



Πανεπιστήμιο Αιγαίου

Τμήμα Μηχανικών Πληροφοριακών και Επικοινωνιακών Συστημάτων

Μελέτη & υλοποίηση ρομποτικού συστήματος διαχωρισμού λευκών ειδών με υπολογιστική όραση και αντίστροφη κινηματική σε 5-DOF βραχίονες.

Επιβλέπων: Καβαλλιεράτου Εργίνα

Καθηγήτρια

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

των

Αρχοντή Χρήστου

&

Γιαννισλή Ιωάννη

Σάμος, Φεβρουάριος, 2023

Τι είναι μία ξενοδοχειακή μονάδα;



Είναι ο χώρος εκείνος, όπου πλήθος ανθρώπων αναζητά κατάλυμα κάτω από την ίδια στέγη.

Μέρη μονάδων:

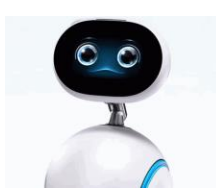
- Δωμάτια/Σουίτες
- Χώροι φαγητού/ποτού
- Χώροι αναψυχής
- Κέντρα αισθητικής
- Γυμναστήρια



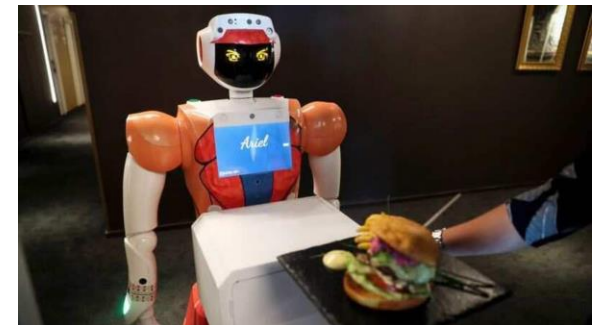
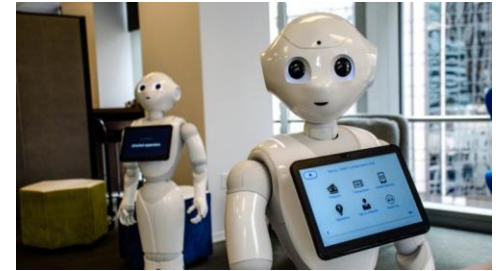
Το κοινό όλων των ξενοδοχειακών μονάδων (μεγάλων & μικρών) είναι η απαραίτητη ανάγκη διαχείρισης μεγάλου όγκου λευκών ειδών



Τι είναι ένα Ρομπότ



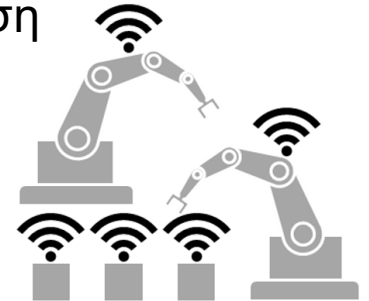
Ρομπότ ονομάζεται οποιαδήποτε **μηχανική συσκευή** που μπορεί να υποκαθιστά τον άνθρωπο σε διάφορες εργασίες και φυσικά μπορεί να δράσει **αυτόνομα**.



Πρόταση

Δημιουργία ενός ρομποτικού συστήματος, κατάλληλου για το διαχωρισμό των λευκών ειδών. Οι δυνατότητες του ζητούμενου συστήματος:

- Επεξεργασία εικόνας & εύρεση γωνιών -> Υπολογιστική Όραση
- Πιάσιμο & ανασήκωση υφάσματος -> Κινηματική
- Διαχωρισμό υφασμάτων σε καθαρά & λερωμένα



Στόχοι

- Απομάκρυνση προσωπικού από μολυσμένα είδη
- Επεξεργασία δεδομένων σε πραγματικό χρόνο
- Δυνατότητες επεκτασιμότητας & εμποροποίησης

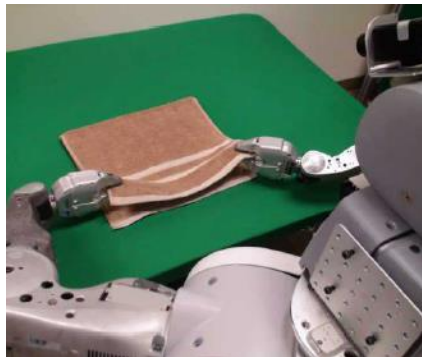
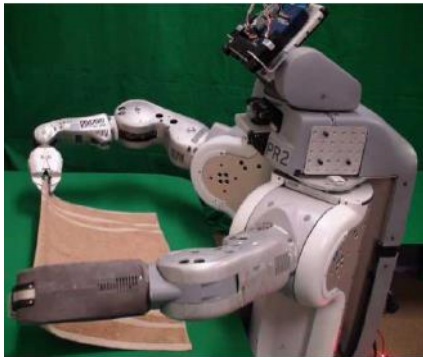
Οφέλη

- Μείωση κινδύνων πεδίου
- Αναλυτικότερη μελέτη δεδομένων
- Εμπορικά οφέλη
- Περιβαλλοντικά οφέλη (ορθότερη διαχείριση καθαριστικών)

