

Φωτογραμμετρικά όργανα απόδοσης. Εξέλιξη

Μαρία Α. Λαζαρίδου

*Εργαστήριο Φωτογραμμετρίας-Τηλεπισκόπησης, Τομέας Γεωτεχνικής Μηχανικής,
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πολυτεχνική Σχολή, Α.Π.Θ.*

Περίληψη: Στην εργασία αυτή γίνεται μια εξελικτική θεώρηση των φωτογραμμετρικών οργάνων απόδοσης. Περιλαμβάνονται τα αναλογικά φωτογραμμετρικά όργανα, οι συγκριτές, τα αναλυτικά, τα όργανα αναγωγής και διαφορικής αναγωγής και τα ψηφιακά φωτογραμμετρικά όργανα (ψηφιακοί σταθμοί εργασίας).

1. Εισαγωγή

Βασική πηγή πληροφόρησης στη Φωτογραμμετρία είναι η ακτινοβολία που προέρχεται από τα διάφορα αντικείμενα. Η ακτινοβολία αυτή συλλέγεται και μελετάται με κατάλληλες μεθόδους, όργανα και εξοπλισμό, για να προσδιορίσει τη θέση τον προσανατολισμό και τη μορφή (μέγεθος και σχήμα) αντικειμένων στο χώρο, από εικόνες.

Τα προϊόντα της φωτογραμμετρικής διαδικασίας διακρίνονται σε: γραφικά – σχέδια (οριζοντιογραφία, υψομετρία, τομές, κλπ), αριθμητικά (συντεταγμένες σημείων x, y, z), εικονικά (νέες εικόνες, διορθωμένες από τα σφάλματα της φωτογραφίας ως κεντρικής προβολής).

Οι διάφορες μέθοδοι που αναπτύχθηκαν για το σχεδιασμό φωτογραμμετρικών οργάνων απόδοσης αναφέρονται διαδοχικά στην οπτική ακτίνα, στην «αντικατάσταση» της από «κατάλληλη» μηχανική ράβδο, στην έκφρασή της μαθηματικά (εξισώσεις συγγραμμικότητας, συνεπιπεδότητας) και τέλος στην επεξεργασία ψηφιακής εικόνας.

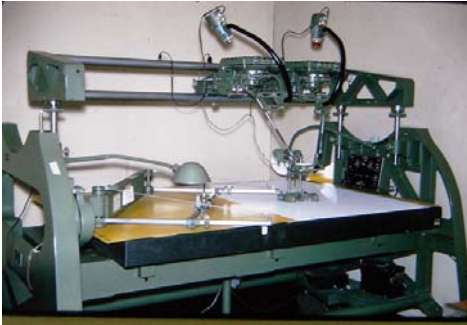
Στην εργασία αυτή γίνεται μια θεώρηση των φωτογραμμετρικών οργάνων, εξελικτικά, η οποία περιλαμβάνει τα αναλογικά φωτογραμμετρικά όργανα, τους συγκριτές, τα αναλυτικά όργανα, τα όργανα αναγωγής και διαφορικής αναγωγής και τα ψηφιακά φωτογραμμετρικά όργανα - συστήματα.

2. Αναλογικά φωτογραμμετρικά όργανα

Η κατασκευή των αναλογικών φωτογραμμετρικών οργάνων έγινε έτσι ώστε να υπάρχει η δυνατότητα αναδημιουργίας του γεωμετρικού μοντέλου της περιοχής που φωτογραφήθηκε, με τη βοήθεια αναπαραγωγής οπτικών ακτίνων (αναλογικά

όργανα οπτικής προβολής, αναλογικά όργανα μηχανικής προβολής). Στα πρώτα αναλογικά όργανα χρησιμοποιήθηκαν ζεύγη επίγειων φωτογραφιών.

