

Χρήση μη επανδρωμένου αεροναυτικού σκάφους για τη δημιουργία τοπογραφικών διαγραμμάτων μεγάλης κλίμακας

Τσιούκας Βασίλειος, Πικριδάς Χρήστος, Σπαταλάς Σπυρίδων, Φωτίου Αριστείδης

Τομέας Γεωδαισίας και Τοπογραφίας, Πολυτεχνική Σχολή, ΤΑΤΜ - ΑΠΘ.

Περίληψη: Η παρούσα εργασία προτείνει τη χρήση ενός μη επανδρωμένου αεροναυτικού σκάφους (UAV – Unmanned Aerial Vehicle ή αλλιώς και UAS - Unmanned Aircraft System) που φέρει κατάλληλο φωτογραφικό αισθητήρα και GPS που μπορεί να καλύψει στερεοσκοπικά μια περιοχή του εδάφους που πρέπει να αποτυπωθεί με μεγάλη ακρίβεια αλλά και αποτελεσματικότητα. Ο προγραμματισμός πτήσης γίνεται με μεγάλη ευκολία με τη βοήθεια ενσωματωμένου GPS ενώ δεν απαιτείται καμία γνώση τηλεχειρισμού της συσκευής. Η φωτογραφική μηχανή βαθμονομείται κατάλληλα με χρήση ενσωματωμένης λειτουργίας φωτογραμμετρικού λογισμικού. Οι εναέριες λήψεις επεξεργάζονται κατάλληλα ώστε να παραχθεί με αυτοματοποιημένη διαδικασία ο σχετικός προσανατολισμός των εικόνων και τα κλασικά φωτογραμμετρικά προϊόντα (Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους, Ορθοεικόνα) εκμεταλλεύόμενοι και τις μετρήσεις GPS (φωτοσταθερά) που λαμβάνονται μέσω της κινηματικής μεθόδου από κατάλληλο επίγειο δέκτη GPS.

1. Εισαγωγή

Η χρήση ρομποτικών συσκευών για την παρακολούθηση, αποτύπωση και καταγραφή του δομημένου και φυσικού περιβάλλοντος, έχει αυξηθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια. Η ανάπτυξη και χρήση ρομποτικών συσκευών, που διαθέτουν πληθώρα αισθητήρων και μπορούν να υποκαταστήσουν τον άνθρωπο σε διάφορες εργασίες, αποτελεί κοινή πρακτική στις επιστήμες των μηχανικών και δεν αποτελεί εξαίρεση το επιστημονικό πεδίο του Αγρονόμου Τοπογράφου Μηχανικού. Για παράδειγμα η δημιουργία του πρώτου ρομποτικού γεωδαιτικού σταθμού στα τέλη της δεκαετίας του 1990 σήμανε την αρχή μιας νέας εποχής στην επιστήμη της Τοπογραφίας, καθώς μετά από μερικά χρόνια οδήγησε στην ανάπτυξη των σαρωτών laser που υποκαθιστούν την οπτική παρατήρηση και χειροκίνητη μέτρηση των χαρακτηριστικών σημείων ενός αντικειμένου από σύντομη αυτόματη μέτρηση ενός τεράστιου νέφους σημείων με μεγάλη ακρίβεια, προκειμένου να οδηγήσουν στην πλήρη γεωμετρική του απεικόνιση και μοντελοποίηση.

Η φωτογραμμετρία, σε συνδυασμό με τη σάρωση με χρήση laser, έχει βοηθήσει σημαντικά στην αυτοματοποίηση της αποτύπωσης με την ανάπτυξη τεχνικών και

μεθόδων για την δημιουργία κυρίως ψηφιακών μοντέλων εδάφους αλλά και τοπογραφικών διαγραμμάτων σε διάφορες κλίμακες. Ωστόσο, σε πολύ μεγάλες κλίμακες (πχ. 1:200 ή 1:500) η τοπογραφική τεκμηρίωση μεγάλων εκτάσεων μπορεί να αποβεί χρονοβόρα και οικονομικά ασύμφορη ενώ η χρήση της κλασικής φωτογραμμετρικής λύσης (ή/και με χρήση LIDAR δεδομένων) είναι επίσης ανέφικτη και οικονομικά ασύμφορη.

Σε πολλές λοιπόν περιπτώσεις απαιτείται μια λύση που θα μπορέσει άμεσα και με χαμηλό κόστος να παράσχει παρόμοια αποτελέσματα (τοπογραφική ακρίβεια, φωτογραμμετρική πληρότητα και ταχύτητα σάρωσης) σε μεγάλες κλίμακες για ένα μεγάλο εύρος εφαρμογών (αρχαιολογικές, οδοποιίας, ανάλυσης και διαχείρισης κινδύνου, κτλ).

