

# Εξελιγμένοι Γεωδαιτικοί Δέκτες Διπλής Συχνότητας από την TRIMBLE - Δυνατότητες Πολύπλευρης Αξιοποίησης τους

Μιχάλης Γιαννίου  
Τοπογράφος Μηχανικός ΑΠΘ, Ph.D. Satellite Surveying TU-Darmstadt

*Geomatics E.Π.Ε.*  
Μελέτες Ανάπτυξης και Συστήματα Πληροφοριών

## Περίληψη

Στην εργασία αυτή γίνεται μία αναφορά στην εξέλιξη των γεωδαιτικών δεκτών διπλής συχνότητας της εταιρίας Trimble. Περιγράφονται συνοπτικά τα χαρακτηριστικά διαφόρων μοντέλων και γίνεται μια ανάλυση των δυνατοτήτων τους, δίνοντας έμφαση σε ότι αφορά τη λήψη σήματος κάτω από δύσκολες συνθήκες. Στη συνέχεια παρατείνονται οι δυνατότητες που προσφέρει το τελευταίο μοντέλο 4700 Total Station. Τέλος παρουσιάζεται η ποικιλότροπη αξιοποίηση αυτών των δεκτών από την εταιρία Geomatics E.Π.Ε. και αναλύεται ο ρόλος τους στην αύξηση παραγωγικότητας και τη βελτίωση της ποιότητας του τελικού προϊόντος.

## 1. Εισαγωγή

Την τελευταία δεκαετία έχουν σημειωθεί τεράστιες εξελίξεις σε ότι αφορά τους γεωδαιτικούς δέκτες και ιδιαίτερα αυτούς διπλής συχνότητας. Μετά την απόκρυψη του Ρ-κώδικα (AS, Anti-Spoofing) κατασκευάστηκαν δέκτες τετραγωνισμού του σήματος της L2 συχνότητας. Με τον τρόπο αυτό ήταν εφικτή η μέτρηση της φάσης στην L2. Η μέθοδος όμως είχε δύο σημαντικά μειονεκτήματα. Πρώτον την αύξηση των θορύβου στη μέτρηση και δεύτερον τον υποδιπλασιασμό των μηκών κύματος, γεγονός που δυσχέραινε ιδιαίτερα την επίλυση των ασαφειών φάσης ειδικά με την σύντομη στατική μέθοδο. Για να ξεπεραστεί το πρόβλημα αυτό οι κατασκευαστές δεκτών GPS ανέπτυξαν μεθόδους ανάκτησης κώδικα και ολόκληρων μηκών κύματος στην L2. Η εταιρία Trimble εισήγαγε για αυτό το σκοπό την μέθοδο Cross-Correlation. Από τη στιγμή αυτή άρχισε μία ραγδαία βελτίωση των δεκτών. Κύριες επιδιώξεις των κατασκευαστών δεκτών από τότε είναι η βελτίωση της ποιότητας της μέτρησης και η ανάπτυξη λογισμικού για ταχύτερες διαδικασίες στατικών μετρήσεων και κυρίως για εφαρμογές πραγματικού χρόνου. Καθώς οι δυνατότητες χρησιμοποίησης των γεωδαιτικών δεκτών συνεχώς αυξάνονται γίνεται όλο και πιο έντονη η ανάγκη για ευρεία αξιοποίησή τους ακόμα και κάτω από δυσχερείς συνθήκες.

Στις γεωδαιτικές και τοπογραφικές εργασίες οι κυριότερες δυσχέρειες που αντιμετωπίζουν οι χρήστες και οφείλονται στο περιβάλλον παρατήρησης προέρχονται από προβλήματα στη λήψη του σήματος. Εδώ οι προσπάθειες βελτίωσης των δεκτών στρέφονται κυρίως σε μείωση των επιπτώσεων του φαινομένου πολλαπλής ανάκλασης του σήματος (multipath), στη βελτίωση λήψης ασθενών σημάτων,

στην αύξηση της αντίστασης του δέκτη σε παρεμβάλλουσες ηλεκτρομαγνητικές ακτινοβολίες και στη γρήγορη επαναπόκτηση του σήματος μετά από διακοπή της λήψης (loss of lock ή cycle slip).

Από πλευράς εφαρμογών η ανάπτυξη στρέφεται κυρίως στην δυνατότητα εφαρμογών αληθούς χρόνου. Για την υλοποίηση αυτών των εφαρμογών είναι απαραίτητη η σύνδεση του δέκτη αναφοράς (reference receiver) με τον "κινητό" δέκτη (rover receiver) μέσω ραδιοζεύξης (radio modem). Σήμερα υπάρχουν προσφερόμενες λύσεις από τις μεγάλες κατασκευάστριες εταιρίες οι οποίες καλύπτουν: προσδιορισμό συντεταγμένων με τη σύντομη στατική μέθοδο σε χρόνο 8 λεπτών, κινηματικό προσδιορισμό θέσης με φάσεις σε πραγματικό χρόνο (OTF, On-The-Fly), προσδιορισμό με τη μέθοδο stop-and-go με χρόνους της τάξης των λίγων δευτερολέπτων, υλοποιήσεις (stake out) κ.λ.π.

