

Π. ΠΑΤΙΑΣ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ
ΣΤΗ

ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑ

ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΖΗΤΗ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ

Πρόλογος

Η Φωτογραμμετρία είναι μία επιστήμη καταγραφής και τεκμηρίωσης των γεωμετρικών και ποιοτικών χαρακτηριστικών αντικειμένων του πραγματικού κόσμου. Σαν τέτοια έχει πολλές ομοιότητες με άλλες αντίστοιχες επιστήμες του κλάδου του Αγρονόμου και Τοπογράφου Μηχανικού, όπως η Τοπογραφία, η Γεωδαισία, η Χαρτογραφία και η Τηλεπισκόπηση. Υπάρχουν βέβαια και πολλές διαφορές μεταξύ τους και αν εξαιρέσει κανείς τις διαφορές στις διαδικασίες και τις μεθοδολογίες που ακολουθούνται, παραμένει μία σημαντική διαφορά που χαρακτηρίζει τη Φωτογραμμετρία και συνίσταται στο γεγονός ότι οι φωτογραμμετρικές μετρήσεις γίνονται έμμεσα και όχι άμεσα. Με άλλα λόγια στη Φωτογραμμετρία η διαδικασία των παρατηρήσεων και η διαδικασία των μετρήσεων είναι δύο χρονικά και τοπικά διακεκριμένες διαδικασίες.

Ένα άλλο γεγονός που χαρακτηρίζει τη Φωτογραμμετρία είναι η στενή της σχέση με την ανάπτυξη της Τεχνολογίας. Έτσι οι φωτογραμμετρικές μεθοδολογίες αναμορφώθηκαν, σε πολλές περιπτώσεις ριζικά, και συνεχίζουν να αναμορφώνονται ακολουθώντας στενά την άνοδο της τεχνολογίας της Ψηφιακής Πληροφορίας.

Ένα τρίτο γεγονός είναι η σημερινή διεύρυνση του γνωστικού πεδίου της Φωτογραμμετρίας που έχει ως αποτέλεσμα: α) Να είναι ασαφή τα όρια ανάμεσα στη Φωτογραμμετρία και την Τηλεπισκόπηση και β) Να απαιτείται, από μέρους των φωτογραμμετρών, η γνώση, εκπαίδευση και συνεχής ενημέρωση πάνω σε μία ευρεία πλατφόρμα θεμάτων, συμπεριλαμβανομένων της Επεξεργασίας Ψηφιακών Εικόνων, των Συστημάτων Πληροφοριών, κλπ..

Αφορμή για τη συγγραφή του συγγράμματος αυτού αποτέλεσε η διδασκαλία, τα τελευταία τρία χρόνια, από μέρους του συγγραφέα, του αντίστοιχου υποχρεωτικού μαθήματος "Εισαγωγή στη Φωτογραμμετρία", του 4ου Εξαμήνου σπουδών, του Τμήματος Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης.

Το περιεχόμενο του συγγράμματος υπαγορεύθηκε από τις σημερινές ανάγκες και χαρακτηριστικά της Φωτογραμμετρίας, όπως αυτά προσδιορίστηκαν πιο πάνω. Έτσι λοιπόν τόσο το περιεχόμενο όσο και η διάταξη της ύλης περιγράφεται από τρεις βασικούς άξονες:

1. Ως σύγγραμμα εισαγωγής στη Φωτογραμμετρία, κύριο μέλημα ήταν αφ' ενός η κατανόηση και οικειοποίηση, από μέρους του αναγνώστη, των βασικών αρχών και των μεθοδολογιών της Φωτογραμμετρίας και αφ' ετέρου η προετοιμασία του για μια πιο λεπτομερή εξέταση επί μέρους θεμάτων, γεγονός που προβλέπεται στη συνέχεια του προγράμματος σπουδών του ΤΑΤΜ-ΑΠΘ και καλύπτεται από δύο επόμενα μαθήματα Φωτογραμμετρίας και τα αντίστοιχα συγγράμματα.
2. Η αναλογική αντιμετώπιση των φωτογραμμετρικών προβλημάτων είναι σε πολ-

λές περιπτώσεις πολύ πιο εποπτική και εκπαιδευτικά χρήσιμη από ότι η αναλυτική αντιμετώπιση. Για τον λόγο αυτό αναλύονται κατ'αρχάς οι αναλογικές μεθοδολογίες, όχι όμως στο βαθμό που γίνεται σε προγενέστερα εγχειρίδια Φωτογραμμετρίας, για τον απλούστατο λόγο ότι σκοπός μας δεν είναι να προετοιμάσουμε έναν χειριστή αναλογικών φωτογραμμετρικών οργάνων, αλλά έναν επιστήμονα γνώστη των βασικών αρχών της Φωτογραμμετρίας. Όσον αφορά τις αναλυτικές μεθοδολογίες, η εξέτασή τους δεν είναι λεπτομερής. Για δύο λόγους: α) Η λεπτομερής εξέτασή τους δεν θα προσέφερε τίποτε περισσότερο στην κατανόηση των βασικών αρχών και β) Εξετάζονται λεπτομερέστατα στο αντίστοιχο εγχειρίδιο της "Αναλυτικής Φωτογραμμετρίας". Αντίθετα, έγινε προσπάθεια να γίνει κατανοητό από μέρους του αναγνώστη η μετάλλαξη των αναλογικών σε αναλυτικές διαδικασίες, η σχέση τους και τέλος ο τρόπος με τον οποίο εφαρμόζονται οι βασικές αρχές της Φωτογραμμετρίας στην αναλυτική αντιμετώπιση των προβλημάτων της. Το ίδιο ισχύει και για τις ψηφιακές μεθοδολογίες, οι οποίες άλλωστε αποτελούν σήμερα αντικείμενο έρευνας και δεν έχουν φθάσει σε πλήρη ανάπτυξη.

3. Η σχέση της Φωτογραμμετρίας με την Τηλεπισκόπηση και τα (Γεωγραφικά) Συστήματα Πληροφοριών είναι και δεδομένη αλλά και καθημερινά στενότερη. Κατά συνέπεια, η μορφή των φωτογραμμετρικά συλλεγόμενων στοιχείων πρέπει να λαμβάνει υπ'όψη το σύστημα πληροφοριών που θα αναλάβει τη διαχείρισή τους. Εξ άλλου ένα συνολικό σύστημα (αν αυτό θεωρηθεί ο τελικός στόχος της Φωτογραμμετρίας) θα πρέπει να λαμβάνει υπ'όψη του και δεδομένα που προέρχονται από άλλες πηγές, όπως αυτές που χρησιμοποιεί η Τηλεπισκόπηση. Έγινε λοιπόν προσπάθεια να ενημερωθεί ο αναγνώστης στα συγγενή αντικείμενα της Τηλεπισκόπησης και των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών. Να αποκτήσει δηλαδή την οπτική γωνία που πρέπει να χαρακτηρίζει τον σύγχρονο επιστήμονα που ασχολείται με τη Φωτογραμμετρία.

Όσον αφορά τη μορφή του συγγράμματος, έγινε μια προσπάθεια υπέρβασης της τυπικής μορφής ενός πανεπιστημιακού συγγράμματος, σε όφελος ελπίζουμε της αναγνωσιμότητας και της κατανόησης του κειμένου. Συγκεκριμένα:

- α. Στην αρχή κάθε κεφαλαίου παρατίθεται μία μικρή περίληψη, για να προετοιμασθεί ο αναγνώστης για το τι θα ακολουθήσει στη συνέχεια και πως αυτό συνδέεται με τη γνώση που μέχρι τώρα αποκτήθηκε.
- β. Στο περιθώριο του κειμένου υπογραμμίζονται τα κυριότερα σημεία της κάθε σελίδας, με σκοπό να αποφευχθούν παραλήψεις σημαντικών στοιχείων κατά τη διάρκεια της ανάγνωσης, αλλά και για να βοηθηθεί ο αναγνώστης σε μια επαναληπτική ανάγνωση.
- γ. Χρησιμοποιήθηκαν πλάγια γράμματα μέσα στο κείμενο για να τονίσουν αριθμητικά παραδείγματα, που παραθέτονται για πρακτικού λόγους και κυρίως για να αποκτήσει ο αναγνώστης γνώση της τάξης μεγέθους των παραμέτρων που εξετάζονται κάθε φορά.
- δ. Τέλος, σε μορφή παραρτημάτων δίνονται ανάμεσα σε άλλα και:

- (i) Ένα συνολικό ευρετήριο σχέσεων, που χρησιμοποιούνται στη Φωτογραμμετρία.
- (ii) Μία παρουσίαση των φωτογραμμετρικών οργάνων, υπό μορφή καρτών, στην οποία συμπεριλαμβάνεται φωτογραφία του οργάνου καθώς και τα τεχνικά του χαρακτηριστικά.
- (iii) Μία σειρά ερωτήσεων και ασκήσεων κατανεμημένες κατά κεφάλαιο, με τη βοήθεια των οποίων ο αναγνώστης μπορεί να ελέγξει τις γνώσεις του.

Πιστεύω πως τόσο η μορφή του συγγράμματος όσο και το περιεχόμενο και η διάταξη της ύλης θα συμβάλλει σε μια εύληπτη και ευχάριστη ανάγνωση και κατανόηση των βασικών αρχών μιας επιστημονικής περιοχής από τις πλέον βασικές στο γνωστικό αντικείμενο του Αγρονόμου και Τοπογράφου Μηχανικού.

