



# ΑΝΑΠΤΥΣΣΟΝΤΑΣ ΕΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑ ΚΙΝΗΤΗΣ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗΣ ΧΑΜΗΛΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ ΓΙΑ ΤΗ ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ

Δρ. Ηλίας Φρέντζος  
Geonoesis LTD  
efrentzo@geonoesis.com

Δρ. Λευτέρης Τουρνάς, Αν.Καθ. Δημήτριος Σκαρλάτος  
Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο Κύπρου  
(eleftherios.tournas, dimitrios.skarlatos)@cut.ac.cy

11ο ΣΥΝΕΔΡΙΟ  
HELLAS G.I.S 2020  
DIGITAL 18 19 20  
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ



ΙΔΡΥΜΑ  
ΕΡΕΥΝΑΣ ΚΑΙ  
ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑΣ

2016-2020  
**ReSTART**  
SEARCH  
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ ΕΡΕΥΝΑΣ, ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΚΑΙ ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑΣ

# ΔΟΜΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗΣ

- Εισαγωγή
  - Κίνητρο
  - Υπάρχουσες λύσεις
- Υλοποίηση
  - Υποσύστημα Εικόνας
  - Υποσύστημα Θέσης
  - Βαθμονόμηση
- Ολοκλήρωση συστήματος
  - Υποσυστήματα Λογισμικού
  - Πειράματα
- Συμπεράσματα – μελλοντική ανάπτυξη



## ΕΙΣΑΓΩΓΗ - ΚΙΝΗΤΡΟ

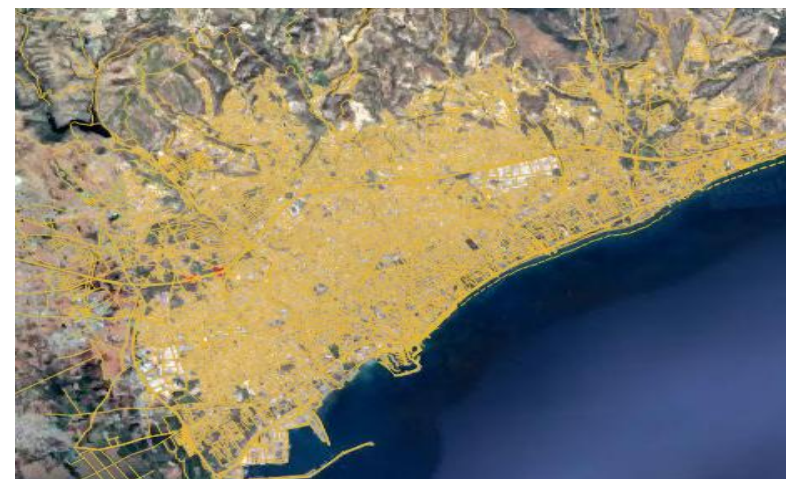
- Ένα μεγάλο ποσοστό κάθε επένδυσης σε GIS οφείλεται στην συλλογή και την επικαιροποίηση των αντίστοιχων γεωχωρικών δεδομένων
  - Αρκετές πηγές ανοιχτών δεδομένων υφίστανται
  - Εντούτοις είναι ακόμα το κύριο μειονέκτημα
- Οι υπάρχουσες λύσεις συλλογής δεδομένων είναι
  - Πάρα πολύ ακριβές και υπερβολικές για αρκετές εφαρμογές
  - Απλώς ακριβές





# ΕΙΣΑΓΩΓΗ - ΚΙΝΗΤΡΟ

- Παράδειγμα – ΑΗΚ (2014):
  - Συλλογή δεδομένων για υποδομές ηλεκτρισμού
  - Ακρίβειες  $< 1$  m
  - Ομάδες πεζών εξοπλισμένες με συσκευές χειρός ή δέκτες GNSS
  - Παραγωγικότητα ανά ομάδα περίπου 10 km/ημέρα
  - Κόστος 20 ανθρωποημέρες ανά 100 km



