

ΕΛΕΓΧΟΣ ΜΕΤΡΗΤΙΚΗΣ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ ΚΑΙ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΟΡΘΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΩΝ

X. Ιωαννίδης, A. Γεωργόπουλος

Εργαστήριο Φωτογραμμετρίας, Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, Ε.Μ.Π.

Περίληψη

Η Φωτογραμμετρία, ως μετρητική και μετρολογική επιστήμη εκμεταλλεύεται και επεξεργάζεται εικόνες με στόχο την εξαγωγή αξιόπιστων μετρητικών πληροφοριών. Τα προϊόντα της φωτογραμμετρικής διαδικασίας μπορεί να έχουν εκτός από διανυσματική και εικονιστική μορφή, οι ορθοφωτογραφίες. Οι κυριότερες σήμερα εφαρμογές της ορθοφωτογραφίας αφορούν στην ενημέρωση τοπογραφικών και θεματικών χαρτών, ενώ αποτελούν συνήθως ένα από τα βασικά επίπεδα Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών. Αποτελούν επομένως σύγχρονα μετρητικά υπόβαθρα ευρείας χρήσης. Συνεπώς, απαιτείται η ανάπτυξη και η εφαρμογή (α) διαδικασιών ελέγχου της μετρητικής ακρίβειας των ορθοφωτογραφιών, όπως δειγματοληπτικοί έλεγχοι της οριζοντιογραφικής θέσης σημείων που απεικονίζονται σε αυτές, κατάλληλα κατανομημένων σε όλη την χαρτογραφηθείσα επιφάνεια, και (β) δεικτών ελέγχου της ποιότητας των ορθοφωτογραφιών, όπως, συμβατικά, είναι η ανάλυση (resolution) της εικόνας εκφρασμένη σε μέγεθος pixel ή ισοδύναμης επιφάνειας που καλύπτεται στο αντικείμενο, η ραδιομετρική ανάλυση και ο κορεσμός φωτεινότητας της εικόνας, κ.α. Η υιοθέτηση, σε εθνικό επίπεδο, τέτοιων διαδικασιών και προδιαγραφών θα έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή ορθοφωτογραφιών καλύτερης ποιότητας και αξιοπιστίας.

Στην παρούσα ανακοίνωση, αρχικώς γίνεται παρουσίαση και κριτικός σχολιασμός των υπαρχουσών διεθνώς τεχνικών προδιαγραφών, οι οποίες, σημειωτέον, είναι αρκετά περιορισμένες και δεν τυγχάνουν ευρύτερης αποδοχής, αλλά και όσων προδιαγραφών έχουν εφαρμοσθεί σε ελληνικά χαρτογραφικά προγράμματα. Στη συνέχεια γίνονται συγκεκριμένες προτάσεις προδιαγραφών, ιδιαίτερα για τον έλεγχο της ποιότητας των ορθοφωτογραφιών, που βασίζονται τόσο στη διεθνή πρακτική όσο και στην θεωρητική ανάλυση και εμπειρία των συγγραφέων στο αντικείμενο.

Abstract

Photogrammetry, as a measuring and metrological science exploits and processes images in order to extract reliable metric information. The products of the photogrammetric procedure may either be in vector form or in form of images, i.e. orthophotography. The most common implementations of this product include updating topographic and thematic maps, while at the same time they constitute one of the basic layers of GIS for an area. Their production process is fully digital nowadays. It involves a stage of digital processing of the raw image, which in turn is a source of geometric and radiometric errors. Hence the development and implementation of the following is required (a) control procedures for the metric accuracy of the orthophotographs, such as sample controls of the planimetric position of certain imaged points, suitably distributed on the whole of the mapped surface, and (b) control indices for the quality of the orthophotographs, such as image resolution in pixel size or equivalent surface covered on the object, the radiometric resolution, the light saturation of the image, etc. The adoption at a national level of such procedures and specifications will result the production of orthophotographs of better quality and reliability.

In this paper an extensive report and critical evaluation is made for such specifications which are internationally valid, but not widely acceptable. Moreover specifications used by Greek mapping organizations are also evaluated and criticized.

1. Εισαγωγή

Η Φωτογραμμετρία είναι μια μετρητική επιστήμη, η οποία χρησιμοποιεί πρωτογενείς μετρήσεις επί φωτογραφικών απεικονίσεων, αναλογικών και ψηφιακών, για να προσδιορίσει με αναλυτικές υπολογιστικές μεθόδους μεγέθη -συνήθως συντεταγμένες συγκεκριμένων σημείων- στον τρισδιάστατο χώρο. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται σήμερα, πλέον, ψηφιακές μέθοδοι διεξαγωγής των πρωτογενών μετρήσεων στις εικόνες και εφαρμόζονται σχετικές διαδικασίες για τον προσδιορισμό των τελικών αποτελεσμάτων. Στην διαδικασία αυτή απαιτούνται πολλοί και συχνοί έλεγχοι τόσο των οργάνων μέτρησης, όπως είναι οι φωτογραφικές μηχανές (Γεωργόπουλος & Ιωαννίδης 2007, Georgopoulos et al., 2009), και οι ψηφιακοί φωτογραμμετρικοί σταθμοί, όσο και των τελικών αποτελεσμάτων.