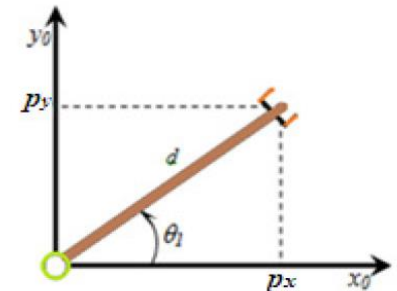
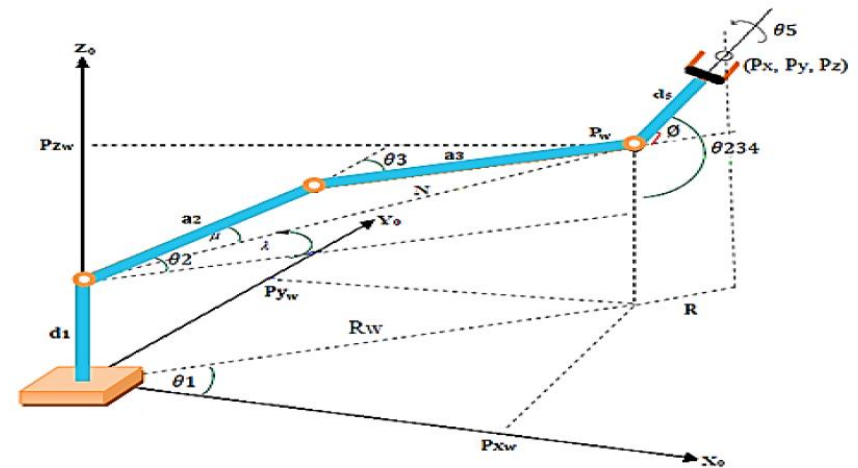


Βασικότερα paper ιδεασμού

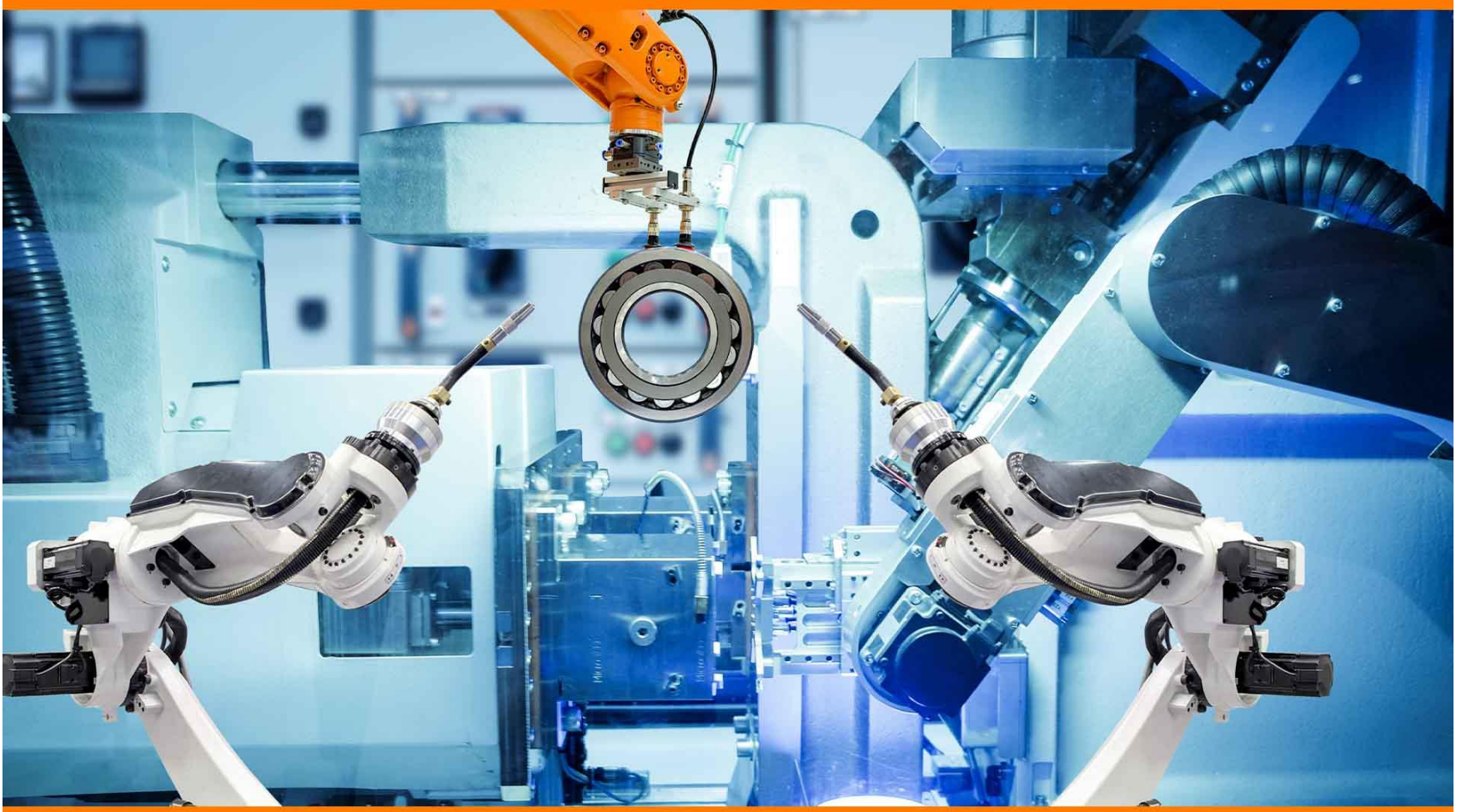
Cloth Grasp Point Detection based on Multiple-View Geometric Cues with Application to Robotic Towel Folding