Η ανάγκη για την αποτύπωση μεγάλων εκτάσεων σε μικρό χρονικό διάστημα έχει οδηγήσει αναπόφευκτα τους Αγρονόμους Τοπογράφους Μηχανικούς στη χρήση και συγχώνευση διαφόρων τεχνικών και τεχνολογικών προσεγγίσεων. Η κλασική τοπογραφική μέθοδος αποτύπωσης (με χρήση χωροβάτη και γεωδαιτικού σταθμού) πρέπει να συνδυάζεται με τις νέες τεχνολογίες αποτύπωσης με GPS και ιδιαίτερα με την κινηματική μέθοδο προκειμένου να πραγματοποιούνται αποτυπώσεις με μικρό χρόνο παραμονής στο πεδίο και με μεγάλη ακρίβεια (κατάλληλη για παραγωγή τοπογραφικού διαγράμματος σε κλίμακες 1:200 ή 1:500). Ωστόσο, η αποτύπωση μιας περιοχής με χρήση GPS δεν είναι φωτογραφική (επομένως και συνεχής), ενώ επιπλέον το τελικό προϊόν συνήθως θα πρέπει να επεξεργαστεί σε περιβάλλον CAD ώστε να παραχθεί το τελικό τοπογραφικό διάγραμμα. Επομένως, συνιστάται η χρήση ενός φωτογραμμετρικού λογισμικού που θα ενοποιεί τις μετρήσεις με την εικονική πληροφορία δορυφορικών εικόνων ή αεροφωτογραφιών ενώ επιπλέον θα πρέπει να δίνεται άμεσα η δυνατότητα για την ψηφιοποίηση διανυσματικών δεδομένων (σημεία, γραμμές και πολύγωνα) για τη δημιουργία χάρτη ή ορθοφωτοχάρτη. Ακόμα, η ενσωμάτωση τεχνικών εικονικής πραγματικότητας και μηχανικής όρασης σε κλασικά λογισμικά φωτογραμμετρικής επεξεργασίας έχουν οδηγήσει στην παραγωγή νέων ψηφιακών εποπτικών μέσων που ενισχύουν την τεκμηρίωση μιας έκτασης (Σπαταλάς κα, 2006).

2. Λήψη εικόνων για φωτογραμμετρική επεξεργασία με το μη επανδρωμένο αεροναυτικό σκάφος (UAV)

Για το σκοπό της συγκεκριμένης εφαρμογής και χάριν παραδείγματος δημιουργήθηκε ένα σενάριο που περιλαμβάνει την αποτύπωση μιας έκτασης που πρέπει άμεσα, με το μεγαλύτερο βαθμό αυτοματοποίησης και το μικρότερο χρόνο παραμονής στο πεδίο να αποτυπωθεί σε κλίμακα 1:500 (ή 1:1000). Η έκταση που επιλέχθηκε για την εφαρμογή της μεθοδολογίας βρίσκεται στη Θέρμη της Θεσσαλονίκης εμβαδού 150 στρεμμάτων περίπου που στο μεγαλύτερο μέρος της αποτελείται από τις αθλητικές εγκαταστάσεις του ΤΕΦΑΑ Θέρμης του ΑΠΘ. Στον ίδιο χώρο είναι

ήδη εγκατεστημένος μόνιμος σταθμός GPS του Τμήματος Αγρ. Τοπογράφων Μηχανικών του ΑΠΘ, που συμμετέχει στο Ευρωπαϊκό δίκτυο μόνιμων σταθμών GPS EPN/EUREF (<http://www.epncb.oma.be>) ενώ επιπλέον μπορεί μέσω της τεχνικής NTRIP να παρέχει δεδομένα για προσδιορισμό θέσης σε πραγματικό χρόνο (RTK).