Ευχαριστώ θερμά τους συναδέλφους Γιάννη Παρασχάκη και Όλγα Γεωργούλα για τη συνεχή στήριξη της προσπάθειας αυτής. Η βοήθειά τους ηθική και πρακτική ήταν ιδιαίτερα χρήσιμη και βοήθησε να αποφευχθούν πολλά από τα λάθη του κειμένου. Για τα λάθη που παρ'όλες τις φιλότιμες προσπάθειές μας βρίσκονται ακόμα στο κείμενο η ευθύνη βαραίνει μόνο τον συγγραφέα, ο οποίος θα ήταν ευγνώμων σε οποιαδήποτε υπόδειξη, παρατήρηση ή κριτική. Επίσης ευχαριστώ τους Νίκο Ζήτη και Άρη Σύρμιο που ανέλαβαν να επιμεληθούν την έκδοση και ανέχτηκαν τις δύστροπες απαιτήσεις του συγγραφέα.

Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω τους Γιάννα, Γιώργο και Νίκο, που πήραν στα σοβαρά το χόμπι μου να γράφω βιβλία και να τους υποσχεθώ ότι στο μέλλον θα τους αφιερώνω περισσότερο χρόνο.

Οκτώβριος '91

Ο συγγραφέας

Περιεχόμενα

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑ

1.1. ΟΡΙΣΜΟΣ	1
1.2. ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	5
1.3. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ	7
1.4. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑΣ	8
1.5. ΤΕΧΝΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΚΩΝ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΩΝ.....	10
1.5.1. Συλλογή πληροφορίας	11
1.5.2. Επεξεργασία της πληροφορίας.....	13
1.5.3. Η επίδραση της γήινης επιφάνειας.....	14
1.5.4. Συμπεράσματα	15

2 Η ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ

2. Η ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ	17
2.1. ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΑ ΓΑΛΑΚΤΩΜΑΤΑ.....	18
2.1.1. Χαρακτηριστική καμπύλη.....	21
2.1.2. Διαχωριστική ικανότητα.....	23
2.1.3. Επεξεργασία γαλακτώματος.....	24
2.1.4. Φωτογραφικά γαλακτώματα για φωτογραμμετρική χρήση.....	25
2.2. ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ ΤΟΥ ΦΙΛΜ.....	27
2.2.1. Θερμοκρασία	28
2.2.2. Σχετική υγρασία.....	29
2.2.3. Μεταβολές της τάσης	29
2.2.4. Ηλικία.....	30

3 Η ΜΕΤΡΙΚΗ ΚΑΜΕΡΑ

3.1. ΟΡΙΣΜΟΙ	31
3.2. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΟΠΤΙΚΗΣ	33
3.2.1. Φακοί.....	33
3.2.2. Σφάλματα των φακών.....	34
3.2.3. Κέντρο προβολής - Βάθος πεδίου	35
3.2.4. Συνάρτηση ειδώλου.....	37
3.3. Η ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ ΤΗΣ ΦΩΤΕΙΝΗΣ ΑΚΤΙΝΑΣ.....	39
3.3.1. Παραμορφώσεις εξ αιτίας του φιλμ.....	39
3.3.2. Παραμορφώσεις εξ αιτίας της γεωμετρικής παραμόρφωσης των φακών	41

3.3.3. Παραμορφώσεις εξ αιτίας της ατμοσφαιρικής διάθλασης	46
3.3.4. Παραμορφώσεις εξ αιτίας της καμπυλότητας της γης	49
3.4. ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΣ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΤΗΣ ΜΕΤΡΙΚΗΣ ΦΩΤΟΜΗΧΑΝΗΣ	50
3.4.1. Γενικά για τη βαθμονόμηση μετρικών φωτομηχανών.....	50
3.4.2. Βαθμονόμηση αερομηχανών	53
α. Εργαστηριακή βαθμονόμηση.....	53
β. Βαθμονόμηση στο πεδίο.....	57
3.4.3. Βαθμονόμηση επίγειων φωτογραφικών μηχανών.....	58
α. Εργαστηριακή βαθμονόμηση.....	58
β. Βαθμονόμηση στο πεδίο.....	60
3.4.4. Εσωτερικός προσανατολισμός	60
3.5. ΤΥΠΟΙ ΜΕΤΡΙΚΩΝ ΦΩΤΟΜΗΧΑΝΩΝ	61
3.5.1. Φωτομηχανές εναέριων λήψεων	61
3.5.2. Φωτομηχανές επιγείων λήψεων	64

4 ΜΟΝΟΕΙΚΟΝΙΚΗ ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑ

4.1. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ	67
4.2. ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΟΝΟΕΙΚΟΝΙΚΗΣ ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑΣ	69
4.2.1. Χαρακτηριστικά της κεντρικής προβολής	69
4.2.2. Τύποι αεροφωτογραφιών.....	70
4.2.3. Κλίμακα αυστηρά κατακόρυφης φωτογραφίας.....	72
4.2.4. Η επίδραση του ανάγλυφου του εδάφους στην κλίμακα μίας αυστηρά κατακόρυφης φωτογραφίας.....	74
4.2.5. Κεκλιμένη φωτογραφία.....	76
4.3. ΑΝΑΓΩΓΗ ΚΕΚΛΙΜΕΝΗΣ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑΣ	78
4.3.1. Αναγωγείς.....	79
4.3.1.1. Η γεωμετρία του αναγωγέα.....	80
4.3.1.2. Τύποι αναγωγέων	84
4.3.2. Οπτικο-μηχανική αναγωγή	85
4.3.2.1. Άμεση οπτικο-μηχανική αναγωγή.....	86
4.3.2.2. Εμπειρική οπτικο-μηχανική αναγωγή.....	86
4.4. ΦΩΤΟΜΩΣΑΪΚΟ	89
4.4.1. Σχεδιασμός λήψεων για την παραγωγή φωτομωσαϊκού.....	90
4.4.2. Φωτομωσαϊκό, Φωτοχάρτης και τοπογραφικός χάρτης	93
4.5. ΔΙΑΦΟΡΙΚΗ ΑΝΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΟΡΘΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ.....	93
4.5.1. Παραγωγή ορθοφωτογραφιών	95
4.5.2. Ο Ορθοαναγωγέας	98
4.6. ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΣ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ ΜΙΑΣ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑΣ	100
4.6.1. Η συνθήκη συγγραμμικότητας.....	101
4.6.2. Πίνακες στροφής	103

5 ΣΤΕΡΕΟΣΚΟΠΙΚΗ ΟΡΑΣΗ - ΠΑΡΑΛΛΑΞΗ

5.1. ΣΤΕΡΕΟΣΚΟΠΙΚΗ ΟΡΑΣΗ.....	107
5.1.1. Φυσική στερεοσκοπική όραση	108
5.1.2. Τεχνητή στερεοσκοπική όραση	110
5.1.3. Απλά και κατοπτρικά στερεοσκόπια	114
5.2. Η ΣΤΕΡΕΟΣΚΟΠΙΚΗ ΠΑΡΑΛΛΑΞΗ	117
5.2.1. Η x -παράλλαξη	117
5.2.2. Η y -παράλλαξη	120
5.2.3. Η αρχή της ιπτάμενης μάρκας	121
5.3. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΕ ΖΕΥΓΟΣ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΩΝ	123
5.3.1. Παράγοντες που επηρεάζουν τη στερεοσκοπική όραση	123
5.3.2. Υπολογισμός τρισδιάστατων συντεταγμένων με μετρήσεις της P_x παράλλαξης.....	125
5.3.3. Μονο- και στερεο-συγκριτές.....	130

6 ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ ΖΕΥΓΟΥΣ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΩΝ

6.1. ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΥΣ.....	135
6.2. ΣΧΕΤΙΚΟΣ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ.....	137
6.2.1. Εξισώσεις παράλλαξης	139
6.2.2. Η διαδικασία του σχετικού προσανατολισμού.....	142
6.2.2.1. Αριθμός απαιτούμενων στοιχείων για τον σχετικό προσανατολισμό.....	142
6.2.2.2. Η θέση των παρατηρούμενων σημείων στο μοντέλο	143
6.2.2.3. Η επίδραση των στοιχείων του σχετικού προσανατολισμού.....	145
6.2.3. Σχετικός προσανατολισμός σε αναλογικούς στερεοαναγωγείς.....	146
6.2.3.1. Εξαρτημένος σχετικός προσανατολισμός	149
Εμπειρικός εξαρτημένος σχετικός προσανατολισμός	149
Αριθμητικός εξαρτημένος σχετικός προσανατολισμός	150
6.2.3.2. Ανεξάρτητος σχετικός προσανατολισμός	152
Εμπειρικός ανεξάρτητος σχετικός προσανατολισμός.....	152
Αριθμητικός ανεξάρτητος σχετικός προσανατολισμός.....	152
6.2.4. Περίπτωση έντονου ανάγλυφου - Περίπτωση ελλειπούς μοντέλου - Κρίσιμες επιφάνειες	153
6.3. ΑΠΟΛΥΤΟΣ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ	157
6.3.1. Αποκατάσταση της κλίμακας του μοντέλου.....	157
6.3.2. Αποκατάσταση των στροφών του μοντέλου.....	160
6.4. ΑΝΑΛΟΓΙΚΟΙ ΣΤΕΡΕΟΑΝΑΓΩΓΕΙΣ	163