Τα προϊόντα της φωτογραμμετρικής διαδικασίας μπορεί να είναι:

- απλές λίστες συντεταγμένων σημείων του χώρου,
- γραμμικά, δηλαδή διανυσματικά, σχέδια, τα οποία είναι ορθές προβολές σε κατάλληλα ορισμένα επίπεδα, συνήθως οριζόντια ή κατακόρυφα και
- εικονιστικά παράγωγα, δηλαδή ορθές προβολές στις οποίες έχει μεταφερθεί και η ψηφιακή φωτογραφική πληροφορία. Με άλλα λόγια εικόνες σε ορθή προβολή, δηλαδή απαλλαγμένες από προοπτικές παραμορφώσεις.

Είναι προφανές ότι και τα τελικά προϊόντα πρέπει να είναι σύμφωνα με συγκεκριμένες προδιαγραφές και συνεπώς απαιτείται ο συστηματικός ποιοτικός τους έλεγχος.

2. Ορθοφωτογραφία

Ορθοφωτογραφία, ή γενικότερα ορθοεικόνα, είναι η ορθή προβολή της φωτογραφικής πληροφορίας των πρωτογενών εικόνων, συμβατικών ή ψηφιακών, με τρόπο ώστε, λαμβανομένου υπόψη και του αναγλύφου του απεικονιζόμενου αντικειμένου, να προκύπτει μια απεικόνιση χωρίς προοπτικές παραμορφώσεις, σε ενιαία κλίμακα και με τις γεωμετρικές ιδιότητες ενός συμβατικού χάρτη ή σχεδίου.

Η ορθοφωτογραφία είναι ένα φωτογραμμετρικό προϊόν, το οποίο διαδόθηκε και απέκτησε εκτεταμένη εφαρμογή, με την δυνατότητα ψηφιακής επεξεργασίας των εικόνων και των άλλων δεδομένων. Ουσιαστικά χρησιμοποιείται στην παραγωγή (ορθοφωτο)χαρτών και στις κτηματογραφήσεις, αλλά και στην οδοποιία, την βιομηχανία, την παρακολούθηση κατασκευών, ενώ αποτελεί το βασικό υπόβαθρο για τον σχεδιασμό και την υλοποίηση Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS). Επίσης, τα τελευταία 10 περίπου χρόνια, βρίσκει εφαρμογές στις απεικονίσεις μεγάλων κλιμάκων, κυρίως με αντικείμενο τους πολιτιστικούς θησαυρούς και αρχαιολογικά και αρχιτεκτονικά μνημεία (Georgopoulos & Ioannidis 2006, Georgopoulos et al. 2009).

Η διαδικασία παραγωγής της ορθοφωτογραφίας γίνεται αποκλειστικώς με ψηφιακή μεθοδολογία, και περιλαμβάνει ένα στάδιο σημαντικής ψηφιακής επεξεργασίας της αρχικής εικόνας, γεγονός που αντικειμενικά ενέχει πολλές πηγές γεωμετρικών και ποιοτικών, δηλαδή ραδιομετρικών, σφαλμάτων. Συνοπτικά, για την παραγωγή της ορθοφωτογραφίας απαιτείται μία -τουλάχιστον- ψηφιακή εικόνα γνωστού προσανατολισμού, δηλαδή με γνωστή την θέση του σημείου λήψης, αλλά και γνωστό τον προσανατολισμό του άξονα λήψης, και η αριθμητική περιγραφή της επιφάνειας του αντικειμένου που απεικονίζεται. Αυτό το τελευταίο υλοποιείται με την βοήθεια ενός ψηφιακού μοντέλου της επιφάνειας του αντικειμένου.

Ορθοφωτογραφία μπορεί να παραχθεί προφανώς μόνο στην περιοχή για την οποία υφίσταται ψηφιακό μοντέλο. Από αυτό εμμέσως προσδιορίζονται και οι συντεταγμένες των άκρων της περιοχής που θα απεικονίζεται. Ακολούθως με γνώση του μεγέθους της εδαφοψηφίδας, δηλαδή το μέγεθος κάθε εικονοψηφίδας (pixel) επάνω στο αντικείμενο, προσδιορίζεται τόσο ο αριθμός των pixel της τελικής ορθοφωτογραφίας, όσο και οι ακριβείς συντεταγμένες κάθε ενός στο σύστημα του αντικειμένου.

Με αυτήν την γνώση και με την βοήθεια της αναλυτικής έκφρασης της κεντρικής προβολής, δηλαδή της συνθήκης συγγραμμικότητας (1), είναι δυνατόν να υπολογιστεί η θέση της συγκεκριμένης εδαφοψηφίδας επάνω στην αρχική ψηφιακή εικόνα. Από αυτήν την διαδικασία παρεμβάλλεται το χρώμα του pixel της ορθοφωτογραφίας στην αρχική εικόνα και αποδίδεται στο αντίστοιχο pixel της τελικής ορθοφωτογραφίας.