Το πρωτόκολλο NTRIP (Networked Transport of RTCM via Internet Protocol) είναι γενικά, μία τεχνική που σχεδιάστηκε από το Ομοσπονδιακό Χαρτογραφικό και Γεωδαιτικό οργανισμό της Γερμανίας (Bundesamt für Kartografie und Geodäsie-BKG) με σκοπό την συνεχή ροή-διάχυση (streaming) δεδομένων από τα Παγκόσμια Δορυφορικά Συστήματα Προσδιορισμού Θέσης (GNSS) προς κάθε χρήστη μέσω του διαδικτύου. Πρακτικά, είναι ένα γενικό ανοικτό πρωτόκολλο βασισμένο στο γνωστό πρωτόκολλο HTTP/v.1.1 (HyperText Transfer Protocol). Η αποστολή των δεδομένων μπορεί να γίνει σε οποιοδήποτε σταθερό ή κινητό χρήστη (δέκτη) επιτρέποντας ταυτόχρονη σύνδεση μέσω σταθερού, φορητού H/Y (με λειτουργικό σύστημα Windows ή και Linux), ή και δεκτών GNSS με τον σχετικό μεταδότη-διακομιστή. Επίσης, το συγκεκριμένο πρωτόκολλο υποστηρίζει και τη χρήση του ασύρματου διαδικτύου (wireless Internet) μέσω μη σταθερών IP συνδέσεων, όπως επιτυγχάνεται με τη χρήση κινητών τηλεφώνων (GSM-Global System for Mobile Communication) και μελλοντικά με τη χρήση UMTS (Universal Mobile Telecommunications Service), υπηρεσία που αναφέρεται στην τρίτης γενιάς κινητή τηλεφωνία. Όλα τα τεχνικά χαρακτηριστικά συναντώνται και στον διακομιστή (NtripCaster) που έχει εγκαταστήσει και διαχειρίζεται η αντίστοιχη ερευνητική ομάδα του τομέα Γεωδαισίας και Τοπογραφίας του ΑΠΘ (αποτελείται κυρίως από τους κ.κ. Α. Φωτίου, Χ. Πικριδά και Δ. Ρωσσικόπουλο) από τον Οκτώβριο του 2008 (<http://users.auth.gr/cpik>). Ο συγκεκριμένος διακομιστής που έχει την ονομασία «ΕΡΜΗΣ» συλλέγει δεδομένα πραγματικού χρόνου από αρκετούς μόνιμους σταθμούς GNSS πέντε από τους οποίους αποτελούν και το κυρίως δίκτυο μόνιμων σταθμών του ΤΑΤΜ/ΑΠΘ, καλύπτοντας στο σύνολό τους το μεγαλύτερο μέρος της Β. Ελλάδας. Τα εκπεμπόμενα δεδομένα ακολουθούν τους τύπους μηνυμάτων τόσο των εκδόσεων 2.x όσο και της έκδοσης 3.0, μαζί με τις αντίστοιχες βελτιώσεις της, ώστε να μπορούν να καλύψουν το μεγαλύτερο μέρος των δεκτών που διατίθενται στο εμπόριο. Η σύνδεση με το «ΕΡΜΗΣ» μπορεί να πραγματοποιηθεί από εγγεγραμμένους χρήστες στο σύστημα ύστερα από επιτυχή σύνδεση με το διαδίκτυο. Παράλληλα, με τη μετάδοση των δεδομένων πραγματικού χρόνου, κατάλληλο λογισμικό ελέγχει την σταθερότητα των συντεταγμένων είτε του σημείου αναφοράς είτε του κέντρου φάσης της κεραίας κάθε δέκτη, με σκοπό την αποφυγή αποστολής λανθασμένων συντεταγμένων στους εκάστοτε χρήστες. Ο τύπος του μηνύματος δεδομένων που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εφαρμογή ήταν η έκδοση RTCM v3.0. Η αρχική της έκδοση αποτελείται κυρίως από τύπους μηνυμάτων που σχεδιάστηκαν για να υποστηρίξουν αφενός εφαρμογές RTK, τόσο με το σύστημα GPS όσο και με το σύστημα GLONASS, και αφετέρου την εκπομπή διορθώσεων από πολλούς μόνιμους σταθμούς (Network-RTK). Τα μηνύματα χωρίζονται σε διάφορες ομάδες (groups) και έχουν το πλεονέκτημα ότι διαφορετι-

κά μηνύματα σε κάθε ομάδα περιέχουν παρόμοια πληροφορία. Το αποτέλεσμα των παραπάνω οδηγεί στο συνδυασμό και την εξοικονόμηση του «φόρτου» εκπομπής κατά την χρήσης τους. Ερμηνεύοντας λοιπόν με τεχνικούς όρους, η έκδοση 3.0 απαιτεί μικρότερο εύρος ζώνης (bandwidth) και παρουσιάζει περισσότερα πλεονεκτήματα σε σχέση με την προηγούμενη έκδοση 2 και τις αντίστοιχες βελτιώσεις της.

Για τη λήψη των εικόνων, που χρησιμοποιούνται ως βασική πηγή δεδομένων και υπόβαθρο για την εξαγωγή ακριβούς γεωμετρικής πληροφορίας, επιλέχθηκε η χρήση ενός μη επανδρωμένου αεροναυτικού σκάφους (UAV – Unmanned Aerial Vehicle) που φέρει μια κοινή ψηφιακή φωτογραφική μηχανή και αισθητήρα GPS. Ως UAV θεωρείται μία ιπτάμενη μη επανδρωμένη συσκευή, το οποίο έχει αναπτυχθεί και χρησιμοποιείται για επιστημονικούς, ερευνητικούς ή στρατιωτικούς σκοπούς. Τα UAV δεν θεωρούνται αερομοντέλα, και τα αερομοντέλα δεν θεωρούνται UAV (ΦΕΚ Β 9 - 13.01.2010 Κανονισμός Πτήσεων Αερομοντέλων).

