

# ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΟΠΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΠΡΟΣΑΡΜΟΣΤΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

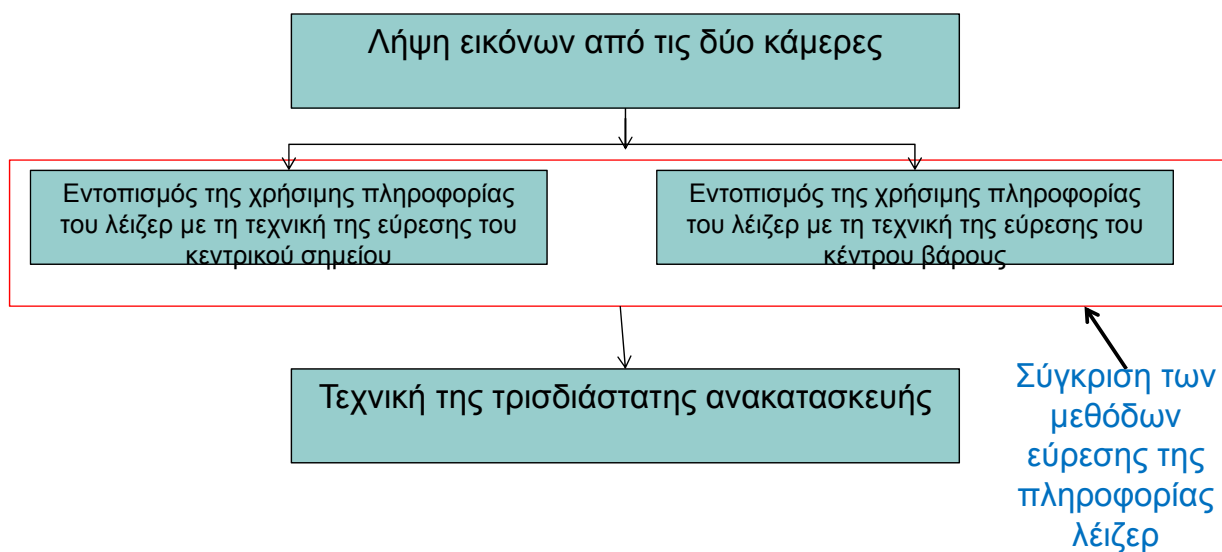
Κουλουμέντας Παναγιώτης  
Σχολή Ηλεκτρονικών Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών  
Χανιά, Νοέμβριος 2014  
Επιτροπή:  
Ζερβάκης Μιχάλης (επιβλέπων)  
Αντωνιάδης Αριστομένης (επιβλέπων)  
Μπάλας Κωνσταντίνος

## Στόχος της εργασίας και ιδιαιτερότητες του προβλήματος

---

- Ανάπτυξη τρισδιάστατου σαρωτή για χρήση προσαρμοστικού φρεζαρίσματος αντικειμένων
- Υλοποίηση του αλγορίθμου τρισδιάστατης ανακατασκευής από στερεοσκοπικές φωτογραφίες
- Συγκριτική μελέτη των μεγεθών που επηρεάζουν τα αποτελέσματα της ανακατασκευής
- Ακριβής ορισμός της εγκατάστασης του οπτικού συστήματος

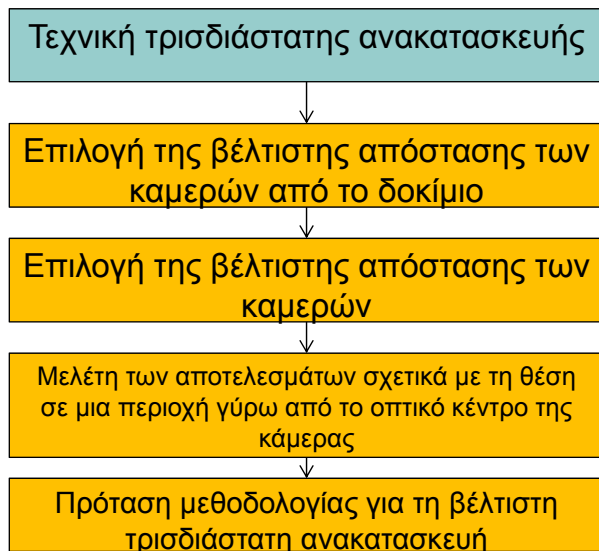
## Στόχος της εργασίας και ιδιαιτερότητες του προβλήματος



DISPLAY

ΧΑΝΙΑ, ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2014

## Στόχος της εργασίας και ιδιαιτερότητες του προβλήματος



DISPLAY

ΧΑΝΙΑ, ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2014

4

# Προηγούμενες μελέτες και προβλήματα αυτών

---

## (Μέθοδοι Εύρεσης Βάθους)

- Δομή από Κίνηση (Structure from Motion<sup>m1</sup>)  
(ταυτόχρονη εκτίμηση της 3Δ δομής και της 3Δ θέσης των καμερών από αντιστοιχίες εικόνων)
- Σχήμα από Σκίαση (Shape from Shading)
- Βάθος από Εστίαση (Range from Focus)
- Βάθος από Μη Εστίαση (Depth from Defocus)
- Σχήμα από Υφή (Shape from Texture)
- ✓ **Στερεοσκοπική Όραση (Stereo Vision)**

## Προηγούμενες μελέτες και προβλήματα αυτών

### Στερεοσκοπική Όραση(Stereo Vision)

- Απαιτούνται τουλάχιστον δύο κάμερες
- Η δεύτερη κάμερα είναι μετατοπισμένη κατά μια πλευρική μετατόπιση σε σχέση με την πρώτη
- Αποτελεί προσομοίωση του οπτικού συστήματος των ματιών του ανθρώπου που έχει την ικανότητα να αντιλαμβάνεται τα τρισδιάστατα χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος
- Η διαφορά της θέσης των αναγνωρισμένων σημείων της σκηνής στις εικόνες υπάρχει λόγω της διαφορετικής θέσης που έχουν οι κάμερες στον χώρο

### ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑ

- ✓ ισχυρή τεχνική λόγω κυρίως της απαίτησης να υπάρχει συγκεκριμένη διάταξη των δύο καμερών

### ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑ

- ✓ Σφάλματα αντιστοίχισης των σημείων

## Προηγούμενες μελέτες και προβλήματα αυτών

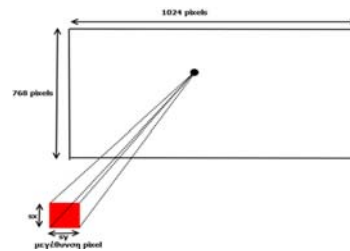
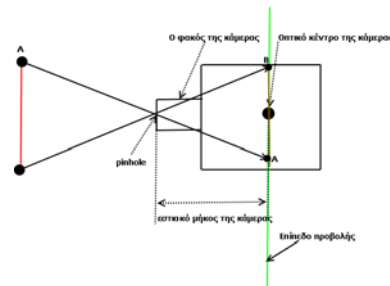
### Χαρακτηριστικά των καμερών(I)

- ❖ Το προοπτικό μοντέλο προβολής που χρησιμοποιείται για τη δημιουργία της εικόνας μέσα από αισθητήρα όρασης, ονομάζεται μοντέλο κάμερας μικρής οπής (pinhole camera model)
- ❖ **Παράμετροι βαθμονόμησης**
  - ❑ **Ενδογενείς παράμετροι (intrinsic parameters)**
    - Παράμετροι που καθορίζουν τη σχέση μεταξύ ενός σημείου εικόνας και του οπτικού άξονα της κάμερας
  - ❑ **Εξωγενείς παράμετροι (extrinsic parameters)**
    - η θέση και ο προσανατολισμός της κάμερας

# Προηγούμενες μελέτες και προβλήματα αυτών

## Χαρακτηριστικά των καμερών(II)

- ❖ **Εστιακό μήκος:**  
Η απόσταση  $f$  του κέντρου προβολής από το επίπεδο εικόνας
- ❖ **Διαστάσεις εικονοστοιχείων:**  
Οι δισδιάστατες διαστάσεις ενός pixel της εικόνας. Τα  $s_x$ ,  $s_y$  που είναι οι διαστάσεις των εικονοστοιχείων είναι μεγέθη που δίνονται από τον κατασκευαστή



# Προηγούμενες μελέτες και προβλήματα αυτών

## Η επιπολική γεωμετρία

### Ορισμός:

Η επιπολική γεωμετρία ανάμεσα σε δύο διαδοχικές λήψεις μίας φωτογραφικής κάμερας, ορίζεται ως η γεωμετρία της τομής των επιπέδων των δύο εικόνων με το σύνολο των επιπέδων που έχουν τη γραμμή η οποία συνδέει τα κέντρα των δύο καμερών (των δύο θέσεων της κάμερας) σαν άξονα περιστροφής. Η μελέτη ξεκινά από το γεγονός ότι κάθε σημείο του χώρου που προβάλλεται σε δύο λήψεις ορίζει μαζί με τις δύο προβολές του ένα επίπεδο

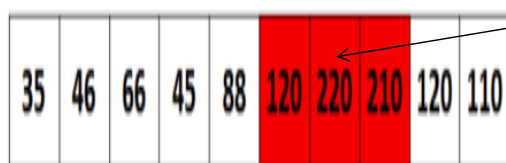
### Χρηστική αξία της επιπολικής γεωμετρίας:

Θεωρούμε ένα σημείο  $X$  στον τρισδιάστατο χώρο, το οποίο προβάλλεται σε δύο λήψεις. Στην πρώτη λήψη στο σημείο  $q_1$  και στη δεύτερη λήψη στο σημείο  $q_2$ . Αυτό το οποίο καλούμαστε να μελετήσουμε είναι η σχέση που διέπει τα δύο σημεία των εικόνων  $q_1$  και  $q_2$

## Τεχνικές επεξεργασίας

- Συγκριτική μελέτη δύο τεχνικών για τον εντοπισμό της γραμμής λέιζερ από τις εικόνες που λαμβάνονται από τις δύο κάμερες και για τον εντοπισμό της χρήσιμης πληροφορίας της γραμμής λέιζερ
  1. Τεχνική εύρεσης μέγιστου αθροίσματος
  2. Η τεχνική του κέντρου της βαρύτητας (Center Of Gravity)
- Αντιστοίχιση pixel by pixel
- 3D ανακατασκευή της εικόνας

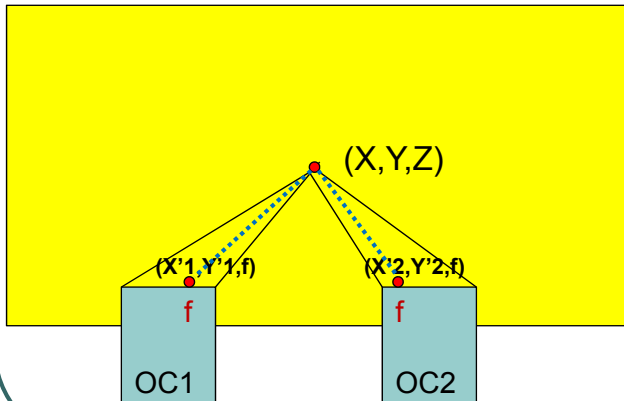
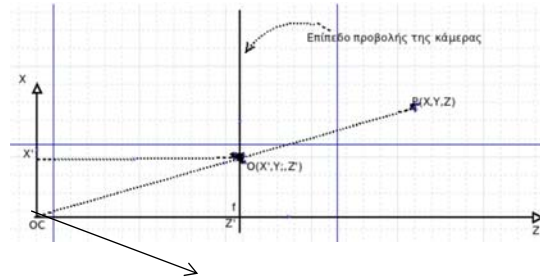
## Τεχνικές επεξεργασίας



→		L		R	
→			L	R	
→		L		R	
→			L	R	
→		L	R		
→	L			R	

# Τεχνικές επεξεργασίας

$$\begin{bmatrix} X1' \\ Y1' \\ Z1' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} sx & 0 & (-w/2) * sx \\ 0 & sy & (-h/2) * sy \\ 0 & 0 & f \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} U \\ V \\ 1 \end{bmatrix}$$



$$t = L / (X1' - X2' + L)$$

$$\begin{aligned} X &= X1' * t \\ Y &= Y1' * t \\ Z &= f * t \end{aligned}$$

# ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

## ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ

- Συνοπτική περιγραφή του οπτικού συστήματος και των συστατικών μερών του
- Εύρεση της βέλτιστης δυνατής εγκατάστασης για την καλύτερη δυνατή τρισδιάστατη ανακατασκευή
- Υλοποίηση του αλγόριθμου τρισδιάστατης ανακατασκευής

## Προτεινόμενη Μεθοδολογία και προβλήματα που επιλύει

- Το οπτικό σύστημα αποτελείται από τουλάχιστον 2 κάμερες CCD(**Charge – Coupled Devices**) **prosilica GC1020** της ALLIED
  - Οι κάμερες έχουν μέγιστη ανάλυση 1024x768 εικονοστοιχεία / εικόνα
  - Διαστάσεις εικονοστοιχείου( $s_x = s_y = 4.65\mu\text{m}$ )
- Επίσης αποτελείται από ένα προβολέα γραμμής λέιζερ – αλφάδι της .