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ -c \end{bmatrix} = \lambda \cdot \mathcal{R}_{\omega_{\phi\kappa}} \cdot \begin{bmatrix} X - X_0 \\ Y - Y_0 \\ Z - Z_0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

όπου:

- x, y Οι εικονοσυντεταγμένες του σημείου, δηλαδή οι συντεταγμένες του στην εικόνα
- c Η σταθερά της μηχανής λήψης
- λ Ο συντελεστής κλίμακας στο σημείο
- $\mathcal{R}_{\omega_{\phi\kappa}}$ Ο πίνακας στροφής της εικόνας
- X_0, Y_0, Z_0 Οι συντεταγμένες του σημείου λήψης
- X, Y, Z Οι συντεταγμένες του σημείου στο αντικείμενο

Για την δημιουργία ορθοφωτογραφιών ισχύουν, φυσικά, συγκεκριμένες προδιαγραφές. Οι προδιαγραφές αυτές ποικίλουν αναλόγως της χώρας, αλλά και της υπηρεσίας η οποία τις έχει διατυπώσει. Οι προδιαγραφές αφορούν τόσο την αξιοπιστία των αρχικών δεδομένων, όσο και αυτήν των τελικών ορθοφωτογραφιών. Γενικώς όμως για τις ορθοφωτογραφίες διατυπώνονται κυρίως πρακτικές μέθοδοι ελέγχου των τελικών αποτελεσμάτων. Οι έλεγχοι αυτοί αναφέρονται στην μετρητική τους αξιοπιστία και στην ραδιομετρική τους ποιότητα, οι οποίες είναι προφανώς αλληλένδετες. Στη συνέχεια αναφέρονται, ενδεικτικά, παραδείγματα από τις σημαντικότερες προδιαγραφές που έχουν διατυπωθεί κατά καιρούς διεθνώς.

Ο χαρτογραφικός οργανισμός των ΗΠΑ (FGDC, Federal Geographic data Committee) έχει συντάξει σχετικές οδηγίες, στις οποίες αναφέρονται λεπτομερώς όλες οι προδιαγραφές που πρέπει να πληρούν οι παράμετροι που εμπλέκονται για την παραγωγή της τελικής ορθοφωτογραφίας (FGDC 2002, Anon. 2006). Στις οδηγίες αυτές διατυπώνονται μέθοδοι μετρητικού αλλά και ραδιομετρικού ελέγχου.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση, δια του Κοινού Ερευνητικού κέντρου (Joint Research Centre, JRC) στο Ίσπρα της Ιταλίας, έχει διατυπώσει αντίστοιχες αναλυτικές προδιαγραφές (Karnias et al. 2008), όπου περιγράφονται με μεγάλη αναλυτικότητα τόσο οι προδιαγραφές που πρέπει να πληρούν τα αρχικά δεδομένα, όσο και τα τελικά παράγωγα. Ακόμα δίνονται οδηγίες για την διαδικασία ελέγχου αυτών των τελικών παραγώγων. Σε όλο το κείμενο διατυπώνονται και προδιαγραφές για την διασφάλιση της ποιότητας (QA), σε όλα τα στάδια συλλογής των πρωτογενών δεδομένων και παραγωγής των τελικών ορθοφωτογραφιών. Σημαντική συνεισφορά στο ζήτημα αυτό έχει το γερμανικό ινστιτούτο τυποποίησης (DIN). Με τα έγγραφα της σειράς DIN 18740 και ιδίως το 18740-3 (Wiggenhagen & Wissmann 2004, Wiggenhagen 2006) διατυπώνονται αυστηρές προδιαγραφές για όλες τις διαδικασίες παραγωγής και ελέγχου των ορθοφωτογραφιών αλλά και των πρωτογενών δεδομένων και ενδιάμεσων παραγώγων (Ferrano et al. 2004). Ας σημειωθεί ότι ο διεθνής οργανισμός Τυποποίησης ISO, μολονότι έχει συστήσει ειδική Τεχνική Επιτροπή για τα Γεωγραφικά Δεδομένα (TC 211), η οποία μάλιστα είναι ιδιαίτερα δραστήρια, δεν έχει ακόμα εκδώσει προδιαγραφές για τις ορθοφωτογραφίες. Αξίζει τέλος να γίνει αναφορά στις προδιαγραφές ορθοφωτογραφίας του Χαρτογραφικού Οργανισμού της Αυστραλίας (Poon et al. 2006).