7 ΕΝΑΕΡΙΕΣ ΚΑΙ ΕΠΙΓΕΙΕΣ ΛΗΨΕΙΣ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΩΝ

7.1. ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΕΝΑΕΡΙΑΣ ΛΗΨΗΣ	165
7.1.1. Αεροσκάφος - Φωτομηχανή - Φίλμ.....	166

7.1.2. Προγραμματισμός πτήσης	168
7.1.3. Μόνο- και Στέρεο-λήψη	176
7.1.4. Κλίμακα απόδοσης.....	176
7.1.5. Τρόπος απόδοσης	178
7.1.6. Φωτοσταθερά	179
Φωτοσταθερά οριζοντιογραφικού ελέγχου	179
Φωτοσταθερά υψομετρικού ελέγχου.....	179
7.2. ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΕΠΙΓΕΙΑΣ ΛΗΨΗΣ.....	182
7.2.1. Φωτομηχανή - Φίλμ.....	182
7.2.2. Γεωμετρία λήψης.....	183
7.2.3. Μόνο- και στέρεο-λήψη	185
7.2.4. Κλίμακα απόδοσης.....	186
7.2.5. Τρόπος απόδοσης	188
7.2.6. Φωτοσταθερά	188

8 ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΝΑΛΟΓΙΚΗ ΣΤΗΝ ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑ

8.1. ΓΕΝΙΚΑ	191
8.2. ΗΜΙ-ΑΝΑΛΥΤΙΚΑ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΤΙΚΑ ΟΡΓΑΝΑ	192
8.2.1. Ημι-αναλυτικοί στερεοαναγωγείς και συγκριτές.....	194
Οπτικό σύστημα - Σύστημα κινήσεων	196
Εσωτερικός προσανατολισμός.....	196
Σχετικός προσανατολισμός	196
Απόλυτος προσανατολισμός	196
Απόδοση των φωτογραφιών.....	197
8.2.2. Ο αναλυτικός στερεοαναγωγέας	199
α. ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ.....	200
β. ΒΑΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	204
Οπτικό σύστημα - Σύστημα κινήσεων	205
Εσωτερικός προσανατολισμός	205
Εξωτερικός προσανατολισμός.....	205
Απόδοση των φωτογραφιών	205
γ. ΣΥΓΧΡΟΝΟΙ ΑΝΑΛΥΤΙΚΟΙ ΣΤΕΡΕΟΑΝΑΓΩΓΕΙΣ.....	206
Μικρά αναλυτικά συστήματα Στέρεο-απόδοσης.....	210
8.3. ΗΜΙ-ΑΝΑΛΥΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΤΙΚΕΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ	212
8.3.1. Αναλυτική αναγωγή μιας φωτογραφίας.....	212
8.3.2. Αναλυτική αναγωγή ενός στερεοζεύγους	214

9 ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΣΤΗΝ ΨΗΦΙΑΚΗ ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑ

9.1. ΓΕΝΙΚΑ	219
9.2. Η ΨΗΦΙΑΚΗ ΕΙΚΟΝΑ	223
CCD δέκτες	224
Σαρωτές	225
9.3. Ο ΨΗΦΙΑΚΟΣ ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ	226
α. Αρχές λειτουργίας	226

Απαιτήσεις	226
Εξοπλισμός	227
β. Βασικά χαρακτηριστικά.....	228
Συλλογή δεδομένων	228
Οπτικό σύστημα	229
Κινήσεις - Μετρήσεις - Επεξεργασία.....	230
γ. Σύγχρονοι ψηφιακοί φωτογραμμετρικοί σταθμοί.....	230
δ. Πλεονεκτήματα των ψηφιακών έναντι των αναλυτικών οργάνων	232
9.4. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΤΗΣ ΨΗΦΙΑΚΗΣ ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑΣ.....	233
α. Δημιουργία της ψηφιακής εικόνας.....	236
β. Προ-επεξεργασία της ψηφιακής εικόνας	236
Φωτομετρικές διαδικασίες	236
Γεωμετρικές διαδικασίες.....	237
γ. Εντοπισμός και αναγνώριση ομόλογων χαρακτηριστικών	237
Γεωμετρικός τόπος κατακόρυφων γραμμών (Vertical Locus Line-VLL)	239
Ελαχιστοτετραγωνικός εντοπισμός (Least Squares Matching-LSM)	240
Εντοπισμός με χρήση πολλαπλών σημείων (Multi-Point Matching-MPM)	240
Στερεοσκοπική όραση ψηφίδων εδάφους (FACet Stereovision-FAST)	240
δ. Συλλογή γεωμετρικής πληροφορίας	241
Εσωτερικός προσανατολισμός	241
Εξωτερικός προσανατολισμός.....	241
Παραγωγή ορθοφωτογραφιών και Ψηφιακών Μοντέλων Εδάφους.....	242

10 ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑ - ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ - ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ

10.1 ΓΕΝΙΚΑ	245
10.2 ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ	246
10.2.1 Συλλογή Δεδομένων.....	246
α. Δέκτες	249
β. Δεδομένα.....	249
Ψηφιακές Εικόνες.....	249
Διατομές.....	250
Διανυσματικά δεδομένα.....	250
10.2.2 Θεματική Πληροφορία	250
α. Φωτομετρικές διορθώσεις	251
Αποκατάσταση της εικόνας	251
Βελτιστοποίηση της εικόνας	251
Ανάλυση της εικόνας	252
β. Γεωμετρικές διορθώσεις.....	252
Αναγωγή της εικόνας	252
Παραγωγή ανηγμένων εικόνων και μωσαϊκών.....	252
Επιλογή της χαρτογραφικής προβολής.....	253
10.2.3 Γεωμετρική Πληροφορία.....	253
α. Χαρακτηριστικά του προβλήματος	254
β. Στερεοαναγωγή ενός δορυφορικού στερεοζεύγους	255

10.3 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ	257
10.3.1 Τύποι Δεδομένων.....	258
Δεδομένα μορφής ψηφιδωτού.....	258
Δεδομένα διανυσματικής μορφής.....	259
Περιγραφικά δεδομένα.....	259
Ντετερμινιστικά και Στοχαστικά Μοντέλα	259
10.3.2 Επεξεργασία - Διαχείριση.....	259
10.3.3 Αποθήκευση - Απόδοση - Λήψη αποφάσεων	261
Συντομογραφίες.....	263
Βιβλιογραφία.....	264
Παράρτημα Α: ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΕΣΕΩΝ ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑΣ.....	269
Παράρτημα Β: ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ	274
1. ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ ΣΤΙΣ 2-Δ	274
α. Γενικός αφινικός μετασχηματισμός.....	274
β. Ορθογώνιος μετασχηματισμός	280
γ. Μετασχηματισμός ομοιότητας	280
δ. 'Ακαμπτος μετασχηματισμός	282
ε. Μετασχηματισμός κεντρικής προβολής.....	282
2. ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ ΣΤΙΣ 3-Δ	284
α. Μετασχηματισμός ομοιότητας	284
Παράρτημα Γ: ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΑΠΟ ΤΗ ΘΕΩΡΙΑ ΤΩΝ ΣΥΝΟΡΘΩΣΕΩΝ.....	285
Η μέθοδος των εξισώσεων παρατηρήσεων	285
Η συνόρθωση με τη μέθοδο των μικτών εξισώσεων.....	287
Παράρτημα Δ: ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΣΚΗΣΕΙΣ ΕΠΑΝΑΛΗΨΗΣ.....	290
Παράρτημα Ε: ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΚΩΝ ΟΡΓΑΝΩΝ.....	303
Ευρετήριο όρων.....	335

1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑ

Οι φωτογραμμετρικές τεχνικές αποτελούν έμμεσους τρόπους καταγραφής της θέσης, του σχήματος και των διαστάσεων των αντικειμένων. Από το γεγονός αυτό πηγάζουν όλα τα πλεονεκτήματα αλλά και τα μειονεκτήματα της Φωτογραμμετρίας σε σχέση με τις άλλες επιστήμες, που ασχολούνται με τη συλλογή πρωτογενούς πληροφορίας. Τα προβλήματα που αντιμετωπίζει η Φωτογραμμετρία κατά τη διάρκεια της συλλογής και επεξεργασίας της πληροφορίας είναι μεγάλα και είναι ανάγκη αυτοί που ασχολούνται με τη Φωτογραμμετρία να το συνειδητοποιήσουν για να προετοιμασθούν καλύτερα για τη λύση τους.

1.1. ΟΡΙΣΜΟΣ

"Οι πιο πολλοί άνθρωποι θα μπορούσαν κάλλιστα να επιζησουν χωρίς να χρειάζονται να κάνουν ποτέ καμμία μέτρηση. Τα ανθρώπινα όργανα και οι αισθήσεις μας παρέχουν τη δυνατότητα για εξειδικευμένες λειτουργίες ανάμεσα στις οποίες και την εκτίμηση του χώρου που μας περιβάλλει. Η ποσοτική περιγραφή των σχέσεων στο χώρο γίνεται αναγκαία μόνον όταν είναι ανάγκη να υπάρξει επικοινωνία ιδεών που εμπλέκουν διαστάσεις." (Gates, 1984).

Ο πρώτος τρόπος μέτρησης διάστασης ήταν η κατευθείαν σύγκριση του αγνώστου μεγέθους με κάποιο άλλο γνωστής διάστασης.