Στα όργανα οπτικής προβολής οι δέσμες των ακτίνων που προβάλλονται, αναπαράγονται με οπτική προβολή, άμεσα από τη φωτογραφία (Εικ.1). Στα όργανα μηχανικής προβολής η δέσμη των προβολικών ακτίνων για κάθε φωτογραφία «υλοποιείται» από ένα μηχανικό στέλεχος – ράβδο (Εικ. 2). Στο οπτικό σύστημα των οργάνων αυτών παρεμβάλλεται κατάλληλη μάρκα η οποία συνδέεται μηχανικά με διάταξη σχεδίασης για τη συλλογή γραφικών λεπτομερειών ή με κλίμακα ανάγνωσης για εξαγωγή αριθμητικών δεδομένων της περιοχής παρατήρησης.



Εικόνα 1. Kelsh stereoplottor
(αναλογικό όργανο οπτικής προβολής)
Πηγή: <http://nationalmap.gov/ustopo/125history.html>



Εικόνα 2. Wild A7
(αναλογικό όργανο μηχανικής προβολής)
Πηγή: McGlone, 2004

Τα τελευταία αναλογικά όργανα κατασκευάστηκαν την δεκαετία του 1980. Ενδεικτικά παραδείγματα αναλογικών οργάνων αποτελούν τα Wild B8, Kern PG2, Planimat D3 Zeiss, κ.α. Επί 70 χρόνια τα αναλογικά όργανα αποτέλεσαν τη βάση της φωτογραμμετρικής παραγωγής.

3. Συγκριτές

Ο συγκριτής είναι διάταξη η οποία επιτρέπει τη μέτρηση με μεγάλη ακρίβεια συντεταγμένων x, y σημείου σε φωτογραφία (Wolf et al, 2000). Διακρίνονται δυο κατηγορίες συγκριτών: οι μονοσυγκριτές και οι στερεοσυγκριτές. Ο μονοσυγκριτής δέχεται ξεχωριστά κάθε φωτογραφία του στερεοσκοπικού ζεύγους, ενώ στο στερεοσυγκριτή τα ζεύγη των φωτογραφιών μπορούν να παρατηρηθούν στερεοσκοπικά με ταυτόχρονη μέτρηση των τρισδιάστατων συντεταγμένων.

Ο στερεοσυγκριτής υπήρξε η βάση για τον σχεδιασμό από τον Helava των πρώτων αναλυτικών φωτογραμμετρικών οργάνων (analytical plotters).

Και στις δυο κατηγορίες συγκριτών γίνεται μέτρηση μεγάλης ακρίβειας και κατα-

γραφή των συντεταγμένων x, y καθορισμένων σημείων και στη συνέχεια αριθμητικός υπολογισμός (αναλυτική φωτογραμμετρική λύση) για τον καθορισμό των X, Y, Z συντεταγμένων μοντέλου ή εδάφους των σημείων που έχουν μετρηθεί.

Παραδείγματα μονοσυγκριτών αποτελούν οι Kern MK-2, Zeiss Oberkochen PK-1 (Εικ. 3) κλπ., και στερεοσυγκριτών οι Wild STK-1, Gallileo Stereocomparator, , OMI, κλπ.



Εικόνα 3. Μονοσυγκριτής Zeiss PK 1
Πηγή: Kraus, 2003

4. Αναλυτικά φωτογραμμετρικά όργανα

Τα αναλυτικά φωτογραμμετρικά όργανα (analytical plotters) κατασκευάστηκαν βάσει δυο προσεγγίσεων εφαρμογής αναλυτικών φωτογραμμετρικών διαδικασιών (Helava, 1980).

Κατά την πρώτη προσέγγιση, μετρώνται οι συντεταγμένες εικόνας και εισάγονται ως πρωτογενή δεδομένα στην υπολογιστική διαδικασία. Η δεύτερη προσέγγιση βασίζεται στη χρήση τρισδιάστατων συντεταγμένων σημείων αντικειμένου (μοντέλου ή εδάφους) ως σημείο εκκίνησης στην αντίστοιχη, αλλά διαφορετική, υπολογιστική διαδικασία. Η κάθε προσέγγιση μπορεί να θεωρηθεί ως αντίστροφη της άλλης.