Η επιλογή της συγκεκριμένης τεχνολογίας γίνεται λόγω του μειωμένου κόστους πτήσης και της υψηλής ανάλυσης των εικόνων που μπορεί να διαθέσει για μικρό ύψος πτήσης. Σε διαφορετική περίπτωση θα έπρεπε να διερευνηθεί η δυνατότητα πτήσης επανδρωμένου αεροσκάφους ή ελικόπτερου που επιβαρύνει σημαντικά τον προϋπολογισμό μιας ενδεχόμενης αποτύπωσης, ενώ η χρήση δορυφορικών εικόνων λόγω μειωμένης ανάλυσης των εμπορικά διαθέσιμων εικόνων δεν καλύπτει τις προδιαγραφές για την επίτευξη της απαιτούμενης ανάλυσης και της αντίστοιχης ακρίβειας υπολογισμού των φωτογραμμετρικών προϊόντων.

Συγκεκριμένα σε συνεργασία με την εταιρία GeoSense, χρησιμοποιήθηκε η συσκευή Swinglet CAM που φέρει ψηφιακή φωτογραφική μηχανή (Canon Ixus HS 220) με δυνατότητα λήψης εικόνων με ανάλυση των 12 Mpixel.

Επιπλέον, το σκάφος διαθέτει σύστημα προγραμματισμού πτή-



Εικόνα 1. Η συσκευή UAV στα χέρια μας

σης, αυτόματης πλοήγησης (χωρίς τη χρήση χειριστηρίων), δέκτη GPS και δυνατότητα live παρακολούθησης της θέσης του οχήματος και αυτόματης λήψης εικόνων με την επιθυμητή επικάλυψη. Το βάρος του είναι σχετικά μικρό (περίπου 500 gr) ενώ ο χειρισμός του δεν απαιτεί ιδιαίτερες γνώσεις μοντελισμού και τηλεκατεύθυνσης (Εικόνα 1).

Ο προγραμματισμός και έλεγχος της πτήσης και η λήψη των εικόνων από την φωτογραφική μηχανή του αεροναυτικού σκάφους γίνεται αποκλειστικά με χρήση του ειδικού λογισμικού, που εκτελείται από φορητό Ηλεκτρονικό Υπολογιστή που συνοδεύει το σκάφος. Η παράμετρος πτήσης που ορίζεται από το χειριστή του λογισμικού (και όχι του σκάφους) είναι ο βαθμός της επικάλυψης των παραγόμενων εικόνων και η ανάλυση στο έδαφος (pixel size) της εικονοψηφίδας. Επιλέχθηκε ως ενδεδειγμένη ανάλυση στο έδαφος η διάσταση των 0.03 m που μπορεί να οδηγήσει (εφόσον συνοδεύεται από αντίστοιχη ακρίβεια επίλυσης της φωτογραμμετρικής δέσμης) σε φωτογραμμετρικά προϊόντα κλίμακας 1:200 ή και μικρότερης (για ομαλό έδαφος). Η ανάλυση των ψηφιακών εικόνων που παράγονται από τη φωτογραφική μηχανή είναι της τάξης των 4000x3000 pixel που αντιστοιχούν σε μία μέση έκταση των 120x90 μέτρων και με δεδομένη την εστιακή απόσταση κάθε φωτογραφίας στα 4.4mm, το ύψος πτήσης για τη λήψη των εικόνων καθορίστηκε στα 80 περίπου μέτρα. Συνολικά έγινε λήψη 136 εικόνων μέσα σε 20 περίπου λεπτά πτήσης και η επικάλυψη των εικόνων ήταν 60% (εικόνα 3).

3. Μετρήσεις φωτοσταθερών

Όλα τα φωτοσταθερά σημεία προσδιορίστηκαν με την τεχνική του κινηματικού προσδιορισμού σε πραγματικό χρόνο και με χρήση του πρωτοκόλλου εκπομπής δεδομένων RTCM 3.0. Ο χρόνος παραμονής σε κάθε σημείο δεν ξεπερνούσε τα 2 min αφού όμως είχε προηγηθεί η επίτευξη επίλυσης των ασαφειών φάσης δηλαδή η λεγόμενη fix solution.

Τα φωτοσταθερά που μετρήθηκαν αρχικά ήταν ειδικοί προσημασμένοι στόχοι που αναγνωρίζονται αυτόματα από το φωτογραμμετρικό λογισμικό Photomodeler Scanner που χρησιμοποιήθηκε για τη φωτογραμμετρική επεξεργασία των εικόνων και εκτυπώθηκαν σε χαρτί.

Οι προσημασμένοι κωδικοποιημένοι στόχοι-φωτοσταθερά δημιουργήθηκαν απευθείας από το λογισμικό και εκτυπώθηκαν σε χαρτί διάστασης A3 και A4 (εικόνα 2). Τοποθετήθηκαν σε κατάλληλες θέσεις ώστε να είναι ορατά στις εικόνες και να καλύπτουν το φωτογραμμετρικό μοντέλο κατά το δυνατόν ομοιόμορφα.