## **2. Γεωδαιτικοί δέκτες διπλής συχνότητας Trimble των τελευταίων χρόνων**

Στη συνέχεια παρατείνονται τα σημαντικότερα μοντέλα γεωδαιτικών δεκτών διπλής συχνότητας της Trimble, ξεκινώντας από ένα δέκτη τετραγωνισμού και καταλήγοντας στο πιο πρόσφατο μοντέλο της εταιρίας το 4700 Total Station.

- 4000 SST  
δέκτης τετραγωνισμού σήματος στην L2
- 4000 SSE  
πρώτο μοντέλο μέτρησης κώδικα και ολόκληρων μηκών κύματος στην L2 με την τεχνική Cross-Correlation
- 4000 SSi  
σημαντική βελτίωση του προηγούμενου μοντέλου σε ότι αφορά λήψη ασθενών σημάτων και αντίσταση σε παρεμβολές
- 4400  
παρόμοιος με τον προηγούμενο αλλά με ακόμα βελτιωμένες τεχνικές επεξεργασίας σήματος, ενδείκνυται για έλεγχο μηχανημάτων και εφαρμογές αυτοματοποίησης (machine control and automation applications), σημαντική διαφορά η εισαγωγή χειριστηρίου χειρός (handheld controller) που προσφέρει ευελιξία στις εργασίες πεδίου
- 4800 Total Station  
δέκτης ιδιαίτερα κατάλληλος για διαδικασίες παραγωγής, εξαιρετικά πρακτικός για αποτυπώσεις, με δέκτη, modem και κεραία ενσωματωμένα σε μία μονάδα. Το σύστημα μετακινείται σε στυλαίο όπου οι μπαταρίες είναι κυλινδρικές και ενσωματώνονται στο κάτω μέρος του στυλαιού
- 4700 Total Station  
το πιο πρόσφατο μοντέλο τύπου Total Station με δέκτη και κεραία σαν ξεχωριστές μονάδες. Προσφέρει ευρύτερες δυνατότητες χρήσης όπως π.χ. χρησιμοποίηση σε κινούμενες πλατφόρμες. Σημαντική μείωση του μεγέθους και του βάρους του δέκτη.

Εκτός από το δέκτη 4000 SST που πλέον θεωρείται ξεπερασμένος, ο κοινός χρήστης ή υποψήφιος αγοραστής ενός γεωδαιτικού συστήματος είναι εύλογο να αναρωτιέται κατά πόσο οι διαφορές μεταξύ των διαφόρων μοντέλων είναι σημαντικές και πόσο βαρύνοντα είναι τα πλεονεκτήματα των τελευταίων μοντέλων. Στο επόμενο κεφάλαιο θα δοθούν παραδείγματα από συγκριτικές δοκιμές μερικών από τα παραπάνω μοντέλα. Τα παραδείγματα αυτά στοχεύουν στην αποσαφήνιση αυτού του ερωτήματος, το οποίο πρέπει πάντα να εξετάζεται με βάση τις απαιτήσεις του χρήστη.

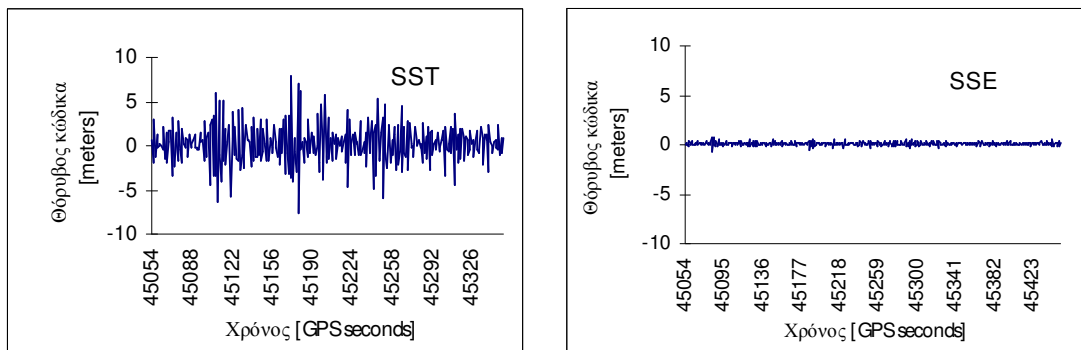
### 3. Συγκριτικές δοκιμές δεκτών

Στη συνέχεια δίνονται παραδείγματα από ανάλυση μετρήσεων που καθιστούν φανερές τις βελτιώσεις των δεκτών και δίνεται έμφαση στη λήψη σήματος κάτω από δυσχερείς συνθήκες.