Inverse Kinematics Analysis and Simulation of a 5 DOF Robotic Arm using MATLAB



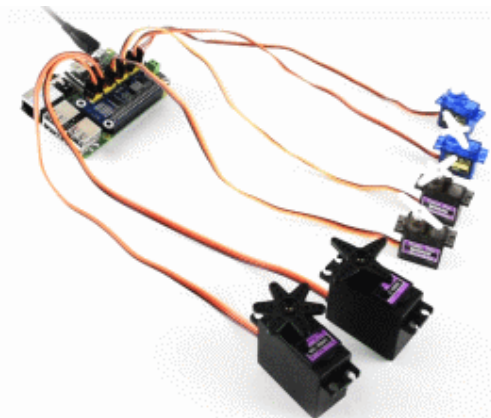
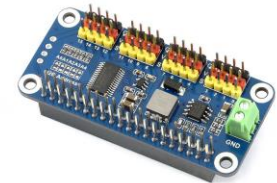
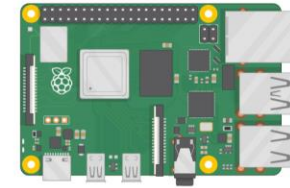
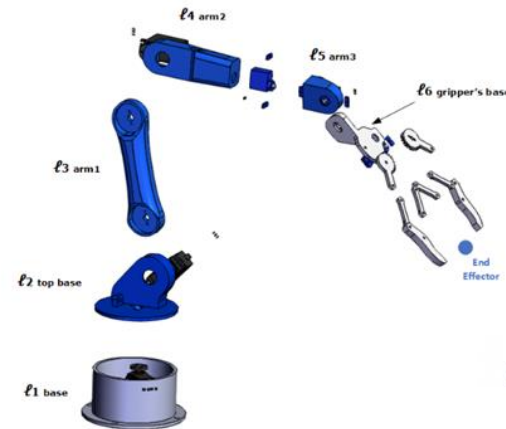
Υλοποίηση



Υλικά

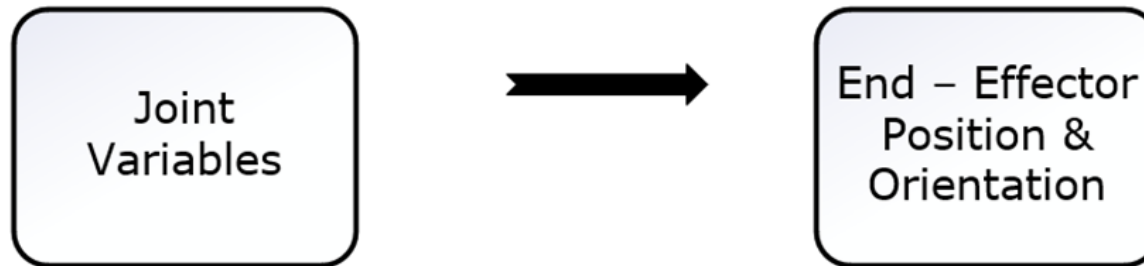


- Raspberry Pi 4 Model B
- 5 DoF Βραχίονες
- Servo κινητήρες
- Servo Driver HAT
- Κάμερες
- Ξυλεία & λοιπά υλικά
- Κόστος: 290€

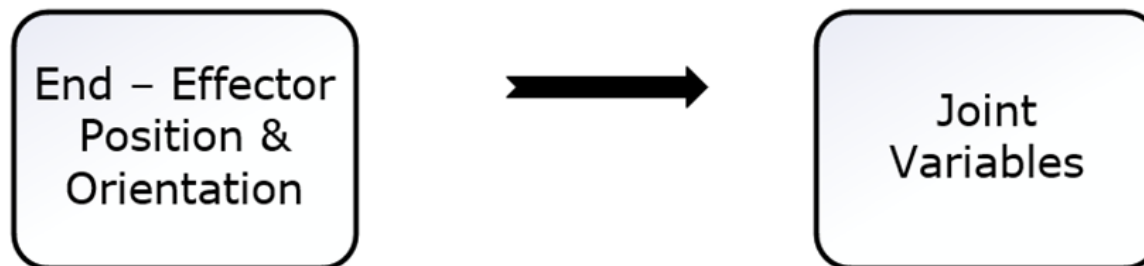


Κίνηση ρομποτικού βραχίονα – Είδη κινηματικής

Forward Kinematics



Inverse Kinematics



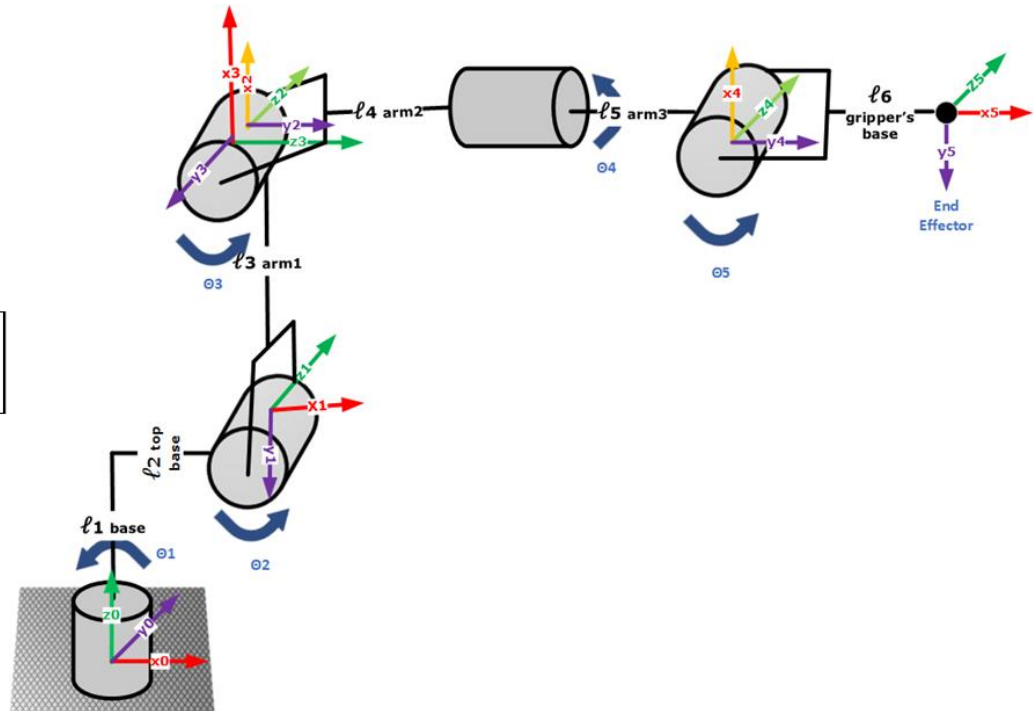
Ευθεία κινηματική

- Ένα κινηματικό διάγραμμα περιγράφει σχηματικά το ρομπότ που έχει κατασκευαστεί
- Χρήση μεθόδου Denavit-Hartenberg