# ΠΙΘΑΝΗ ΛΥΣΗ 1 (+)

Παραδοσιακά συστήματα κινητής χαρτογράφησης με σαρωτές Laser και κάμερες

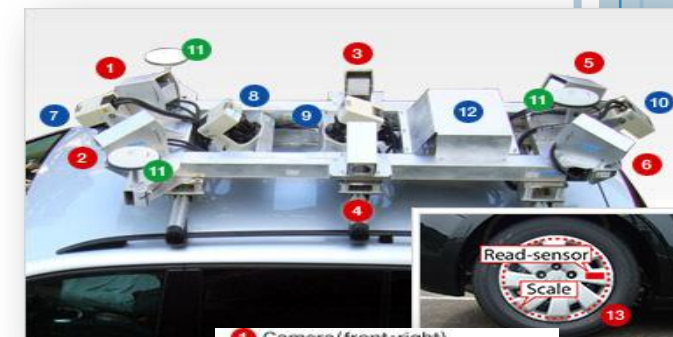
- Ταχεία απόκτηση δεδομένων πεδίου
  - Ελαχιστοποίηση του χρόνου πεδίου
  - Δυνατότητα τεκμηρίωσης και ανάκτησης δεδομένων
  - Εύκολο στη χρήση
  - Υψηλή ακρίβεια
  - Δυνατότητα μελλοντικής επαναχρησιμοποίησης δεδομένων
- Αλλά...



# ΠΙΘΑΝΗ ΛΥΣΗ 1 (-)

Παραδοσιακά συστήματα κινητής χαρτογράφησης με σαρωτές Laser και κάμερες

- Αυξημένη αρχική επένδυση (>> 200.000 € ~ 250.000-300.000)
- Η επένδυση είναι ένα ενιαίο κλειστό σύστημα
- Πρόσθετο κόστος προσαρμογής (?)
- Υψηλός ρυθμός δεδομένων και αποθήκευσης
- Υψηλή ακρίβεια
- Υπερβολικά δεδομένα για πολλές εφαρμογές



- 1 Camera (front; right)
- 2 Camera (front; left)
- 3 Camera (side; right)
- 4 Camera (side; left)
- 5 Camera (rear; right)
- 6 Camera (rear; left)
- 7 Laser scanner (front; downward)
- 8 Laser scanner (rear; upward)
- 9 Laser scanner (front; upward)
- 10 Laser scanner (rear; downward)
- 11 GPS antenna
- 12 IMU
- 13 In-wheel odometer

Mistubishi Electric





## ΠΙΘΑΝΗ ΛΥΣΗ – 2

- GPS μονής συχνότητας με PPK
- Μονή κάμερα
- Χρήση πολλών συσκευών συγχρόνως



[imaging.eu](http://imaging.eu)



# ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ – Η ΠΡΟΤΑΣΗ ΜΑΣ

- Σε αυτήν την εργασία παρουσιάζουμε ένα σύστημα κινητής χαρτογράφησης χαμηλού κόστους το οποίο συγχωνεύει δύο υποσυστήματα:
  - Υποσύστημα εικόνας (κάμερες μηχανικής όρασης)
  - Υποσύστημα θέσης (GPS/GNSS και INS)
- Πλεονεκτήματα της προτεινόμενης λύσης
  - Σύστημα χαμηλού κόστους
  - Υψηλή παραγωγικότητα
  - Επιτρέπει την ανάπτυξη περισσότερων του ενός συστήματος
  - Παρέχει τεκμηρίωση και ανάκτηση των δεδομένων που παράγονται
  - Επιτρέπει την επανάχρηση των πρωτογενών δεδομένων που συλλέγονται





# ΥΠΟΣΥΣΤΗΜΑ ΕΙΚΟΝΑΣ



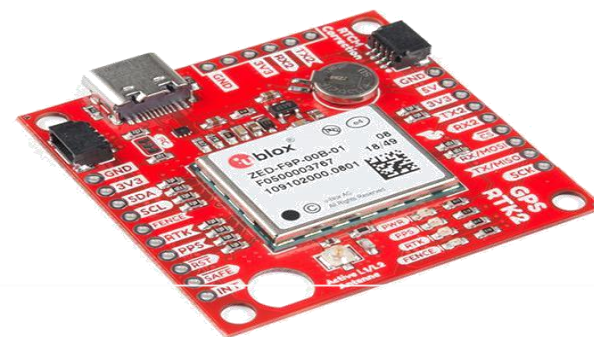
2 x FLIR Blackfly S Color 5.0 MP USB3 Vision (Sony IMX250) με κατάλληλους φακούς

Συγχρονισμός μεταξύ των καμερών επιτυγχάνεται μέσω καλωδίων με ακρίβεια συγχρονισμού κάτω από nanosec



# ΥΠΟΣΥΣΤΗΜΑ ΘΕΣΗΣ

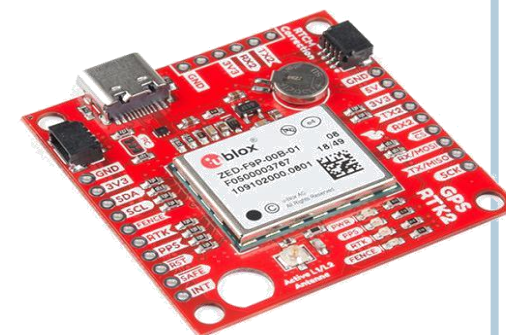
- Κεραία TW7872 GPS L1/L2, GLONASS G1/G2, BeiDou B1, Galileo E1 Antenna, Magnetic Mount, 32dB Gain, Dual Feed
- Υψηλής ακρίβειας και χαμηλού κόστους RTK - GPS U-blox ZED-F9P module
- Χαμηλού κόστους αδρανειακό σύστημα Xsens MTi-7 (Development Kit)