#### 3.1 Θόρυβος στη μέτρηση του κώδικα C/A

Σύμφωνα με τη θεωρία η ακρίβεια της μέτρησης του κώδικα εξαρτάται από το “μήκος κύματός” του. Κατά τους [Wells et al., 1986] η ακρίβεια αυτή είναι ίση με το ένα εκατοστό του “μήκους κύματος”. Για τον C/A κώδικα αυτό αντιστοιχεί σε 3m. Πρέπει να τονιστεί πως σήμερα αυτή η ακρίβεια έχει βελτιωθεί σημαντικά. Η ακρίβεια ή αλλιώς ανάλυση (resolution) της μέτρησης του κώδικα εξαρτάται από τον τρόπο με τον οποίο γίνεται η αποδιαμόρφωση (demodulation) του λαμβανομένου σήματος μέσα στο δέκτη. Αυτή η αποκωδικοποίηση γίνεται κατά την ψηφιακή επεξεργασία του σήματος με τη βοήθεια των συσχετιστών (correlators) με την τεχνική DLL (Delay Lock Loop) [Ward, 1994]. Τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί τεχνικές συσχέτισης με τις οποίες επιτυγχάνεται σημαντικά βελτιωμένη ακρίβεια μέτρησης του κώδικα.

Η εικόνα 1 δίνει ένα παράδειγμα για το πόσο η ακρίβεια στη μέτρηση του C/A κώδικα εξαρτάται από τον δέκτη. Στην αριστερή εικόνα δίνεται η θόρυβος της παρατήρησης του κώδικα από ένα δέκτη 4000 SST και στη δεξιά εικόνα το ίδιο ακριβώς μέγεθος για ένα δέκτη 4000 SSE. Ο τρόπος υπολογισμού του θορύβου αναλύεται στην διατριβή: [Gianniou, 1996]. Οι δύο δέκτες παρατηρούσαν σε δύο γειτονικές θέσεις που απείχαν μεταξύ τους λίγα μέτρα. Είναι προφανής η τεράστια διαφορά στη στάθμη θορύβου της μέτρησης μεταξύ των δύο δεκτών. Η τεχνολογία του 4000 SSE σηματοδοτεί για την Trimble (αλλά και γενικότερα) μια εποχή όπου η ακρίβεια μέτρησης του C/A κώδικα είναι περίπου ίδια με αυτή του κώδικα P.



Εικόνα 1. Θόρυβος μέτρησης C/A κώδικα για ένα δέκτη 4000 SST και ένα δέκτη 4000 SSE.

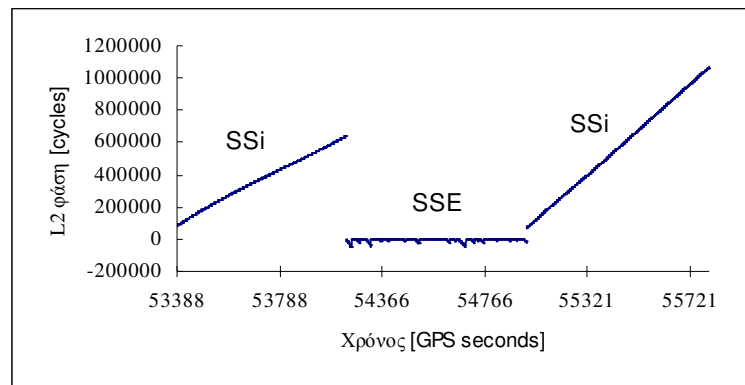
#### 3.2 Δυνατότητα αντίστασης σε παρεμβολές

Εκτός από τη σημαντική βελτίωση του δέκτη SSE σε σχέση με τον SST σε ότι αφορά την ποιότητα της μέτρησης του κώδικα, αυτά τα δύο μοντέλα διαφέρουν σημαντικά και στην ικανότητα παρακολούθησης ασθενών σημάτων ιδιαίτερα σε περιβάλλον με ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές.

Αυτές οι βελτιώσεις συνεχίστηκαν και στο μοντέλο που ακολούθησε τον SSE, δηλαδή τον SSi. Πιο συγκεκριμένα η ικανότητα καλύτερης λήψης του SSi είναι και η μόνη ουσιαστική διαφορά μεταξύ των δύο δεκτών.