Η απόφαση για την προσέγγιση που θα εφαρμοστεί επηρεάζει τον σχεδιασμό του οργάνου και των δυνατοτήτων του. Με τη σειρά της, αυτή επηρεάζει ουσιαστικά, το λογισμικό που χρειάζεται για την εφαρμογή της αρχής του οργάνου. Το λογισμικό αυτό περιλαμβάνει:

- Το πρόγραμμα σε πραγματικό χρόνο, το οποίο υπολογίζει τις συντεταγμένες εικόνας ή αντικειμένου από τα στοιχεία εισόδου (μετρήσεις), ανάλογα με την προσέγγιση που υιοθετείται,
- Τα προγράμματα προσανατολισμού που εκτελούν τις ίδιες ή παρόμοιες διαδικασίες εσωτερικού, σχετικού και απόλυτου προσανατολισμού με αυτές που εφαρμόζονται μηχανικά ή οπτικά στα αναλογικά όργανα,

- Τα προγράμματα εφαρμογής για σύνταξη γραμμικών χαρτών, αυτόματη συσχέτιση εικόνας για δημιουργία ψηφιακών μοντέλων εδάφους, μοντελοποίηση του εδάφους, αεροτριγωνισμό και θέματα εγγύς φωτογραμμετρίας.

Παραδείγματα αναλυτικών οργάνων τα οποία χρησιμοποίησαν την πρώτη προσέγγιση είναι τα: Gallileo Digital Stereocartograph, Digicart 20, Stereobit 20, Autometric APPS-IV, Topcon PA-1000, Cartographic Engineering AP-190. Οι πιο πολλοί ευρωπαίοι κατασκευαστές ακολούθησαν τη δεύτερη προσέγγιση: σειρές AC, BC της Wild, Zeiss Planicomp (Εικ. 4), σειρά DSR της Kern (Εικ. 5), σειρά SD2000/3000 της Leica, κλπ.

Κατασκευάστηκαν επίσης αναλυτικά όργανα μικρού format (για φωτογραφίες 35-70 mm), όπως το MPS-2 (προσέγγιση συντεταγμένων αντικειμένου), καθώς και, αναλογικά όργανα αναβαθμίστηκαν σε αναλυτικά (Wild B8, Kern PG-2, Zeiss Jena Topocart).



Εικόνα 4. Αναλυτικό όργανο Zeiss Planicomp
Πηγή: Slama, 1980



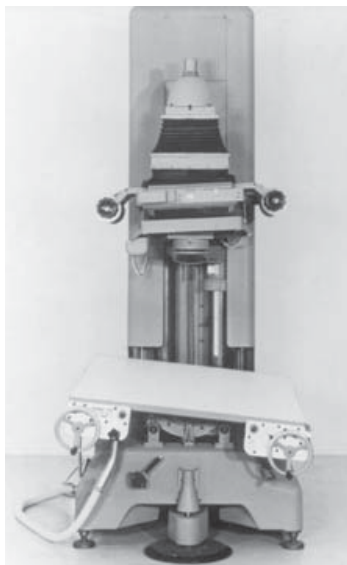
Εικόνα 5. Αναλυτικό όργανο Kern DSR1
Πηγή: McGlone, 2004

5. Όργανα αναγωγής και διαφορικής αναγωγής

Αναγωγή είναι η διαδικασία με την οποία απαλείφονται σφάλματα της φωτογραφίας που οφείλονται στην κλίση του άξονα της φωτογραφικής μηχανής και του επιπέδου του απεικονιζόμενου αντικειμένου - εδάφους.

Στην κατασκευή των σχετικών οργάνων, των αναγωγέων, χρησιμοποιείται προβολέας ή διάταξη μεγέθυνσης με δυνατότητα ρυθμίσεων του επιπέδου της εικόνας, των φακών, του επιπέδου προβολής, των αποστάσεων μεταξύ τους, καθώς και τη θέση και τον προσανατολισμό του αρνητικού στο επίπεδο της εικόνας, ικανοποιώντας τις απαιτούμενες οπτικές και γεωμετρικές συνθήκες.

