τόσο το ίδιο όσο και το περιβάλλον. Το υποσύστημα αυτό εκτός των άλλων είναι υπεύθυνο για την αποδοχή των εξωτερικών εντολών, την επεξεργασία τους τη μετάφραση τους σε ηλεκτρική ισχύ που θα δοθεί στους κινητήρες του ρομπότ, καθώς επίσης και για την παραγωγή σημάτων εισόδου που θα πληροφορούν για την κατάσταση του συστήματος. Στο υποσύστημα αίσθησης περιλαμβάνονται όργανα μετρήσεως, αισθητήρες, ηλεκτρονικά στοιχεία κλπ..
- Ένα **σύστημα ελέγχου**, το οποίο συνδυάζει κατάλληλα την αίσθηση με τη δράση έτσι ώστε το ρομπότ να λειτουργεί αποτελεσματικά και με τον επιθυμητό τρόπο. Ο ελεγκτής του ρομπότ επιβλέπει και συντονίζει ολόκληρο το σύστημα, για τη σχεδίαση και υλοποίηση του δε απαιτείται ο συνδυασμός γνώσεων από πολλές γνωστικές περιοχές, όπως είναι ο αυτόματος έλεγχος: η τεχνητή νοημοσύνη, η επιστήμη των υπολογιστών κλπ..

©2014

1. **Ασφάλεια των εργαζομένων.**
  - a. Επικίνδυνα περιβάλλοντα (Τοξικά αέρια, Υψηλές θερμοκρασίες, Ραδιενέργεια)
  - b. Επικίνδυνες εργασίες (Φόρτωση και εκφόρτωση επικίνδυνων εργαλείων)
2. **Υψηλότερη παραγωγικότητα.**
  - a. 24ωρη λειτουργία.
  - b. Υψηλότερη ταχύτητα λειτουργίας στις περισσότερες εφαρμογές.
  - c. Λιγότερα σφάλματα που έχουν σαν αποτέλεσμα λιγότερα απορριπτέα κομμάτια ή κατεστραμμένες μηχανές
  - d. Ομοιόμορφη ποιότητα των παραγομένων προϊόντων.
3. **Ευελξία παραγωγικής μονάδας.**
  - a. Μικρότερος χρόνος προσαρμογής σε αλλαγές της μονάδας.
  - b. Ευκολότερη αντιμετώπιση των αλλαγών.
  - c. Αντίσταση στην παλαίωση με ενθάρρυνση ανανεωτικών αλλαγών.
  - d. Ικανότητα λειτουργίας υπό ασυνήθιστους προσανατολισμούς, όπως με προσάρτηση στην οροφή ή στον τοίχο.
4. **Δυνατότητα εργασίας υπό αντίξοες συνθήκες (μη εφικτές από ανθρώπους)**
  - a. Υποθαλάσσιες και διαστημικές έρευνες/επιδιορθώσεις.
  - b. Ηφαίστεια, σήραγγες, κλπ.

Γενικά αποδεσμεύουν τους ανθρώπους από τα **τρία κακά** της παραγωγής:  
Εργασίες **βρώμικες, ανιαρές** και **επικίνδυνες**

©2014

#### Αρχή λειτουργίας

Κατατάσσει τα ρομπότ σε σταθερής στάσης, τα οποία πραγματοποιούν στάση μόνο στα όρια των αρθρώσεών τους (όχι στο ενδιάμεσο) και στα σερβοελεγχόμενα, τα οποία μπορούν να λαμβάνουν πολλές διακριτές θέσεις για κάθε μια εκ των αρθρώσεων.

#### Μέθοδος ελέγχου κίνησης

Διαχωρίζει τα ρομπότ σε κινούμενα σημείο-προς-σημείο, στα οποία οι ενδιάμεσες θέσεις δεν αποτελούν αντικείμενο προγραμματισμού και σε αυτά συνεχούς τροχιάς, στα οποία οι ενδιάμεσες θέσεις σε μια κίνηση ακολουθούν κάποιο γεωμετρικό κανόνα.

#### Κατηγορία εφαρμογής

Ενδεικτικά αναφέρονται εφαρμογές βαφής, συγκόλλησης και συναρμολόγησης.