Στην εικόνα 2 δίνεται ένα συγκριτικό τεστ μεταξύ SSE και SSi. Σε μία περιοχή με διαπιστωμένες παρεμβολές τοποθετήθηκε μια γεωδαιτική κεραία σε σταθερό σημείο. Αρχικά η κεραία συνδέθηκε με ένα δέκτη SSi. Στη συνέχεια η κεραία συνδέθηκε με έναν SSE και τέλος πάλι με τον SSi. Όπως φαίνεται από την εικόνα 2 ο SSi ήταν σε θέση να παρατηρεί και να καταγράφει σε ολόκληρη τη διάρκεια της μέτρησης την L2 φάση για τον δορυφόρο SV20. Αντίθετα ο SSE μόνο για λίγα δευτερόλεπτα μπορούσε να παρατηρεί συνεχώς το σήμα. Είναι εμφανής η πρακτική σημασία αυτής της ικανότητας του δέκτη SSi ειδικά αν σκεφτεί κανείς την περίπτωση παρατήρησης σε κάποιο σταθμό αναφοράς (π.χ. τριγωνομετρικό σημείο) κάτω από παρεμβολές. Για την περίπτωση του SSE η παρατήρηση της L2 φάσης δεν είναι αξιοποιήσιμη για την επίλυση των ασαφειών φάσης.

Γενικά η σαφής υπεροχή του SSi απέναντι στον SSE σε δύσκολες συνθήκες λήψης έχει επιβεβαιωθεί με πολλές δοκιμαστικές μετρήσεις. Χαρακτηριστικά αναφέρονται παρατηρήσεις σε απόσταση 100 μέτρων από το κεντρικό radar του αεροδρομίου της Φρανκφούρτης όπου ο SSE δεν ήταν σε θέση να παρακολουθήσει (tracking) καθόλου τα σήματα κάποιων δορυφόρων ενώ ο SSi δεν αντιμετώπιζε τέτοιο πρόβλημα [Gianniou, 1996]. Πρέπει βέβαια να τονιστεί ότι ο θόρυβος των μετρήσεων ήταν σημαντικά μεγαλύτερος από ότι σε κανονικές συνθήκες. Γενικά λοιπόν πρέπει να αποφεύγονται προβληματικές περιοχές ιδιαίτερα σαν σταθμοί αναφοράς.



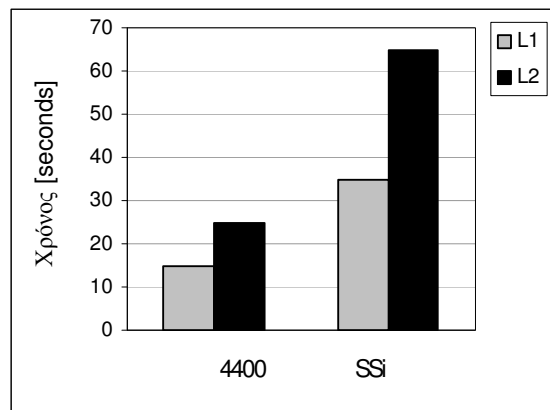
Εικόνα 2. Μέτρηση της L2 φάσης σε περιβάλλον παρεμβολών από ένα δέκτη SSE και ένα SSi.

### 3.3 Χρόνος απόκτησης-επαναπόκτησης σήματος

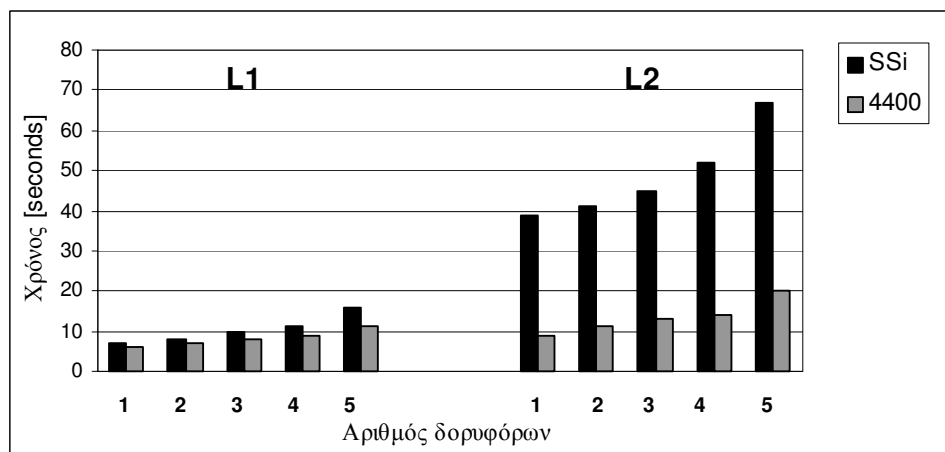
Εκτός από τις βελτιώσεις των δεκτών σε ότι αφορά την αντίσταση σε παρεμβολές ένας άλλος παράγοντας στον οποίο σημειώνονται εξελίξεις είναι ο χρόνος της απόκτησης (acquisition time ή αλλιώς time to first fix) και επαναπόκτησης (reacquisition time) του σήματος. Με τον πρώτο όρο αυτό εννοείται ο χρόνος που κάνει ο δέκτης από τη στιγμή που θα τεθεί σε λειτουργία μέχρι στη στιγμή που θα έχει αποδιαμορφώσει τα σήματα και θα είναι σε θέση να κάνει μετρήσεις κώδικα και φάσης. Ο δεύτερος όρος αναφέρεται στον αντίστοιχο χρόνο μετά από διακοπή σήματος (loss of lock) που συμβαίνει όσο ο δέκτης είναι σε λειτουργία. Μια τέτοια διακοπή μπορεί να συμβεί για παράδειγμα