Frames	θ	α	r	d
1	θ_1	-90	ℓ_2	ℓ_1
2	$-90 + \theta_2$	0	ℓ_3	0
3	θ_3	-90	0	0
4	θ_4	90	0	$\ell_4 + \ell_5$
5	$90 + \theta_5$	0	ℓ_6	0

$$H_n^{n-1} = \begin{bmatrix} \cos(\theta_n) & -\sin(\theta_n) \cos(a_n) & \sin(\theta_n) \sin(a_n) & r_n \cos(\theta_n) \\ \sin(\theta_n) & \cos(\theta_n) \cos(a_n) & -\cos(\theta_n) \sin(a_n) & r_n \sin(\theta_n) \\ 0 & \sin(a_n) & \cos(a_n) & d_n \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$H_5^0 = H_1^0 H_2^1 H_3^2 H_4^3 H_5^4$$



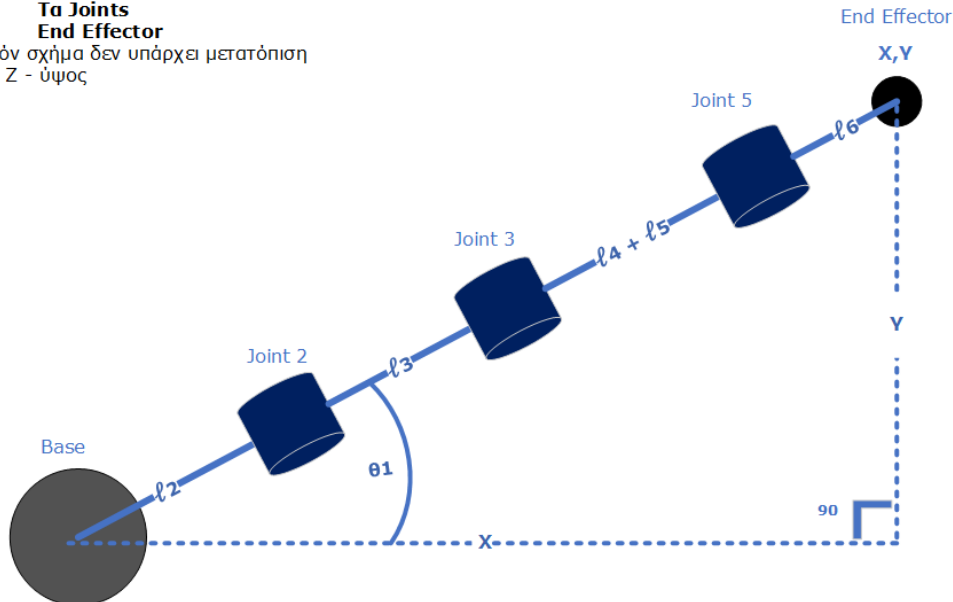
Αντίστροφη κινηματική – Πάνω όψη

- Γεωμετρική προσέγγιση – Πάνω όψη του ρομποτικού βραχίονα
- $\theta_1 = ;$

Top View

Γκρι: Βάση
Μπλε: Τα Joints
Μαύρο: End Effector

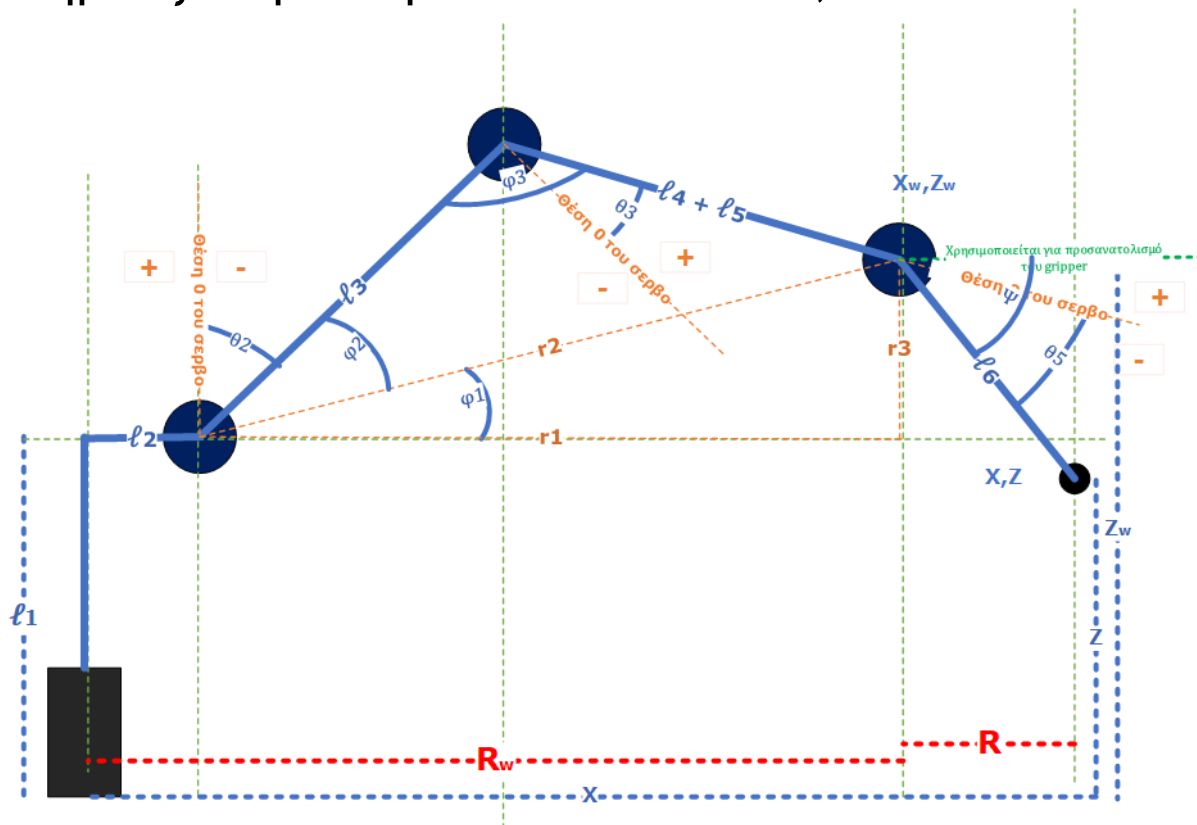
* Στο παρόν σχήμα δεν υπάρχει μετατόπιση στο άξονα Z - ύψος