#### Τύπος μετάδοσης κίνησης

Πνευματικοί κινητήρες οι οποίοι λειτουργούν με πεπιεσμένο αέρα εκτελώντας μονή ή διπλή κίνηση, υδραυλικοί ή ηλεκτρουδραυλικοί κινητήρες οι οποίοι αναπτύσσουν πίεση σε λάδι και με μεγάλη ισχύ επιτυγχάνουν κίνηση συνήθως εμβόλων, ηλεκτρικοί κινητήρες (συνεχούς ρεύματος, αναλασσόμενου ρεύματος και βηματικοί) που είναι η συνηθέστερα εφαρμοζόμενη μορφή κίνησης.

#### Βαθμοί ελευθερίας

Κατατάσσονται σε γενικής χρήσης όταν διαθέτουν 6 βαθμούς ελευθερίας, σε πλεονάζοντες όταν διαθέτουν περισσότερους βαθμούς ελευθερίας και σε ελλειπείς όταν διαθέτουν λιγότερους βαθμούς ελευθερίας.

#### Γεωμετρικός σχηματισμός

Ορθογωνικά, κυλινδρικά, σφαιρικά, αρθρωτά ή ανοικτής κινηματικής αλυσίδας, τύπου Scara, τύπου Gantry με μορφή γερανογέφυρας, παράλληλοι χειριστές, ρομποτικά χέρια, κινητά ρομπότ με ένα, δύο ή περισσότερα πόδια τα οποία κινούνται αυτόνομα και υποδιαιρούνται σε βαδίζοντα και κυλιόμενα.

©2014

# Βασικές έννοιες

## Ταξινομήση ρομπότ

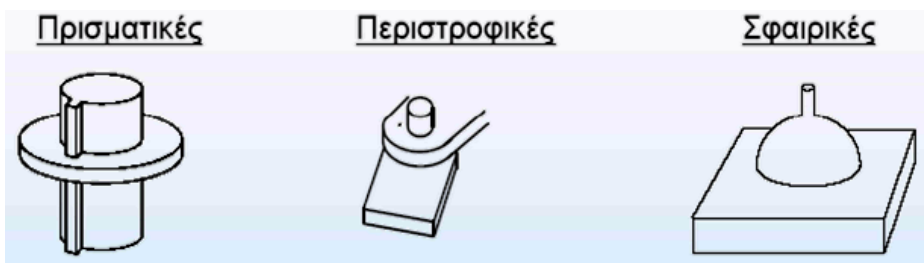
©2014

Ένας ρομποτικός βραχίονας αποτελείται από μία σειρά διαδοχικών στερεών σωμάτων που ονομάζονται **σύνδεσμοι (links)**.

Οι σύνδεσμοι συνδέονται ανά δύο μεταξύ τους μέσω **αρθρώσεων (joints)** σχηματίζοντας μία κινηματική αλυσίδα.

**Κινηματική αλυσίδα:** Σύστημα στερεών σωμάτων που συνδέονται μέσω αρθρώσεων.

Οι αρθρώσεις μπορεί να είναι:



©2014



## Βαθμοί Κινητικότητας και Βαθμοί Ελευθερίας Ρομποτικών Χειριστών

**Βαθμοί Κινητικότητας:** Για ένα βραχίονα το πλήθος των βαθμών κινητικότητας είναι σταθερό και ίσο με το πλήθος των αρθρώσεων του (πρισματικών - περιστροφικών).

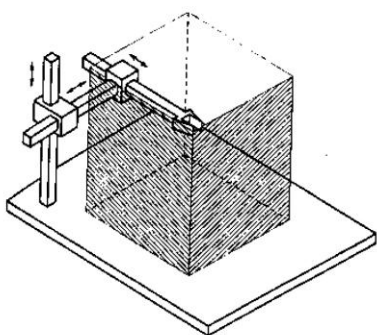
**Βαθμοί Ελευθερίας** (που απαιτούνται για την εκτέλεση ενός έργου):  
άμεσα συνδεδεμένοι με το συγκεκριμένο έργο που καλείται να φέρει εις πέρας ο βραχίονας.

Για τη γενική περίπτωση που θέλουμε να τοποθετήσουμε και να προσανατολίσουμε ένα αντικείμενο στον τρισδιάστατο χώρο απαιτούνται 6 βαθμοί ελευθερίας (3 για να τοποθετήσουμε ένα σημείο του αντικείμενου στο χώρο και 3 για να προσανατολίσουμε το αντικείμενο ως προς ένα σύστημα συντεταγμένων αναφοράς).

Ένας ρομποτικός βραχίονας με 6 βαθμούς κινητικότητας μπορεί να ανταπεξέλθει σε αυτό το έργο.