Το ίδιο παλιός είναι και ο τρόπος μέτρησης χωρίς να έρθουμε σε επαφή με το άγνωστης διάστασης αντικείμενο. Οι αρχαίοι Έλληνες έκαναν μετρήσεις (π.χ. μέτρηση της ακτίνας της γης) χρησιμοποιώντας τις ακτίνες του ήλιου, βασισμένοι στη μοναδική υπόθεση ότι το φως διαδίδεται σε ευθεία γραμμή, αρχή που εφαρμόζεται και στα σημερινά ηλεκτρονικά τοπογραφικά όργανα.

Οι οπτικές μέθοδοι μετρήσεων από απόσταση βρήκαν ευρεία εφαρμογή

όταν έγινε κατανοητό ότι στην επιφάνεια του απλού σκοτεινού θαλάμου είναι δυνατόν να μετρήσει κανείς διαστάσεις πολλών αντικειμένων συγχρόνως. Για να εκτελεσθεί όμως μία τέτοια σειρά μετρήσεων με ευκολία και ακρίβεια θα έπρεπε το είδωλο του αντικειμένου να είναι σταθερό και μεταφερτό. Η φωτογραφία έδωσε αυτή τη δυνατότητα, η οποία συνιστά και τη μεγάλη διαφορά ανάμεσα στη φωτογραμμετρική και στις άλλες μεθοδολογίες μετρήσεων : *Η διαδικασία καταγραφής της πληροφορίας ξεχωρίστηκε από τη διαδικασία μέτρησης. Με τον τρόπο αυτό η διάρκεια και οι συνθήκες κάτω από τις οποίες γίνεται η καταγραφή δεν επηρεάζουν τη μεγαλύτερη σε διάρκεια και την κάτω από τις πλέον ευνοϊκές συνθήκες διαδικασία των μετρήσεων.*

Η φωτογραμμετρία ξεχώρισε τη διαδικασία καταγραφής της πληροφορίας από τη διαδικασία μέτρησης.

"...ο Cezanne (ιμπρεσιονιστής ζωγράφος) έδειξε ότι η όραση των αντικειμένων είναι ξεχωριστή για τον καθένα μας, όχι τόσο γιατί ο εγκέφαλος του καθενός μεταφράζει διαφορετικά τα οπτικά σήματα που δέχονται τα μάτια μας, αλλά διότι η αντίληψη των αντικειμένων σχετίζεται με την αναγνώρισή τους. Και η αναγνώριση είναι σχέση και ταξινόμηση..." (Berger, 1972). Αλλά η *δημιουργία σχέσεων και ομάδων* είναι ο βασικός σκοπός της Επιστήμης. Αν θεωρήσουμε λοιπόν ότι οι ανάγκες του ανθρώπου για μετρήσεις αποσκοπούν στον προσδιορισμό της μορφής, του μεγέθους και της λειτουργίας των φυσικών αντικειμένων αλλά και της μορφής, του μεγέθους και της λειτουργίας των αντικειμένων, που κατασκευάστηκαν από τον ίδιο τον άνθρωπο, τότε η Φωτογραμμετρία είναι η *τέχνη* και η *επιστήμη*, που μελετά τα πρώτα, και η *τεχνολογία* που μελετά τα δεύτερα.

Φωτογραμμετρία λοιπόν ονομάζεται "η τέχνη, επιστήμη και τεχνολογία για την απόκτηση αξιόπιστης πληροφορίας σχετικά με φυσικά αντικείμενα και το περιβάλλον μέσα από διαδικασίες καταγραφής, μέτρησης και ερμηνείας φωτογραφικών εικόνων αλλά και προτύπων ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας" (ASP, 1980).

Οι φωτογραμμετρικές τεχνικές αποτελούν έμμεσους τρόπους καταγραφής της θέσης, του σχήματος και των διαστάσεων των αντικειμένων, καθώς δεν χρησιμοποιούν απ'ευθείας μετρήσεις πάνω στο αντικείμενο, αλλά χρησιμοποιούν τη μετρική πληροφορία που συλλέγεται πάνω σε μία φωτογραφική εικόνα. Με τις τεχνολογικές εξελίξεις των τελευταίων χρόνων, ο ορισμός της Φωτογραμμετρίας έχει επεκταθεί και καλύπτει και την καταγραφή σημάτων από ηλεκτρομαγνητικές και ηχητικές πηγές. Εδώ, παρ'όλα αυτά θα ασχοληθούμε μόνο με τις βασικές αρχές της κλασσικής Φωτογραμμετρίας, δηλαδή με τις οπτικές και γεωμετρικές σχέσεις καθώς και τις εφαρμογές των κλασσικών "φωτογραφικών" εικόνων.

Η Φωτογραμμετρία ως επιστήμη συλλογής στοιχείων από τον φυσικό

κόσμο έχει μεγάλη σχέση με αντίστοιχες επιστήμες συλλογής πρωτογενών δεδομένων όπως η Τοπογραφία και η Γεωδαισία. Ας υποθέσουμε, για παράδειγμα, ότι τα Α και Β είναι δύο σημεία του εδάφους ενώ Αο και Βο οι αντίστοιχες προβολές τους στο οριζόντιο επίπεδο (Σχ. 1-1). Η μεθοδολογία που ακολουθεί η Τοπογραφία για τον προσδιορισμό της θέσης των σημείων στο χώρο είναι μετρήσεις γωνιών και αποστάσεων. Έτσι η οριζόντια γωνία α μεταξύ των σημείων Α και Β καθώς και οι κατακόρυφες γωνίες z_1 και z_2 μετριοούνται με τη βοήθεια ενός θεοδολίκου. Η φωτογραμμετρική μεθοδολογία είναι αντίστοιχη, με τη χρήση όμως μιάς φωτογραφικής μηχανής στη θέση του θεοδολίκου. Εστω ότι α και β είναι οι εικόνες στο αρνητικό των Α και Β αντίστοιχα και c η εστιακή απόσταση της φωτομηχανής. Με τη χρήση ενός συστήματος συντεταγμένων (x,y) στο επίπεδο του αρνητικού, οι συντεταγμένες των εικόνων α και β μπορούν να μετρηθούν και είναι αυτές που αποτελούν πλέον τα πρωτογενή φωτογραμμετρικά στοιχεία. Με τα στοιχεία αυτά ο υπολογισμός των οριζοντίων και κατακορύφων γωνιών α_1 , α_2 και z_1 , z_2 είναι εύκολος όπως φαίνεται και από το τυπολόγιο του Σχ. 1-1. Η αντιστοιχία, κατά συνέπεια των φωτογραμμετρικών με τις τοπογραφικές μετρήσεις είναι προφανής.

Η φωτογραμμετρία έχει μεγάλη σχέση με αντίστοιχες επιστήμες συλλογής πρωτογενών δεδομένων όπως η Τοπογραφία και η Γεωδαισία.

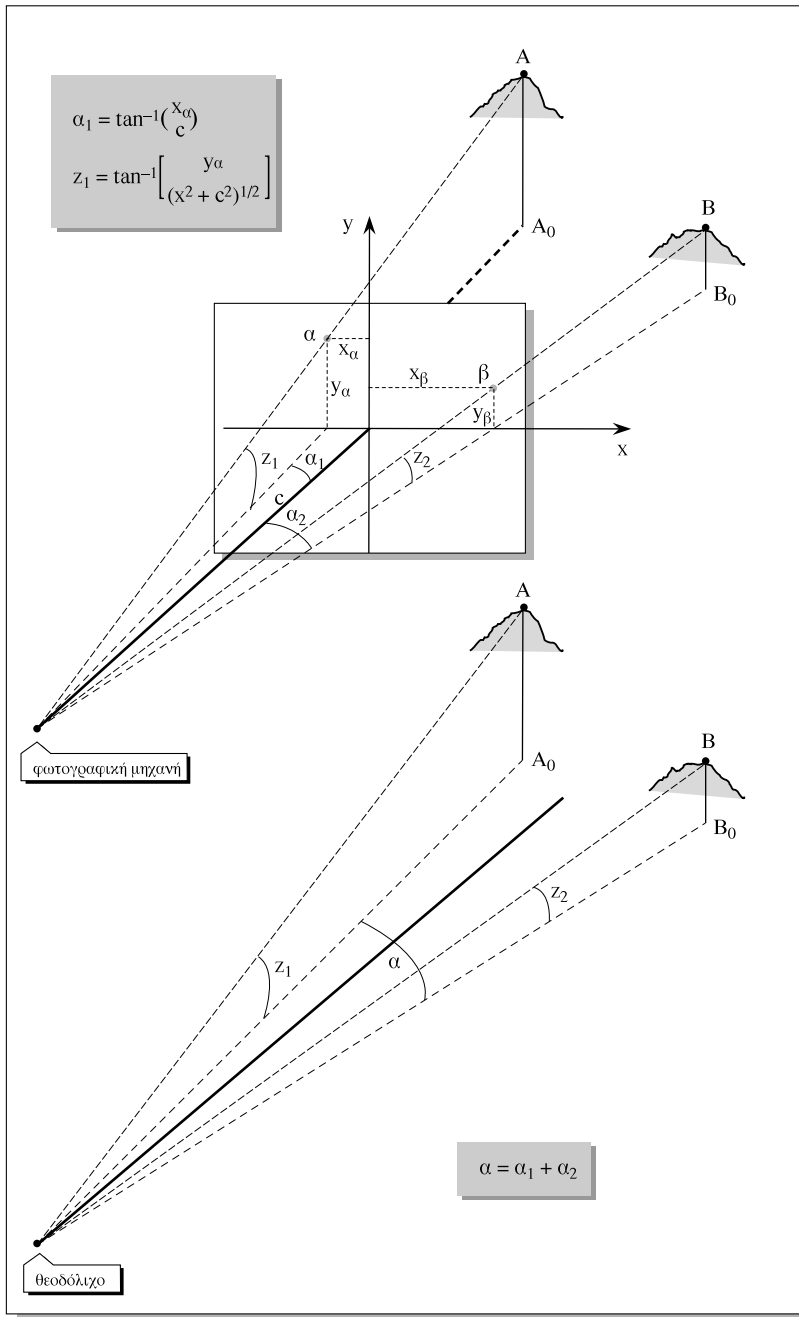
Επαναλαμβάνουμε όμως ότι η σημαντική διαφορά ανάμεσα στη Φωτογραμμετρία και τις άλλες επιστήμες είναι ότι οι φωτογραμμετρικές μετρήσεις είναι **έμμεσες** και γίνονται πάνω σε κάποιο μέσο, όπου αποτυπώνεται ο φυσικός κόσμος και όχι απευθείας στον ίδιο το φυσικό κόσμο. Από τη διαφορά αυτή πηγάζουν όλα τα πλεονεκτήματα αλλά και τα μειονεκτήματα της Φωτογραμμετρίας, μερικά από τα οποία αναφέρονται στη συνέχεια :