$$\theta_1 = \tan^{-1}\left(\frac{Y}{X}\right) \quad (1)$$

Αντίστροφη κινηματική – Πλάγια όψη

- Γεωμετρική προσέγγιση – Πλάγια όψη του ρομποτικού βραχίονα
- $\theta_2, \theta_3, \theta_5 = ;$
- Η θ_4 δεν επηρεάζει τη θέση του end-effector, $\theta_4 = 0$



Αντίστροφη κινηματική – Εξισώσεις

- Η ψ είναι γνωστή και δείχνει τον προσανατολισμό του end-effector

$$R = l_6 \cdot \cos \psi \quad (2)$$

$$X_w = X - R \cdot \cos \theta_1 \quad (3)$$

$$Y_w = Y - R \cdot \sin \theta_1 \quad (4)$$

$$Z_w = Z + l_6 \cdot \sin \psi \quad (5)$$

$$R_w = \sqrt{X_w^2 + Y_w^2} \quad (6)$$

$$r_1 = R_w - l_2 \quad (7)$$

$$r_3 = |Z_w - l_1| \quad (8)$$

$$r_2 = \sqrt{r_1^2 + r_3^2} \quad (9)$$

$$\varphi_1 = \cos^{-1} \left(\frac{r_1^2 + r_2^2 - r_3^2}{2 \cdot r_1 \cdot r_2} \right) \quad (10)$$

$$\varphi_2 = \cos^{-1} \left(\frac{r_2^2 + l_3^2 - (l_4 + l_5)^2}{2 \cdot r_2 \cdot l_3} \right) \quad (11)$$

$$\theta_2 = -\left((\varphi_1 + \varphi_2) - \frac{\pi}{2} \right) \quad (12)$$

$$\varphi_3 = \cos^{-1} \left(\frac{l_3^2 + (l_4 + l_5)^2 - r_2^2}{2 \cdot l_3 \cdot (l_4 + l_5)} \right) \quad (13)$$

$$\theta_3 = -\left(\varphi_3 - \frac{\pi}{2} \right) \quad (14)$$

$$\theta_4 = 0 \quad (15)$$

$$\theta_5 = \psi - \theta_2 - \theta_3 \quad (16)$$



Υπολογιστική όραση (1)

- Μετατροπή εικονοστοιχείων σε εκατοστά
- Μετασχηματισμός συντεταγμένων

$$R_X = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(180) & -\sin(180) \\ 0 & \sin(180) & \cos(180) \end{bmatrix} \quad R_Z = \begin{bmatrix} \cos(89) & -\sin(89) & 0 \\ \sin(89) & \cos(89) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$R_c^0 = R_X R_Z$$

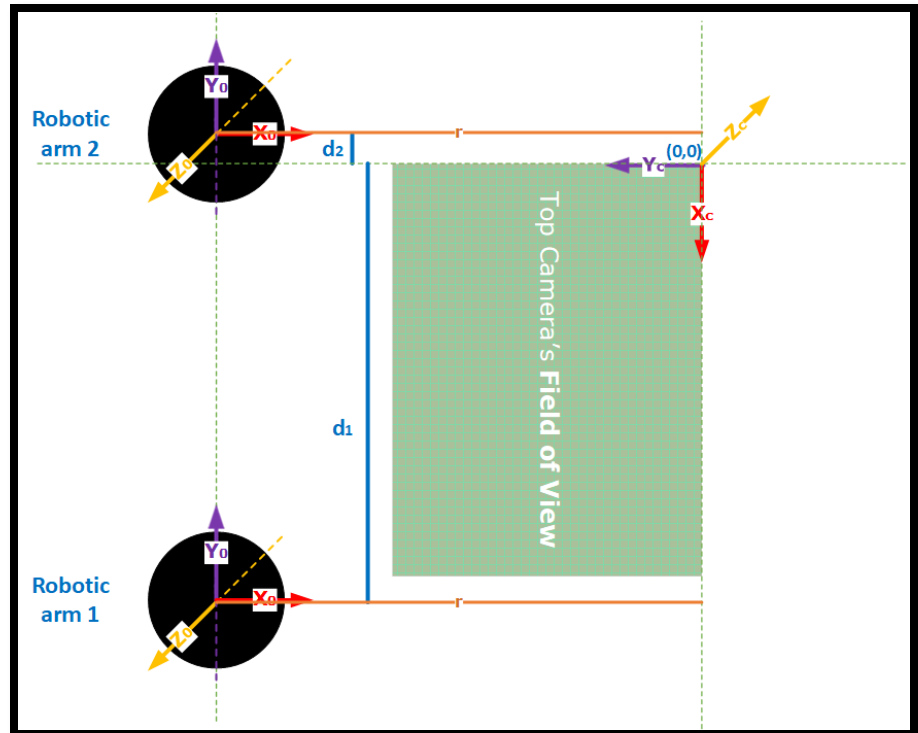
$$dR_c^0 = [42.5 \quad 43.0 \quad 0.0] \quad dL_c^0 = [40.0 \quad 4.0 \quad 0.0]$$