©2014

## Ταξινόμηση βραχιόνων βάσει γεωμετρικής διαμόρφωσης



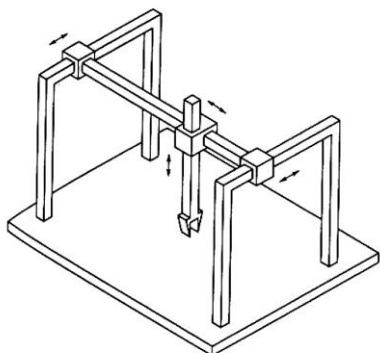
**Καρτεσιανοί Βραχίονες:** υλοποιούνται με 3 διαδοχικές πρισματικές αρθρώσεις με άξονες ανά, δύο καθέτους μεταξύ τους. Η καρτεσιανή δομή παρέχει μεγάλη δυσκαμψία και σταθερή ακρίβεια σε ολόκληρο το χώρο εργασίας που είναι εν(ξ) παραλληλεπίπεδο.

Βασικό μειονέκτημα: μειωμένη επιδεξιότητα κίνησης λόγω πρισματικής φύσης των αρθρώσεων.



©2014

## Ταξινόμηση βραχιόνων βάσει γεωμετρικής διαμόρφωσης

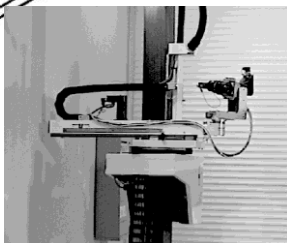
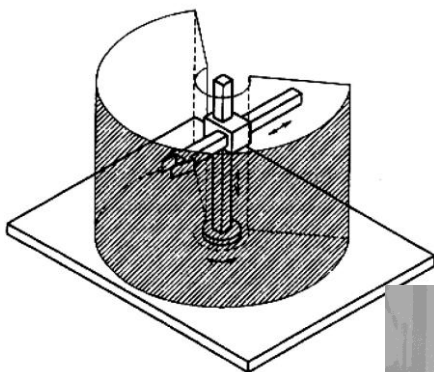


Βραχίονες Gantry: στην ουσία είναι καρτεσιανοί με από πάνω τρόπο προσέγγισης τους αντικείμενου ενδιαφέροντος (ένας κλασσικός καρτεσιανός βραχίονας προσεγγίζει το αντικείμενο από το πλάι).

Άμεσες συνέπειες της διαφοροποίησης αυτής είναι η αύξηση του χώρου εργασίας και της δυσκαμψίας καθώς επίσης και η δυνατότητα χειρισμού μεγάλων και βαριών αντικειμένων.

©2014

## Ταξινόμηση βραχιόνων βάσει γεωμετρικής διαμόρφωσης

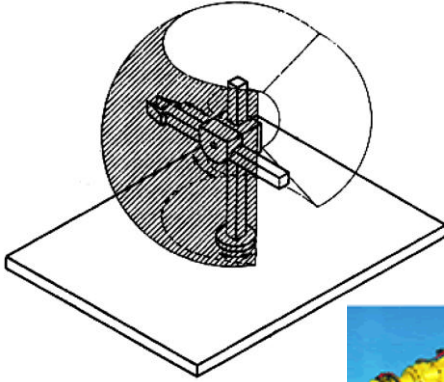


Κυλινδρικοί Βραχίονες: η πρώτη πρισματική άρθρωση της καρτεσιανής δομής έχει αντικατασταθεί από μία περιστροφική. Χαρακτηρίζονται από καλή δυσκαμψία, όμως η ακρίβεια της θέσης του καρπού μειώνεται καθώς η οριζόντια μετατόπιση αυξάνεται. Ο χώρος εργασίας στην περίπτωση αυτή είναι τμήμα κυλίνδρου.

Σημαντικό μειονέκτημα: ο βραχίονας εισέρχεται στο χώρο εργασίας και τον περιορίζει.

©2014

## Ταξινόμηση βραχιόνων βάσει γεωμετρικής διαμόρφωσης



### Σφαιρικοί Βραχίονες:

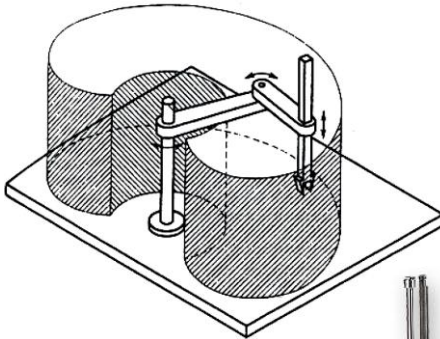
αντικαθίσταται και η δεύτερη πρισματική άρθρωση της καρτεσιανής δομής με περιστροφική. Η μηχανολογική πολυπλοκότητα αυξάνει, ενώ η δυσκαμψία μειώνεται.

