

Μεταβολές του Κέντρου Φάσης των Κεραιών GPS και Επιδράσεις στην Ακρίβεια των Μετρήσεων

ΜΙΧΑΛΗΣ ΓΙΑΝΝΙΟΥ

Δρ Αγρονόμος - Τοπογράφος Μηχανικός

Περίληψη

Στην παρούσα εργασία διερευνώνται μέσω επεξεργασίας και ανάλυσης μετρήσεων πεδίου οι επιδράσεις που έχει το φαινόμενο της μεταβολής του κέντρου φάσης των κεραιών στην ακρίβεια των γεωδαιτικών μετρήσεων GPS. Αρχικά γίνεται μία θεωρητική περιγραφή του φαινομένου, των επιπτώσεών του, καθώς και των μεθόδων που έχουν αναπτυχθεί για την αντιμετώπισή του. Στη συνέχεια, γίνεται μία ποσοτική ανάλυση των μεταβολών του κέντρου φάσης για διάφορα μοντέλα κεραιών και καταδεικνύεται η εξελικτική πορεία των γεωδαιτικών κεραιών και οι βελτιώσεις που επέφερε η εφαρμογή νέων τεχνολογιών κατασκευής. Ακολούθως παρατίθενται αποτελέσματα επεξεργασίας μετρήσεων πεδίου και προσεγγίζονται ποσοτικά τα σφάλματα που μπορούν να προκληθούν λόγω του φαινομένου της μεταβολής του κέντρου φάσης. Η όλη εργασία αναφέρεται σε γεωδαιτικές μετρήσεις ακρίβειας με χρήση γεωδαιτικών δεκτών και κεραιών διαφόρων κατασκευαστών. Προτείνονται συγκεκριμένες μεθοδολογίες αντιμετώπισης του προβλήματος σε εργασίες υψηλής ακρίβειας.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το φυσικό «μηχανικό» κέντρο μιας κεραίας που χρησιμοποιείται σε γεωδαιτικές μετρήσεις GPS, δεν ταυτίζεται γενικά με το σημείο στο οποίο γίνεται σε μία δεδομένη χρονική στιγμή η μέτρηση του δορυφορικού σήματος. Το σημείο στο οποίο αναφέρεται κάθε μέτρηση, δηλαδή το κέντρο φάσης, εξαρτάται από τη διεύθυνση του εισερχόμενου σήματος. Οι μετρήσεις λοιπόν που καταγράφονται στο δέκτη αναφέρονται για κάθε δορυφόρο σε διαφορετικό σημείο της κεραίας. Το φαινόμενο αυτό είναι γνωστό ως μεταβολές του κέντρου φάσης της κεραίας («PCV: Phase Center Variations») και μπορεί να επηρεάσει αισθητά την ακρίβεια των μετρήσεων, εάν δεν αντιμετωπιστεί κατάλληλα. Οι ιδιότητες του κέντρου φάσης μιας κεραίας καθορίζονται από τον τύπο της κεραίας και από τον τρόπο κατασκευής της. Μεταξύ διαφορετικών μοντέλων κεραιών παρατηρούνται σημαντικές διαφορές σε ό,τι αφορά στο είδος και το μέγεθος των μεταβολών του κέντρου φάσης. Η χρήση κεραιών διαφορετικών μοντέλων κατά τη μέτρηση μίας βάσης GPS μπορεί να εισάγει σφάλματα της τάξης των λίγων εκατοστών, εάν δεν ληφθεί η κατάλληλη μέριμνα. Ακόμα όμως και κατά τη χρήση κεραιών του ίδιου

μοντέλου απαιτείται προσοχή κατά τη μέτρηση και την επεξεργασία των παρατηρήσεων, ιδιαίτερα όταν οι απαιτήσεις ακρίβειας είναι υψηλές ή τα μήκη των βάσεων που μετριοούνται είναι μεγάλα.

2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

2.1. Τεχνικά χαρακτηριστικά κεραιών

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά των κεραιών διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες: τα φυσικά και τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά. Τα φυσικά χαρακτηριστικά αφορούν στο σχήμα, το μέγεθος, το βάρος και τα υλικά κατασκευής της κεραίας. Τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά περιγράφουν, μεταξύ άλλων, ιδιότητες όπως η σταθερότητα του κέντρου φάσης, το κέρδος («gain») της κεραίας και η ικανότητα αντίστασής της στο φαινόμενο των πολλαπλών διαδρομών του σήματος («multipath resistance»).

Τα φυσικά χαρακτηριστικά επηρεάζουν άμεσα τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά της κεραίας. Αυτό αποκτά ιδιαίτερη πρακτική σημασία στην περίπτωση μεταβολής των φυσικών χαρακτηριστικών μιας κεραίας κάτι που συμβαίνει συχνά στις κεραίες με αποσπώμενη πλάκα αποκοπής («groundplane»).

Η σταθερότητα του κέντρου φάσης εκφράζει το μέγεθος και τη διακύμανση των μεταβολών του κέντρου φάσης της κεραίας. Στόχος όλων των κατασκευαστών γεωδαιτικών κεραιών GPS τα τελευταία χρόνια, είναι να εξασφαλίσουν μεγάλη σταθερότητα του ηλεκτρικού κέντρου φάσης.

Το κέρδος της κεραίας υπολογίζεται από το πηλίκο της ισχύος του εξερχόμενου σήματος δια της ισχύος του εισερχόμενου σήματος. Το κέρδος εξαρτάται από τη διεύθυνση του εισερχόμενου σήματος. Η εξάρτηση αυτή αναπαριστάται με το διάγραμμα κέρδους («gain pattern»). Σε συγκεκριμένες περιπτώσεις οι κατασκευαστές επιδιώκουν οι κεραίες να διαθέτουν μικρό κέρδος για σήματα δορυφόρων με μικρές γωνίες ανώψωσης. Αυτό γίνεται με σκοπό να περιορίζεται η λήψη σημάτων λόγω του φαινομένου πολλαπλών διαδρο-

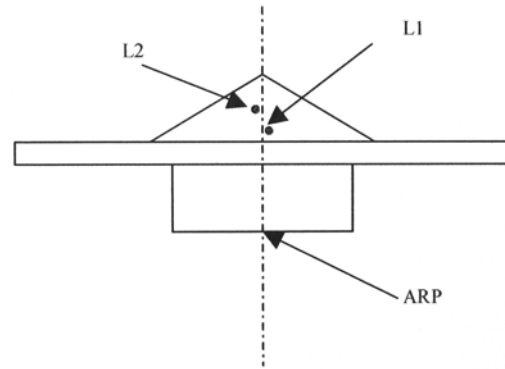
μών. Το φαινόμενο των πολλαπλών διαδρομών παρουσιάζεται, όταν το σήμα του δορυφόρου φτάνει στην κεραία τόσο απευθείας από το δορυφόρο όσο και μέσω κάποιας άλλης επιφάνειας στην οποία έχει πρώτα ανακλαστεί. Ένας άλλος τρόπος να αυξηθεί η αντίσταση μίας κεραίας στο φαινόμενο των πολλαπλών διαδρομών είναι η ελαχιστοποίηση του κέρδους για τα αριστερόστροφα κυκλικά πολωμένα σήματα, όπως είναι τα δορυφορικά σήματα που έχουν ανακλαστεί μία φορά [3].