$$Hr_c^0 = \begin{bmatrix} R_c^0[1,1] & R_c^0[1,2] & R_c^0[1,3] & dR_c^0[1] \\ R_c^0[2,1] & R_c^0[2,2] & R_c^0[2,3] & dR_c^0[2] \\ R_c^0[3,1] & R_c^0[3,2] & R_c^0[3,3] & dR_c^0[3] \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$Hl_c^0 = \begin{bmatrix} R_c^0[1,1] & R_c^0[1,2] & R_c^0[1,3] & dL_c^0[1] \\ R_c^0[2,1] & R_c^0[2,2] & R_c^0[2,3] & dL_c^0[2] \\ R_c^0[3,1] & R_c^0[3,2] & R_c^0[3,3] & dL_c^0[3] \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

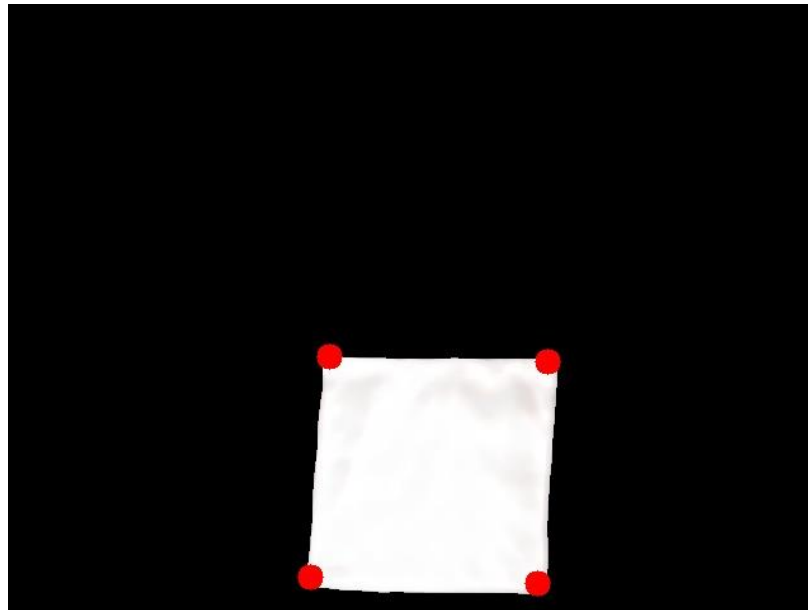
$$PC = [X_{Location}, Y_{Location}, Z_{Location}, 1]$$

$$PO = H_c^0 \cdot PC$$



Υπολογιστική όραση (2)

- Εφαρμογή μάσκας ανίχνευσης λευκού χρώματος
- Αλγόριθμος ανίχνευσης γωνιών Harris – Harris corner detection



Αλγόριθμος συστήματος

- Αρχικοποίηση των βραχιόνων στην αρχική τους θέση
- Λήψη φωτογραφίας
- Εφαρμογή μάσκας ανίχνευσης λευκού χρώματος
- Εφαρμογή του αλγόριθμου ανίχνευσης γωνιών Harris
 - Μέχρι να βρεθούν 4 γωνίες
- Επιλογή της κατάλληλης γωνίας που θα αλληλεπιδράσει κάθε βραχίονας
- Μετατροπή των συντεταγμένων των γωνιών σε εκατοστά (από pixel) και μετασχηματισμό σε σχέση με τους βραχίονες
- Μετακίνηση των βραχιόνων στις συντεταγμένες ενδιαφέροντος
- Πιάσιμο των γωνιών
- Ανασήκωση ταυτόχρονα και των δυο γωνιών
- Μετακίνηση του λευκού είδος στο πεδίο θέασης της δεύτερης κάμερας
- Λήψη φωτογραφίας



Πρόβλεψη με βάση το μοντέλο

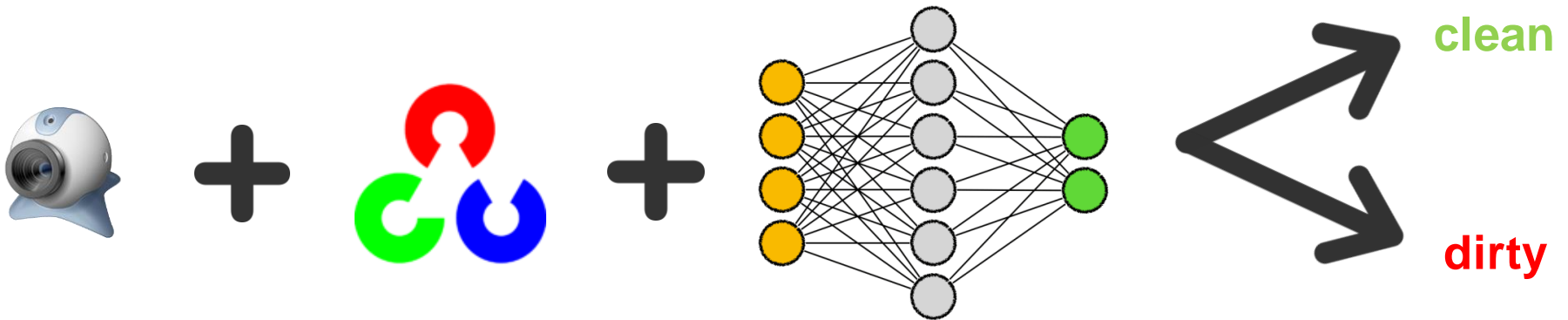
- Κατηγοριοποίηση λευκού είδους
- Τοποθέτηση του λευκού είδους στο κατάλληλο καλάθι
- Αρχικοποίηση των βραχιόνων στην αρχική τους θέση

```
Starting.....  
Corners detection.....  
Found 4 corners  
Left arm corner coordinates: ( [19.53692311] , [-14.49900992] , 0 )  
Right arm corner coordinates: ( [22.40037647] , [12.09450614] , 0 )  
Left arm angles [-36.58035681] [59.23201199] [-47.04516825] 1.0 [77.81315626]  
Right arm angles [28.36568526] [69.70378721] [-62.52310588] 1.0 [82.81931867]  
clean : 72.83953428268433  
dirty : 27.160465717315674  
Towel is clean  
End process
```