Εικόνα 2. Προσημασμένα φωτοσταθερά

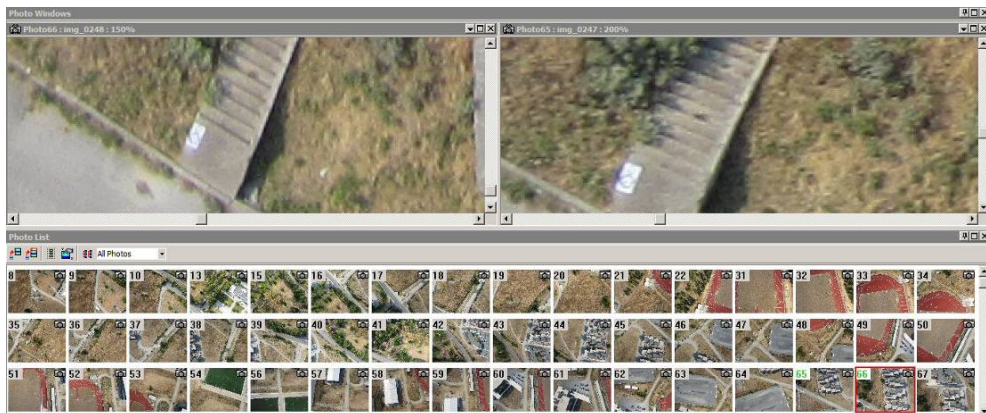
Πίνακας 1. Σφάλματα στα σημεία ελέγχου

Κωδικός σημείου ελέγχου	Σφάλματα			Υψομετρικό
	dx	dy	Συνολικό οριζ.	
2	-0.014	0.037	0.0396	0.224
3	0.017	-0.006	0.0180	0.083
4	0.027	0.04	0.0483	0.09
7	-0.008	0.084	0.0844	0.259
8	0.022	0.058	0.0620	0.341
Μέση Τιμή	0.0088	0.0368	0.0505	0.199
Τυπική Απόκλιση			0.0248	0.111



Εικόνα 3. Η κόκκινη γραμμή δείχνει την πορεία πτήσης του σκάφους.

Λόγω όμως του μεγάλου ανοίγματος του διαφράγματος της φωτογραφικής μηχανής δεν αποτυπώθηκαν στις εικόνες που ελήφθησαν, τα απαραίτητα χαρακτηριστικά που θα καταστήσει αυτόματα αναγνωρίσιμα τα σημεία στο λογισμικό (εικόνα 4). Πραγματοποιήθηκε μια δεύτερη καμπάνια μετρήσεων και μετρήθηκαν 10 συνολικά φωτοσταθερά ως φυσικά σημεία λεπτομερειών και επιτεύχθηκε χειροκίνητη αναγνώριση και μέτρηση των φωτοσταθερών. Επιλέχθηκαν σημεία (γωνίες ή κέντρα χαρακτηριστικών κατασκευών) με έντονη αντίθεση από το περιβάλλον τους, όπως μεταλλικά καλύμματα και σχάρες όμβριων ή ακαθάρτων υδάτων, που αναγνωρίζονται με μεγάλη ευκολία στις αεροφωτολήψεις (εικόνες 5α και 5β).



Εικόνα 4. Η αυτόματη αναγνώριση των προσημασμένων φωτοσταθερών δεν ήταν εφικτή κυρίως λόγω του μεγάλου ανοίγματος διαφράγματος κατά την λήψη των εικόνων.



Εικόνες 5α και 5β. Η γωνία που σχηματίζεται από τη σχάρα εντοπίζεται με μεγάλη ευκολία στην εικόνα

Η ακρίβεια της επίλυση δέσμης του φωτογραμμετρικού μοντέλου εκτιμάται στα 5 cm οριζοντιογραφικά και 20 cm καθ' ύψος. Συγκεκριμένα από τα 10 φωτοσταθερά που μετρήθηκαν τα 5 χρησιμοποιήθηκαν ως σημεία προσδιορισμού του εξωτερικού προσανατολισμού (control points) και τα 5 χρησιμοποιήθηκαν ως σημεία ελέγχου (check points). Ο πίνακας 1 παρουσιάζει τα σφάλματα της θέσης των σημείων ελέγχου και τις τελικές ακρίβειες. Από τα αποτελέσματα συμπεραίνεται ότι είναι εφικτό να παραχθούν φωτογραμμετρικά προϊόντα σε κλίμακα περίπου 1:300 και μικρότερες.

4. Φωτογραμμετρική επεξεργασία

Πριν από τη χρήση των εικόνων στη φωτογραμμετρική παραγωγή έγινε αυτοβαθμονόμηση της φωτογραφικής μηχανής με χρήση του λογισμικού Photomodeler Scanner που χρησιμοποιήθηκε και για την εξαγωγή αξιόπιστων φωτογραμμετρι-

κών δεδομένων. Το λογισμικό Photomodeler Scanner έχει τη δυνατότητα να υπολογίσει με ικανοποιητική ακρίβεια τις παραμέτρους βαθμονόμησης με χρήση ενός ειδικού πεδίου ελέγχου που εκτυπώνεται και φωτογραφείται από διαφορετικές οπτικές γωνίες από τη φωτογραφική μηχανή. Η ακρίβεια της αυτοβαθμονόμησης υπολογίστηκε στα 0.686 pixel και οι τιμές που προέκυψαν εμφανίζονται στον πίνακα 2.