## Προτεινόμενη Μεθοδολογία και προβλήματα που επιλύει

- **Πλεονεκτήματα CCD καμερών**  
Επειδή οι κάμερες είναι υψηλής ανάλυσης μπορούν και εστιάζουν εντός ενός σχετικά μικρού πεδίου γύρω από το οπτικό κέντρο της κάμερας, δίνοντας όμως πιο πολύ λεπτομέρεια
- **Μειονεκτήματα CCD καμερών**  
Αυτή η ιδιότητα των CCD καμερών έχει σαν αποτέλεσμα να έχουμε καλύτερα , όπως αναφέρθηκε αποτελέσματα στην ανακατασκευή, αλλά δημιουργεί και κάποια προβλήματα τα οποία αφορούν τις αποστάσεις των καμερών από το δοκίμιο, και τις αποστάσεις των καμερών μεταξύ τους
- **Πλεονεκτήματα προβολέα λέιζερ**  
Είναι οικονομικός σε σχέση με άλλους προβολείς λέιζερ που προορίζονται για χρήση τρισδιάστατης οπτικοποίησης αντικειμένων
- **Μειονεκτήματα προβολέα λέιζερ**
  - Ο προβολέας γραμμής laser που χρησιμοποιήθηκε είναι ένας κλασικός προβολέας του εμπορίου, με χρηστική αξία αλφαιδίου. Αυτό δημιουργήσε κάποια προβλήματα όσον αφορά την εγκατάσταση του οπτικού συστήματος. Συγκεκριμένα ο προβολέας laser πρέπει να είναι τοποθετημένος σε επιφάνεια παράλληλη με το έδαφος
  - Η ένταση της γραμμής λέιζερ, ήταν αρκετά μεγάλη, και μάλιστα ήταν σταθερή. Αυτό σημαίνει ότι δεν υπήρχε δυνατότητα μεταβολής της



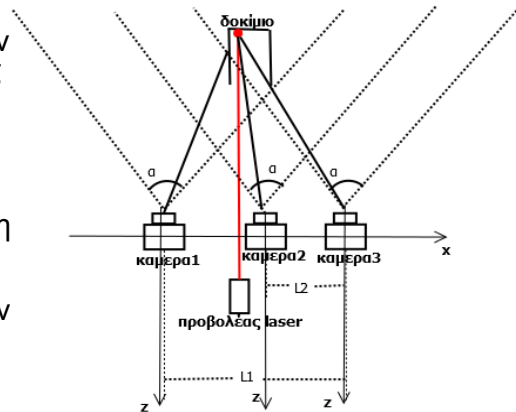
## Προτεινόμενη Μεθοδολογία: Απόσταση καμερών

- Όσο πιο μεγάλη είναι η απόσταση των καμερών τόσο μεγαλύτερες διαφορές εντοπίζονται στα αντίστοιχα σημεία.
- **Περιπτώσεις σάρωσης με βάση τη γεωμετρία του αντικειμένου**

Όταν η γεωμετρία του αντικειμένου δεν επιτρέπει στους αισθητήρες στη μέγιστη απόσταση να αντλήσουν την πληροφορία στο σύνολό της, τότε επιβάλλεται να μειωθεί η απόσταση των καμερών.



Συνδυασμός Λήψης ζευγών ανά επίπεδο

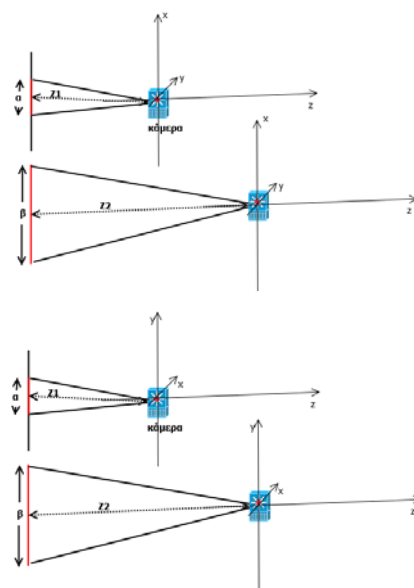


## Προτεινόμενη Μεθοδολογία: Απόσταση από το Δοκίμιο

- ❖ **Η απόσταση των καμερών από το δοκίμιο**
- Η απόσταση των καμερών από το δοκίμιο παίζει λόγο στην ακρίβεια των αποτελεσμάτων για την εύρεση του βάθους του κάθε σημείου: όσο μεγαλώνει η απόσταση των καμερών από το δοκίμιο, το οπτικό πεδίο της κάθε κάμερας, συμπεριλαμβάνει περισσότερο χώρο από το δοκίμιο.