όταν ο δέκτης κινείται κάτω από γέφυρα ή δέντρα. Ειδικά για κινηματικές εφαρμογές είναι πολύ σημαντικό ο δέκτης να μπορεί να επαναποκτή το σήμα γρήγορα.

Στην εικόνα 3 δίνεται ένα παράδειγμα χρόνων απόκτησης για ένα δέκτη 4000 SSi και έναν 4400. Οι μετρήσεις έγιναν στην ταράτσα του κτιρίου της εταιρίας, ένα περιβάλλον με δύσκολες συνθήκες λήψης από πλευράς ορατότητας δορυφόρων. Για τη μέτρηση χρησιμοποιήθηκε μια γεωδαπική κεραία Trimble Compact Dome, η οποία έμεινε σε σταθερό σημείο και στην οποία συνδέθηκαν διαδοχικά οι δύο δέκτες με χρονική διαφορά τριών λεπτών. Ο χρόνος που δίνεται στην εικόνα αναφέρεται στο διάστημα από τη στιγμή που τέθηκε ο δέκτης σε λειτουργία μέχρι τη στιγμή που λάμβανε σήματα οχτώ δορυφόρων. Ο δέκτης SSi χρειάστηκε 35sec για να αποκτήσει τα σήματα των οχτώ δορυφόρων στην L1 ενώ ο 4400 μόλις 15 sec. Για την L2 συχνότητα οι αντίστοιχοι χρόνοι είναι 65 sec και 25 sec.



Εικόνα 3. Χρόνος απόκτησης σήματος σε οχτώ δορυφόρους για ένα δέκτη 4000 SSi και έναν 4400.



Εικόνα 4. Χρόνος επαναπόκτησης σήματος σε οχτώ δορυφόρους για ένα δέκτη 4000 SSi και έναν 4400 σε κινηματικό περιβάλλον μετρήσεων (δεδομένα από [Mathes, 1998]).

Ένα αναλυτικό παράδειγμα από συγκριτικές δοκιμές μεταξύ ενός δέκτη 4000 SSI και ενός 4400 δίνεται στην εικόνα 4. Πρόκειται για χρόνο επαναπόκτησης σήματος ξεχωριστά για κάθε συχνότητα και αριθμό επαναποκτούμενων δορυφόρων. Οι μετρήσεις έγιναν κινηματικά με όχημα τύπου van σε ένα αυτοκινητόδρομο [Mathes, 1998]. Η διακοπή της λήψης αφορούσε όλους τους δορυφόρους και στους δύο δέκτες και προήλθε από τη διέλευση του οχήματος κάτω από μία πλατιά γέφυρα. Φαίνεται ότι για την L1 η διαφορά στο χρόνο επαναπόκτησης είναι σημαντική μόνο για την περίπτωση των πέντε δορυφόρων. Αντίθετα για την L2 η διαφορά είναι τεράστια ακόμα και για το χρόνο που χρειάζονται οι δέκτες να επαναποκτήσουν μετρήσεις στην L2 έστω και για έναν μόνο δορυφόρο. Αυτή η βελτίωση των δεκτών είναι πολύ σημαντική για κινηματικές εφαρμογές όπου απαιτείται επίλυση ασαφειών φάσης κατά τη διάρκεια της κίνησης (ambiguity resolution On-The-Fly).

#### **4. Κριτήρια επιλογής δεκτών για τις εφαρμογές της εταιρίας *Geomatics EPE***

Από την παραπάνω ανάλυση της ποιότητας των δεκτών έγινε φανερό ότι υπάρχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ διαφόρων μοντέλων γεωδαιτικών δεκτών GPS. Βέβαια αυτή η ανάλυση δεν είναι πλήρης, στοχεύει μόνο στο να δώσει κάποιες ενδείξεις των διαφορών μεταξύ δεκτών. Η ανάλυση της ποιότητας ενός δέκτη και η σύγκρισή του με άλλα μοντέλα είναι ένα πολύ ευρύ αντικείμενο που απαιτεί πολύ προσοχή στις συνθήκες κάτω από συγκρίνονται οι δέκτες. Ενδιαφέρον παρουσιάζει εκτός από την ποιότητα λήψης και η σύγκριση της ακρίβειας του προσδιορισμού των συντεταγμένων, κάτι το οποίο όμως ξεφεύγει από τους σκοπούς αυτής της εργασίας.