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

Ταχύτητα - Η παραγωγή χαρτών με φωτογραμμετρικές μεθόδους είναι ταχύτερη από οποιαδήποτε άλλη μεθοδολογία που στηρίζεται σε επίγειες μετρήσεις. Με μία λήψη π.χ. από ύψος πτήσης 1.5 km καλύπτουμε μία περιοχή μεγαλύτερη από 5 km², ενώ η αντίστοιχη περιοχή θα απαιτούσε προφανώς πάρα πολύ μεγάλο χρόνο για να καλυφθεί από επίγειες μετρήσεις.

Οικονομία - Στενά συνδεδεμένο με την ταχύτητα της συλλογής δεδομένων είναι και το κόστος τους. Αυτός είναι και ο λόγος που σε περιοχές που υπήρξε η ανάγκη μαζικής χαρτογράφησης (π.χ. μεγάλες εκτάσεις του Καναδά και της Αυστραλίας, χώρες του Τρίτου Κόσμου κλπ.) η πάγια τακτική ήταν και είναι να χρησιμοποιούνται φωτογραμμετρικές διαδικασίες ως οι πιο ενδεδειγμένες από άποψη ταχύτητας και κόστους.

Η παραγωγή χαρτών με φωτογραμμετρικές μεθόδους είναι ταχύτερη από οποιαδήποτε άλλη μεθοδολογία που στηρίζεται σε επίγειες μετρήσεις.



Σχήμα 1-1. Αντιστοιχία τοπογραφικών και φωτογραμμετρικών μετρήσεων

Προσπελασιμότητα εδάφους - Ένα σαφές πλεονέκτημα των φωτογραφικών έναντι των επίγειων μετρήσεων είναι σε περιπτώσεις δύσκολης ή απαγορευτικής προσπελασιμότητας του εδάφους. Αναφέρουμε ενδεικτικά αρκτικές περιοχές, περιοχές πυκνής βλάστησης, απόκρυμνα μέρη, έρημοι, ηφαιστιογενείς περιοχές κλπ.

Συνεχής απεικόνιση - Ενώ οι επίγειες μετρήσεις έχουν ως σκοπό τον προσδιορισμό των συντεταγμένων διακριτών σημείων λεπτομερειών, η φωτογραφία είναι μία συνεχής απεικόνιση του φυσικού κόσμου και μπορεί να αποδοθεί σαν τέτοια. Η υπεροχή της Φωτογραμμετρίας γίνεται εύκολα κατανοητή αν θεωρήσουμε, για παράδειγμα, τη χαρτογραφική απόδοση της όψης ενός κτιρίου. Ο αριθμός των λεπτομερειών που πρέπει να αποτυπωθούν με επίγειες μετρήσεις είναι απαγορευτικά μεγάλος, ενώ αντίθετα όλη αυτή η πληροφορία υπάρχει σε μία φωτογραφία.

ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

Πολλές πηγές σφαλμάτων - Οι πηγές σφαλμάτων κατά τη φωτογραφική συλλογή είναι πολλές. Έτσι οι μεθοδολογίες επεξεργασίας των δεδομένων είναι πολυπλοκότερες ενώ τα τελικά προϊόντα είναι μερικές φορές μικρότερης ακρίβειας, από ότι αν συλλέγονταν με επίγειες μετρήσεις.

- Πολλά σφάλματα
- Δευτερογενής ή συλλογή πληροφορίας.

Απαιτήσεις σε σημεία ελέγχου - Όπως θα δούμε στη συνέχεια, η Φωτογραμμετρία βασίζει τις μεθοδολογίες της σε κάποια ήδη υπάρχουσα πληροφορία. Απαιτεί δηλαδή την ύπαρξη γνωστών σημείων στο έδαφος. Εξαρτάται με άλλα λόγια από το αποτέλεσμα προηγούμενων επίγειων μετρήσεων και με την έννοια αυτή είναι ένα δευτερογενές στάδιο συλλογής πληροφορίας.

1.2. ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Οι τεχνικές των "μετρήσεων πάνω σε εικόνα" είναι πιο παλιές από την ίδια τη φωτογραφία και έχουν τις ρίζες τους στην εποχή που για πρώτη φορά τέθηκαν τα θεμέλια της προβολικής γεωμετρίας. Σαν βασικοί ιστορικοί σταθμοί στην ανάπτυξη της Φωτογραμμετρίας αναφέρονται :

- 350 π.Χ.: Ο Αριστοτέλης αναφέρει την αρχή λειτουργίας του σκοτεινού θαλάμου και θέτει τα θεμέλια της προβολικής γεωμετρίας.
- 15ος αιώνας: Ο Leonardo da Vinci αναφέρει σχέσεις προοπτικής απεικόνισης και γραφικούς τρόπους επίλυσης.
- 1759: Ο J.H. Lambert δημοσιεύει στο βιβλίο του "Freye Perspective"

τις γεωμετρικές σχέσεις της κεντρικής προβολής.

- 1839: Οι J.N. Niepce και J.L.M. Daguerre ανακαλύπτουν τη φωτογραφία και ο Arago που το ανακοινώνει στη Γαλλική Ακαδημία αναφέρει πιθανές εφαρμογές στην απεικόνιση του εδάφους.
- 1851: Κατασκευή και εφαρμογή της πρώτης μετρικής κάμερας σε τοπογραφικές αποτυπώσεις από τον A. Laussedat ("Metrographie") που θεωρείται ο πατέρας της Φωτογραμμετρίας.
- 1858: Όψεις ιστορικών κτιρίων χαρτογραφούνται από τον A. Meydenbauer (αρχιτεκτονική Φωτογραμμετρία).
- 1858: Οι πρώτες αεροφωτογραφίες από τον G.H. Tournachon ("Nadar").
- 1883: Οι Γερμανοί Sturm και Hauck διατυπώνουν τη σχέση ανάμεσα στη προβολική γεωμετρία και τη φωτογραφία μετά από φωτογραφικές λήψεις από αερόστατα και καρταετούς.
- 1886: Όρη του Καναδά χαρτογραφούνται με τη νέα τεχνική από τον E. Deville, ενώ δύο χρόνια αργότερα ο S. Finsterwalder χαρτογραφεί με τον ίδιο τρόπο το γήινο ανάγλυφο.
- 1894: Η U.S. Coast and Geodetic Survey υιοθετεί τη νέα τεχνική για τη χαρτογράφηση των συνόρων Ην. Πολιτειών-Καναδά και περιοχών της Αλάσκας.
- 1897-1932: Διατυπώνονται οι οπτικές και γεωμετρικές βάσεις για την κατασκευή των στερεοαναγωγών από τον T. Scheimflug.
- 1901: Ο C. Pulfrich, που θεωρείται ο πατέρας της στερεο-φωτογραμμετρίας, κατασκευάζει τον πρώτο στερεοσυγκριτή (ZEISS) και εισάγει τις πρώτες εφαρμογές της στερεο-φωτογραμμετρίας με παρατηρήσεις σε κύματα, σύννεφα κλπ..
- 1903: Κατασκευάζεται ο πρώτος χάρτης με τη βοήθεια αεροφωτογραφιών (από αερόστατο) από τον S. Finsterwalder, ενώ παράλληλα αναπτύσσεται η θεωρία του προσανατολισμού ζεύγους φωτογραφιών.
- 1909: Κατασκευή του "στερεοαυτογράφου" από τον E. von Orel, του πρώτου αναλογικού μηχανήματος που επέτρεπε την συνεχή σχεδίαση γραμμών.
- 1910: Ίδρυση της Διεθνούς Ένωσης Φωτογραμμετρίας (ISP).
- 1915-1918: Κατασκευάζονται οι πρώτες μετρικές φωτογραφικές μηχανές διαδοχικών λήψεων από τον Messter.
- 1920-1940: Κατασκευάζονται μαζικά αναλογικοί στερεοαναγωγείς με πρώτο τον "Αυτογράφο" (1920) του R. Hugerschhoff, τον "Αεροχαρτο-

γράφο" (1922) του ίδιου, τον "Στερεοπλανιγράφο" (1923) του Bauersfeld κλπ.. Ο Otto von Gruber μιλάει για θέματα φωτογραμμετρικού τριγωνισμού (1930), ο Earl Church αναπτύσσει μία σειρά θεμάτων σχετικά με οπισθοτομίες, προσανατολισμούς, επέκταση δικτύων, ενώ μαζικά πλέον παράγονται χάρτες με φωτογραμμετρικές διαδικασίες από νεοϊδρυμένες εταιρείες και δημόσιους φορείς.