Οι αναγωγείς ήταν τοποθετημένοι σε χώρους με δυνατότητα σκοτεινού θαλάμου για την επεξεργασία, εμφάνιση και εκτύπωση που ακολουθούσε. Παραδείγματα αναγωγέων αποτελούν οι Wild E4 (Εικ. 6), Zeiss SEG V, κ.α.



Εικόνα 6. Αναγωγέας Wild E4
Πηγή: McGlone, 2004

Διαφορική αναγωγή ή ορθοφωτογραφία είναι η διαδικασία με την οποία απαλείφονται σφάλματα της φωτογραφίας που οφείλονται στην κλίση του άξονα της φωτογραφικής μηχανής και του αναγλύφου του εδάφους, δίνοντας τελικά ένα εικονικό προϊόν με γεωμετρική ακρίβεια χάρτη. Η εφαρμογή της διαδικασίας μπορεί να γίνει με δημιουργία στερεοσκοπικού μοντέλου (ζεύγους αεροφωτογραφιών με επικάλυψη) και άμεση προβολή του στο επίπεδο datum ή με χρησιμοποίηση ψηφιακού μοντέλου εδάφους, το οποίο ορίζει με ακρίβεια το ανάγλυφο του εδάφους στην εκτέλεση διαφορικής αναγωγής μιας φωτογραφίας.

Τα πρώτα όργανα που κατασκευάστηκαν για το σκοπό αυτό (1955), είχαν βάση αναλογικά όργανα οπτικής προβολής. Ακολούθησε η κατασκευή σχετικών οργάνων με δυνατότητα σύνδεσης με αναλογικά όργανα οπτικής και μηχανικής προβολής. Κατά τη δεκαετία του 1980 μέχρι και τις αρχές της δεκαετίας του 1990, η παραγωγή ορθοφωτογραφίας γινόταν με βάση ψηφιακό μοντέλο εδάφους, μεγάλης ακρίβειας μετρημένο σε αναλυτικό όργανο, σε συνδυασμό με εκτυπωτή ελεγχόμενο από υπολογιστή όπως στο Wild Avioplan OR-1 (Εικ. 7), παράγοντας το τελικό εικονικό προϊόν (ορθοφωτογραφία) σε μορφή hard-copy.

Οι πρώτες προσπάθειες για αυτοματισμό στη διαδικασία παραγωγής ορθοφωτογραφίας έγιναν με τους συσχετιστές, διατάξεις αυτόματης σάρωσης και μέτρησης στερεομοντέλου, οι οποίοι συνδυάστηκαν με αναλογικά και αναλυτικά όργανα (Wild B8 Stereomat, Gestalt Photo Mapper). Από το 1980 άρχισαν να χρησιμοποιούνται συσχετιστές, οι οποίοι ψηφιοποιούσαν αντίστοιχες περιοχές σε κάθε φωτογραφία του στερεοσκοπικού ζεύγους με μικρές κάμερες CCD. Οι διατάξεις αυτές με αντίστοιχο εξοπλισμό προστέθηκαν σε αναλυτικά όργανα (π.χ σειρές Zeiss Oberkochen Planicom, Kern DSR). Η αρχή της συσχέτισης επιπολικών γραμμών (1972) απλοποίησε τη συσχέτιση περιορίζοντάς την σε ορισμένες καθορισμένες γραμμές αντί για μικρές περιοχές.



Εικόνα 7. Σύστημα διαφορικής αναγωγής Wild Avioplan OR1
Πηγή: Kraus, 2003

Σήμερα, οι πιο πολλές ορθοφωτογραφίες παράγονται με μεθόδους ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας, χρησιμοποιώντας ως αρχικά δεδομένα αεροφωτογραφίες ψηφιοποιημένες. Συνήθως η τεχνική της διαφορικής αναγωγής εφαρμόζεται με κατάλληλα σχεδιασμένο πακέτο λογισμικού. Αυτό γίνεται με βάση υπάρχον ψηφιακό μοντέλο εδάφους, το οποίο δημιουργήθηκε με διάφορες μεθόδους π.χ με αυτόματη συσχέτιση στερεοζευγών σε ψηφιακό όργανο, με παρεμβολή ψηφιοποιημένων ισοϋψών χάρτη, άμεσα από ενάερια σάρωση laser ή δεδομένα InSAR. Η προκύπτουσα εικόνα αποθηκεύεται στον H/Y, ως μητρώο τιμών έντασης, σε ψηφιακή μορφή και μπορεί να εκτυπωθεί σε φιλμ ή/και σε plotter.