Πίνακας 2. Τιμές και ακρίβειες υπολογισμού παραμέτρων βαθμονόμησης της ψηφιακής φωτογραφικής μηχανής του μη επανδρωμένου αεροναυτικού οχήματος

	Value (mm)	Standard Deviation (mm)
Focal Length	4.400	4.20E-04
Xp - principal point x	3.080	9.20E-04
Yp - principal point y	2.317	8.30E-04
Fw - format width	6.197	4.00E-04
Fh - format height	4.648	4.00E-04
K1 - radial distortion 1	1.87E-03	9.10E-06
K2 - radial distortion 2	-3.43E-05	9.50E-07
K3 - radial distortion 3	0.000	
P1 - decentering distortion 1	9.71E-05	1.20E-05
P2 - decentering distortion 2	-3.16E-04	9.70E-06

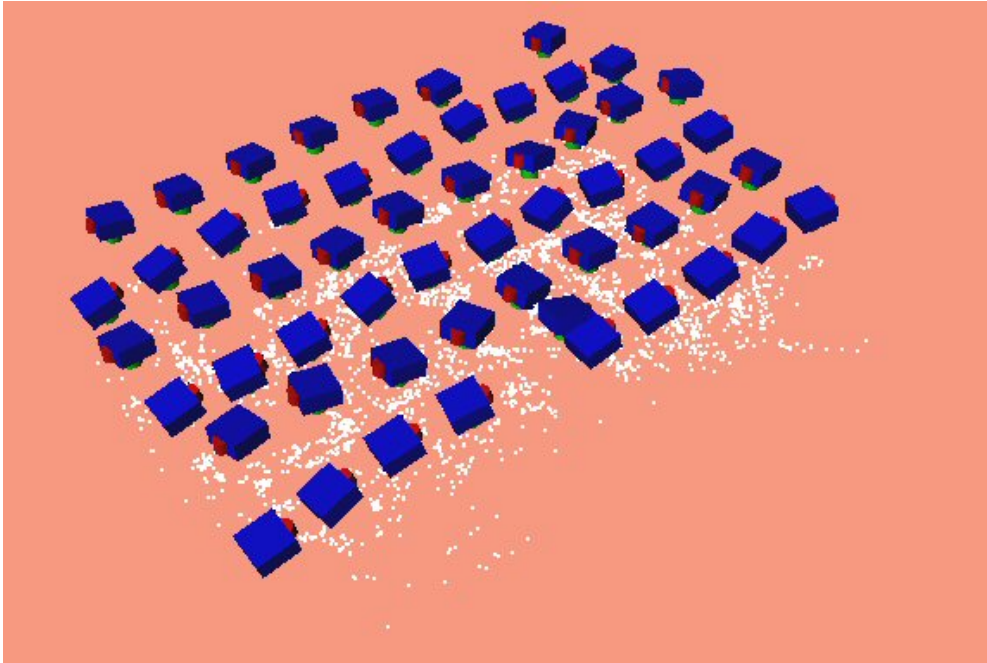
Για την παραγωγή των φωτογραμμετρικών προϊόντων έγινε χρήση του ίδιου λογισμικού Photomodeler Scanner. Το εν λόγω λογισμικό διαθέτει σε μεγάλο βαθμό αυτοματοποιημένες διαδικασίες:

- για τον προσδιορισμό της θέσης των φωτοσταθερών σε κάθε εικόνα άρα και της επίτευξης του εξωτερικού προσανατολισμού των εικόνων
- για τον προσδιορισμό του σχετικού προσανατολισμού των εικόνων
- για τον προσδιορισμό του 3D μοντέλου και επιφάνειας της έκτασης με την εξαγωγή ενός πυκνού νέφους σημείων μέσω της διαδικασίας εξαντλητικής αναζήτησης ομόλογων σημείων σε πολλές εικόνες (scanning).

Λόγω των προβλημάτων που αναφέρθηκαν παραπάνω (μετρήσεις φωτοσταθερών) δεν κατέστη δυνατή η αξιοποίηση της διαδικασίας αυτόματης αναγνώρισης των φωτοσταθερών, αλλά έγινε χρήση της αυτοματοποιημένης λειτουργίας τόσο για τον προσδιορισμό του σχετικού μοντέλων των εικόνων όσο και για τη δημιουργία του ψηφιακού μοντέλου επιφάνειας της έκτασης.