- 1940-1945: Κατά τη διάρκεια του πολέμου χρησιμοποιούνται ευρύτατα οι αεροφωτογραφίες για στρατιωτικούς σκοπούς και τη συλλογή στρατηγικών πληροφοριών.
- 1950: Αναπτύσσεται η συνθήκη συνεπιπεδότητας από τον G.H. Shut στο NRC του Καναδά και χρησιμοποιείται στη λύση αεροτριγωνισμών.
- 1950-1960: Ο Merrit και ο D. Brown ακολουθούν με βαθμονομήσεις μηχανών, ο Hobrough παρουσιάζει τον πρώτο αυτόματο στερεοαναγωγέα για τη συσχέτιση στερεοσκοπικών εικόνων, ενώ ο U. Helava παρουσιάζει τον πρώτο αναλυτικό στερεοαναγωγέα (AP/C). Παράλληλα εισάγονται και βελτιώνονται τα όργανα για την παραγωγή ορθοφωτογραφιών και χρησιμοποιούνται οι πρώτοι ηλεκτρονικοί υπολογιστές σε σύνδεση με φωτογραμμετρικά όργανα.

1.3. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ

Η Φωτογραμμετρία ταξινομείται σε ειδικότητες ή κατηγορίες ανάλογα με τον τύπο της φωτογραφίας, τον τρόπο λήψης και τον τρόπο χρήσης της. Διακρίνουμε έτσι την **από αέρα Φωτογραμμετρία** στην περίπτωση των αεροφωτογραφιών σε αντίθεση με την **επίγεια Φωτογραμμετρία** όπου ο σταθμός λήψης των φωτογραφιών βρίσκεται στο έδαφος.

Σε επί μέρους ταξινόμηση ανάλογα με τον τρόπο λήψης της φωτογραφίας διακρίνουμε τις **κατακόρυφες, κεκλιμένες και πλάγιες** λήψεις. Το μέρος της Φωτογραμμετρίας που ασχολείται με την εξαγωγή (διδιάστατης αναγκαστικά) πληροφορίας από μία μόνο φωτογραφία ονομάζεται **Μονοεικονική Φωτογραμμετρία** σε αντίθεση με την **Στερεοφωτογραμμετρία** που χρησιμοποιεί επικαλυπτόμενα ζεύγη εικόνων.

Ανάλογα τέλος με τον τρόπο επεξεργασίας και απόδοσης της πληροφορίας διακρίνουμε την **Αναλογική Φωτογραμμετρία**, όπου γίνεται χρήση των αναλογικών φωτογραμμετρικών οργάνων και την **Αναλυτική Φωτογραμμετρία**, όπου η επεξεργασία των στοιχείων στηρίζεται σε αναλυτικές σχέσεις ενώ η απόδοση διευκολύνεται από τη χρήση αναλυτικών φωτογραμμετρικών οργάνων. Η **Ψηφιακή Φωτογραμμετρία** που έρχεται, σε συνάρτηση με την ανάπτυξη της ψηφιακής τεχνολογίας

- Από αέρα φωτογραμμετρία
- Επίγεια φωτογραμμετρία
- Μονοεικονική φωτογραμμετρία
- Στερεοφωτογραμμετρία
- Αναλογική φωτογραμμετρία
- Αναλυτική φωτογραμμετρία
- Ψηφιακή φωτογραμμετρία

και των γραφικών επεξεργάζεται όχι πλέον αναλογικές αλλά ψηφιακές εικόνες.

1.4. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑΣ

Η Φωτογραμμετρία ως επιστήμη του Τοπογράφου και Αγρονόμου μηχανικού είναι ίσως η μοναδική με τόσο ευρύ φάσμα εφαρμογών. Αναφέρομε μερικές (βλ. και Σχ. 1-2):

- Τοπογραφία, Χαρτογραφία (*αποτυπώσεις, φωτογραμμετρικά διαγράμματα, παραγωγή χαρτών, κτηματολόγιο*).
- Μελέτες & κατασκευές έργων (*σχεδιασμός και μελέτη δρόμων, γεφυρών, φραγμάτων κλπ., αναπτυξιακές μελέτες, έλεγχος μικρομετακινήσεων των κατασκευών*).
- Σχεδιασμός πολεοδομικών συγκροτημάτων (*μελέτες χρήσεων γης κλπ*)
- Αρχιτεκτονική (*αποτυπώσεις όψεων, θόλων, εσωτερικών χώρων*)
- Περιβαλλοντολογικές μελέτες (*ειδικές χρήσεις υπέρυθρων και θερμικών φίλμς για μελέτες της ατμόσφαιρας, των υδάτινων πόρων και του εδάφους, μελέτες σχετικές με πυρκαγιές, σεισμούς, παγετούς, ηφαιστεια*)
- Γεωλογία, Γεωπονική, Δασολογία (*μελέτη πετρωμάτων, εξορύξεις ορυκτών, υπολογισμοί όγκων, μελέτες ασθενειών των καλλιεργειών, υπολογισμός καταστροφών από θεομηνίες*)
- Αρχαιολογία (*αποτυπώσεις ανασκαφών και μελέτες αρχαιολογικών χώρων, αποτυπώσεις αγαλμάτων, αγγείων και γενικά αρχαιολογικών ευρημάτων*)
- Ιατρική (*μετρικές πληροφορίες από ακτίνες-Χ, τομογραφία*)
- Έργα μηχανολόγου μηχανικού (*έλεγχος παραγωγής βιομηχανικών προϊόντων, ρομποτική, αυτοματοποιημένη όραση*)
- Στρατιωτικοί σκοποί, στρατηγικοί στόχοι (*αναγνώριση στόχων, νυχτερινές φωτογραφίες, σύγχρονα όπλα*)
- Αστυνομία (*διερεύνηση εγκλημάτων, τροχαίων ατυχημάτων*)
- Διάστημα (*μελέτες του εδάφους, της ατμόσφαιρας και του υπεδάφους άλλων πλανητών*)

1.5. ΤΕΧΝΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΚΩΝ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΩΝ

Η σχέση ανάμεσα στην πραγματικότητα και στο ιδανικό μας μοντέλο μπορεί να είναι εντελώς προσεγγιστική. Ο βαθμός προσέγγισης εξαρτάται από την ποιότητα της φωτογραφικής μηχανής, το φωτογραφικό υλικό, τη μεθοδολογία αναγωγής των μετρήσεων και τελικά από την εμπειρία του χειριστή.

Γενικά η φωτογραφία θεωρείται μια κεντρική προβολή του εδάφους, ή ενός αντικειμένου πάνω σε μια επίπεδη επιφάνεια (αρνητικό ή διαθετικό). Εξ αιτίας αυτής της μοντελοποίησης της πραγματικότητας, βρίσκουμε διαφορές από την εφαρμογή των φωτογραμμετρικών σχέσεων και της αντίστοιχης πραγματικής κατάστασης. Για παράδειγμα :

- α. Θεωρούμε ότι η φωτογραφία είναι μια κεντρική προβολή. Υποθέτουμε, κατά συνέπεια, ότι κάπου μέσα στο σύστημα των φακών υπάρχει ένα **προβολικό κέντρο**. Στην πραγματικότητα βέβαια κανένα τέτοιο κέντρο δεν υπάρχει. Υπάρχουν απλά δέσμες ακτίνων που περνούν μέσα από το σύστημα των φακών από διαφορετικά σημεία.
- β. Θεωρούμε ότι η εικόνα ενός σημείου πάνω στο αρνητικό είναι κι αυτή ένα **σημείο**. Αυτό από τη φύση του αρνητικού δεν είναι δυνατό. Είναι αυτονόητο ότι μετά την επεξεργασία του αρνητικού, ένα σημείο υλοποιείται από έναν αριθμό κόκκων πάνω στη φωτοευαίσθητη επιφάνεια. Ούτε βέβαια υπάρχει κάποιο **επίπεδο προβολής**, καθώς η επιφάνεια αυτή έχει ένα ορισμένο πάχος.
- γ. Υποθέτουμε ότι μια δέσμη ακτίνων που έχει ως αρχή ένα σημείο μπορεί να παρασταθεί με μια **ευθεία γραμμή** που περνάει από το προβολικό κέντρο. Στην πραγματικότητα, οι ακτίνες αυτές "σπάζουν" κατά τη δίοδό τους μέσα από το σύστημα των φακών. Ακόμα κι αν ξανασυναντηθούν σε ένα σημείο (γεγονός που μόνο κατά προσέγγιση είναι αληθινό), το σημείο αυτό δεν βρίσκεται πάντα στην ευθεία που ορίζουν το προβολικό κέντρο και το σημείο στον πραγματικό χώρο.
- δ. Η φωτοευαίσθητη επιφάνεια θεωρείται μια επίπεδη επιφάνεια με **σταθερές διαστάσεις**. Στην πραγματικότητα, και ειδικά όταν χρησιμοποιείται φιλμ, ανακαλύπτουμε αρκετές παραμορφώσεις, που οφείλονται κατά κύριο λόγο σε παρεκκλίσεις από την επιπεδότητα και σε μεταβολές των διαστάσεών του.