# ΥΠΟΣΥΣΤΗΜΑ ΘΕΣΗΣ: GPS

- Η πλακέτα Ublox GPS/GNSS F9P παρέχει λύσεις πραγματικού χρόνου (RTK) με ακρίβεια εκατοστού (0.01 m+ 1 ppm CEP horizontally και 0.01m +1 ppm CEP vertically)
- Χρόνος σύγκλισης (fix)
  - Σύμφωνα με τη Ublox <10 sec
  - Σύμφωνα με τα πειράματά μας < 1 λεπτό σε συνθήκες ανοιχτού ορίζοντα
- Μεταδίδει NMEA strings (λύσεις), πρωτογενή δεδομένα GPS και GPS PPS (Pulse Per Second) μέσω της διεπαφής USB.





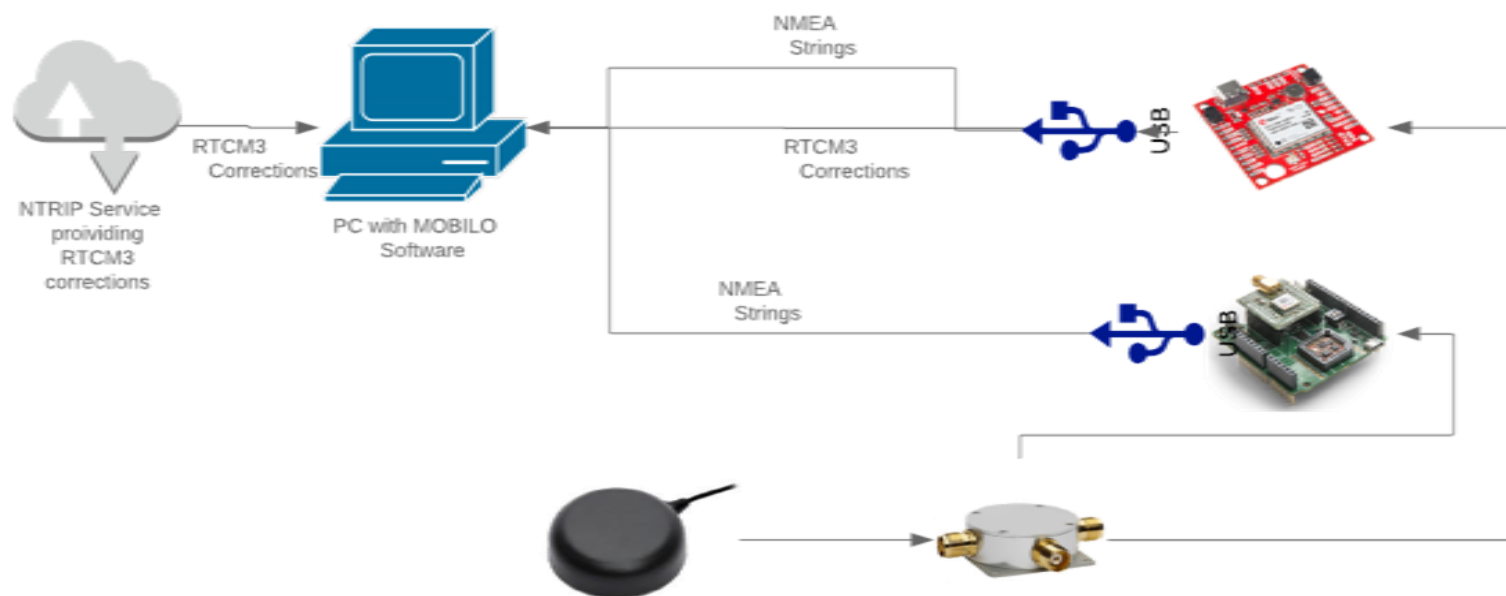
# ΥΠΟΣΥΣΤΗΜΑ ΘΕΣΗΣ: INS

- Πλακέτα Xsens MTI-7-DK η οποία παρέχει δεδομένα στροφών
  - RMS Roll/pitch (στατικό – δυναμικό) of  $0.5^\circ$
  - RMS Yaw (δυναμικό)  $1.5^\circ$ .
- Δεδομένα θέσης
  - 1 m οριζόντια
  - 2 m κατακόρυφα
- Οι επιλύσεις θέσης που παρέχονται προκύπτουν συνδυάζοντας τα δεδομένα θέσης και στροφής χρησιμοποιώντας φίλτρα Kalman, απευθείας στην πλακέτα