6. Ψηφιακά φωτογραμμετρικά όργανα

Η βασική ιδέα/αρχή των ψηφιακών φωτογραμμετρικών συστημάτων αναπτύχθηκε προς το τέλος της δεκαετίας του 1950 και η εξέλιξή της ήταν παράλληλη με την ανάπτυξη των αναλυτικών οργάνων.

Το πρώτο ψηφιακό φωτογραμμετρικό όργανο (ψηφιακός σταθμός, DPW) παρουσιάστηκε το 1988 στο συνέδριο της Διεθνούς Εταιρείας Φωτογραμμετρίας και Τηλεπισκόπησης στο Κυότο. Οι εξελίξεις της τεχνολογίας είχαν σαν αποτέλεσμα την υιοθέτηση των ψηφιακών φωτογραμμετρικών οργάνων προς το τέλος της δεκαετίας του 1990 από πολλούς οργανισμούς και εταιρείες σε όλο τον κόσμο.

Η πιο σημαντική διαφορά των ψηφιακών οργάνων από τα αναλυτικά, είναι ότι τα πρώτα χρησιμοποιούν ψηφιακές εικόνες και ότι έχουν τη δυνατότητα μεγάλης αυτοματοποίησης διαδικασιών και τεχνικών. Εξάλλου, σύμφωνα με ομάδα εργασίας της Διεθνούς Εταιρείας Φωτογραμμετρίας και Τηλεπισκόπησης (Schenk, 1999), ένα ψηφιακό φωτογραμμετρικό σύστημα ορίζεται ως το υλικό και το λογισμικό για τη λήψη φωτογραμμετρικών προϊόντων από ψηφιακές εικόνες με χρήση χειροκίνητων και αυτόματων τεχνικών. Ο ορισμός αυτός επεκτείνεται (McGlone, 2004), με την αναφορά ότι, ένα σύστημα ψηφιακού φωτογραμμετρικού σταθμού αποτελείται από το λογισμικό (SW) και το υλικό (HW) που υποστηρίζει αποθήκευση, επεξεργασία και εμφάνιση εικόνας και σχετικών γεωχωρικών δεδομένων, και αυτόματη και διαδραστική μέτρηση, με βάση την εικόνα, τρισδιάστατης πληροφορίας.

Ένα ψηφιακό φωτογραμμετρικό όργανο περιλαμβάνει τα παρακάτω βασικά μέρη:

- Μονάδα κεντρικής επεξεργασίας (Central Processing Unit - CPU) μεγάλης ταχύτητας και επαρκούς κύριας μνήμης, λειτουργικό σύστημα
- (Operating System- OS), κατάλληλο για επεξεργασία σε πραγματικό χρόνο, σύστημα λειτουργικής αποθήκευσης και πρόσβασης, σύστημα γραφικών για την εμφάνιση και αποθήκευση σε αντίστοιχη μνήμη ψηφιδωτών και διανυσματικών δεδομένων, τρισδιάστατο σύστημα παρατήρησης για τα φωτογραμμετρικά μοντέλα, τρισδιάστατη διάταξη μέτρησης και διεπαφή με τον χρήστη (user interface) όπως πληκτρολόγιο, ποντίκι.

Τα σύγχρονα φωτογραμμετρικά όργανα συνήθως δεν λειτουργούν μεμονωμένα. Συνδέονται συχνά με σύστημα σάρωσης και άλλα συστήματα, όπως ένα γεωπληροφοριακό σύστημα (GIS).