### ❖ Συμπέρασμα

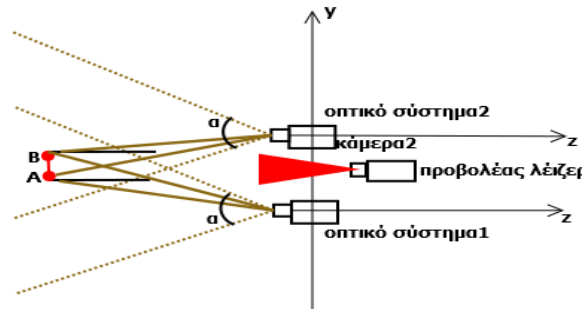
- Για οικονομία στη μεθοδολογία συμφέρει η μεγάλη απόσταση αφού με λιγότερες εφαρμογές της μεθοδολογίας μπορεί να επιτευχθεί ολοκληρωμένα η σάρωση του δοκιμίου



# Προτεινόμενη Μεθοδολογία: Ανάγκη Πολλαπλών οπτικών επιπέδων

(Πρόβλημα)

- Τα σημεία A,B που σαρώνονται από τον προβολέα γραμμής λέιζερ, βρίσκονται εντός του οπτικού πεδίου όλων των καμερών και των δύο επιπέδων. Παρ' όλα αυτά οι κάμερες του οπτικού συστήματος<sup>1</sup> εντοπίζουν το σημείο B ενώ το σημείο A δεν εντοπίζεται από το εν λόγω οπτικό σύστημα. Αντίστοιχα, οι κάμερες του οπτικού συστήματος<sup>2</sup> εντοπίζουν το σημείο B ενώ το A δεν εντοπίζεται από το εν λόγω οπτικό σύστημα

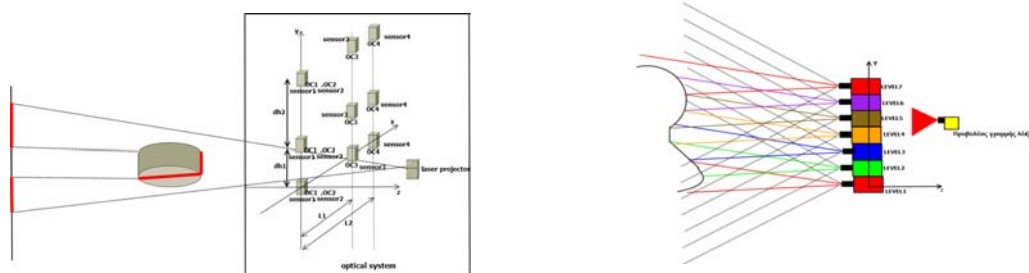


DISPLAY

XANIA, NOEMBΡΙΟΣ 2014

18

# Προτεινόμενη Μεθοδολογία: Πολυεπίπεδο σάρωμα του δοκιμίου



❖ Πολυεπίπεδο σάρωμα του δοκιμίου

(Λύση)

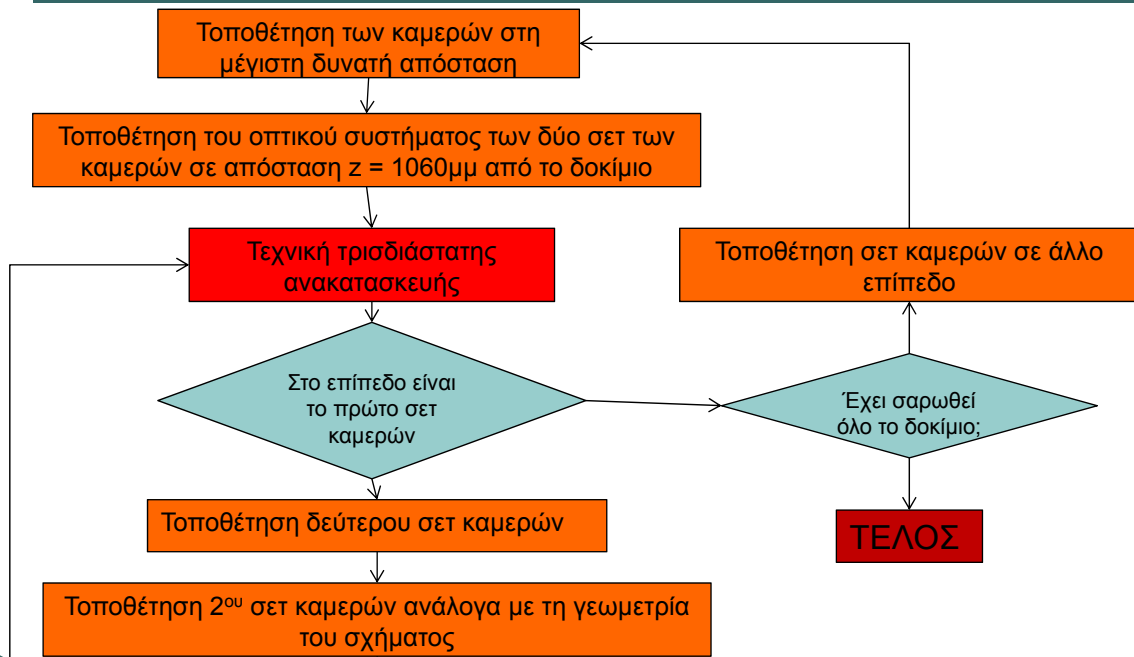
- Το πρόβλημα της προηγούμενης διαφάνειας μπορεί να επιλυθεί προσθέτοντας άλλο ένα οπτικό σύστημα ανάμεσα στα δύο οπτικά συστήματα που φαίνονται στο σχήμα, το οποίο μεταξύ των άλλων θα εντοπίζει τα σημεία A και B
- ❖ **Συμπεράσματα:**
- Είναι ζητούμενο πως τα, προς επεξεργασία, σημεία του δοκιμίου θα βρεθούν σε μια μικρή περιοχή γύρω από το οπτικό κέντρο των αισθητήρων των οπτικών συστημάτων των επιπέδων, προκειμένου να σαρωθούν κατά το δυνατό περισσότερα σημεία
- Ο αριθμός των επιπέδων δεν εξαρτάται μόνο από το μέγεθος του δοκιμίου αλλά και από την γεωμετρία του