Στην Ελλάδα η διατύπωση σχετικών προδιαγραφών έχει πραγματοποιηθεί μέσω της προκήρυξης διεθνών διαγωνισμών για την ανάληψη μεγάλων έργων κτηματογράφησης για όλη

τη χώρα, συγχρηματοδοτούμενων από την ΕΕ (ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ ΑΕ 2005). Οι προδιαγραφές αυτές είναι στην πραγματικότητα μια προσαρμογή των αντίστοιχων ευρωπαϊκών, που ίσχυαν εκείνη την εποχή, στις ελληνικές ιδιαιτερότητες, δηλαδή τις ανάγκες του υπό προκήρυξη έργου, το ανάγλυφο του εδάφους, τις καιρικές συνθήκες κλπ.

Όλα τα παραπάνω αναφερθέντα έγγραφα, ουσιαστικά καθοδηγούν τους επιστήμονες να λάβουν όλα τα απαραίτητα μέτρα, ώστε να περιορίσουν κατά το δυνατόν τα σφάλματα από κάθε πηγή, από την συλλογή των πρωτογενών δεδομένων μέχρι την τελική παραγωγή των ορθοφωτογραφιών. Κατόπιν δίνουν σαφείς και λεπτομερείς οδηγίες για την διεξαγωγή λεπτομερών ελέγχων του τελικού προϊόντος. Οι έλεγχοι αυτοί αναφέρονται τόσο στην μετρητική αξιοπιστία τους όσο και στην ποιότητά τους και είναι από απλώς οπτικοί έως αυστηροί μετρητικοί.

3. Πηγές σφαλμάτων

Κατά την διαδικασία συλλογής των πρωτογενών δεδομένων και τα στάδια της επεξεργασίας τους υπεισέρχονται πολλά σφάλματα από διάφορες πηγές τα οποία επηρεάζουν καθοριστικά την μετρητική αξιοπιστία, αλλά και την ποιότητα του τελικού προϊόντος.

Επιγραμματικά οι πηγές αυτών των προβλημάτων και οι δυσμενείς επιδράσεις τους είναι:

Η κλίμακα των αρχικών λήψεων. Όσο πιο μικρή είναι η κλίμακα, δηλαδή όσο πιο απομακρυσμένη είναι η φωτογραφική μηχανή από το αντικείμενο, τόσο μεγαλύτερη είναι η αβεβαιότητα προσδιορισμού των στοιχείων προσανατολισμού της, του ψηφιακού μοντέλου - στην περίπτωση που παράγεται από τις πρωτογενείς εικόνες- και του παρεμβλλόμενου χρώματος. Αποτέλεσμα αυτών είναι να παρατηρείται μετρητική αναξιοπιστία στο τελικό προϊόν.

Ο προσανατολισμός της εικόνας. Η εικόνα από την οποία πρόκειται να παραχθεί η τελική ορθοφωτογραφία πρέπει να είναι προσανατολισμένη, δηλαδή να είναι γνωστές οι συντεταγμένες του κέντρου λήψης και γνωστή η διεύθυνση του άξονα λήψης στον χώρο. Αυτό επιτυγχάνεται με αναλυτικές διαδικασίες, οι οποίες βασίζονται σε γνώση της θέσης κάποιων σταθερών σημείων στο αντικείμενο. Η αβεβαιότητα προσδιορισμού αυτών των σημείων έχει άμεσο αντίκτυπο στην αξιοπιστία προσδιορισμού των στοιχείων του προσανατολισμού των εικόνων. Επομένως άμεση είναι και η επίδραση στην μετρητική αξιοπιστία της τελικής ορθοφωτογραφίας.

Το Ψηφιακό Μοντέλο Αντικειμένου. Όπως ήδη περιγράφηκε παραπάνω, απαιτείται ένα ψηφιακό μοντέλο της επιφάνειας του αντικειμένου, ώστε να παρεμβληθεί το υψόμετρο και να οδηγηθεί ο αλγόριθμος στο σωστό σημείο επάνω στην εικόνα. Γίνεται συνεπώς κατανοητό ότι οι όποιες αβεβαιότητες στην περιγραφή της επιφάνειας του αντικειμένου (υψομετρική ακρίβεια, πυκνότητα σημείων) έχουν άμεση επίδραση στην ποιοτική, αλλά και στην μετρητική αξιοπιστία της τελικής ορθοφωτογραφίας.

Το μέγεθος εδαφοψηφίδας και η μέθοδος παρεμβολής χρώματος. Η επιλογή του μεγέθους της εικονοψηφίδας στην τελική ορθοφωτογραφία είναι μια πολύ καθοριστική παράμετρος, δεδομένου ότι καθορίζει άμεσα την ανάλυση και, κατά συνέπεια, την λεπτομέρεια με την οποία θα εμφανίζονται όλα τα επί μέρους αντικείμενα στην τελική ορθοφωτογραφία. Επομένως, όσο μικρότερο καθορίζεται το μέγεθος της τελικής εδαφοψηφίδας, τόσο μεγαλύτερη είναι η μετρητική της αξιοπιστία. Βέβαια υπάρχει κάποιο όριο στο μέγεθος αυτό, το οποίο είναι συνάρτηση του αρχικού μεγέθους της εικονοψηφίδας (pixel) της αρχικής εικόνας, αλλά και της κλίμακας αυτής της εικόνας. Παράλληλα δεν πρέπει να λησμονείται και το ραδιομετρικό περιεχόμενο της εικόνας, το οποίο –συνδυαζόμενο με το μέγεθος της εικονοψηφίδας- συμβάλλει σημαντικά στην «ανάγνωση» της ορθοφωτογραφίας.