Επιπλέον η ακρίβεια του καρπού μειώνεται με την αύξηση της ακτινικής απόστασης.

Ο χώρος εργασίας είναι τμήμα σφαίρας και περιέχει ένα μέρος της βάσης με άμεση συνέπεια τη δυνατότητα χειρισμού αντικειμένων που βρίσκονται στο έδαφος.

©2014

## Ταξινόμηση βραχιόνων βάσει γεωμετρικής διαμόρφωσης



### Βραχίονες SCARA:

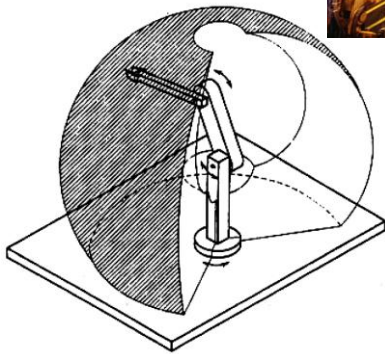
(Selective Compliance Assembly Robot Arm)

η γεωμετρία SCARA περιλαμβάνει δύο περιστροφικές και μία πρισματική άρθρωση τοποθετημένες ώστε οι άξονες κίνησης να είναι παράλληλοι μεταξύ τους. Έχουν μεγάλη δυσκαμψία σε κατακόρυφη φόρτιση και ελαστικότητα σε οριζόντια.

Η ακρίβεια τοποθέτησης του καρπού μειώνεται με την αύξηση της απόστασης του από τον άξονα της πρώτης άρθρωσης.

©2014

## Ταξινόμηση βραχιόνων βάσει γεωμετρικής διαμόρφωσης

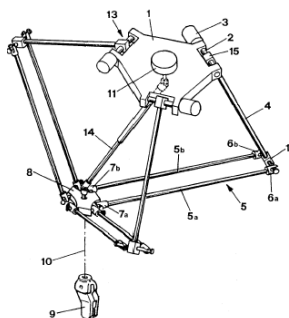


Ανθρωπομορφικοί Βραχίονες:  
3 διαδοχικές περιστροφικές αρθρώσεις. Ο άξονας περιστροφής της 1ης άρθρωσης είναι κατακόρυφος και κάθετος στους άξονες περιστροφής των επόμενων 2 αρθρώσεων που είναι παράλληλοι μεταξύ τους. Μεγαλύτερη επιδεξιότητα από όλες τις προηγούμενες δομές ωστόσο η ακρίβεια του καρπού δεν είναι σταθερή εντός του χώρου εργασίας που έχει τη μορφή σφαίρας.

©2014



Σειριακός ρομποτικός βραχίονας (Σταθερής βάσης)



Παράλληλος ρομποτικός βραχίονας (Σταθερής βάσης)



Αυτοκινούμενο ρομπότ

©2014

## Είδη ρομπότ: Σταθερής βάσης

Αποτελούνται από διαδοχικά στερεά σώματα (σύνδεσμοι-links) που συνδέονται μέσω αρθρώσεων (joints) σχηματίζοντας μία κινηματική αλυσίδα που έχει το ένα άκρο της (βάση) σταθερά συνδεδεμένο με κάποιο σημείο του περιβάλλοντος χώρου.

Η μορφή αυτή ρομπότ είναι παραδοσιακά αυτή ενός βιομηχανικού ρομποτικού βραχίονα που περιλαμβάνει: βραχίονα, καρπώ και εργαλείο.



©2014

## Είδη ρομπότ: Κινούμενης βάσης

Έχουν τη δυνατότητα να μετακινήσουν όλα τα σημεία του μηχανισμού τους μέσω ειδικών συστημάτων προώθησης.

**AGVs (Automatic Guided Vehicles):** περιορισμένη αυτονομία κίνησης - προκαθορισμένη τροχιά μέσω καλωδίων στο έδαφος ή πομπών στον περιβάλλοντα χώρο.

**Αυτόνομα Τροχοφόρα Ρομπότ: (mobile robots):** λειτουργούν χωρίς συνεχή εξωτερική επίβλεψη - ικανά να εκτελούν εργασίες αυτόνομα δεχόμενα μόνο ορισμένες υψηλού επιπέδου εντολές

**Βαδίζοντα (walking):** χρησιμοποιούν μηχανικά πόδια - μεγάλη δυνατότητα αποφυγής εμποδίων & ικανότητα αναρρίχησης σε ανώμαλα εδάφη και μη επίπεδες επιφάνειες.