Αν και φαινομενικά δεν υπάρχει σαφής συσχέτιση μεταξύ των μεταβολών του κέντρου φάσης και της αντίστασης της κεραίας στο φαινόμενο των πολλαπλών διαδρομών, εντούτοις τα θέματα αυτά συνδέονται σε ό,τι αφορά τόσο τον τρόπο κατασκευής των κεραιών όσο και τον τρόπο υπολογισμού των μοντέλων βαθμονόμησης, όπως θα διαφανεί και στη συνέχεια.

Ο συνολικός σχεδιασμός μίας κεραίας GPS γίνεται με βάση τις ανάγκες των εφαρμογών, στις οποίες αυτή θα χρησιμοποιηθεί. Για παράδειγμα, το βάρος και οι διαστάσεις μιας κεραίας, που προορίζεται για χρήση σε μόνιμο σταθμό αναφοράς, είναι λιγότερο σημαντικά σε σχέση με την αντίσταση, που παρουσιάζει η κεραία στο φαινόμενο των πολλαπλών διαδρομών. Αντίθετα για μια κεραία εφαρμογών RTK το βάρος και το σχήμα αποτελούν καθοριστικό παράγοντα στην κατασκευή της.

2.2. Μεταβολές του κέντρου φάσης

Στην ιδανική περίπτωση μιας σημειακής ιστροπικής πηγής ακτινοβολίας, το ηλεκτρικό κέντρο φάσης είναι το κέντρο μιας σφαίρας, της οποίας η επιφάνεια δημιουργείται από τα μέτωπα των κυμάτων που βρίσκονται σε όλες τις δυνατές διευθύνσεις γύρω από την κεραία [2]. Στην πράξη τα κατασκευαστικά στοιχεία της κεραίας (δίπολα κ.λπ.) προκαλούν σφάλματα στη μέτρηση της φάσης, τα οποία αντιστοιχούν σε τοπικές παραμορφώσεις της επιφάνειας της ιδεατής σφαίρας και συνεπώς σε μεταβολές της θέσης του κέντρου φάσης. Προκειμένου να προσδιοριστούν οι μεταβολές αυτές, ορίζεται το μέσο ηλεκτρικό κέντρο φάσης, το οποίο αντιστοιχεί σε ένα ελαχιστοτετραγωνικά προσδιοριζόμενο κέντρο της σφαίρας, το οποίο προκύπτει από όλες τις δυνατές διευθύνσεις λήψης του σήματος, δηλαδή από το ημισφαίριο από το οποίο ουσιαστικά μία γεωδαιτική κεραία GPS λαμβάνει σήματα. Οι μεταβολές του κέντρου φάσης εκφράζονται στη συνέχεια αναφορικά με αυτό το μέσο ηλεκτρικό κέντρο φάσης. Επειδή το μέσο ηλεκτρικό κέντρο φάσης δεν είναι γενικά φυσικά υλοποιήσιμο, η θέση του προσδιορίζεται σε σχέση με ένα υλοποιήσιμο σημείο της κεραίας. Το σημείο αυτό ονομάζεται σημείο αναφοράς της κεραίας («ARP: Antenna Reference Point») και συνήθως είναι το κέντρο του σπειρώματος στερέωσης της κεραίας στο κατώτατο μέρος της βάσης της. Τα παραπάνω φαίνονται στο Σχήμα 1.



Σχήμα 1: Σημείο αναφοράς της κεραίας και μέσο ηλεκτρικό κέντρο για την L1 και την L2.

Figure 1: Antenna reference point and mean phase center for L1 and L2.

Η θέση του μέσου ηλεκτρικού κέντρου και οι μεταβολές του καθορίζονται από τον τρόπο και τα υλικά κατασκευής της κεραίας. Γενικά για τις μεταβολές του κέντρου φάσης των γεωδαιτικών κεραιών ισχύουν τα εξής:

- Η θέση του μέσου ηλεκτρικού κέντρου για μία συγκεκριμένη κεραία δύο συχνοτήτων διαφέρει για την L1 και την L2 συχνότητα, ενώ η σύμπτωσή τους μπορεί να είναι μόνο τυχαία [11].
- Οι ιδιότητες του κέντρου φάσης διαφοροποιούνται σημαντικά μεταξύ διαφορετικών μοντέλων κεραιών.
- Οι ιδιότητες του κέντρου φάσης τείνουν να συμπίπτουν για κεραιές του ίδιου μοντέλου ενός κατασκευαστή, παρουσιάζονται όμως και διαφοροποιήσεις μεταξύ κεραιών του ίδιου μοντέλου [11],[16].
- Οι ιδιότητες του κέντρου φάσης διαφοροποιούνται, όταν τροποποιούνται τα φυσικά τους χαρακτηριστικά, ακόμα και όταν πρόκειται για προβλεπόμενες από τον κατασκευαστή μεταβολές όπως αφαίρεση αποσπώμενης πλάκας αποκοπής ή προσθήκη προστατευτικού θόλου «radome», (συνηθισμένο σε κεραιές μόνιμων σταθμών αναφοράς).
- Οι ιδιότητες του κέντρου φάσης μίας κεραίας ενδέχεται να μεταβάλλονται με το χρόνο [16], το θέμα αυτό όμως ερευνάται ακόμα.

2.3. Βαθμονόμηση κεραιών

Το θέμα των μεταβολών του κέντρου φάσης των κεραιών έχει απασχολήσει τη διεθνή επιστημονική κοινότητα εδώ και πολλά χρόνια. Ο A. Geiger ολοκλήρωσε μία εκτενή μελέτη στο θέμα ήδη από το 1988 [4]. Επειδή ο αναλυτικός υπολογισμός της θέσης του κέντρου φάσης σαν συνάρτηση της διευθύνσεως του εισερχόμενου σήματος είναι εξαιρετικά δύσκολος, είναι προτιμότερο να ακολουθηθεί μία διαδικασία βαθμονόμησης [4],[6]. Κατά τη βαθμονόμηση αυτή είναι απλούστερο να μην προσδιοριστεί απευθείας η κίνηση του κέντρου φάσης

της κεραίας, αλλά το σφάλμα στη μέτρηση της απόστασης σαν συνάρτηση της διεύθυνσης του εισερχόμενου σήματος. Η εξίσωση, που περιγράφει το σφάλμα αυτό, είναι [4]:

$$\delta r(\theta, \lambda) = \mathbf{p}^T \mathbf{e} + \delta \delta r(\theta, \lambda) \quad (1)$$

όπου $\mathbf{p}^T \mathbf{e}$ είναι η προβολή του διανύσματος από το σημείο αναφοράς της κεραίας προς το μέσο ηλεκτρικό κέντρο φάσης κατά τη διεύθυνση του εισερχόμενου σήματος (\mathbf{e} το μοναδιαίο διάνυσμα κατά αυτή τη διεύθυνση) και ο όρος $\delta \delta r(\theta, \lambda)$ ισούται με το σφάλμα στην απόσταση λόγω της κίνησης του κέντρου φάσης γύρω από το μέσο κέντρο φάσης.