Στο κεφάλαιο αυτό θα αναλυθούν τα κριτήρια με τα οποία αποφασίστηκε η προμήθεια των δεκτών 4700 Total Station από την *Geomatics EPE*. Όπως ειπώθηκε και παραπάνω η επιλογή των δεκτών πρέπει να γίνεται πάντα με βάση της ανάγκες που οι δέκτες καλούνται να καλύψουν. Για την *Geomatics EPE* οι κύριες εφαρμογές που θα καλυφθούν συνοψίζονται ως εξής:

- Τριγωνισμοί (δίκτυα τριγωνομετρικών, πολυγωνομετρικών και φωτοσταθερών σημείων)
- Αποτυπώσεις (σημεία λεπτομερειών)
- Αεροφωτογραφίσεις (προσδιορισμός συντεταγμένων φωτοκέντρων)
- Υλοποιήσεις (ορίων, αξόνων οδών)

Επιπλέον απαιτήσεις της εταιρίας είναι:

- εφαρμογές πραγματικού χρόνου
- αυξημένη παραγωγικότητα

##### **4.1 Επίγειες εργασίες**

Καταρχήν αξίζει να σημειωθεί ότι η επιλογή δεκτών διπλής συχνότητας ήταν προκαθορισμένη. Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα αυτών των δεκτών είναι ότι επιτρέπουν τον ακριβή προσδιορισμό πολύ μεγάλων βάσεων (δυνατότητα ιονοσφαιρικής διόρθωσης), ότι μειώνουν τους χρόνους παρατήρησης των βάσεων και ότι προσφέρουν τη δυνατότητα προσδιορισμού συντεταγμένων με ακρίβεια εκατοστού σε πραγματικό χρόνο (ambiguity resolution On-The-Fly).

Πιο συγκεκριμένα τώρα για τη μέτρηση τριγωνομετρικών σημείων απαιτούνται δέκτες χαμηλού θορύβου μέτρησης της φάσης, κάτι που συνεπάγεται υψηλή ακρίβεια συντεταγμένων. Σε αυτό

συμβάλλουν και οι κεραίες των δεκτών τόσο μέσω του διαγράμματος κέρδους τους (gain pattern) όσο και μέσω των ιδιοτήτων του ηλεκτρικού κέρδους τους [Gianniou, 1996]. Οι κεραίες Micro-Centered της Trimble διαθέτουν εξαιρετικές ιδιότητες σε αυτούς τους τομείς.

Για τη μέτρηση δικτύων πολυγωνομετρικών και φωτοσταθερών σημείων ενδείκνυται οι δέκτες να μπορούν να παρατηρούν κάτω από δύσκολες συνθήκες όπως κοντά σε φυλλώματα δέντρων, σε κτίρια ακόμα και με την παρουσία ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών. Οι δέκτες 4700 είναι τουλάχιστον εφάμιλλοι των δεκτών 4400 των οποίων η αξιοπιστία κάτω από δύσκολες συνθήκες φάνηκε στο κεφάλαιο 3.

Το ίδιο αλλά σε μεγαλύτερη κλίμακα ισχύει και για τις εφαρμογές αποτύπωσης που όπως είναι γνωστό συχνά δεν υπάρχει καλή ορατότητα προς τους δορυφόρους.

Οι υλοποιήσεις αποτελούν ένα άλλο αντικείμενο που καλούνται να καλύψουν οι δέκτες. Απαραίτητη προϋπόθεση είναι η ύπαρξη ραδιοξέυξης μεταξύ των δεκτών που επιτρέπει στον χρήστη του κινητού δέκτη να βλέπει στο χειριστήριο τις συντεταγμένες του σημείου που τοποθετείται ο στυλαίος. Επιπλέον είναι δυνατή και η καταχώρηση του κωδικού του σημείου και των συντεταγμένων του στη μνήμη του χειριστήριου. Αυτή είναι μια δυνατότητα που μπορεί να εφαρμόζεται και στις αποτυπώσεις, γεγονός που καθιστά το 4700 Total Station εξαιρετικά παραγωγικό καθώς δε χρειάζεται έτσι η επεξεργασία των μετρήσεων στο γραφείο.