Η διαδικασία της δημιουργίας του μοντέλου επιφάνειας από τις φωτογραμμετρικές λήψεις είναι απλή και το μόνο που θα πρέπει να οριστεί από το χρήστη είναι η συλλογή των εικόνων που θα αναγνωριστούν οι κοινές περιοχές τους και θα συ-

σχετιστούν σε ένα ενιαίο δίκτυο φωτογραμμετρικών λήψεων. Για την περίπτωση που εξετάσαμε έγινε χρήση 58 εικόνων κατανεμημένων σε 6 λωρίδες λήψεων (εικόνα 6). Για την αυτόματη αναγνώριση χρειάστηκαν 5' και 43" με ακρίβεια της τάξης των 1.528 pixels ενώ ο μικρός σχετικά αριθμός των χονδροειδών σφαλμάτων μπόρεσε πολύ εύκολα να αφαιρεθεί με την παρέμβαση του χρήστη.

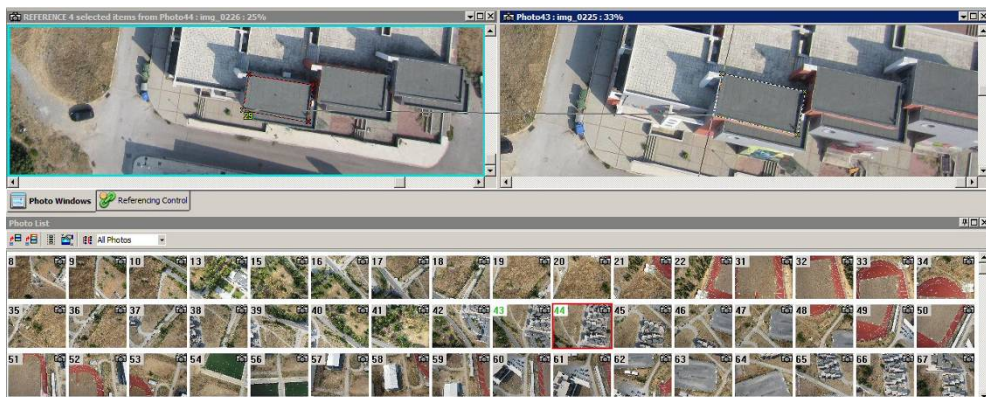


Εικόνα 6. Γεωμετρία των λήψεων που χρησιμοποιήθηκαν και η θέση της φωτογραφικής μηχανής σημείων στο χώρο. Τα λευκά σημάδια αποτελούν τα σημεία που εντοπίζονται αυτόματα σε δύο τουλάχιστον εικόνες και ορίζουν ένα αρχικό χονδροειδές Ψηφιακό Μοντέλο Επιφάνειας και το σχετικό προσανατολισμό των εικόνων.

Με τον εντοπισμό και των φωτοσταθερών το σχετικό μοντέλο οδήγησε στον υπολογισμό του πραγματικού 3D μοντέλου της απεικονισμένης επιφάνειας ενώ εφαρμόστηκε η λειτουργία σάρωσης (scanning) για τον προσδιορισμό του πυκνού νέφους σημείων που αποδίδει το τελικό Ψηφιακό Μοντέλο Επιφάνειας της έκτασης. Το τελικό προϊόν αποτελείται από 15719 σημεία με χρήση των πλέον αυστηρών τεχνικών με σκοπό την αφαίρεση χονδροειδών σφαλμάτων.

Σε όλη την περιγραφείσα διαδικασία η παρέμβαση του χρήστη του φωτογραμμετρικού λογισμικού ήταν ελάχιστη καθώς περιορίστηκε μόνο στον εντοπισμό και αφαίρεση των χονδροειδών σφαλμάτων (blunder detection). Η φωτογραμμετρική επεξεργασία σταμάτησε στη δημιουργία του Ψηφιακού Μοντέλου Επιφάνειας ενώ μπορεί να ακολουθήσει και η δημιουργία ορθοεικόνας. Επιπλέον, μέσω χειροκίνη-

της διαδικασίας του λογισμικού ο χρήστης μπορεί να ψηφιοποιήσει κατασκευές και λεπτομέρειες (ως πολύγωνα, σημεία και γραμμές) της περιοχής που αποτελούν τα χαρακτηριστικά του τοπογραφικού διαγράμματος που επιθυμούμε να παράγουμε. Η συλλογή των σημείων μπορεί να γίνει πολυεικονικά με την υποβοήθηση του λογισμικού μέσω της προβολής των επιπολικών γραμμών κατά τη συλλογή των σημείων σε συζυγείς εικόνες (εικόνα 7).



Εικόνα 7. Χειροκίνητη ψηφιοποίηση σημείων σε στερεοζεύγος εικόνων. Είναι εμφανής η προβολή της επιπολικής γραμμής για την υποβοήθηση της συλλογής των ομόλογων σημείων.