DISPLAY

XANIA, NOEMBΡΙΟΣ 2014

19

## Προτεινόμενη Μεθοδολογία: Αναπαράστασή της με ολοκληρωμένο διάγραμμα ροής



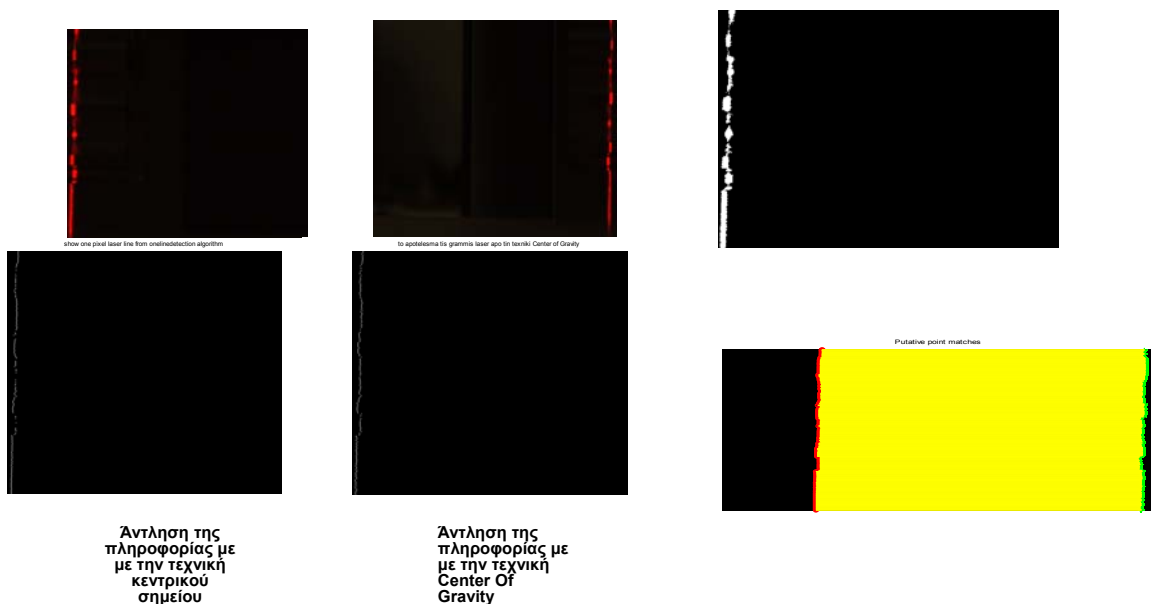
DISPLAY

XANIA, NOEMBΡΙΟΣ 2014

20

## Αποτελέσματα(I)

Τα **outrut** των καμερών , η **διαδικοποίηση** της εικόνας και η **εκτίμηση της γραμμής λέιζερ** με την **τεχνική του κεντρικού σημείου** και η **αντιστοίχιση των σημείων**



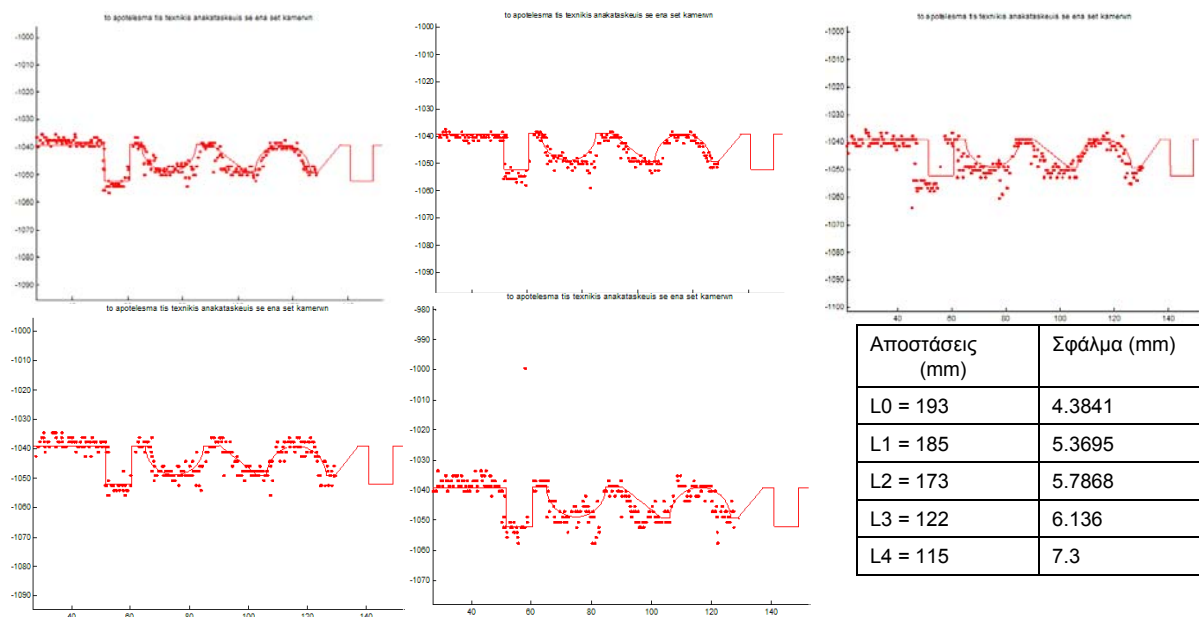
DISPLAY

XANIA, NOEMBΡΙΟΣ 2014

21

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ(II)