Κατά συνέπεια, η σχέση ανάμεσα στην πραγματικότητα και στο ιδανικό μας μοντέλο μπορεί να είναι **εντελώς προσεγγιστική**. Ο βαθμός προσέγγισης εξαρτάται από την ποιότητα της φωτογραφικής μηχανής, το φωτογραφικό υλικό, τη μεθοδολογία αναγωγής των μετρήσεων και τελικά από την εμπειρία του χειριστή. Με τη σημερινή εντούτοις τεχνολογία οργάνων και με τις προηγμένες μεθοδολογίες που εφαρμόζονται, ο

βαθμός προσέγγισης είναι της τάξης $1\mu m-50\mu m$. Για πολλές εφαρμογές μια τέτοια προσέγγιση είναι πολύ ικανοποιητική και καθιστά το μαθηματικό μας μοντέλο ένα αναντικατάστατο εργαλείο.

Αν όμως το ιδανικό μας μοντέλο εισάγει σφάλματα, που μέχρι κάποιο βαθμό η αγνόσή τους δεν υποβαθμίζει την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων, ο τρόπος με τον οποίο συλλέγονται και επεξεργάζονται τα φωτογραφμετρικά δεδομένα βασίζεται σε τεχνικές και προϋποθέσεις που είτε δεν ακολουθούνται είτε δεν ισχύουν πάντοτε στην πράξη. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να εισάγονται σφάλματα που μπορούν να μειώσουν σημαντικά την ακρίβεια των αποτελεσμάτων μας. Για να εκτιμήσουμε την ποιότητα και το μέγεθος των δυσκολιών που προέρχονται από τέτοιες πηγές, αξιολογήσαμε τις απαιτήσεις μιας από τις πιο συνηθισμένες φωτογραφμετρικές εφαρμογές : της κατασκευής ενός τοπογραφικού χάρτη.

1.5.1. Συλλογή πληροφορίας

Προκειμένου να εξηγήσουμε γιατί σπάνια είναι δυνατό να έχουμε τέλειες αεροφωτογραφίες για την κατασκευή ενός χάρτη, δίνεται παρακάτω ένα σύνολο απαιτήσεων που πρέπει να πληρούνται κατά τη συλλογή της πληροφορίας :

Οι συνθήκες συλλογής της πληροφορίας δεν είναι ποτέ ιδανικές

1. Κάθε ένα από τα κέντρα προβολής, που αντιστοιχεί σε μια φωτογραφία πρέπει να βρίσκεται στη **ιδανική θέση και υψόμετρο** που από πριν προσδιορίστηκε.
2. Ο οπτικός άξονας του συστήματος των φακών πρέπει να είναι ακριβώς κατακόρυφος κατά τη στιγμή της λήψης (σε περίπτωση κατακόρυφης λήψης), ή η **γωνία της απόκλισης από την κατακόρυφο** να είναι γνωστή ακριβώς.
3. Το **αζιμούθιο** της φωτογραφικής μηχανής κατά τη στιγμή της λήψης πρέπει να είναι ακριβώς αυτό που σχεδιάστηκε από πριν.
4. Δεν πρέπει να υπάρχει **κίνηση του αεροσκάφους** σε σχέση με το έδαφος κατά τη διάρκεια της λήψης μιας φωτογραφίας.
5. Το σύστημα των φακών της φωτομηχανής δεν πρέπει να εισάγει παραμορφώσεις και να είναι **οπτικά τέλειο**.
6. Η **εσωτερική γεωμετρία της κάμερας** πρέπει να είναι σταθερή και τα μετρικά χαρακτηριστικά της να μας είναι ακριβώς γνωστά.
7. Η **επιφάνεια του φιλμ** πρέπει να είναι εντελώς επίπεδη και να έχει τον σωστό προσανατολισμό σε σχέση με το σύστημα των φακών.
8. Η **φωτοευαίσθητη επιφάνεια** πρέπει να έχει ομοιόμορφο πάχος και απεριόριστη διακριτικότητα.
9. Η **βάση του φιλμ** πρέπει να έχει εντελώς σταθερές διαστάσεις.
10. Οι **ατμοσφαιρικές συνθήκες** κατά τη στιγμή της λήψης πρέπει να είναι ιδανικές.

Είναι προφανές ότι έως ότου αναπτυχθούν τελειότερα όργανα πλοήγησης κανένας πιλότος δεν θα μπορούσε να διατηρήσει ακριβώς μία προ-

γραμματισμένη πορεία του αεροσκάφους. Εξ αιτίας ανέμων και κενών το ύψος πτήσης μεταβάλλει συνεχώς, η πορεία του δεν είναι ευθεία και πολλές φορές αναγκάζεται να στρίψει προς τα δεξιά ή προς τα αριστερά σε σχέση με τον άξονα της ατράκτου του. Αυτό σημαίνει ότι οι προϋποθέσεις 1,2 και 3 είναι σχεδόν αδύνατο να τηρηθούν στην πράξη.

Ο όρος "*στιγμή της λήψης*" σημαίνει ότι προϋποθέτουμε ότι η χρονική διάρκεια, κατά την οποία είναι ανοικτό το διάφραγμα της φωτομηχανής είναι απειροστικά μικρή. Στην πραγματικότητα ο χρόνος αυτός δεν είναι τόσο μικρός και αυτό έχει μεγάλη σημασία για τη Φωτογραμμετρία.

Ας υποθέσουμε, για παράδειγμα, ότι το διάφραγμα παραμένει ανοικτό για $1/200 \text{ sec}$, που είναι μια ταχύτητα που συνήθως χρησιμοποιείται στην πράξη, και ας παραβλέψουμε το γεγονός ότι το διάφραγμα παραμένει μισάνοικτο για μεγαλύτερο διάστημα. Παρότι ο χρόνος αυτός φαίνεται πολύ μικρός, αν πάρουμε υπ'όψη μας ότι η φωτογραφία λαμβάνεται από ένα αεροσκάφος jet με ταχύτητα 900 km/h , βλέπουμε ότι η φωτομηχανή μετακινείται ουσιαστικά κατά τη "*στιγμή της λήψης*" κατά $900,000 / (200 * 3600) = 1.25 \text{ m}$. Σαν αποτέλεσμα τα είδωλα μετακινούνται πάνω στη φωτογραφία, γεγονός που είναι ιδιαίτερα προβληματικό σε χαμηλές λήψεις.

Ο φακός και η φωτογραφική μηχανή παρουσιάζουν επίσης κατασκευαστικές ατέλειες που αποτελούν μια πρόσθετη πηγή σφαλμάτων. Εκτός κι αν το σύστημα των φακών είναι οπτικά τέλειο, η επιφάνεια του φιλμ εντελώς επίπεδη και κάθετη στον οπτικό άξονα της μηχανής, και η απόσταση του φακού από το επίπεδο του αρνητικού σταθερή και γνωστή, ούτε και οι προϋποθέσεις 5,6 και 7 ισχύουν.

Ακόμη και αν ο φακός είναι τελείως απαλλαγμένος από σφάλματα και πολύ καλής ποιότητας/διακριτότητας αυτό δεν θα βοηθούσε και πολύ εκτός και αν το φιλμ ήταν συμβατής διακριτότητας και σταθερών διαστάσεων, γεγονός που τελικά εξαρτάται από την ηλικία του φιλμ, την υγρασία, την θερμοκρασία και την τάση έλξης του μέσα στη μηχανή.

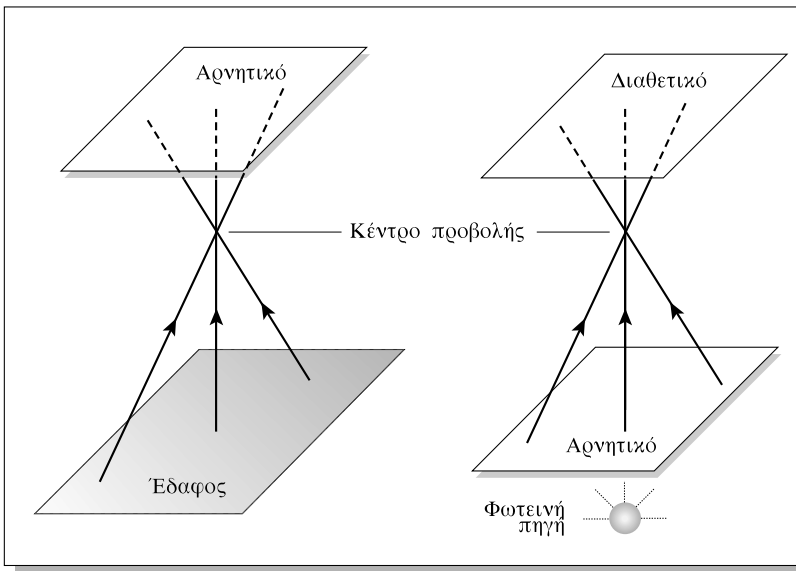
Στην περίπτωση τέλος κατά την οποία ίσχυαν όλες οι παραπάνω προϋποθέσεις η λήψη μιας τέλειας φωτογραφίας θα συνέχιζε να ήταν σπάνια. Καλές μέρες για φωτογράφιση είναι πολύ σπάνιες και απαιτούν ατμόσφαιρα χωρίς σύννεφα, ομίχλη ή καπνό. Και πάλι όμως υπάρχει πάντα η ατμοσφαιρική διάθλαση που έχει ως αποτέλεσμα οι ακτίνες του φωτός να "*κάμπτονται*" και κατά συνέπεια να παραμορφώνουν το είδωλο του εδάφους στο αρνητικό.