Για τον εμπειρικό προσδιορισμό των τιμών της παραπάνω συνάρτησης προσδιορίζονται για κάθε συχνότητα (L1, L2) οι δύο όροι της συνάρτησης (1). Για τον πρώτο όρο δίνονται οι συνιστώσες του διανύσματος \mathbf{p} κατά βορρά, ανατολή και κατακόρυφα («L1-L2 Offsets: north-east-up»). Για το δεύτερο όρο δίνονται οι τιμές των σφαλμάτων στη μέτρηση της απόστασης σε εξάρτηση από τη γωνία ανύψωσης (συνήθως από 5° έως 90° με βήμα 5°). Αντίστοιχες τιμές σφαλμάτων μπορούν να υπολογιστούν και για την αξιμουθιακή εξάρτηση των μεταβολών του κέντρου φάσης. Οι τιμές αυτές δεν περιλαμβάνονται συνήθως στα υπάρχοντα μοντέλα βαθμονόμησης, αφενός λόγω της δυσκολίας υπολογισμού τους αλλά κυρίως επειδή η αξιμουθιακή εξάρτηση των σφαλμάτων είναι πολύ μικρότερη σε σχέση με την εξάρτηση από τη γωνία ανύψωσης.

Μέχρι σήμερα έχουν αναπτυχθεί δύο μέθοδοι βαθμονόμησης κεραίων GPS: η σχετική και η απόλυτη. Κατά τη σχετική βαθμονόμηση υπολογίζονται οι σχετικές διαφορές στα σφάλματα μεταξύ της υπό βαθμονόμησης κεραίας και μίας κεραίας αναφοράς που θεωρείται ότι έχει μηδενικά σφάλματα. Η κεραία αναφοράς είναι συνήθως τύπου «Dome/Margolin» με πλάκα αποκοπής τύπου «choke ring». Συνήθως χρησιμοποιούνται βάρθρα στο ύπαιθρο σε κοντινές αποστάσεις μεταξύ τους, όπου οι κεραίες κεντρώνονται εξαναγκασμένα. Για τον υπολογισμό της θέσης του μέσου ηλεκτρικού κέντρου χρησιμοποιούνται οι διπλές διαφορές φάσης. Αντίθετα, για τον προσδιορισμό των μεταβολών του κέντρου φάσης ως συνάρτηση της γωνίας ανύψωσης χρησιμοποιούνται οι μονές διαφορές φάσης, προκειμένου οι μεταβολές να προσδιορίζονται απευθείας από το παρατηρούμενο μέγεθος, το οποίο περιέχει μετρήσεις από ένα δορυφόρο και όχι από δύο δορυφόρους με δύο διαφορετικές γωνίες ανύψωσης [10]. Η απόλυτη βαθμονόμηση γίνεται είτε με εκπομπή τεχνητών σημάτων [6],[2] σε κατάλληλο εργαστήριο [14], είτε με λήψη των σημάτων GPS, τοποθετώντας την κεραία στο ύπαιθρο σε μία ρομποτική κατασκευή μέσω της οποίας περιστρέφεται και αλλάζει κλίση [15]. Μία γενική σύγκριση των δύο μεθόδων έχει ως εξής:

- Η σχετική βαθμονόμηση παρέχει απόλυτες τιμές σφαλμάτων μόνο εάν είναι γνωστές απόλυτες τιμές για την κεραία αναφοράς, επηρεάζεται ως ένα βαθμό από το φαινόμενο των πολλαπλών διαδρομών και παρέχει τιμές σφαλμάτων για γωνίες ανύψωσης μεγαλύτερες από 5° [13]. Είναι όμως μία διαδικασία εύκολα υλοποιήσιμη.

- Η απόλυτη βαθμονόμηση παρέχει απευθείας απόλυτες τιμές σφαλμάτων, ελαχιστοποιεί τα σφάλματα λόγω του φαινομένου πολλαπλών διαδρομών [1], και παρέχει τιμές σφαλμάτων και για μικρότερες γωνίες ανύψωσης. Είναι όμως μία σύνθετη διαδικασία.

Περισσότερο διαδεδομένη είναι η σχετική βαθμονόμηση και ειδικότερα οι τιμές που έχουν υπολογιστεί από το National Geodetic Survey (NGS) και διατίθενται για όλα τα μοντέλα κεραίων που είναι διαδεδομένα στην αγορά [10]. Σχετικές βαθμονομήσεις έχουν πραγματοποιηθεί επίσης, από την International GPS Service (IGS) καθώς και από κατασκευαστές συστημάτων GPS. Η απόλυτη βαθμονόμηση μέσω ρομποτικής κατασκευής αναπτύχθηκε από το Πολυτεχνείο του Ανοβέρου σε συνεργασία με ιδιωτική εταιρία [15].

2.4. Επιπτώσεις του φαινομένου

Το φαινόμενο των μεταβολών του κέντρου φάσης των κεραίων επηρεάζει κυρίως την ακρίβεια επίλυσης των βάσεων, ενώ σε συγκεκριμένες περιπτώσεις έχει επίπτωση και στην επίλυση των ασαφειών φάσης [5],[9]. Όταν για τη μέτρηση μίας βάσης χρησιμοποιούνται κεραίες του ίδιου μοντέλου, τότε τα σφάλματα είναι ουσιαστικά κοινά και εξαλείφονται, ακόμα και όταν δεν χρησιμοποιούνται μοντέλα διόρθωσης. Αυτό όμως δεν ισχύει για βάσεις πολύ μεγάλου μήκους, καθώς εκεί οι γωνίες με τις οποίες εισέρχεται το σήμα του δορυφόρου στις δύο κεραίες της βάσης είναι διαφορετικές και προκαλούνται σημαντικά σφάλματα κυρίως στον προσδιορισμό του υψομέτρου. Όταν χρησιμοποιούνται κεραίες διαφορετικών μοντέλων χωρίς να εφαρμοστούν (σωστά) κάποια μοντέλα βαθμονόμησης, τότε ακόμα και για μικρά μήκη βάσεων υπεισέρχονται αισθητά σφάλματα και στις οριζόντιες συνιστώσες αλλά κυρίως στην κατακόρυφη συνιστώσα της βάσης. Αυτό επιβεβαιώνεται και από την ανάλυση του κεφαλαίου 4.

Οι μεταβολές του κέντρου φάσης μπορούν σε συγκεκριμένες περιπτώσεις να προκαλέσουν αδυναμία επίλυσης των ασαφειών φάσης, αν δεν αντιμετωπιστούν σωστά [9]. Στη διεθνή βιβλιογραφία αναφέρονται κινηματικές εφαρμογές με όχημα όπου ο αλγόριθμος On-The-Fly (OTF) αργεί να επιλύσει τις ασάφειες [5] και εφαρμογές αεροφωτογράφισης όπου η επίλυση των ασαφειών δεν είναι εφικτή χωρίς τη χρήση μοντέλων βαθμονόμησης [12].

2.5. Τεχνικές αντιμετώπισης του φαινομένου

Γενικά το φαινόμενο των μεταβολών του κέντρου φάσης αντιμετωπίζεται σε τρία επίπεδα:

- Με την κατασκευή κεραίων αυξημένης σταθερότητας του κέντρου φάσης,

- με τη σωστή μέριμνα κατά τη διαδικασία των μετρήσεων και
- με τη χρήση μοντέλων διορθώσεων κατά την επεξεργασία των μετρήσεων.

Οι κατασκευαστές κεραιών GPS επιδιώκουν να περιορίζουν το μέγεθος των μεταβολών του κέντρου φάσης. Η βελτίωση των ιδιοτήτων του κέντρου φάσης δεν θα ήταν γενικά κάτι ιδιαίτερα δύσκολο, εάν παραιτούμασταν από τη διατήρηση άλλων ιδιοτήτων της κεραιάς. Για παράδειγμα ένας τρόπος να βελτιωθεί η συμπεριφορά του κέντρου φάσης θα ήταν να μειωθεί το μέγεθος της κεραιάς. Αυτό όμως θα είχε μεταξύ άλλων και αρνητικές συνέπειες για το διάγραμμα κέρδους. Για να ξεπεραστούν οι περιορισμοί αυτοί αναπτύσσονται νέοι τρόποι κατασκευής κεραιών με χρήση νέων υλικών [7], [8].