### Εφαρμογή του αλγόριθμου ανακατασκευής για διαφορετικές αποστάσεις καμερών



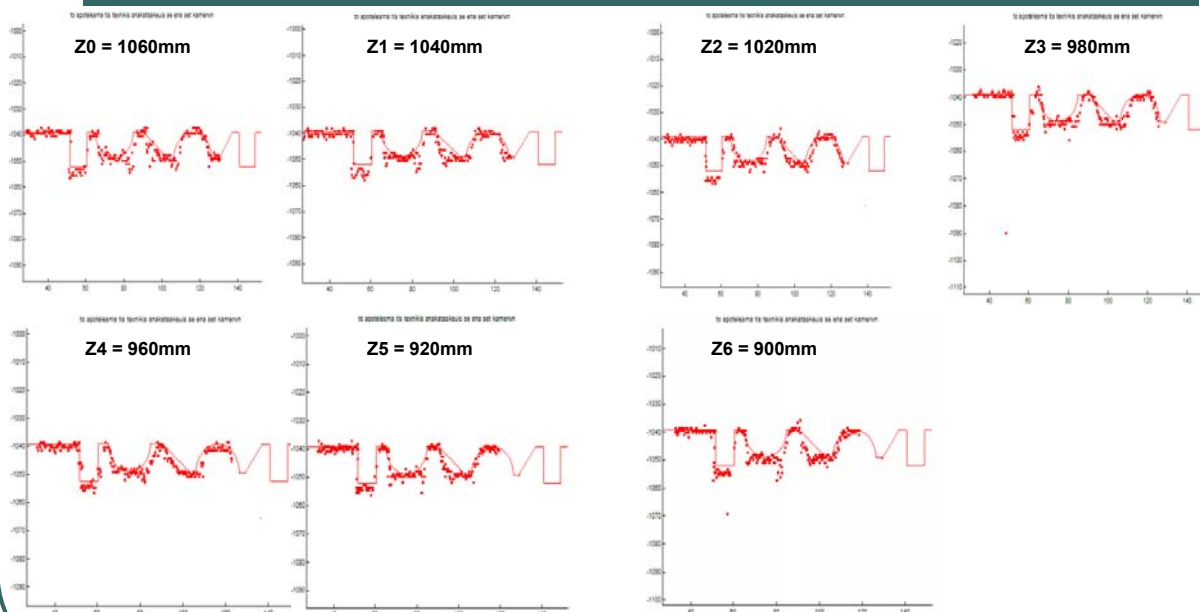
DISPLAY

ΧΑΝΙΑ, ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2014

22

## Αποτελέσματα(III)

### Εφαρμογή του αλγορίθμου της ανακατασκευής σε διαφορετικές αποστάσεις από το δοκίμιο



DISPLAY

ΧΑΝΙΑ, ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2014

23

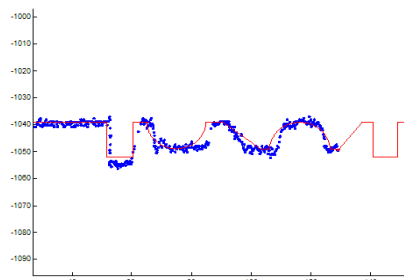
## Αποτελέσματα (IV)

### Πίνακας σφαλμάτων για τις διάφορες αποστάσεις από το δοκίμιο

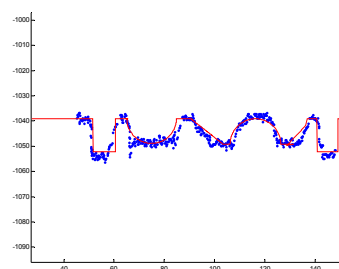
Απόσταση δοκιμίου(mm)	Μέγιστη απόσταση καμερών(mm)	Σφάλμα αποτελέσματος(mm)
Zo = 1060	Lo = 193	4.8497
Z1 = 1040	L1 = 187	5.4337
Z2 = 1020	L2 = 185	5.0041
Z3 = 980	L3 = 177	5.0591
Z4 = 960	L4 = 171	5.2043
Z5 = 920	L5 = 163	5.1992
Z6 = 900	L6 = 162	5.4112

## Αποτελέσματα (VII)

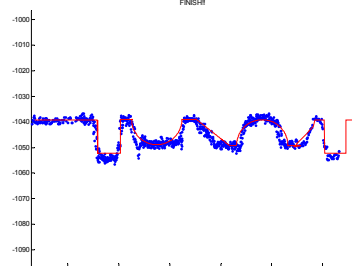
### Ανακατασκευασμένα τα δύο επίπεδα (4 sets καμερών) εφαρμογής του αλγορίθμου και συνδιασμός τους με την τεχνική Center Of Gravity



1<sup>ο</sup> ανακατασκευασμένο επίπεδο



2<sup>ο</sup> ανακατασκευασμένο επίπεδο



Συνδιασμός επιπέδων

Επίπεδα	Σφάλματα (mm)
1ο επίπεδο	1.0997
2 <sup>ο</sup> επίπεδο	1.1874
Συνένωση των δύο επιπέδων σε ένα πέρνοντας τους μέσους όρους	1.1513

Πίνακας σφαλμάτων

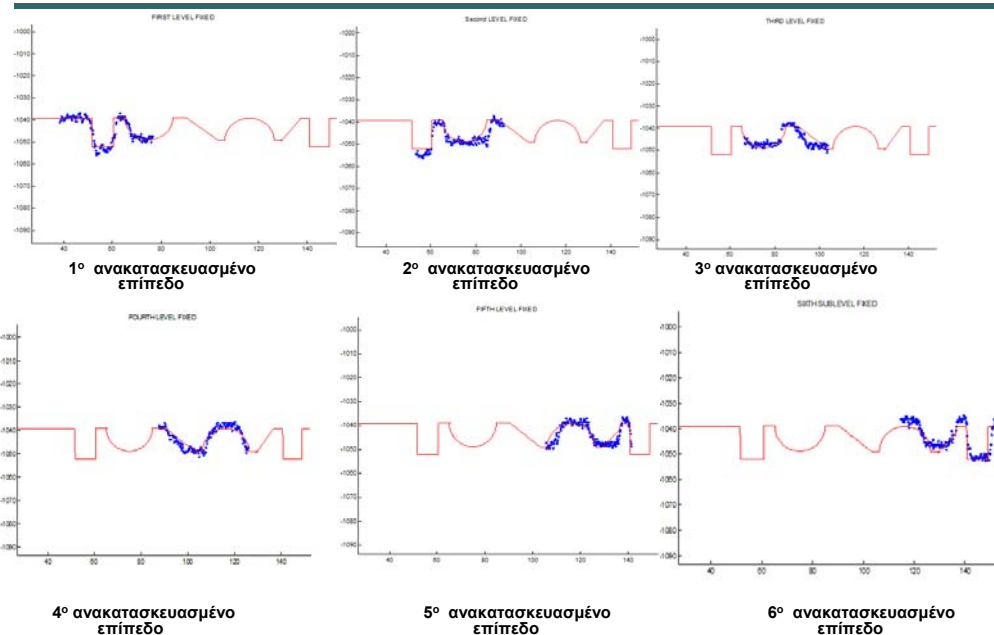
## Αποτελέσματα (VIII)

Συγκριτικός πίνακας σφαλμάτων των τεχνικών του κεντρικού σημείου και του κέντρου της βαρύτητας

Κεντρικό σημείο	Σφάλματα (mm)
1ο επίπεδο	1.2282
2ο επίπεδο	1.4418
Συνένωση των δύο επιπέδων σε ένα πέρνοντας τους μέσους όρους	1.3595
Κέντρο της Βαρύτητας	Σφάλματα (mm)
1ο επίπεδο	1.0997
2ο επίπεδο	1.1874
Συνένωση των δύο επιπέδων σε ένα πέρνοντας τους μέσους όρους	1.1513