# ΥΠΟΣΥΣΤΗΜΑ ΘΕΣΗΣ: ΟΛΟΚΛΗΡΩΣΗ

- Και οι δύο πλακέτες (GPS και INS) λαμβάνουν σήματα GNSS χρησιμοποιώντας μία κεραία L1/L2 και ένα διαιρέτη σήματος (splitter)

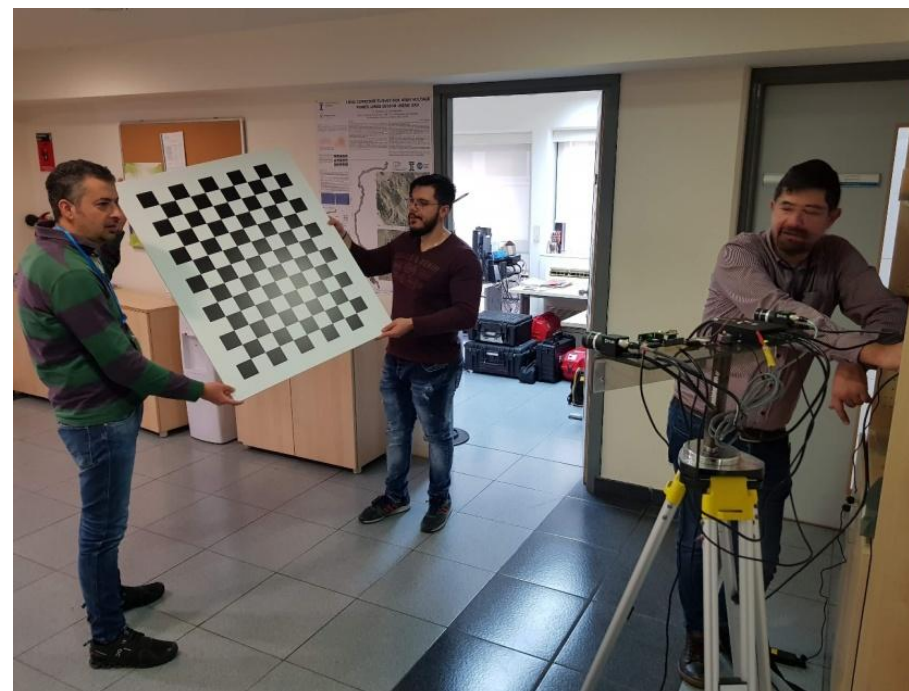






# ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

- Ο εσωτερικός και σχετικός προσανατολισμός μεταξύ των δύο καμερών υπολογίζεται χρησιμοποιώντας τη βιβλιοθήκη OpenCV
- Οι κάμερες μοντελοποιούνται χρησιμοποιώντας το μοντέλο οπής (pinhole model)
- Μία σκακιέρα χρησιμοποιείται για πρότυπο βαθμονόμησης
- Υπολογίζεται η ακτινική διαστρόφη

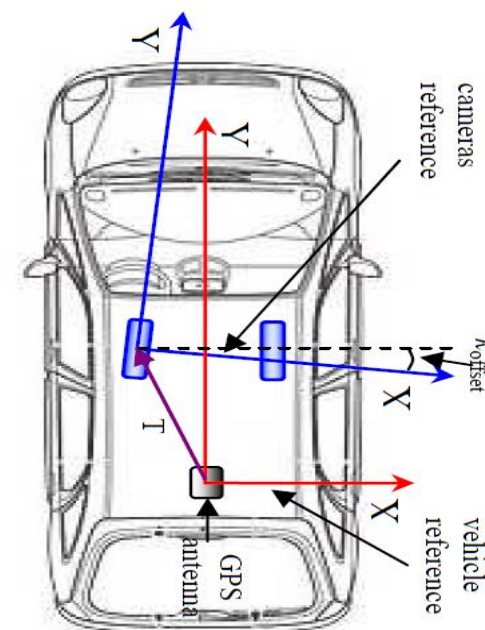






# ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΙΣΗΣ

- Ο εξωτερικός προσανατολισμός των καμερών τυπικά λαμβάνεται από το υποσύστημα θέσης σε σχέση με την πρώτη κάμερα
- Το σφάλμα ευθυγράμμισης αποτελείται από γραμμικές και γωνιακές διορθώσεις
- Οι διορθώσεις υπολογίζονται από τη «διαφορά» μεταξύ μίας αρχικής οπισθοτομίας της αριστερά κάμερας σε ένα πεδίο ελέγχου λαμβάνοντας ταυτόχρονα δεδομένα από τα GNSS / INS (θέση και στροφή)