Ανεξάρτητα από το μοντέλο τους, οι χρησιμοποιούμενες γεωδαιτικές κεραιές πρέπει κατά τη μέτρηση να προσανατολίζονται προς το βορρά. Με τον τρόπο αυτό αφενός τείνουν να εξαλειφθούν τα σφάλματα, όταν χρησιμοποιούνται κεραιές ίδιου μοντέλου, ακόμα και όταν δε θα χρησιμοποιηθούν μοντέλα βαθμονόμησης στην επίλυση και αφετέρου λειτουργούν σωστά τα μοντέλα βαθμονόμησης, τα οποία αναφέρονται πάντα σε κεραιές προσανατολισμένες στο βορρά. Σε περιπτώσεις αυξημένων απαιτήσεων ακρίβειας και ειδικών εφαρμογών ο προσανατολισμός πρέπει να γίνεται με χρήση μαγνητικής πυξίδας.

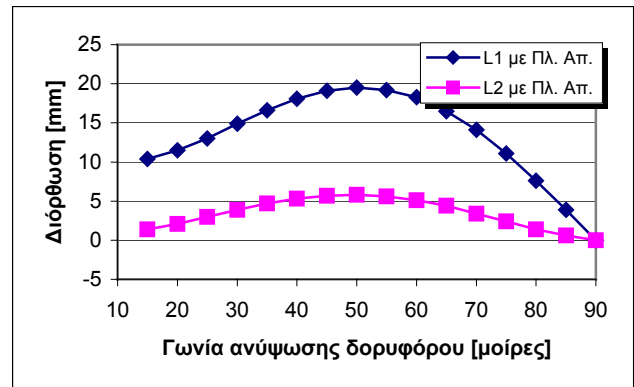
Κατά την επεξεργασία των παρατηρήσεων πρέπει να δηλώνεται στο λογισμικό το ακριβές μοντέλο της κεραιάς που χρησιμοποιήθηκε σε κάθε μέτρηση και να χρησιμοποιούνται μοντέλα διόρθωσης, ιδιαίτερα όταν οι βάσεις μετρήθηκαν με κεραιές διαφορετικών μοντέλων. Η δήλωση του μοντέλου στο λογισμικό πρέπει να γίνεται με οποιαδήποτε πρόσθετα χαρακτηριστικά όπως π.χ. πλάκα αποκοπής. Η διαφοροποίηση που προκαλεί στις ιδιότητες του κέντρου φάσης η προσθήκη ή αφαίρεση μίας αποσπώμενης πλάκας αποκοπής φαίνεται από την ανάλυση των κεφαλαίων 3 και 4.

3. ΠΟΣΟΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΑΒΟΛΩΝ ΤΟΥ ΚΕΝΤΡΟΥ ΦΑΣΗΣ

Στο κεφάλαιο αυτό δίνεται μία ενδεικτική περιγραφή των ιδιοτήτων του κέντρου φάσης με τη βοήθεια των σχημάτων 2-5, τα οποία αναπαριστούν γραφικά τις τιμές των μεταβολών των κέντρων φάσης, δηλαδή του όρου δd_r της εξίσωσης (1), σύμφωνα με τα μοντέλα βαθμονόμησης του NGS για κάποια διαδεδομένα μοντέλα κεραιών της αγοράς.

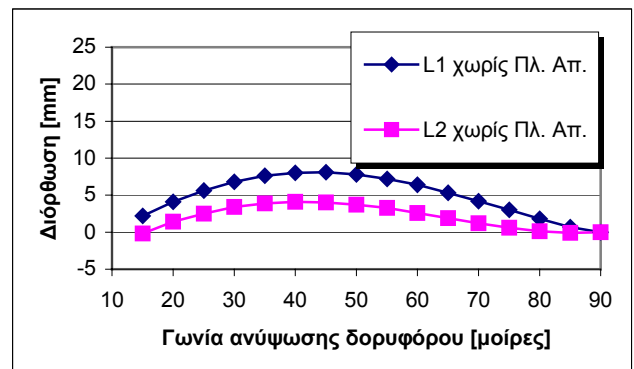
Στο Σχήμα 2 δίνονται οι τιμές σχετικής βαθμονόμησης του NGS για την L1 και L2 συχνότητα για την κεραιά Trimble Micro-centered L1/L2, όταν είναι τοποθετημένη η αποσπώμενη πλάκα αποκοπής. Φαίνεται η σαφής διαφοροποίηση των τιμών ανάμεσα στις δύο συχνότητες. Στο Σχήμα 3 δίνονται οι αντίστοιχες τιμές όταν από την κεραιά έχει αφαιρεθεί η αποσπώμενη πλάκα αποκοπής. Είναι και πάλι

σαφής η διαφοροποίηση των τιμών ανάμεσα στις δύο συχνότητες. Μεγαλύτερο ενδιαφέρον όμως έχει η σύγκριση των σχημάτων 2 και 3, από την οποία φαίνεται το πόσο έντονα επηρεάζει τις ιδιότητες του κέντρου φάσης η αποσπώμενη πλάκα αποκοπής.



Σχήμα 2: Μεταβολές του κέντρου φάσης για την L1 και την L2 με την αποσπώμενη πλάκα αποκοπής.

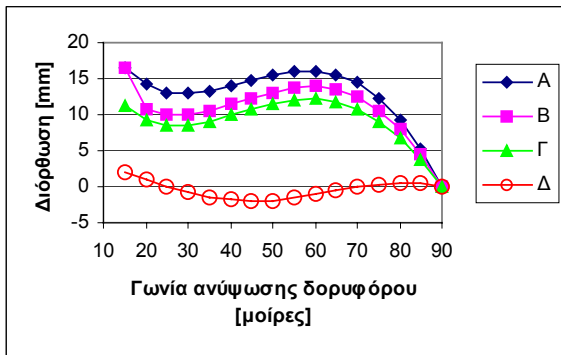
Figure 2: Phase center variations for L1 and L2 with the detachable groundplane.



Σχήμα 3: Μεταβολές του κέντρου φάσης για την L1 και την L2 χωρίς την αποσπώμενη πλάκα αποκοπής.

Figure 3: Phase center variations for L1 and L2 without the detachable groundplane.

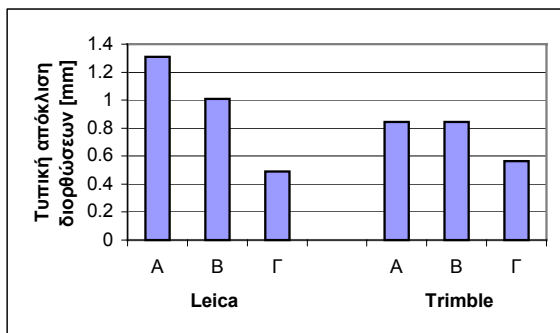
Στο Σχήμα 4 δίνονται οι τιμές απόλυτης βαθμονόμησης του NGS για την L1 για τα τέσσερα τελευταία μοντέλα εξωτερικών κεραιών διπλής συχνότητας της εταιρίας Trimble. Με χρονολογική σειρά έτους κατασκευής τα μοντέλα είναι: A (4000ST L1/L2 Geodetic), B (Geodetic L1/L2 compact με πλάκα αποκοπής), Γ (L1/L2 Micro-centered με πλάκα αποκοπής) και Δ (Zephyr με πλάκα αποκοπής). Συγκρίνοντας τα μοντέλα A έως Γ είναι φανερή η σταδιακή μείωση των τιμών της καμπύλης διορθώσεων με ταυτόχρονη διατήρηση όμως της μορφής της καμπύλης. Για το τελευταίας κατασκευής μοντέλο Δ εκτός από τη δραστική μείωση των τιμών της καμπύλης αλλάζει εντελώς και η μορφή της, γεγονός αναμενόμενο λόγω της νέας σχεδίασης και των νέων υλικών που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή της κεραιάς [7].