## Αποτελέσματα (IX)

Εφαρμογή του προτεινόμενου αλγορίθμου σε πολλά επίπεδα



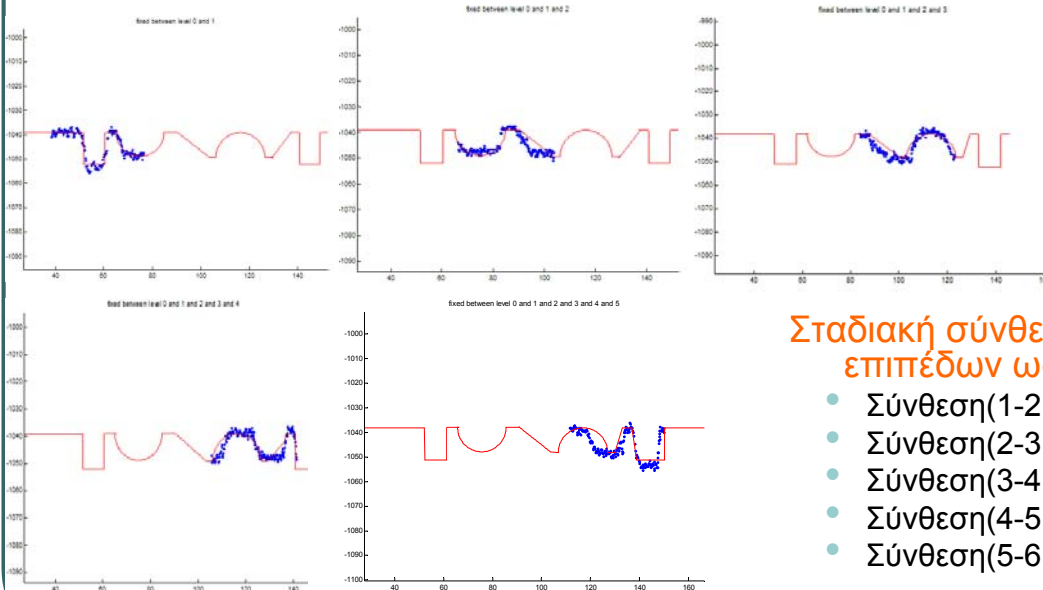
# Αποτελέσματα (X)

## Πίνακας σφαλμάτων ανά επίπεδο

Επίπεδο	Σφάλμα σε μια περιοχή γύρω από το οπτικό κέντρο των καμερών
πρώτο	0.9219mm
δεύτερο	1.2994mm
τρίτο	1.1967mm
τέταρτο	1.6499mm
πέμπτο	1.6379mm
έκτο	1.1760mm
Μέσος όρος σφάλματος επιπέδων	1.3136 mm

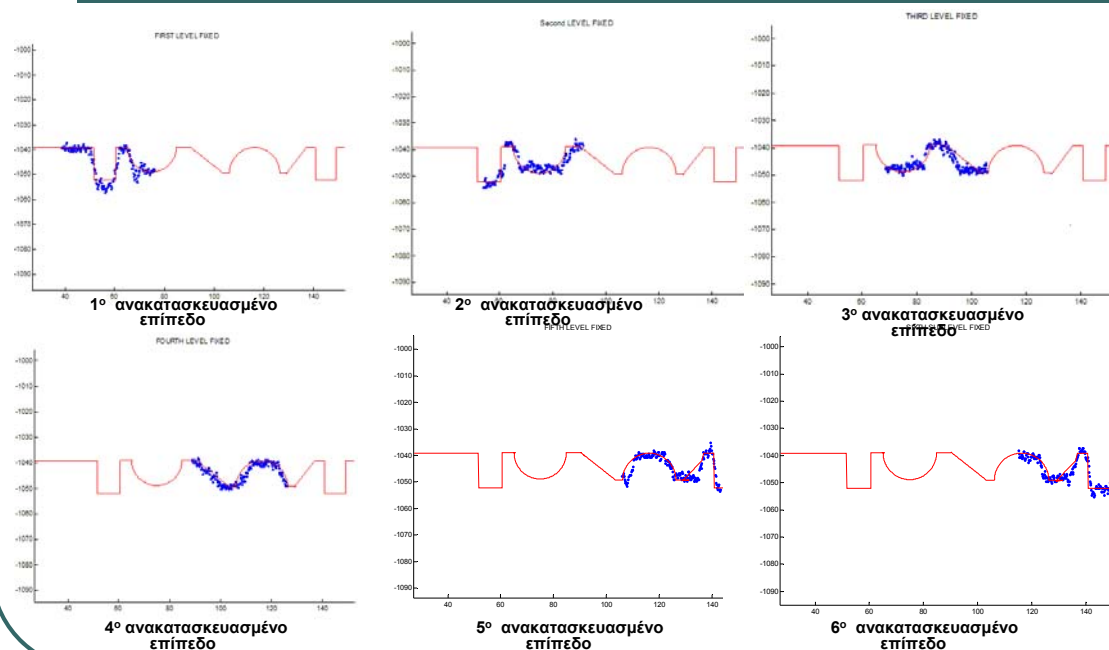
# Αποτελέσματα (XI)

## Σταδιακή σύνθεση των πειραμάτων πολλών επιπέδων



## Αποτελέσματα (XII)

Εφαρμογή του προτεινόμενου αλγορίθμου σε πολλά επίπεδα με μικρότερες αποστάσεις καμερών ( $L_0 = 156\text{mm}$  και  $L_1 = 163\text{mm}$ )



DISPLAY

ΧΑΝΙΑ, ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2014

30

## Αποτελέσματα (XIII)

Πίνακας σφαλμάτων ανά επίπεδο

Επίπεδο	Σφάλμα
Πρώτο	1.1766mm
Δεύτερο	1.7549mm
Τρίτο	1.1426mm
Τέταρτο	2.0248mm
Πέμπτο	2.1715
Έκτο	1.0069mm
Μέσο Σφάλμα	1.1462