4. Διαδικασία ελέγχου ακρίβειας και ποιότητας ορθοφωτογραφίας

Οι έλεγχοι της ακρίβειας και ποιότητας των ορθοφωτογραφιών πρέπει να περιλαμβάνει τρία στάδια:

- την τήρηση προδιαγραφών για την συλλογή των πρωτογενών δεδομένων,
- την τήρηση προδιαγραφών για την διαδικασία παραγωγής της ορθοφωτογραφίας και
- την διεξαγωγή συστηματικών ελέγχων ποιότητας στο τελικό προϊόν.

Με την προϋπόθεση ότι οι δύο πρώτες διαδικασίες ευρίσκονται εντός των προδιαγραφών που τέθηκαν, απομένει η ανάλυση της τρίτης διαδικασίας, δηλαδή της διεξαγωγής συστηματικών ελέγχων για την διασφάλιση της ποιότητας των τελικών ορθοφωτογραφιών. Οι έλεγχοι αυτοί περιλαμβάνουν δύο ομάδες ιδιοτήτων: (α) τις μετρητικές και (β) τις ραδιομετρικές ή ποιοτικές.

4.1 Έλεγχοι μετρητικής ακρίβειας

Για τον έλεγχο της μετρητικής αξιοπιστίας, όλες οι ισχύουσες οδηγίες ελέγχου συγκλίνουν στην χρήση σημείων ελέγχου. Προσδιορίζεται, δηλαδή, ικανός αριθμός σημείων στο απεικονιζόμενο αντικείμενο, ανεξάρτητα από τις διαδικασίες συλλογής των πρωτογενών δεδομένων και της παραγωγής των τελικών παραγώγων. Στις προδιαγραφές ελέγχου καθορίζεται ακόμα και η κατανομή αυτών των σημείων σε κάθε πινακίδα ορθοφωτογραφίας.

Με την σύγκριση των συντεταγμένων αυτών των σημείων με τις προσδιοριζόμενες από τις ορθοφωτογραφίες, προκύπτουν διαφορές, που συνιστούν υλικό με την στατιστική επεξεργασία του οποίου προκύπτουν τα μεγέθη που χαρακτηρίζουν την μετρητική αξιοπιστία της υπό έλεγχο ορθοφωτογραφίας. Τα κυριότερα από τα μεγέθη αυτά είναι:

- Ο μέσος όρος των διαφορών των συντεταγμένων $\delta \bar{x} = \frac{\sum \delta x_i}{n}$, ο οποίος εκφράζει την ενδεχόμενη συστηματικότητα των σφαλμάτων που ενέχει η ελεγχόμενη ορθοφωτογραφία.
- Το μέσο τετραγωνικό σφάλμα των διαφορών $RMSE = \sqrt{\frac{\sum \delta x^2}{n-1}}$, το οποίο δίνει μια εκτίμηση της μετρητικής αξιοπιστίας για όλη την ορθοφωτογραφία.

Οι έλεγχοι αυτοί μπορεί φυσικά να γίνουν τόσο στα μεμονωμένα σημεία ελέγχου, όσο και σε αντίστοιχα ανεξάρτητα μετρημένες -ή υπολογισμένες- αποστάσεις.

4.2 Έλεγχοι ραδιομετρικής ποιότητας

Για τον ραδιομετρικό έλεγχο συνιστάται η διεξαγωγή ελέγχων που ουσιαστικά περιλαμβάνουν ποσοτικοποίηση των ραδιομετρικών ιδιοτήτων της ψηφιακής εικόνας για όλες τις εικονοψηφίδες (pixel). Τα μεγέθη που προσδιορίζονται είναι:

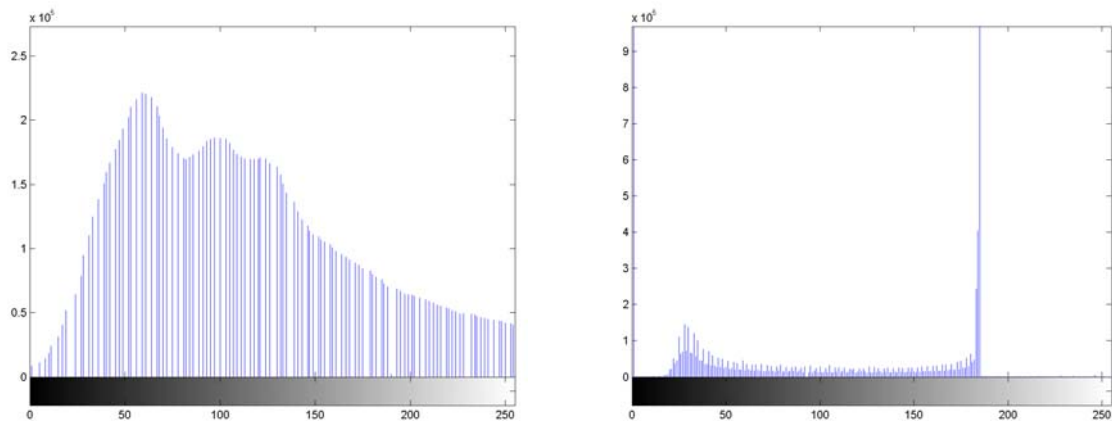
- Το ιστόγραμμα της ψηφιακής εικόνας (δηλαδή διάγραμμα συχνότητας εμφάνισης των τόνων στην κλίμακα 0-255), από όπου προκύπτει η διασφάλιση ικανοποιητικού δυναμικού εύρους για την χρωματική κατανομή.
- Οι τιμές της αντίθεσης και του κορεσμού των χρωμάτων (ή γκριζων τόνων στην περίπτωση μονόχρωμης εικόνας) στην ψηφιακή εικόνα.
- Το επίπεδο θορύβου που παρουσιάζεται στην ψηφιακή ορθοφωτογραφία.

Όπως τονίστηκε στα προηγούμενα, τα μεγέθη αυτά οφείλουν να είναι εντός συγκεκριμένων ορίων, ώστε να διασφαλίζεται η αναγνωσιμότητα του τελικού προϊόντος, που αναμφίβολα επηρεάζει την μετρητική του ακρίβεια. Έτσι, στις τεχνικές προδιαγραφές για τη σύνταξη έγχρωμων ορθοφωτογραφιών μεγάλων (1:1.000) και μεσαίων (1:5.000) κλιμάκων, που

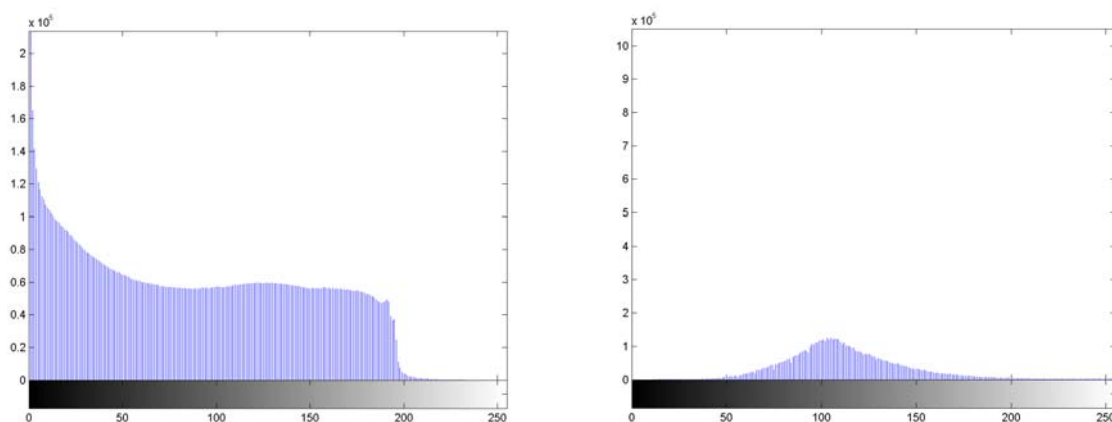
προκηρύχθηκαν από την εταιρεία ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ ΑΕ (2005), αναφέρονται τα εξής απαιτούμενα αποτελέσματα ποιοτικών ελέγχων:

- Ραδιομετρική ανάλυση: 24 bit true color, 256 επίπεδα τιμών για κάθε κανάλι (0=μαύρο, 255=λευκό).
- Κορεσμός φωτεινότητας: Σε κάθε μπάντα ξεχωριστά δεν πρέπει να υπερβαίνει το 0% για την τιμή 0 και το 0.5% για την τιμή 255 του ιστογράμματος, του οποίου το εύρος πρέπει να καλύπτει τουλάχιστον 230 τιμές ψηφιακών αριθμών.