©2014

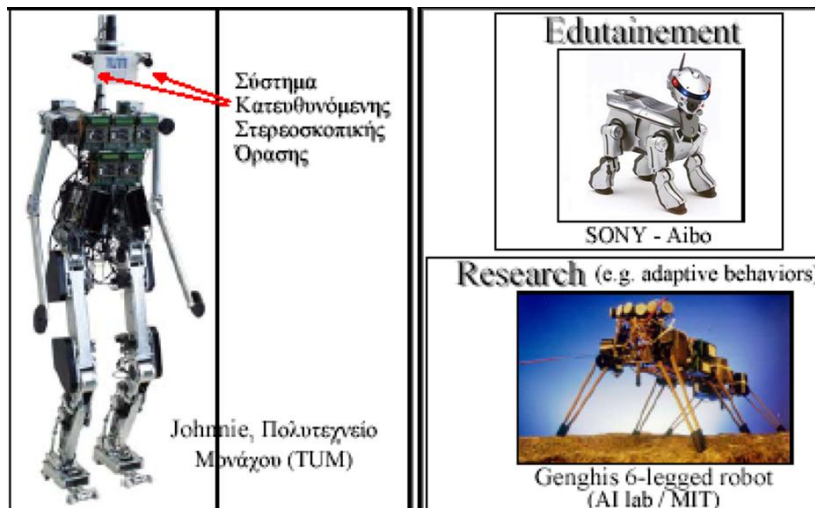


## Είδη ρομπότ: Κινούμενης βάσης Ευφυή τροχοφόρα



©2014

## Είδη ρομπότ: Κινούμενης βάσης Βαδίζοντα



©2014

## Είδη ρομπότ: Αυτοκινούμενα με πόδια



Εξάποδο ρομπότ  
Dante (NASA)



Εξάποδο ρομπότ Ambler  
(Robotics Institute, CMU)

©2014

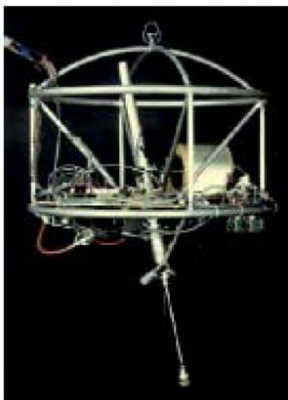


Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών  
**Συστήματα Παραγωγής  
Ρομποτική**  
Δρ. Σαγής Δημήτριος

Σχήμα A25

Παραδείγματα ρομποτικών εφαρμογών

## Είδη ρομπότ: Αυτοκινούμενα με πόδια Δυναμικός βηματισμός



3D One-Leg Hopper  
(1983-1984)



3D Biped  
(1989-1995)



Quadruped  
(1984-1987)

MIT Legged-Lab. Mark Raibert, *Legged Robots that Balance*, MIT Press, 1986.

©2014



Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών  
**Συστήματα Παραγωγής  
Ρομποτική**  
Δρ. Σαγής Δημήτριος

Σχήμα A26

Παραδείγματα ρομποτικών εφαρμογών

## Είδη ρομπότ: Κινούμενης βάσης Βαδίζουτα "βιολογικής έμπνευσης"



Uniuro (1991-1993)



Troody

©2014

## Είδη ρομπότ: Κινούμενης βάσης

**ROVs (Remotely Operated Vehicles):** μη επανδρωμένη υποβρύχια ρομπότ συνδεδεμένο με μητρικό πλοίο μέσω καλωδίου, το οποίο και καλύπτει τις ανάγκες του ρομπότ σε ενέργεια και επικοινωνίες. Δεν έχουν μεγάλο βαθμό αυτονομίας.

**AUVs (Autonomous Underwater Vehicles):** πλήρως αυτόνομα / δεν έχουν την ανάγκη καλωδίου. Για τις ανάγκες ενέργειας χρησιμοποιούνται ειδικές μπαταρίες, κάτι όμως που θέτει και περιορισμούς στη λειτουργία των ρομπότ αυτών.

**UAVs (Unmanned Aerial Vehicles):** ιπτάμενα ρομπότ (ελικόπτερα & αεροπλάνα). Εξαιτίας μειωμένης σταθερότητας και ασφάλειας χρησιμοποιούνται για στρατιωτικούς κυρίως σκοπούς.



©2014