DISPLAY

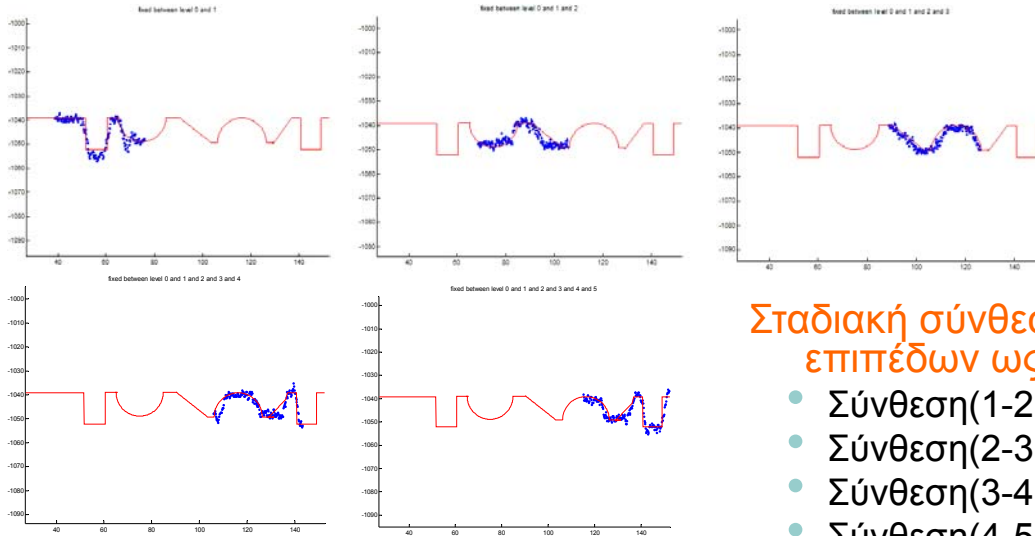
ΧΑΝΙΑ, ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2014

31



# Αποτελέσματα (XIV)

## Σταδιακή σύνθεση των πειραμάτων πολλών επιπέδων



### Σταδιακή σύνθεση των επιπέδων ως εξής:

- Σύνθεση(1-2)
- Σύνθεση(2-3)
- Σύνθεση(3-4)
- Σύνθεση(4-5)
- Σύνθεση(5-6)

DISPLAY

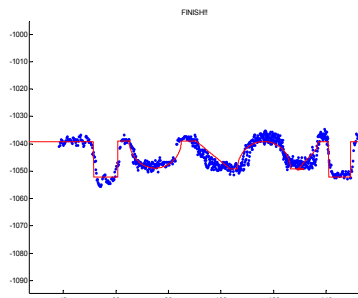
XANIA, NOEMBΡΙΟΣ 2014

32

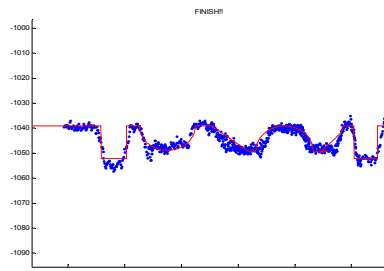
# Αποτελέσματα (XV)

Σύνθεση πειραμάτων πολλών επιπέδων για αποστάσεις καμερών, ανά επίπεδο, μικρές και μεγάλες και παρουσίαση του συγκριτικού πίνακα σφαλμάτων για τις δύο εφαρμογές της προτεινόμενης μεθοδολογίας

**Σφάλμα = 1.1059 mm**  
Σύνθεση για μέγιστες δυνατές αποστάσεις καμερών



**Σφάλμα = 1.1168 mm**  
Σύνθεση για μικρότερες αποστάσεις καμερών



Διαδοχικά Ανακατασκευασμένα επίπεδα:	Σφάλμα σε μια περιοχή γύρω από το οπτικό κέντρο των καμερών(mm)
Πρώτο-δεύτερο	0.9257
Πρώτο-δεύτερο-τρίτο	1.1087
Πρώτο-δεύτερο-τρίτο-τέταρτο	1.1424
Πρώτο-δεύτερο-τρίτο-τέταρτο-πέμπτο	1.1697
Πρώτο-δεύτερο-τρίτο-τέταρτο-πέμπτο-έκτο	1.1760
Μέσος όρος σφαλμάτων ανακατασκευασμένων επιπέδων	1.1045
Διαδοχικά Ανακατασκευασμένα επίπεδα μικρότερων αποστάσεων:	Σφάλμα σε μια περιοχή γύρω από το οπτικό κέντρο των καμερών(mm)
1-2	1.1923
1-2-3	1.3321
1-2-3-4	1.0325
1-2-3-4-5	1.0050
1-2-3-4-5-6	1.0069
Μέσο σφάλμα ανακατασκευασμένων	1.17536

DISPLAY

XANIA, NOEMBΡΙΟΣ 2014

33

# Συμπεράσματα και μελλοντική εργασία

---

- Η εργασία υλοποίησε έναν **οικονομικό** τρισδιάστατο σαρωτή
- Η μεθοδολογία που υλοποιήθηκε, αφήνει μια σχετική ελευθερία στον χρήστη να χρησιμοποιεί όσα οπτικά συστήματα θέλει (πολυεπίπεδη εφαρμογή)
- Πολλές από τις μέχρι στιγμής μεθοδολογίες, κατά τη διαδικασία της δυαδικοποίησης της εικόνας και της μετέπειτα επεξεργασίας της, χρησιμοποιούν διάφορων ειδών κατωφλιώσεις (thresholds), τις οποίες είναι υποχρεωμένος ο ίδιος ο χρήστης να θέτει σαν παραμέτρους στις συναρτήσεις που χρησιμοποιεί σε αντίθεση με τη παρούσα υλοποίηση που δεν απαιτεί κανένα threshold
- Παράγοντες Σφαλμάτων:
  - Η μεγάλη διάχυση του laser οδηγεί μοιραία σε κάποια σφάλματα όσον αφορά την εύρεση της χρήσιμης πληροφορίας του λέιζερ
  - Οι συνθήκες φωτισμού
  - Ηευστάθεια του συστήματος
- Σε επίπεδο έρευνας, κρίνεται σκόπιμο να γίνει μια εφαρμογή της παραπάνω μεθοδολογίας, αλλά με τη μόνη διαφορά ότι οι κάμερες θα βλέπουν υπό γωνία
- Θα μπορούσε να γίνει μια έρευνα σχετικά με αλγορίθμους που εντοπίζουν ακόμα καλύτερα την γραμμή λέιζερ, και την χρήσιμη πληροφορία από αυτή. Ίσως ένας αλγόριθμος που εντοπίζει καλύτερα την χρήσιμη πληροφορία του λέιζερ να αποδώσει καλύτερα αποτελέσματα

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΩ!!!

---

# ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ;;;

---