1.5.2. Επεξεργασία της πληροφορίας

Μια δεύτερη πηγή δυσκολιών για την κατασκευή ενός ακριβούς χάρτη προέρχεται από την διαδικασία της επεξεργασία των δεδομένων, δηλαδή από την εμφάνιση του αρνητικού ή του διαθετικού και από την απόδοση των σημείων της φωτογραφίας πάνω σε έναν χάρτη.

Φωτογραφική επεξεργασία, παραγωγή διαθετικών, απόδοση πληροφορίας

Η φωτογραφική επεξεργασία του αρνητικού, δηλαδή η εμφάνισή του μέσα από χημικά υγρά, το πλύσιμο στη συνέχεια και το στέγνωμά του είναι μία διαδικασία που απαιτεί εξειδικευμένο και έμπειρο προσωπικό και μεγάλη επιμέλεια. Όλες οι προσπάθειες για μια επιμελημένη λήψη θα πήγαιναν χαμένες αν το φιλμ εμφανίζονταν απρόσεκτα. Στις πιο πολλές περιπτώσεις η φωτογραμμετρική απόδοση δεν στηρίζεται στα πρωτότυπα αρνητικά αλλά στα θετικά τους αντίγραφα τα **διαθετικά** (Σχ. 1-3).



Σχήμα 1-3. Αρνητικό και διαθετικό

Η παραγωγή των διαθετικών στηρίζεται είτε στη φωτογράφιση των αρνητικών, είτε στην εξ επαφής έκθεσή τους σε ειδικούς εκτυπωτές. Αν το διαθετικό θα είναι το τελικό μέσο, πάνω στο οποίο θα στηριχθεί η φωτογραμμετρική διαδικασία, είναι προφανές ότι η σημασία του δεν υστερεί αυτής του αρνητικού. Η παραγωγή του πρέπει να είναι εξ ίσου επιμελημένη ώστε να διατηρεί την υψηλή ακρίβεια του αρνητικού.

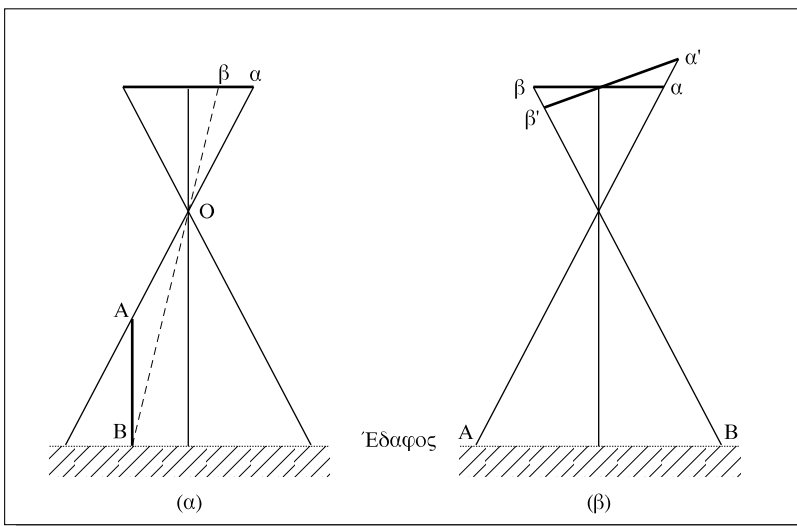
Επιπλέον απώλεια της ακρίβειας μπορεί να προέλθει κατά τη διαδικασία της μεταφοράς της πληροφορίας από τη φωτογραφία στον χάρτη. Το στάδιο αυτό ονομάζεται **φωτογραμμετρική απόδοση** και για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται ειδικά φωτογραμμετρικά όργανα οι **στερεοαναγωγείς**. Τα όργανα αυτά είναι οπτικο-μηχανικοί μηχανισμοί υψηλής ακρίβειας. Είναι όμως αναγκαστικά και πολύπλοκα και ευαίσθητης ισορροπίας όργανα. Για τον λόγο αυτόν είναι συχνά πηγή σφαλμάτων, που μπορούν να αποφευχθούν μόνο με προσεκτική χρήση των οργάνων από έμπειρο και ειδικευμένο προσωπικό.

1.5.3. Η επίδραση της γήινης επιφάνειας

Εξαιτίας της καμπυλότητας της γης, της ύπαρξης αναγλύφου και της μη παραλληλίας της φωτογραφίας με το έδαφος, η φωτογραφία έχει (σε αντίθεση με την χάρτη) κλίμακα που μεταβάλλεται από σημείο σε σημείο.

Αν ήταν δυνατό να ληφθεί μία εντελώς κατακόρυφη φωτογραφία πάνω από ένα επίπεδο και οριζόντιο έδαφος και ήταν συγχρόνως δυνατό να απομακρυνθούν οι επιδράσεις της ατμοσφαιρικής διάθλασης και των σφαλμάτων των φακών, η φωτογραφία αυτή θα είχε όλα τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά ενός χάρτη.

Η επιφάνεια της γης βέβαια δεν είναι επίπεδη αλλά μία επιφάνεια με μια ορισμένη καμπυλότητα. Το γεγονός αυτό έχει ιδιαίτερη σημασία όταν το ύψος πτήσης είναι μεγάλο ή όταν η λήψη είναι αρκετά κεκλιμένη. Στις περιπτώσεις αυτές τα σφάλματα εξ αιτίας της καμπυλότητας της γης δεν είναι αμελητέα και πρέπει να γίνει προσπάθεια να διορθωθούν.



Σχήμα 1-4. Η επίδραση του αναγλύφου του εδάφους και της κλίσης της φωτογραφίας.

Μεγαλύτερης ακόμα σημασίας από άποψης απώλειας ακρίβειας είναι το γεγονός ότι η γήινη επιφάνεια όχι μόνο δεν είναι επίπεδη αλλά παρουσιάζει υψομετρικές διαφορές από σημείο σε σημείο. Εξ αιτίας του αναγλύφου οι εικόνες των σημείων μετατοπίζονται από τη σωστή τους θέση. Έτσι αν AB είναι ένας κατακόρυφος στύλος στο έδαφος (Σχ. 1-4(a)), η απόσταση $a\beta$ στη φωτογραφία είναι η μετατόπιση του σημείου A λόγω της υψομετρικής διαφοράς των σημείων A και B .

Εξ αιτίας επίσης της μορφής της γήινης επιφάνειας η φωτογραφία δεν είναι παράλληλη με το έδαφος. Αυτό προκαλεί επίσης μετατοπίσεις των σημείων της φωτογραφίας (Σχ. 1-4(β)). Λόγω αυτών των μετατοπίσεων η φωτογραφία, σε αντίθεση με τον χάρτη, δεν χαρακτηρίζεται από μία σταθερή κλίμακα. Αντίθετα, η κλίμακα μεταβάλλεται από σημείο σε σημείο, εμφανίζοντας έτσι ένα απεριόριστο αριθμό κλιμάκων.

1.5.4. Συμπεράσματα

Τα προβλήματα που αναφέρθηκαν παραπάνω είναι μερικά από τα πιο σημαντικά θέματα που έχει να αντιμετωπίσει η Φωτογραμμετρία στην προσπάθειά της να καταγράψει ακριβή πληροφορία με τη χρήση φωτογραφιών.

Όπως είδαμε η ανάπτυξη της Φωτογραμμετρίας ήταν πάντοτε στενά συνδεδεμένη με την ανάπτυξη της τεχνολογίας. Με τη σημερινή τεχνολογία των αεροσκαφών, των φωτομηχανών, των φιλμς, των φωτογραμμετρικών οργάνων αλλά και με την ανάπτυξη και τελειοποίηση των χρησιμοποιούμενων μεθοδολογιών επεξεργασίας των δεδομένων, τα σφάλματα που εισάγονται είναι μικρά και μπορούμε σχετικά εύκολα να πετύχουμε αρκετά καλές ακρίβεις.

Παρότι η πραγματική εικόνα δεν είναι τόσο απαισιόδοξη όσο την περιγράψαμε στο κεφάλαιο αυτό, είναι ανάγκη αυτοί που ασχολούνται με τη Φωτογραμμετρία να συνειδητοποιήσουν το μέγεθος των προβλημάτων που πρέπει να αντιμετωπίσουν και να προετοιμασθούν καλύτερα για τη λύση τους. Για τον λόγο αυτόν στα επόμενα κεφάλαια θα εξετάσουμε διεξοδικά τις διάφορες μεθοδολογίες που χρησιμοποιούνται στη Φωτογραμμετρία για τη διόρθωση των σφαλμάτων και την παραγωγή φωτογραμμετρικών προϊόντων υψηλής ακρίβειας.