5. Συμπεράσματα

Με την παρούσα εργασία γίνεται μια προσπάθεια να ενοποιηθούν διάφορες τεχνικές και τεχνολογίες (UAV, GPS, φωτογραμμετρική σάρωση) για τον προσδιορισμό σε μικρό χρόνο με υψηλή ακρίβεια μετρήσεων, δεδομένων τοπογραφικών διαγραμμάτων μεγάλων εκτάσεων σε μεγάλη κλίμακα. Η πρώτη πιλοτική εφαρμογή απέδειξε ότι είναι εφικτό σε μικρό χρόνο και με μικρό κόστος να παραχθούν τοπογραφικά δεδομένα σε μεγάλες κλίμακες (1:500). Σε όλα τα στάδια της επεξεργασίας των δεδομένων αυτοματοποιημένες διαδικασίες αναλαμβάνουν να παράγουν εύκολα, γρήγορα και με ελάχιστα σφάλματα ενδιάμεσα (σχετικός προσανατολισμός) και τελικά προϊόντα (ψηφιακό μοντέλο επιφάνειας). Ωστόσο, λόγω της αυτόματης συλλογής των ομόλογων σημείων που αποδίδουν το 3D χώρο πολλά από τα σημεία που παράγονται δεν προσδιορίζουν το ψηφιακό μοντέλο του εδάφους αλλά της επιφάνειας που πιθανόν το καλύπτουν (φυλλωσιές δέντρων, επιφάνειες στεγών κτηρίων) οπότε η χειροκίνητη συλλογή και ψηφιοποίηση σημείων θα πρέπει να αποτελεί μια επιλογή. Σε κάθε περίπτωση ο έλεγχος της ακρίβειας του τελικού προϊόντος βρίσκεται στη διάθεση του Αγρονόμου Τοπογράφου Μηχανικού που θα χειρίζεται τη διαδικασία μετρήσεων με GPS ή τον προγραμματισμό της

πτήσης για την κάλυψη του εδάφους με επικαλυπτόμενες εικόνες ή την αυτοματοποιημένη/χειροκίνητη λειτουργία συλλογής σημείων για την μοντελοποίηση του 3D χώρου σε τοπογραφικά διαγράμματα ή άλλα προϊόντα εικονικής πραγματικότητας.

Ευχαριστίες

Θέλουμε να ευχαριστήσουμε την εταιρεία GeoSense για τη διάθεση των εικόνων που ελήφθησαν για την πραγματοποίηση της παρούσας εργασίας.

Βιβλιογραφία

- Fotiou A., C. Pikridas, A. Bimpisidou and D. Papanikolaou 2009. *DGPS and RTK Positioning using Hermes Ntrip Caster. Proceedings of the International Symposium on “Modern Technologies, Education and Professional Practice in Geodesy and Related Fields”*, Sofia, Bulgaria, 5 - 6 November.
- Fotiou A., C. Pikridas, D. Rossikopoulos S. Spatalas, V. Tsioukas and S. Katsougianopoulos 2010. *The Hermes GNSS NtripCaster of AUTH. Proceedings of the EUREF 2009 annual Symposium*, Florence, Italy, 27- 30 May. Published in *Bulletin of Geodesy and Geophysics*, former “*Bollettino di Geodesia e Scienze Affini*”, vol. LXIX, No.1
- Πικριδάς Χ., Δ. Ρωσσικόπουλος, Σ. Σπαταλάς, Β. Τσιούκας και Α. Φωτίου 2010. *Αξιολόγηση Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους με Διάφορες Μεθόδους Παρεμβολής και Χρήση RTK GPS*. Πρακτικά τιμητικού τόμου αφιερωμένο στον καθηγητή Δ. Αραμπέλο. Θεσσαλονίκη, ΤΑΤΜ-ΑΠΘ, Επιμέλεια έκδοσης καθ. Μ. Κονταδάκης, Η. Τζιαβός, Σ. Σπαταλάς.
- Patias, P., Saatsoglou-Paliadeli, C., Georgoula, O., Pateraki, M., Stamnas, A., Kyriakou, N., *Photogrammetric Documentation And Digital Representation Of The Macedonian Palace In Vergina-Aegeae*, XXI συνέδριο της CIPA (International Committee of Architectural Photogrammetry), Αθήνα, 1-6 Οκτωβρίου 2007.
- Σπαταλάς, Σ., Τσιούκας, Β., Δανιήλ, Μ., (2006) *Η Χρήση Τηλεκατεθυνόμενου Ελικόπτερου για την Αποτύπωση μεγάλης Κλίμακας Αστικών Και Περι-Αστικών Εκτάσεων*, Επιστημονικό Διήμερο «Πολιτισμός της Απεικόνισης», Μάρτιος 2006, Ξάνθη
- ΦΕΚ Β 9 - 13.01.2010 Κανονισμός Πτήσεων Αερομοντέλων.

Ιστοσελίδες

- Περιγραφή τεχνικών χαρακτηριστικών μη επανδρωμένου αεροναυτικού οχήματος:
http://www.geosense.gr/userfiles/file/SwingletCAM_A4_GR_low.pdf
- Περιγραφή τεχνικών χαρακτηριστικών ψηφιακής φωτογραφικής μηχανής:
http://www.dpreview.com/products/canon/compacts/canon_ixus220hs