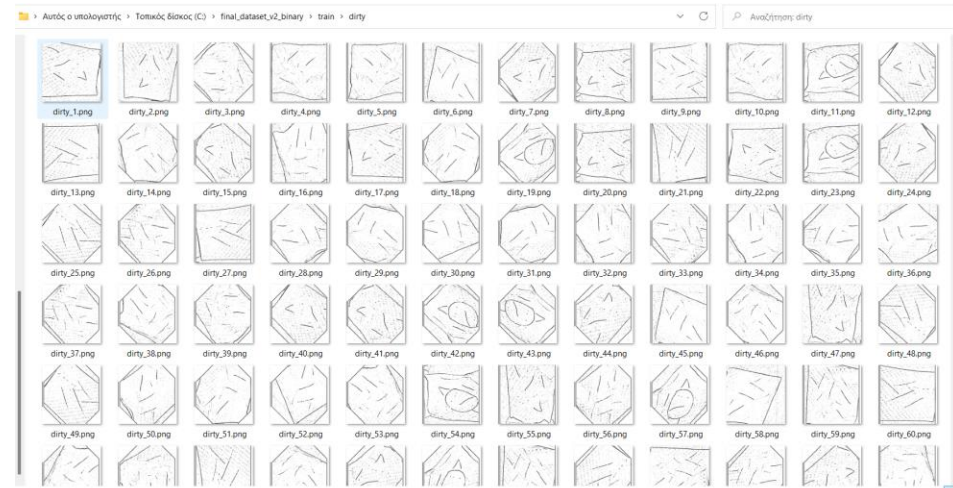
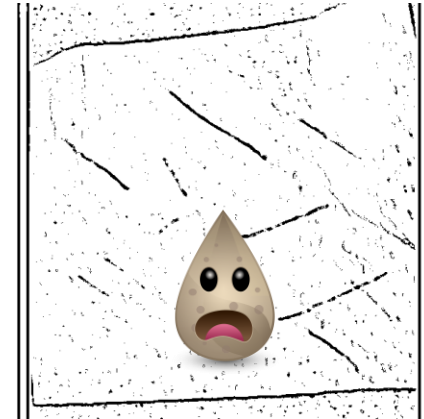
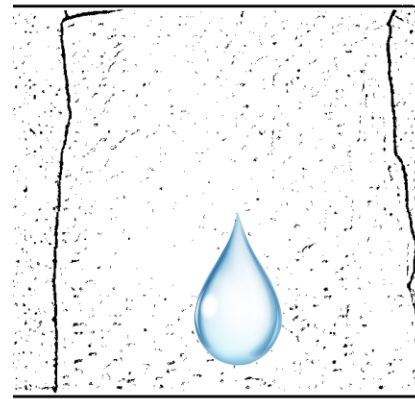
Εκπαίδευση του μοντέλου

- ImageAI
 - Αλγόριθμος InceptionV3
 - Σύνολο δεδομένων
 - 80% δεδομένα εκπαίδευσης
 - 20% δεδομένα δοκιμής



Σύνολο δεδομένων

- Μη ύπαρξη του κατάλληλου συνόλου δεδομένων
- Δημιουργία από την αρχή
- 10 φωτογραφίες για κάθε κλάση
 - rotate
 - flipping
 - translation
 - noise
- 4800 διαφορετικές φωτογραφίες
- Μετατροπή σε δυαδικές