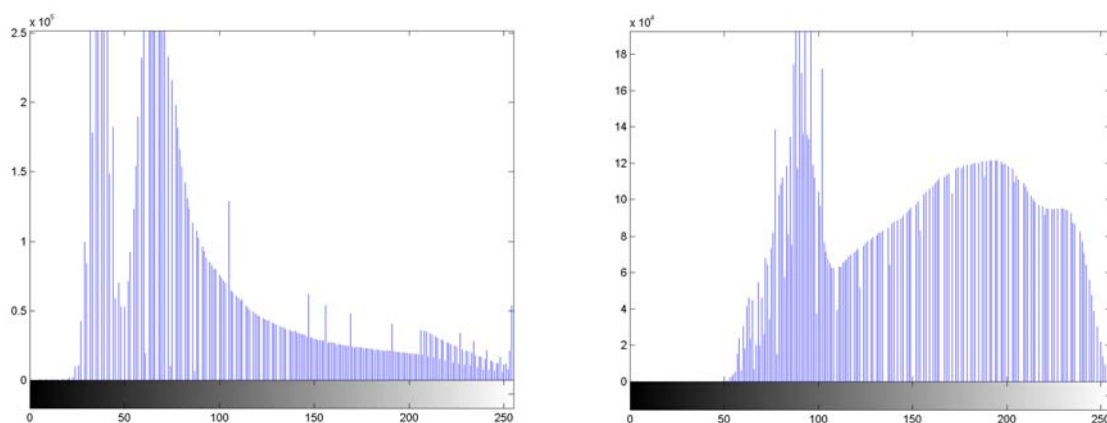
Πρέπει, πάντως, να τονισθεί ότι, από την εμπειρία των συγγραφέων του παρόντος άρθρου (μετά από εκτεταμένους ελέγχους και πειραματικές δοκιμές σε μεγάλο αριθμό ορθοφωτογραφιών), η μεμονωμένη εξέταση των ιστογραμμάτων ή των άλλων ραδιομετρικών παραμέτρων, δεν διασφαλίζει την επίτευξη ικανοποιητικής ποιότητας για όπως τελικές ορθοφωτογραφίες, παρά μόνον ενδείξεις για την ποιότητα και την δυνατότητα ορθής ερμηνείας του περιεχομένου όπως. Για να εξαχθούν ασφαλή συμπεράσματα απαιτείται ο έλεγχος διαφόρων συνδυασμών αυτών των παραμέτρων, δηλαδή του ιστογράμματος και των κύριων στατιστικών χαρακτηριστικών, όπως είναι η συχνότητα εμφάνισης των ακραίων τιμών των γκριζών τόνων (0 και 255), το πλήθος των γκριζών τόνων που υπάρχουν στην εικόνα, η μέση τιμή, η τυπική απόκλιση και η διάμεση τιμή.



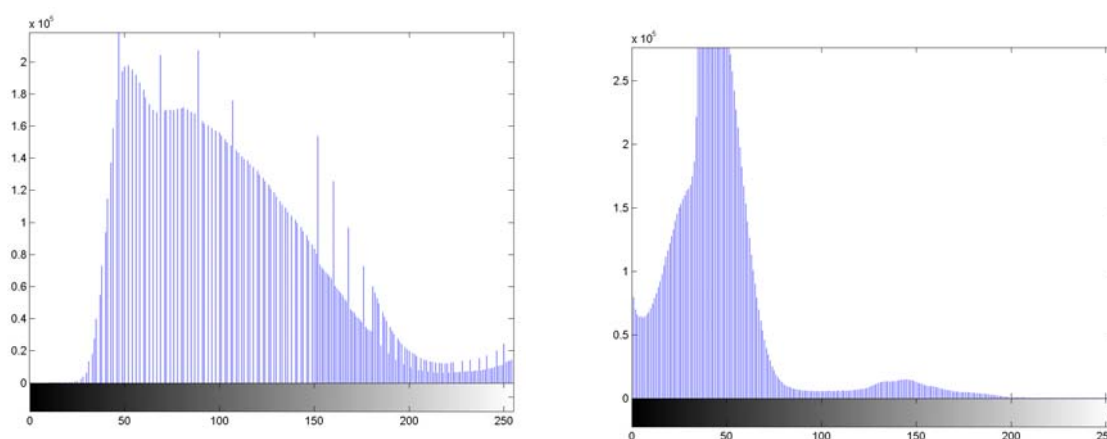
Σχήμα 1. Παραδείγματα ιστογραμμάτων ποιοτικά κακών ορθοφωτογραφιών: λείπουν ενδιάμεσοι τόνοι στην εικόνα (αριστερά) - είναι μικρές οι τιμές του μέσου όρου και της διαμέσου (δεξιά)



Σχήμα 2. Παραδείγματα ιστογραμμάτων ποιοτικά κακών ορθοφωτογραφιών: εικόνα με μικρή τυπική απόκλιση και ακανόνιστο ιστογράμμα (αριστερά) - εικόνα με ασαφή ραδιομετρικά χαρακτηριστικά με μεγάλο τμήμα της να καλύπτεται από θάλασσα (δεξιά)



Σχήμα 3. Παραδείγματα ιστογραμμάτων ποιοτικά μέτρων ορθοφωτογραφιών



Σχήμα 4. Παραδείγματα ιστογραμμάτων ποιοτικά αποδεκτών ορθοφωτογραφιών

Παραπάνω δίνονται, ενδεικτικά, κάποια ιστογράμματα ορθοφωτογραφιών κακής ποιότητας (Σχήματα 1 και 2) και μέτριας ποιότητας (Σχήμα 3), αλλά και πλήρως αποδεκτής ποιότητας (Σχήμα 4), ώστε να γίνει εμφανής η δυσκολία εντοπισμού των ποιοτικά προβληματικών ορθοφωτογραφιών από την μεμονωμένη εξέταση-ελέγχου των ιστογραμμάτων, άρα και η δυσκολία σύνταξης καθολικά αποδεκτών τεχνικών προδιαγραφών.