#### 4.2 Εργασίες αεροφωτογράφισης

Ένας ιδιαίτερος τομέας τον οποίο πρέπει να καλύψουν οι δέκτες είναι αυτός της αεροφωτογράφισης με την υποστήριξη του GPS. Η *Geomatics ΕΠΕ* διαθέτει ιδιόκτητο δικινητήριο αεροσκάφος και φωτομηχανή ZEISS RMK TOP τελευταίου τύπου. Η εταιρία εκτελεί εκτός από τις συνηθισμένες αεροφωτογραφίες και φωτογραφίες *rip point*. Οι τελευταίες είναι εφαρμογές που απαιτούν άριστο σχεδιασμό και τον πλέον σύγχρονο τεχνολογικό εξοπλισμό. Στις αεροφωτογραφίες *rip point* πρέπει οι λήψεις να γίνουν σε ακριβώς προκαθορισμένες θέσεις ώστε να μπορούν στο μέλλον να επαναληφθούν από τις ίδιες θέσεις. Η διαδικασία αυτή απαιτεί την ύπαρξη ενός πλήρως αυτοματοποιημένου συστήματος διαχείρισης πτήσης (*flight management system*). Η *Geomatics ΕΠΕ* έχει πραγματοποιήσει πτήσεις με διάφορα τέτοια συστήματα, όπως για παράδειγμα το σύστημα T-Flight της ZEISS. Τα συστήματα αυτά τροφοδοτούνται με τις επιθυμητές συντεταγμένες των φωτοκέντρων και αναλαμβάνουν σε μία πλήρως αυτοματοποιημένη διαδικασία την καθοδήγηση του πιλότου και κυρίως την ενεργοποίηση την φωτομηχανής όταν το αεροσκάφος περνάει από το σχεδιασμένο σημείο με μία αποχή εντός των προκαθορισμένων ορίων ανοχής.

Εδώ ο ρόλος των δεκτών είναι τριπλός. Κατά πρώτο λόγο αναλαμβάνουν την τροφοδοσία του συστήματος διαχείρισης πτήσης με τις συντεταγμένες του αεροσκάφους σε κάθε στιγμή. Οι συντεταγμένες πρέπει να δίνονται από το δέκτη σε μορφή NMEA. Κατά δεύτερο και σημαντικότερο λόγο ο δέκτης πρέπει να έχει τη δυνατότητα να καταγράφει τον ακριβή χρόνο ενεργοποίησης του κλειστρου και έκθεσης του φιλμ. Απαραίτητη προϋπόθεση γι' αυτό είναι να διαθέτει δυνατότητα *Event Input*. Η διαδικασία έχει ως εξής: η φωτομηχανή στέλνει ένα παλμό τύπου TTL τη στιγμή της λήψης ο οποίος πρέπει να ληφθεί από το δέκτη και να καταγραφεί ο ακριβής χρόνος (χρόνος GPS) της ενεργοποίησης του κλειστρου. Τέλος ο δέκτης πρέπει να έχει τη δυνατότητα να καταγράφει τα δεδομένα για επεξεργασία στο γραφείο.

Οι δέκτες 4700 μπορούν να εκπληρώσουν αυτές τις απαιτήσεις. Επιπλέον η πολύ καλή ικανότητα λήψης που διαθέτουν και ο μικρός χρόνος επαναπόκτησης του σήματος εξασφαλίζουν ότι δεν θα προκληθεί εύκολα μια διακοπή λήψης αλλά και εάν προκληθεί για οποιοδήποτε λόγο, αυτή θα είναι μικρής διάρκειας. Έτσι ελαχιστοποιούνται τα προβλήματα που θα μπορούσαν να παρουσιαστούν κατά τον υπολογισμό των φωτοκέντρων από έλλειψη δεδομένων. Όπως θα περιγραφεί στο κεφάλαιο 7 στις πτήσεις που έγιναν μέχρι τώρα δεν παρουσιάστηκε τέτοια περίπτωση.

## 5. Εξοπλισμός GPS της εταιρίας *Geomatics ΕΠΕ*

Με βάση την παραπάνω ανάλυση η εταιρία Geomatics ΕΠΕ επέλεξε την προμήθεια ενός ζεύγους γεωδαιτικών δεκτών διπλής συχνότητας τύπου 4700 Total Station, οι οποίοι καλύπτουν πλήρως τις απαιτήσεις των εφαρμογών της.