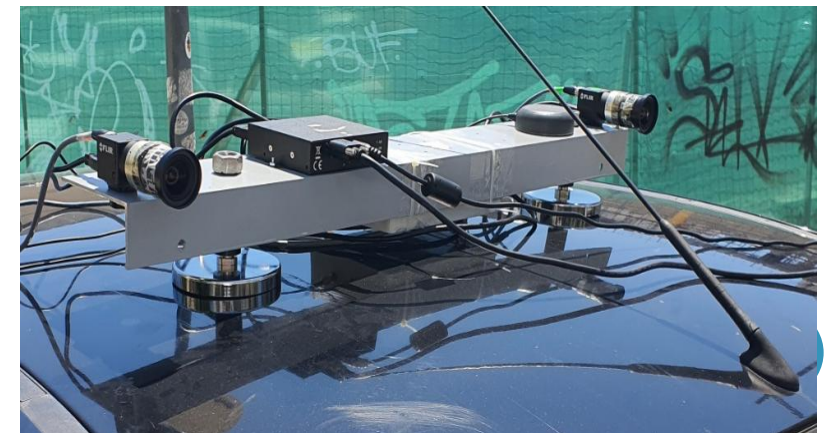
## ΣΥΓΧΡΟΝΙΣΜΟΣ

- Ο συγχρονισμός μεταξύ των υποσυστημάτων εικόνων και θέσης επιτυγχάνεται μέσω μίας φυσικής διεπαφής GPIO (καλώδιο)
- Η πλακέτα GPS μεταδίδει σήματα PPS που χρησιμοποιούνται για την εκκίνηση της διαδικασίας λήψης εικόνας από τις δύο κάμερες μέσω της διεπαφής GPIO
- Ο συγχρονισμός που επιτυγχάνεται με αυτό τον τρόπο φτάνει μέχρι και nanosec, επιτρέποντάς μας να χρησιμοποιήσουμε το σύστημα σε όχημα που αναπτύσσει μεγάλες ταχύτητες



# ΟΛΟΚΛΗΡΩΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

- Τοποθέτηση του συνόλου των συστατικών επάνω σε φορέα και βαθμονόμησή του
- Συστατικά λογισμικού που έχουν αναπτυχθεί και υποστηρίζουν το σύστημα
  - Εργαλείο βαθμονόμησης
  - Εργαλείο συλλογής
  - Εργαλείο επεξεργασίας



# ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ (1): ΕΡΓΑΛΕΙΟ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗΣ



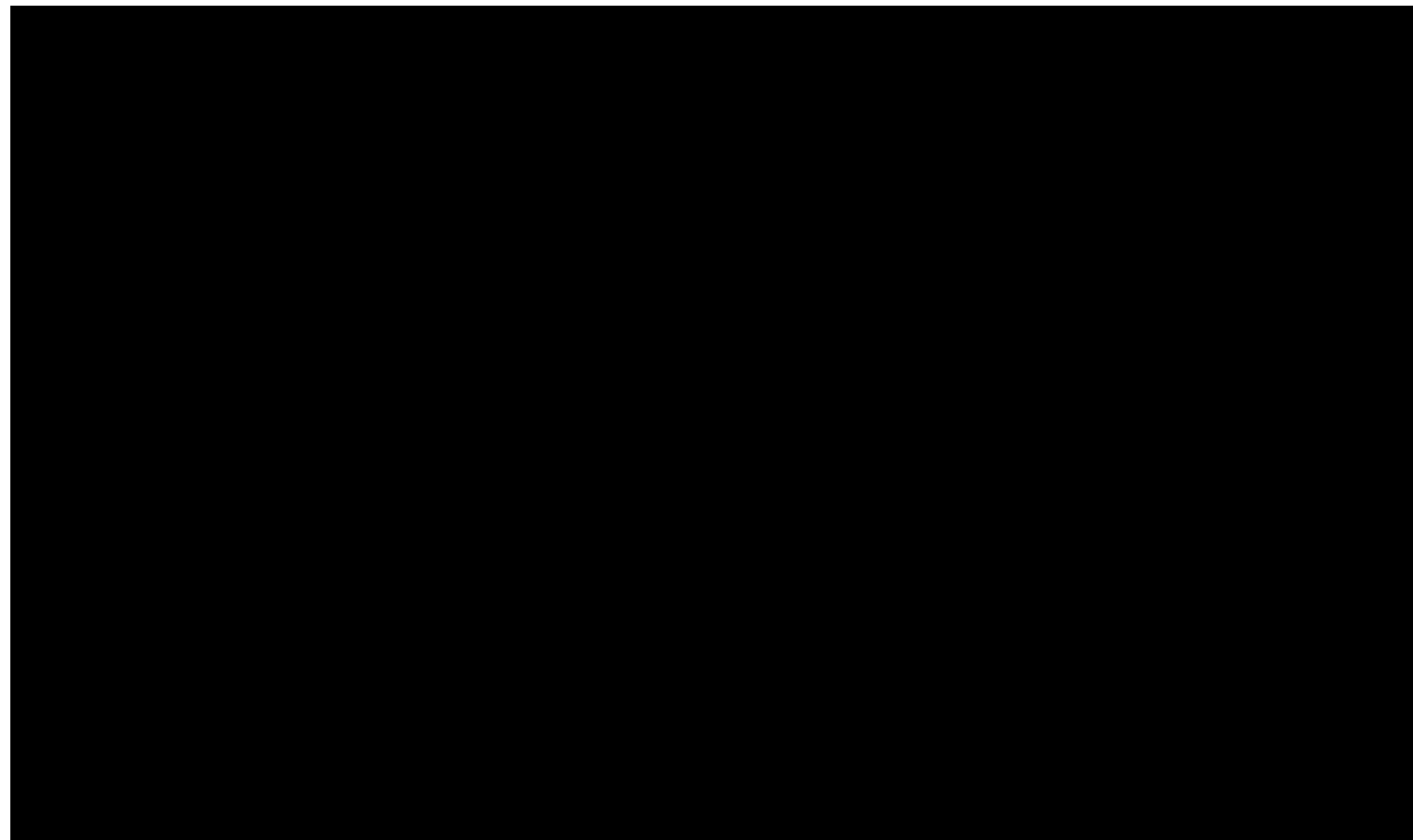
- Υπολογισμός εσωτερικού προσανατολισμού
- Αυτόματη αναγνώριση θέσεων σκακιέρας
- Επιτρέπει την προβολή και χειροκίνητη διόρθωση των θέσεων
- Επιτρέπει την συμπερίληψη / απόρριψη των παρατηρήσεων, την εισαγωγή νέων ή την διαγραφή τους
- Εμφανίζει τα εναπομείναντα σφάλματα μετά τον υπολογισμό.

	X	Y	Error XY
▶	1725.516	1398.074	0.197
	1650.117	1342.255	0.198
	1573.972	1285.746	0.121
	1496.874	1228.701	0.048
	1419.104	1170.988	0.130



# ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ (1): ΕΡΓΑΛΕΙΟ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗΣ

- Υπολογισμός σχετικού προσανατολισμού
- Αυτόματη αναγνώριση θέσεων σκακιάρας επάνω στη στερεοσκοπική κάμερα
- Επιτρέπει την προβολή και χειροκίνητη διόρθωση των θέσεων
- Επιτρέπει την συμπίληψη / απόρριψη των παρατηρήσεων, την εισαγωγή νέων ή την διαγραφή τους
- Εμφανίζει τα εναπομείναντα σφάλματα μετά τον υπολογισμό.