Σχήμα 4: Εξέλιξη των ιδιοτήτων του κέντρου φάσης σε διαδοχικά μοντέλα ενός κατασκευαστή (με χρονολογική σειρά έτους κατασκευής: από μοντέλο Α παλαιότερο 10ετίας μέχρι σημερινό μοντέλο Δ).

Figure 4: Improvement of phase center characteristics for successive models of the same manufacturer (models given in chronological order: A oldest, Δ latest).

Αντίστοιχη εξέλιξη των χαρακτηριστικών παρατηρείται και για μοντέλα κεραιών άλλων κατασκευαστών, όπως της εταιρίας Leica. Το Σχήμα 5 δίνει τις τυπικές αποκλίσεις των τιμών της απόλυτης βαθμονόμησης του NGS για την L1 για γωνίες ανύψωσης από 15° – 90° για διαδοχικά μοντέλα κεραιών Leica και Trimble. Με χρονολογική σειρά έτους κατασκευής τα μοντέλα της Leica είναι: Α (SR399), Β (AT502) και Γ (AX1202). Τα μοντέλα της Trimble είναι: Α (Geodetic L1/L2 compact χωρίς πλάκα αποκοπής), Β (L1/L2 Micro-centered χωρίς πλάκα αποκοπής) και Γ (Zephyr χωρίς πλάκα αποκοπής).



Σχήμα 5: Εξέλιξη των ιδιοτήτων του κέντρου φάσης σε διαδοχικά μοντέλα δύο κατασκευαστών (με χρονολογική σειρά έτους κατασκευής: από παλαιότερα μοντέλα Α μέχρι σημερινά μοντέλα Γ).

Figure 5: Improvement of phase center characteristics for successive models of two manufacturers (models given in chronological order: A oldest, Γ latest).

Τονίζεται ότι σκοπός του σχήματος 5 δεν είναι η σύγκριση μεταξύ των δύο κατασκευαστριών εταιριών, αλλά η κατάδειξη της γενικής τάσης που υπάρχει στην κατασκευή των γεωδαιτικών κεραιών. Μία τέτοια σύγκριση με βάση το σχήμα αυτό δε θα μπορούσε σε καμιά περίπτωση να είναι αντιπροσωπευτική. Όπως αναφέρθηκε και στην παράγραφο 2.1 τα επιμέρους ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των κεραιών είναι αλληλένδετα και συχνά η βελτίωση του ενός ηλεκτρικού

χαρακτηριστικού έχει αρνητικές συνέπειες για κάποιο άλλο. Έτσι μία σωστή αξιολόγηση δύο κεραιών πρέπει να είναι συνολική και να προκύπτει από ανάλυση όλων των επιμέρους χαρακτηριστικών τους.

4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΠΕΔΙΟΥ

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται ανάλυση αποτελεσμάτων επίλυσης βάσεων προκειμένου να διερευνηθεί το μέγεθος των σφαλμάτων που προκαλούν στις σχετικές μετρήσεις φάσης οι μεταβολές του κέντρου φάσης. Όλες οι μετρήσεις που αναφέρονται στο κεφάλαιο αυτό έγιναν με τη σύντομη στατική μέθοδο και επεξεργάστηκαν με το λογισμικό Trimble Total Control ver. 2.73. Για όλες τις λύσεις L1 και L3 που δίνονται έχει επιτευχθεί η επίλυση ασαφειών φάσης.

Για τη διερεύνηση της σημασίας χρήσης διάφορων μοντέλων διορθώσεων στην περίπτωση μέτρησης βάσεων με χρήση ίδιων κεραιών, έγινε επεξεργασία 47 βάσεων με μήκη από 0.5 km έως 3.9 km. Όλες οι βάσεις επιλύθηκαν τρεις φορές ως εξής:

- Με χρήση του μοντέλου βαθμονόμησης του NGS,
- με χρήση του μοντέλων βαθμονόμησης της εταιρίας Trimble,
- χωρίς χρήση μοντέλου βαθμονόμησης.

Μετά την επίλυση έγινε σύγκριση των συνιστωσών των βάσεων της λύσης L1 και L3 (λύση ελεύθερη ιονοσφαιρικών επιδράσεων) για κάθε μία από τις τρεις επιλύσεις. Στον πίνακα 1 δίνονται τα σχετικά αποτελέσματα για μία βάση μήκους 2.9 km, από όπου φαίνεται ότι οι τρεις επιλύσεις ταυτίζονται απόλυτα. Το ίδιο πρακτικά συμπέρασμα προέκυψε από τη σύγκριση των τριών επιλύσεων για κάθε μία από τις 47 βάσεις. Διαπιστώθηκαν μόνο δύο διαφοροποιήσεις ίσες με 0.0001m, οι οποίες θα μπορούσαν ίσως να αποδοθούν και σε υπολογιστικά σφάλματα.

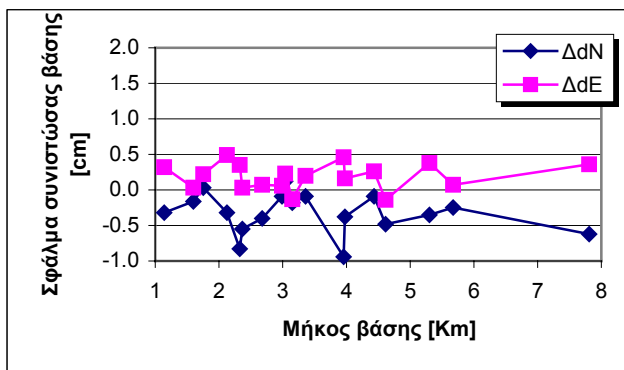
Η αμελητέα σημασία της χρήσης μοντέλων διόρθωσης στην περίπτωση που οι βάσεις μετρήθηκαν με ίδια μοντέλα κεραιών ήταν κάτι αναμενόμενο με βάση τη θεωρητική ανάλυση της παραγράφου 2.4. Περισσότερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η περίπτωση μέτρησης βάσης με διαφορετικά μοντέλα κεραιών. Επειδή δεν υπήρχαν διαθέσιμες κατάλληλες μετρήσεις τέτοιου είδους, ακολουθήθηκε η εξής διαδικασία: μία σειρά βάσεων που μετρήθηκαν με ίδιες κεραιές επιλύθηκαν δύο φορές: πρώτα έχοντας δηλώσει στο λογισμικό το πραγματικό μοντέλο και των δύο κεραιών και στη συνέχεια δηλώνοντας για το σταθμό αναφοράς κεραία «άγνωστη» και για τον άλλο σταθμό της βάσης το πραγματικό μοντέλο. Η κατάσταση αυτή προσομοιάζει την περίπτωση όπου μία βάση μετρημένη με κεραιές με διαφορετικά χαρακτηριστικά (π.χ. μοντέλο Δ και κάποιο άλλο του σχήματος 4) επιλύεται χωρίς τη χρήση μοντέλων διόρθωσης. Επίσης, η κατάσταση αυτή παρουσιάζεται ανούσια, όταν κατά την επίλυση μίας βάσης, η κεραία του ενός σταθμού δηλώνεται ως άγνωστη είτε γιατί δεν υπάρχει επαρκής πληροφορία στο αρχείο μετρήσεων (πρωτογενών

ή Rinex), είτε γιατί το λογισμικό επίλυσης δε διαθέτει τιμές βαθμονόμησης για το συγκεκριμένο μοντέλο κεραίας.