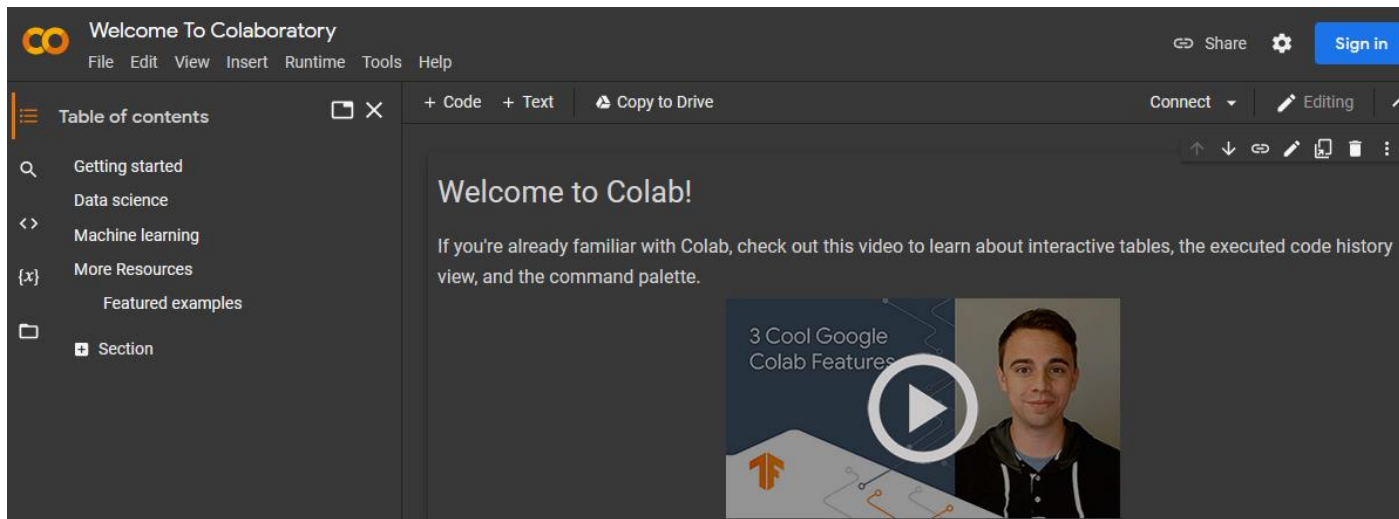


Πλατφόρμα εκπαίδευσης του μοντέλου

- Αδυναμία χρησιμοποίησης της κάρτα γραφικών
- **Google Colab**



colab



Εμπορική διάθεση

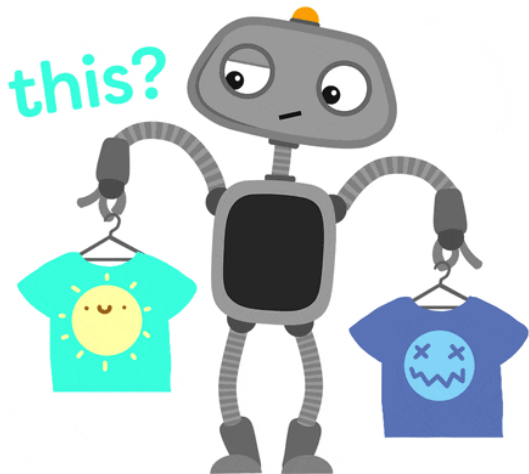
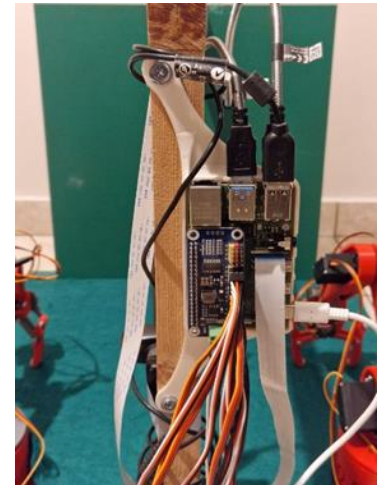
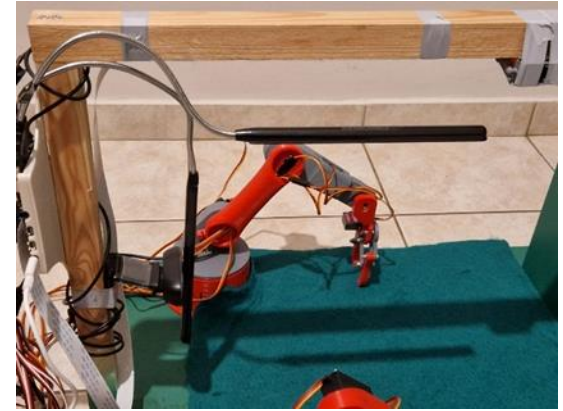
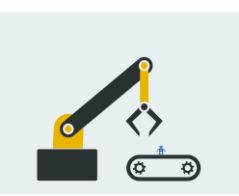
- Στερεοσκοπικές κάμερες



- Βιομηχανικοί βραχίονες



Επίδειξη Λειτουργίας



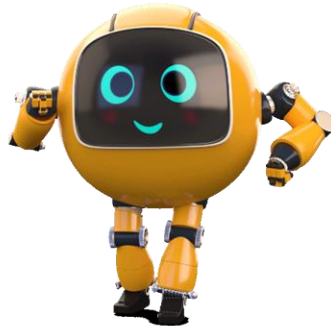
Επιλεγμένη Βιβλιογραφία

- [1] Wang, X., Jiang, X., Zhao, J., Wang, S., Yang, T., & Liu, Y. (2019). Picking towels in point clouds. *Sensors*, 19(3), 713.
- [2] Yang, P. Y., Chang, T. H., Chang, Y. H., & Wu, B. F. (2018, June). Intelligent mobile robot controller design for hotel room service with deep learning arm-based elevator manipulator. In *2018 International Conference on System Science and Engineering (ICSSE)* (pp. 1-6). IEEE.
- [3] Maitin-Shepard, J., Cusumano-Towner, M., Lei, J., & Abbeel, P. (2010, May). Cloth grasp point detection based on multiple-view geometric cues with application to robotic towel folding. In *2010 IEEE International Conference on Robotics and Automation* (pp. 2308-2315). IEEE.
- [4] Mukhopadhyay, P., & Chaudhuri, B. B. (2015). A survey of Hough Transform. *Pattern Recognition*, 48(3), 993-1010.
- [5] Yu, X., Dong, L., Li, L., & Hoe, K. E. (2009, November). Lift-button detection and recognition for service robot in buildings. In *2009 16th IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)* (pp. 313-316). IEEE.
- [6] Wang, W. J., Huang, C. H., Lai, I. H., & Chen, H. C. (2010, August). A robot arm for pushing elevator buttons. In *Proceedings of SICE Annual Conference 2010* (pp. 1844-1848). IEEE.
- [7] Klingbeil, E., Carpenter, B., Russakovsky, O., & Ng, A. Y. (2010, May). Autonomous operation of novel elevators for robot navigation. In *2010 IEEE International Conference on Robotics and Automation* (pp. 751-758). IEEE.





Σας ευχαριστούμε.



Αρχοντής Χρήστος
Γιαννισλής Ιωάννης



icsdm420001@icsd.aegean.gr
icsdm420004@icsd.aegean.gr