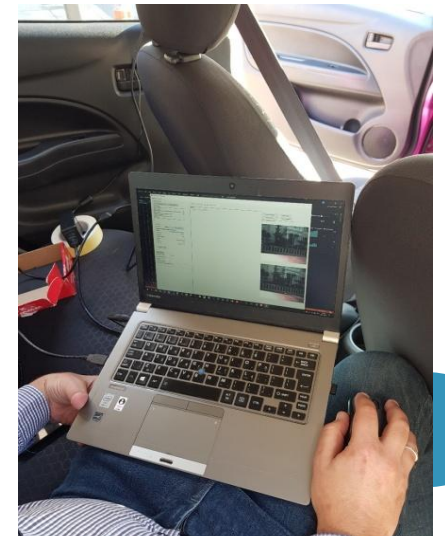
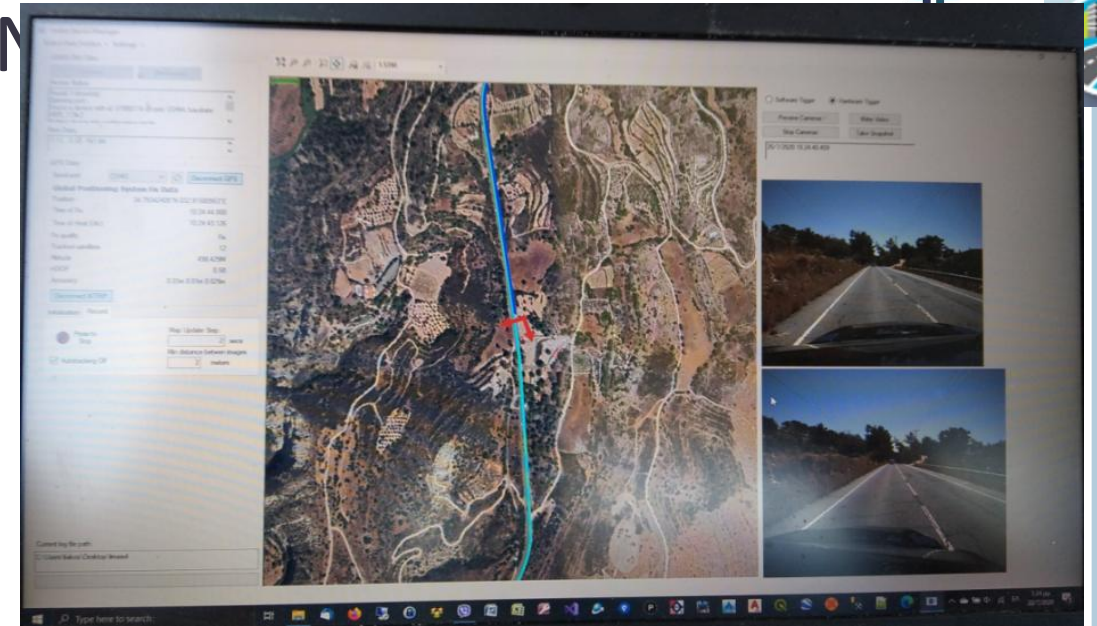




# ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ (2):

## ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΣΥΛΟΓΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

- Προβάλλει την τρέχουσα τις προηγούμενες θέσεις του οχήματος
  - Την κατάσταση των GPS και INS
  - Snapshot των εικόνων που λαμβάνονται
- Συνδέεται σε παρόχους δεδομένων διόρθωσης θέσης (CYPOS, HEPOS κλπ) και μεταδίδει τις διορθώσεις στην πλακέτα GPS / GNSS
- Επιτρέπει τον έλεγχο βασικών παραμέτρων (π.χ. συχνότητα λήψη εικόνων κλπ)
- Υποστηρίζει διάφορους χάρτες υποβάθρων (raster / vector)





# ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ:

## ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

- Δείχνει την πορεία του οχήματος επάνω στον χάρτη
- Παρέχει εργαλεία πλοήγησης επάνω μέσα στα δεδομένα
- Υποστηρίζει διάφορα υπόβαθρα
- Επιτρέπει την ψηφιοποίηση σημείων και γραμμών, την μέτρηση αποστάσεων κ.α.