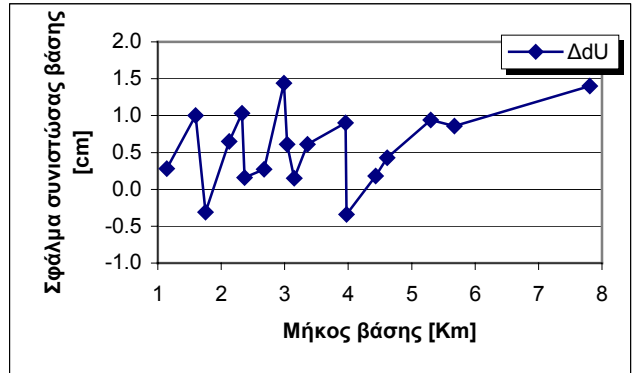
		Συνιστώσες βάσης για διάφορα μοντέλα βαθμονόμησης [m]			Διαφορές μεταξύ μοντέλων [m]	
		{1}	{2}	{3}	{1} - {2}	{1} - {3}
		NGS	Trimble	Χωρίς μοντέλο		
L1	dE	2915.7714	2915.7714	2915.7714	0.0000	0.0000
	dN	-381.2224	-381.2224	-381.2224	0.0000	0.0000
	dU	-54.0177	-54.0177	-54.0177	0.0000	0.0000
L3	dE	2915.7708	2915.7708	2915.7708	0.0000	0.0000
	dN	-381.2226	-381.2226	-381.2226	0.0000	0.0000
	dU	-54.0225	-54.0225	-54.0225	0.0000	0.0000

Πίνακας 1: Επίλυση βάσης μετρημένης με δύο ίδιες κεραίες χρησιμοποιώντας διαφορετικά μοντέλα βαθμονόμησης.
Table 1: Use of different calibration models for solving a baseline measured with different antenna models.

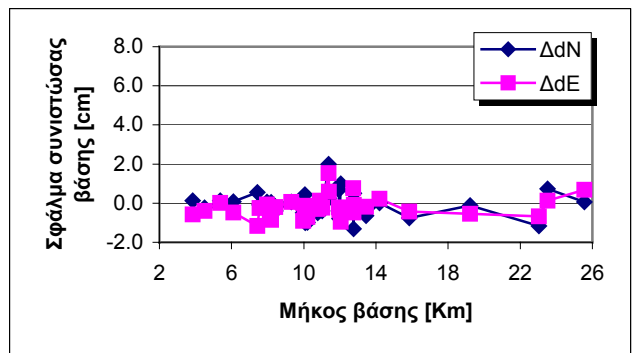
Στα Σχήματα 6 – 9 δίνονται οι διαφορές που προκύπτουν για τις συνιστώσες κάθε βάσης μεταξύ της επίλυσης όπου δηλώθηκαν σωστά τα δύο μοντέλα κεραίων και της επίλυσης με δηλωμένο το μοντέλο της κεραίας του σταθμού αναφοράς ως «άγνωστο». Η πρώτη επίλυση θεωρείται ως σωστή και για το λόγο αυτό οι διαφορές των δύο επιλύσεων αναφέρονται ως «σφάλματα». Οι συνιστώσες των βάσεων δε δίνονται όπως συνήθως στο γεωκεντρικό καρτεσιανό σύστημα αναφοράς, αλλά σε τοπικό γεωδαιτικό σύστημα (dN, dE, dU) προκειμένου να διαχωρίζονται τα οριζοντιογραφικά από τα υψομετρικά σφάλματα. Στα Σχήματα 6 και 7 δίνονται τα σφάλματα που προκύπτουν για τη λύση L1 για 18 βάσεις μήκους 1-8 km μετρημένες με τις κεραίες δεκτών ProMark της εταιρίας Thales. Στα Σχήματα 8 και 9 δίνονται τα σφάλματα που προκύπτουν για τη λύση L3 για 35 βάσεις μήκους 3-26 km μετρημένες με κεραίες δεκτών 4800 της εταιρίας Trimble.



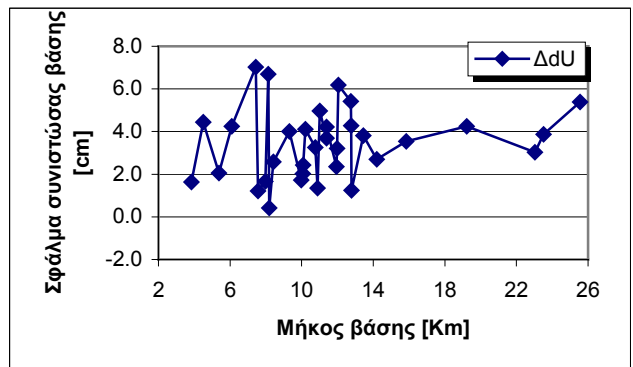
Σχήμα 6: Σφάλματα που προκαλούνται στις οριζόντιες συνιστώσες της λύσης L1, όταν μία από τις δύο κεραίες της βάσης δεν έχει δηλωθεί σωστά στο λογισμικό επίλυσης.
Figure 6: Errors in the horizontal components of the L1 baseline solution caused by wrong definition of the one antenna model in the baseline processor.



Σχήμα 7: Σφάλματα που προκαλούνται στην κατακόρυφη συνιστώσα της λύσης L1, όταν μία από τις δύο κεραίες της βάσης δεν έχει δηλωθεί σωστά στο λογισμικό επίλυσης.
Figure 7: Errors in the vertical component of the L1 baseline solution caused by wrong definition of the one antenna model in the baseline processor.

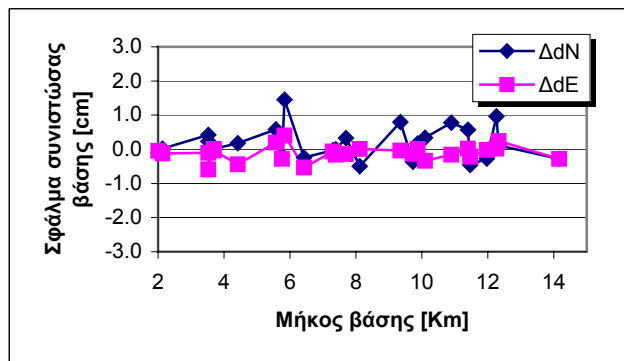


Σχήμα 8: Σφάλματα που προκαλούνται στις οριζόντιες συνιστώσες της λύσης L3, όταν μία από τις δύο κεραίες της βάσης δεν έχει δηλωθεί σωστά στο λογισμικό επίλυσης.
Figure 8: Errors in the horizontal components of the L3 baseline solution caused by wrong definition of the one antenna model in the baseline processor.