Η τρισδιάστατη (στερεοσκοπική) παρατήρηση είναι σημαντικό χαρακτηριστικό των ψηφιακών φωτογραμμετρικών σταθμών, αν και υπάρχουν φωτογραμμετρικές λειτουργίες οι οποίες εκτελούνται μονοσκοπικά. Η δυνατότητα στερεοσκοπικής παρατήρησης προϋποθέτει διαχωρισμό της αριστερής και δεξιάς εικόνας. Ο διαχωρισμός αυτός μπορεί να επιτευχθεί (Schenk, 1999) χωρικά (2 οθόνες και στερεοσκόπιο, 1 οθόνη και στερεοσκόπιο, 2 οθόνες και πόλωση), φασματικά (αναγλυφικά, πόλωση – γυαλιά μπλε και κόκκινων φακών, γυαλιά με αντίθετα πολωμένους

φακούς) και χρονικά (εναλασσόμενη εμφάνιση αριστερής και δεξιάς εικόνας η οποία συγχρονίζεται με πόλωση – γυαλιά ηλεκτρονικού διαφράγματος υγρών κρυστάλλων, LCD shutter glasses, Εικ. 8).



Εικόνα 8. Z/I ImageStation

Πηγή: Konecny, 2003

Το λογισμικό είναι ένα πολύ σημαντικό τμήμα των ψηφιακών φωτογραμμετρικών οργάνων. Βασίζεται σε φωτογραμμετρικές εργασίες, διαφόρου βαθμού αυτοματισμού, οι οποίες είναι δυνατόν να αναφέρονται σε θέματα βελτίωσης εικόνας (φωτεινότητα, αντίθεση), προσανατολισμών (εσωτερικού, σχετικού, απόλυτου), δημιουργίας ψηφιακών μοντέλων εδάφους (DEM), αυτόματης παραγωγής ορθοφωτογραφίας, αεροτριγωνισμού, εξαγωγής χαρακτηριστικών κ.α. Ενδεικτικά παραδείγματα λογισμικού: ImageStation της Intergraph, LPS της ERDAS, INPHO System της Trimble GeoSpatial, κλπ.

7. Συζήτηση

Τα φωτογραμμετρικά όργανα απόδοσης έχουν αναπτυχθεί σε σχέση και παράλληλα με την εξέλιξη της τεχνολογίας και της επιστήμης και ειδικότερα με αντίστοιχες φωτογραμμετρικές μεθόδους και θεωρήσεις.

Τα πρώτα φωτογραμμετρικά όργανα απόδοσης βασιζόνταν σε αναλογικές μεθόδους. Η ανάπτυξη των ηλεκτρονικών υπολογιστών και των ψηφιακών τεχνολογιών οδήγησε στις εξελίξεις των αναλυτικών και των ψηφιακών οργάνων.

Η οργανωμένη γνώση σε επίπεδα μεθόδων, οργάνων, προϊόντων συμβάλλει στη γόνιμη εκπαίδευση, στην ερευνητική αναζήτηση και στην ικανοποιητική απάντηση – κάλυψη των αναγκών, αυτών που χρησιμοποιούν τη φωτογραμμετρία.

Βιβλιογραφία

- Helava, U.V., 1980. *The concepts of the analytical plotter*. Proceedings of the American Society of Photogrammetry Analytical Plotter Symposium and Workshop, Reston, VA, pp. 12-29.
- Konecny, G., 2003. *Geoinformation*. Taylor & Francis, London and New York, 248 p.
- Kraus, K., 2003. *Φωτογραμμετρία*. Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, 361 σελ.
- McGlone, J.C. (editor), 2004. *Manual of Photogrammetry (5th Edition)*. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Bethesda, MD, 1151 p.
- Schenk, T., (1999). *Digital Photogrammetry*. TerraScience, 422 p.
- Slama, C. (editor), 1980. *Manual of Photogrammetry (4th Edition)*. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Bethesda, MD, 1056 p.
- Wolf, R.P., Dewitt, B.A., (2000). *Elements of Photogrammetry*. McGraw Hill. 608 p.