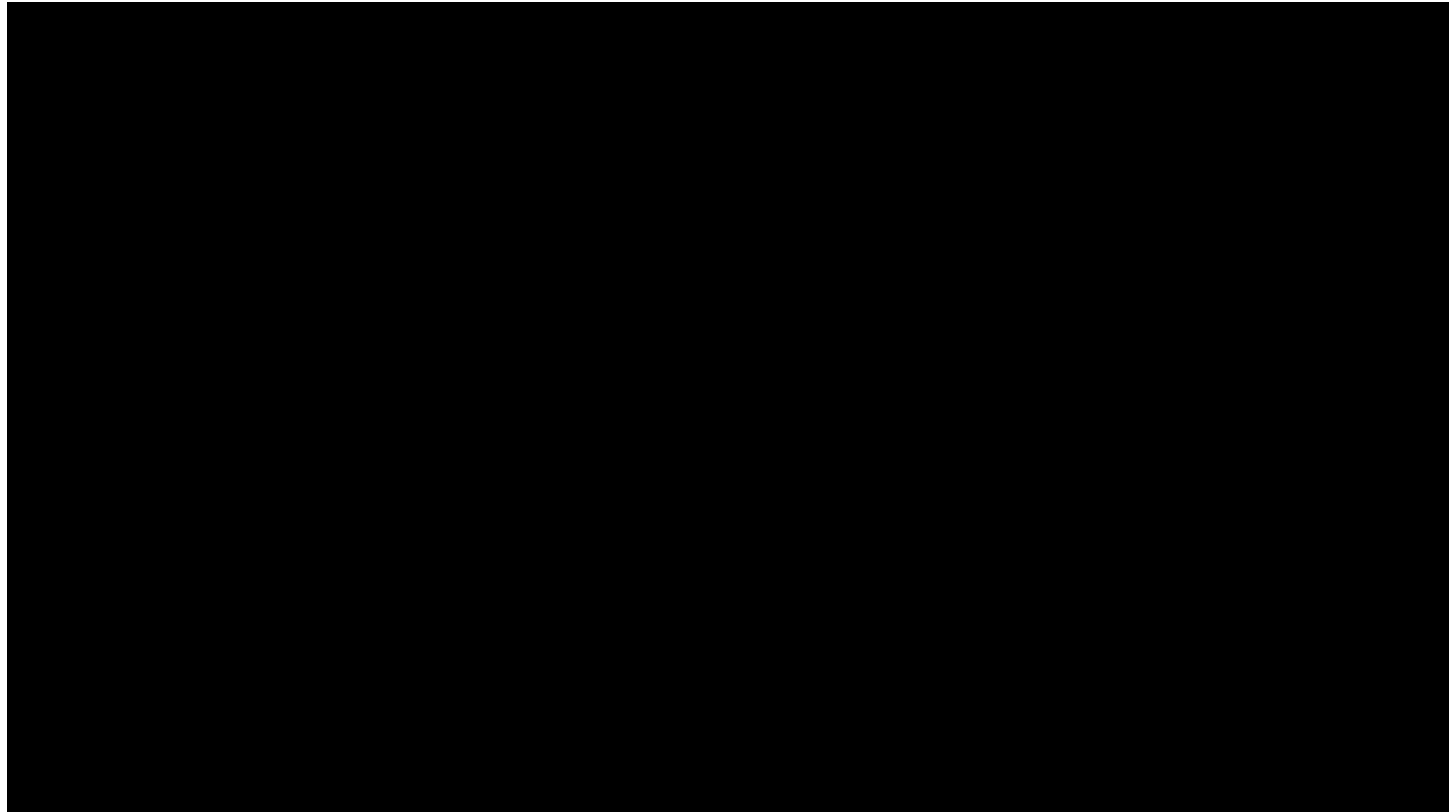


# ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ:

## ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ



- Όλες οι εργασίες επί των εικόνων γίνονται μονοσκοπικά ενώ αυτόματη ταύτιση τρέχει στο υπόβαθρο επιτρέποντας τους υπολογισμούς σε 3 διαστάσεις
- Επομένως ο χρήστης μπορεί να χρησιμοποιήσει την αριστερή ή δεξιά εικόνα του κάθε καρέ για να λάβει μετρήσεις και να ψηφιοποιήσει στοιχεία



# ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ: ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗΣ

- Η ακρίβεια που επιτυγχάνεται είναι τυπική για τις φωτογραμμετρικές διαδικασίες που χρησιμοποιούνται
- Τα αποτελέσματα είναι εντός των αναμενόμενων ορίων

	Εσωτερικός		Σχετικός*
	αριστερή κάμερα	δεξιά κάμερα	
Πλήθος εικόνων	95	103	47
Πλήθος παρατηρήσεων	8360	9060	4136
Υπολειπόμενα σφάλματα (pixel)	0.504	0.524	0.94

\*ζεύγη εικόνων



# ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ: ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ

- Δύο επιμήκη πεδία ελέγχου με φυσικούς στόχους μετρήθηκαν χρησιμοποιώντας RTK GPS / GNSS σε αστικές οδούς
- Οι φυσικοί στόχοι αναγνωρίστηκαν και σκοπεύθηκαν μέσω του συστήματός μας στο γραφείο. Όλοι οι στόχοι ήταν σε απόσταση μικρότερη των 20 m από την κάμερα
- Το μέσο σφάλμα στον υπολογισμό της θέσης προκύπτει μικρότερο από 0.50 m

	XY (m)	Z (m)	Διαστάσεις (%)
Μέσο σφάλμα	0.38	0.30	10.9
Τυπική απόκλιση	0.26	0.33	4.8



## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Προτείνουμε ένα σύστημα κινητής χαρτογράφησης χαμηλού κόστους
- Παρέχουμε λογισμικό για βαθμονόμηση του συστήματος, συλλογή και επεξεργασία δεδομένων
- Παρέχουμε τη δυνατότητα μονοσκοπικής ψηφιοποίησης επί εικόνων
- Η απόλυτη ακρίβεια που επιτυγχάνουμε είναι μικρότερη από 0,5 m
- Μελλοντική εργασία περιλαμβάνει
  - Αύξηση ακρίβειας
  - Ενσωμάτωση δυνατότητας αναγνώρισης σημάτων κυκλοφορίας



# Ευχαριστώ!

<https://mobilo-research.weebly.com/>



ΙΔΡΥΜΑ  
ΕΡΕΥΝΑΣ ΚΑΙ  
ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑΣ