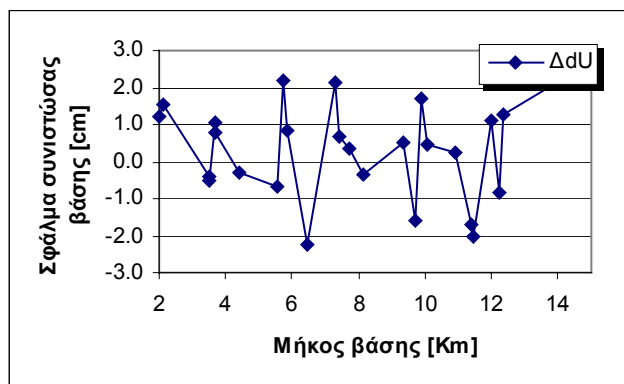
Σχήμα 9: Σφάλματα που προκαλούνται στην κατακόρυφη συνιστώσα της λύσης L3, όταν μία από τις δύο κεραίες της βάσης δεν έχει δηλωθεί σωστά στο λογισμικό επίλυσης.
Figure 9: Errors in the vertical component of the L3 baseline solution caused by wrong definition of the one antenna model in the baseline processor.

Για να διερευνηθεί η επίδραση της αποσπώμενης πλάκας αποκοπής στις ιδιότητες του κέντρου φάσης ακολουθήθηκε η εξής διαδικασία: μία σειρά βάσεων που μετρήθηκαν με ίδιες κεραιές χωρίς τις πλάκες αποκοπής επιλύθηκαν δύο φορές: πρώτα έχοντας δηλωθεί σωστά στο λογισμικό το μοντέλο κεραιών και στη συνέχεια δηλώνοντας για το σταθμό αναφοράς την κεραιά «με πλάκα αποκοπής» και για τον άλλο σταθμό της βάσης «χωρίς πλάκα αποκοπής». Στα Σχήματα 10 και 11 δίνονται τα σφάλματα που προκύπτουν για τη λύση L1 για 33 βάσεις μήκους 2-14 km μετρημένες με κεραιές Micro-centered της εταιρίας Trimble.



Σχήμα 10: Σφάλματα που προκαλούνται στις οριζόντιες συνιστώσες της λύσης L1, όταν η αποσπώμενη πλάκα αποκοπής μίας από τις δύο κεραιές της βάσης δεν έχει δηλωθεί σωστά στο λογισμικό επίλυσης.

Figure 10: Errors in the horizontal components of the L1 baseline solution caused by wrong definition of the groundplane of one antenna in the baseline processor.



Σχήμα 11: Σφάλματα που προκαλούνται στην κατακόρυφη συνιστώσα της λύσης L1, όταν η αποσπώμενη πλάκα αποκοπής μίας από τις δύο κεραιές της βάσης δεν έχει δηλωθεί σωστά στο λογισμικό επίλυσης.

Figure 11: Errors in the vertical component of the L1 baseline solution caused by wrong definition of the groundplane of one antenna in the baseline processor.

Σημειώνεται ότι τα μοντέλα των κεραιών αναφέρονται αποκλειστικά για λόγους τεκμηρίωσης και ότι συγκρίσεις μεταξύ των μοντέλων δεν μπορούν να προκύψουν από τα αντίστοιχα σχήματα, τα οποία μεταξύ άλλων αναφέρονται και σε διαφορετικά μεγέθη (λύση L1, λύση L3 κ.λπ.).

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την ανάλυση των μετρήσεων πεδίου που έγινε διαπιστώθηκε η πρόκληση αισθητών σφαλμάτων στην περίπτωση κατά την οποία μία βάση μετρείται με διαφορετικά μοντέλα κεραιών και δεν χρησιμοποιούνται κατά την επίλυση σωστά μοντέλα βαθμονόμησης των κεραιών αυτών. Τα σφάλματα στις οριζόντιες συνιστώσες της βάσης κυμαίνονται συνήθως μεταξύ ± 1 cm, ενώ για την κατακόρυφη συνιστώσα είναι σχεδόν διπλάσια. Κάτι αντίστοιχο ισχύει και για την περίπτωση όπου δε δηλώνεται σωστά η χρήση μίας αποσπώμενης πλάκας αποκοπής. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η περίπτωση βάσεων μεγαλύτερων από 5 km, όταν χρησιμοποιείται η λύση L3 για τον περιορισμό των ιονοσφαιρικών επιδράσεων. Σε αυτή την περίπτωση διαπιστώθηκαν υψομετρικά σφάλματα μέχρι και 7 cm. Στην ελλεινική πραγματικότητα τέτοια σφάλματα έχει διαπιστωθεί ότι εισάγουν υπολογίσιμα σφάλματα σε εργασίες ακριβείας, όπως π.χ. ή ίδρυση δικτύων ελέγχου.

Για τον περιορισμό των παραπάνω σφαλμάτων απαιτείται στην πράξη ακριβής καταγραφή στο έντυπο μετρήσεων του μοντέλου κεραιάς που χρησιμοποιήθηκε σε κάθε μέτρηση, έτσι ώστε να μπορεί να δηλωθεί στο λογισμικό επεξεργασίας. Τέλος, αντίστοιχη προσοχή πρέπει να δίνεται και κατά τη δημιουργία αρχείου Rinex παρατηρήσεων ώστε να καταχωρείται με ακρίβεια το μοντέλο κεραιάς στην προβλεπόμενη θέση της κεφαλίδας του αρχείου.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Böder, V., F. Menge, G. Seeber, G. Wübbena, M. Schmitz (2001), "How to Deal with Station Dependent Errors – New Developments of the Absolute Field Calibration of PCV and Phase-Multipath with a Precise Robot", Proceedings of the ION GPS-2001, Salt Lake City, Utah, September, 2001.
- Breuer, B. et al. (1995), "Kalibrierung von GPS-Antennen für hochgenaue geodätische Anwendungen", SPN Zeitschrift für Satellitengestützte Positionierung, Navigation und Kommunikation, 2/95, Wichmann Verlag, Karlsruhe.
- Fenton, P., et. al (1991), "Novatel's GPS Receiver: The High Performance OEM Sensor of the Future", Proceedings of the ION GPS-91, Albuquerque, N.M., September 1991.
- Geiger, A. (1988): "Einfluß und Bestimmung der Variabilität des Phasenzentrums von GPS-Antennen", Institut für Geodäsie und Photogrammetrie an der ETH-Zürich, Mitteilungen Nr. 43, Schweiz.
- Gianniou, M. and E. Groten (1996), "Improvement of an OTF Algorithm by Considering the Receiver Performance", Proceedings of IEEE PLANS '96, Atlanta, Georgia, April 1996, pp. 657-663.
- Krahn, Oliver (1991), "Experimentelle Untersuchung des Phasenzentrums einer vorgegebenen GPS-Antenne", Dilpomararbeit, Institut fuer Hochfrequenztechnik, Technische Hochschule Darmstadt.
- Krantz, E., Riley S. and Large P. (2001), "GPS Antenna Design and Performance advancements: The Trimble Zephyr", Trimble Navigation Limited.
- Landau, H. (2003), "Zur Notwendigkeit der Kalibrierung moderner GPS Antennen" GPS-Antennen Workshop, 3. November 2003, Frankfurt/Main.
- Leica (2001), "A One Page Newsletter on System 500 GPS", GPS Newsletter Vol. 01, No 12.

10. Mader, G. (2004), **“GPS Antenna Calibration at the National Geodetic Survey”**, ιστοσελίδα NGS <http://www.ngs.noaa.gov/ANTCAL/Files/summary.html>.
11. Schupler B. and T. Clark (1991), **“How Different Antennas Affect the GPS Observable”**, GPS WOLRD, November/December 1991, pp. 32-36.
12. Wanninger, L. (2002), **“Virtuelle GPS-Referenzstationen für großräumige kinematische Anwendungen”**, Geodätische Woche 2002, Frankfurt/Main.
13. Wanninger, L. (2003), **“Erzielbare GPS-Koordinatengenauigkeiten bei Verwendung von Antennenkorrekturen”**, GPS-Antennen Workshop, 3. November 2003, Frankfurt/Main.
14. Wohlleben, R., H. Mattes, O. Loncher (1988), **“The “dynamics” of the MPIfR anechoic chamber between 300 and 2 mm wavelength”**, Proceedings of the 11th ESTEC Antenna Workshop on Antenna Measurements, Onsala, Sweden, pp. 225-235.
15. Wübbena, G., M. Schmitz, F. Menge, G. Seeber, C. Völksen (1997), **“A New Approach for Field Calibration of Absolute GPS Antenna Phase Center Variations”**, NAVIGATION, Journal of the Institute of Navigation, Vol. 44, No. 2, 1997, USA.
16. Wübbena, G., M. Schmitz, G. Boettcher (2003), **“Analyse umfangreicher Messreihen von GPS Antennen PCV aus absoluten Roboter-Feldkalibrierungen seit Januar 2000”**, GPS-Antennen Workshop, 3. November 2003, Frankfurt/Main.

Extended summary

Phase Center Variations of GPS Antennas and Effects on the Accuracy of Measurements

MICHAEL GIANNIOU

PhD Rural and Surveying Engineering

Abstract

The goal of this paper was to investigate the influence of antenna phase center variations on the accuracy of geodetic GPS measurements. The paper gives a theoretical description of the effect and its influence. Furthermore, the phase center variations for different antenna models are quantified and the improvements brought by the new technology are shown. Finally, an analysis of field data reveals the magnitude of errors that can be caused by phase center variations.

The paper refers to high accuracy geodetic measurements using different receivers and antennas. Methodologies for reducing the influence of phase center variations are suggested.

1. INTRODUCTION

The mechanical center of a geodetic GPS antenna does not generally coincide with the point where the phase is actually measured, i.e. the phase center. The exact position of the phase center depends on the direction of the incoming signal, an effect known as Phase Center Variations (PCV). The properties of the phase center depend on the type of the antenna and its design. As a consequence, errors up to several centimeters may be introduced when different antenna models are used for the measurement of a baseline. For high accuracy measurements or long baselines attention has to be paid during the measurements and the processing, even when antennas of the same model are used.

2. THEORETICAL BACKGROUND

2.1. Technical characteristics of antennas

Antennas are described by their physical and electrical characteristics. The physical characteristics refer to the shape, the size, the weight and the construction materials of the antenna. The phase center stability, the

Submitted: Oct. 27, 2004 Accepted: March 9, 2005

gain and the multipath resistance belong to the electrical characteristics.

The phase center stability describes the variations of the phase center. Manufacturers are trying to minimize the PCV of modern antennas.

The antenna gain is computed by dividing the power of the out-going signal by the power of the in-coming signal. The gain depends on the direction of the incoming signal, a relation represented by the gain pattern. In some antennas the gain is intentionally poor for low elevation angles in order to reduce the multipath effect. Another way to mitigate multipath is to build antennas with small gain for left-hand circular polarized signals, such as a GPS signal reaching the antenna after one reflection [3].

Although there is no obvious relation between the phase center variations and the multipath resistance, these two aspects are considered together when designing antennas or computing calibration models.

2.2. Phase center variations

The antenna elements cause the electrical center to move around the mean phase center when the direction of incoming signal changes. The mean phase center is defined with respect to the Antenna Reference Point (ARP), usually the mechanical center at the bottom of the antenna mount. General issues for PCV are:

- The mean phase centers for L1 and L2 do not generally coincide [11].
- PCV depend strongly on the antenna model.
- PCV are not exactly the same for antennas of the same production series [11], [16].
- A change of the physical characteristics of the antenna (e.g. removing a detachable groundplane) will change the characteristics of the phase center.
- The characteristics of the phase center of the antennas may change slightly with time.

2.3. Antenna calibration

Antenna calibration models describe the errors in the range measurement caused by the PCV. The range error is given by equation (1), where the first term is the projection of the vector between ARP and mean phase center in the direction antenna-satellite and the second term describes the PCV around the mean phase center. The two terms of equation (1) are estimated by a relative or absolute calibration.

2.4. PCV: problems and solutions

Measuring a baseline using two antennas of the same model will minimize the effects of PCV. However, this is not true for very long baselines. Furthermore, mixing different antennas without using calibration models can cause considerable errors even for short baselines. Under certain circumstances PCV can cause failures of an OTF algorithm [5], [12].

Nowadays, antenna manufacturers are developing new design concepts using modern materials in order to achieve phase center stability and overall performance [7], [8]. However, for high precision applications antennas should be oriented towards north and calibration models should be used.

3. QUANTIFYING PCV

Figures 2 and 3 show the NGS relative calibration values for L1 and L2 for Trimble Micro-centered L1/L2 antenna with and without the detachable groundplane, respectively. Figure 4 shows the NGS absolute calibration values for four sequential Trimble models: A (4000ST L1/L2 Geodetic), B (Geodetic L1/L2 compact w GP), Γ (L1/L2 Micro-centered w GP) and Δ (Zephyr w GP). Figure 5 gives the standard deviations of the NGS absolute L1-values for three sequential models of Leica (A: SR399, B: AT502 and Γ: AX1202) and Trimble (A: Geodetic L1/L2 compact no GP, B: L1/L2 Micro-centered no GP and Γ: Zephyr no GP).

4. FIELD DATA ANALYSIS

For comparing different calibration models 47 baselines (0.5 Km – 3.9 Km) measured with antennas of the same model were processed using: a) NGS relative calibration model, b) Trimble calibration model and c) no calibration model. The solution proved to be independent of the calibration model. Table 1 gives the results for one baseline.

For investigating the impact of using different antennas in a baseline, the following procedure was followed. Baselines measured with same antennas were processed twice. The first time, the correct antenna models were set in the baseline processor. The second time, one antenna model was set to “unknown”.

Figures 6-9 give the differences between the two solutions. Figures 6 and 7 show the differences in L1 solution for 18 baselines (1 – 8 Km long) measured with Thales ProMark antennas. Figures 8-9 show the differences in L3 solution for 35 baselines (3 – 26 Km long) measured with Trimble 4800 antennas.

For investigating the influence of a detachable groundplane on the measurements, 33 baselines (2-14 Km long) measured with Trimble Micro-centered antennas without groundplanes were processed twice. The first time, the correct antenna models were set in the baseline processor. The second time, one antenna model was set to “with groundplane”. Figures 10 and 11 show the differences in the L1 baseline solution.

5. CONCLUSIONS

The data analysis proved that baselines measured with different antenna models should be processed using calibration models in order to avoid accuracy degradation. Otherwise, the errors in the horizontal baseline components are of the order of ± 1 cm, while the errors in the vertical component are twice as big. Similar errors are caused when a detachable groundplane is not set correctly in the baseline processor. Larger errors of up to 7 cm are found in the vertical component of baselines longer than 5 Km, that have been processed with the L3 linear combination.