5. Συμπεράσματα

Η μετρητική ακρίβεια και η ποιότητα των ορθοφωτογραφιών επηρεάζεται από πάρα πολλούς παράγοντες. Κατά συνέπεια ο έλεγχός τους, ο οποίος είναι ιδιαίτερα σημαντικός για την τελική χρησιμότητα των παραγώγων αυτών, οφείλει να λαμβάνει υπόψη όλους αυτούς τους παράγοντες.

Η σημερινή βέλτιστη πρακτική για την διασφάλιση της απαιτούμενης ποιότητας στις τελικές ορθοφωτογραφίες, ώστε να μπορούν να χρησιμοποιούνται ως αξιόπιστα μετρητικά προϊόντα περιλαμβάνει τρία στάδια: την διασφάλιση ελάχιστων προδιαγραφών ακρίβειας και πιστότητας στα αρχικά πρωτογενή δεδομένα, την εφαρμογή συγκεκριμένων διαδικασιών στο στάδιο παραγωγής τους και την διεξαγωγή συγκεκριμένων διαδικασιών ελέγχου των τελικών προϊόντων. Τα τρία αυτά στάδια είναι εξ ίσου απαραίτητα για την επίτευξη της επιθυμητής ποιότητας στα τελικά προϊόντα. Η διεθνής, αλλά και η ελληνική, έρευνα και πρακτική στο ζήτημα αυτό δεν έχει μέχρι στιγμής καταλήξει σε ευρέως αποδεκτές διαδικασίες. Εκτιμάται ότι πολύ σύντομα θα υπάρξει σύγκλιση, δεδομένου ότι τα προϊόντα αυτά -ειδικά την τελευταία δεκαετία- έχουν κατακλύσει την αγορά και παρατηρείται ολοένα αυξανόμενη ζήτηση.

Βιβλιογραφία

- Γεωργόπουλος, Α. και Ιωαννίδης Χ., 2007. Διακρίβωση επιγείων ψηφιακών φωτομηχανών. Πρακτικά (CD) 2^ο Τακτικού Εθνικού Συνεδρίου Μετρολογίας, Θεσσαλονίκη.
- Γεωργόπουλος, Α., Ιωαννίδης, Χ., Λάμπρου, Ε., Πανταζής, Γ., Νικολίτσας, Κ., 2009. Πρόταση μεθοδολογίας βαθμονόμησης της ψηφιακής κάμερας εικονογεωδαιτικού σταθμού. Πρακτικά 3^ο Εθνικού Συνεδρίου Μετρολογίας, Λάρισα (υπό δημοσίευση).
- ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ Α.Ε., 2005. “Τεχνικές Προδιαγραφές Παραγωγής Ορθοφωτογραφιών Μεγάλης Κλίμακας (LSO)”.
- Anon., “ASPRS Report to the USGS on Digital Orthophotography”, *PE&RS* February 2006, pp 95-108.
- Ferrano, G., Neumann, K.-J., Doerstel, Ch., 2004. New Quality Standards for Digital Images. *International Archives of Photogrammetry & Remote Sensing*, Vol. XXXV, part B1.
- FGDC, 2002. “Aerial Mapping and Orthophoto Standards”.
- Georgopoulos A. and Ioannidis C., 2006. Innovative Surveying and Photogrammetric Techniques for the Documentation of Cultural Heritage FORUM UNESCO - UNIVERSITY AND HERITAGE, 11th International Seminar ‘Documentation for Conservation and Development, New Heritage Strategies for the Future’, Florence.
- Georgopoulos A., Ioannidis C., Crysostomou C., Ioakim S., Shieittanis N. and Ioannides M., Contemporary digital methods for the geometric documentation of churches in Cyprus. *International Journal of Archaeological Computing (IJAC)*, Issue 07(2009), Vol.1, pp.21-37.
- IRARS, 2007. “Civil National Imagery Interpretability Rating Scale (NIIRS) Reference Guide”.
- Kapnias D., Milenov P. and Kay S., 2008. “Guidelines for Best Practice and Quality Checking of Ortho Imagery”, JRC Scientific and technical Reports EUR 23638 EN – 2008, Issue 3.0.
- Poon J., Smith L. and Fraser C., 2006. “Orthoimage resolution and Quality Standards”, Project Number 2.3 final report CRC SI.
- Wiggenhagen M. and Wissmann U., 2004. “Untersuchungen zur Pruefung digitaler Photogrammetrischer Produkte nach DIN 18740”.
- Wiggenhagen M., 2006. Zielsetzung und Anwendung der Normen DIN 18740-1, 18740-2 und 18740-3.