Ο βασικός εξοπλισμός της εταιρίας φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

<b>HARDWARE</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ένας base receiver Trimble 4700 με:               <ul style="list-style-type: none"> <li>* εξωτερικό Modem Trimtalk 450 Base Equipment Set</li> <li>* RTCM και NMEA output</li> </ul> </li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ένας rover receiver Trimble 4700 με:               <ul style="list-style-type: none"> <li>* ενσωματωμένο Modem</li> <li>* δυνατότητα event input και PPS output</li> <li>* RTCM και NMEA input</li> </ul> </li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• δύο χειριστήρια (TSC1 Controller) με:               <ul style="list-style-type: none"> <li>* 2MB εσωτερική μνήμη</li> <li>* υποδοχή PCMCIA Flash Cards</li> <li>* δύο Flash Cards των 32 MB</li> </ul> </li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• δύο γεωδαιτικές κεραίες διπλής συχνότητας Trimble Micro-Centered with groundplanes</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• μία αεροπορική κεραία Sensor Systems διπλής συχνότητας</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• ένα προενισχυτή αεροπορικής κεραίας trimble pre-amp-kit.</li> </ul>
<b>SOFTWARE</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• GPSurvey Ver. 2.3</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Trimble Survey Office Ver. 1.14</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• TRIMNET Plus Ver. 2.30</li> </ul>

Πίνακας 1. Βασικός εξοπλισμός GPS της εταιρίας Geomatics ΕΠΕ.



## 6. Δυνατότητες υπολογισμών στο πεδίο με τους δέκτες 4700 Total Station

Πέρα από τις δυνατότητες που παρατέθηκαν σε μορφή απαιτήσεων στο κεφάλαιο 4 και τις οποίες παρέχουν οι δέκτες 4700 ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν και οι δυνατότητές τους σε ότι αφορά εφαρμογές υλοποιήσεων. Τα χειριστήρια των δεκτών διαθέτουν βάση δεδομένων στην οποία μπορεί να γίνει καταχώρηση δεδομένων όπως για παράδειγμα συντεταγμένων σημείων ή εξισώσεων ευθειών. Τα δεδομένα αυτής της βάσης μπορούν να επεξεργαστούν από ένα πλήθος προγραμμάτων που διαθέτει το χειριστήριο. Συνοπτικά αυτά είναι:

- Υπολογισμός συντεταγμένων από αζιμούθιο και απόσταση, δύο αζιμούθια, δύο αποστάσεις
- Υποδιαίρεσης ευθείας με βάση σταθερές αποστάσεις, επιθυμητό αριθμό σημείων
- Υποδιαίρεσης καμπύλης με βάση σταθερό μήκος τομέων, επιθυμητό αριθμό τομέων, σταθερό μήκος χορδής, με σταθερή γωνία
- Υπολογισμό εμβαδών πολυγώνων
- Υπολογισμό αζιμουθίων με βάση δύο σημεία, δύο αζιμούθια, αζιμούθιο και γωνία, απόσταση από γνωστή ευθεία
- Υπολογισμό αποστάσεων με βάση δύο σημεία, σημείο και ευθεία, σημείο και καμπύλη, διαιρούμενη απόσταση, πολλαπλασιαζόμενη απόσταση, προστιθέμενες αποστάσεις.

## 7. Πρώτες εμπειρίες με τους δέκτες 4700 Total Station

Στο σύντομο διάστημα που η *Geomatics ΕΠΕ* διαθέτει τους δέκτες έχουν γίνει κάποιες μετρήσεις τόσο επίγειες όσο και αεροφωτογράφισης.

### 7.1 Επίγειες μετρήσεις

Οι πρώτες επίγειες εργασίες που έγιναν αφορούν την ίδρυση δύο τριγωνομετρικών δικτύων. Μετρήθηκε ένα τριγωνομετρικό δίκτυο κατά μήκος του ρέματος Χαλανδρίου σε μήκος 3.5 km και ένα στην περιοχή της Πεντέλης. Και για τα δύο χρησιμοποιήθηκε η γρήγορη στατική μέθοδος η οποία για τους συγκεκριμένους δέκτες έχει ονομαστική ακρίβεια 5mm + 1 ppm για την οριζόντια συνιστώσα της βάσης και 10mm + 1ppm για την κατακόρυφη συνιστώσα. Αυτό που αξίζει να σημειωθεί είναι ότι για το πρώτο δίκτυο χρησιμοποιήθηκε το τριγωνομετρικό σημείο που βρίσκεται στην ταράτσα του Σισμανόγλειου Νοσοκομείου. Το σημείο βρίσκεται σε απόσταση λίγων μέτρων από την κεραία επικοινωνίας του νοσοκομείου με τα ασθενοφόρα. Η επίδραση της κεραίας γινόταν φανερή από το γεγονός ότι για δύο δορυφόρους (συγκεκριμένα για αυτούς από τον πλευρά της κεραίας) ο δέκτης δεν είχε σήμα στην L2, αλλά και από το χαμηλό σηματοθορυβικό λόγο. Παρά αυτό το πρόβλημα το λογισμικό GPSurvey Ver. 2.3 επέλυσε της ασάφειας φάσης για όλες τις βάσεις. Βέβαια όπως τονίστηκε και προηγουμένως αυτό δε σημαίνει ότι η ακρίβεια των αποτελεσμάτων μένει ανεπηρέαστη. Πράγματι, οι μεταβλητότητες της μονάδας βάρους για αυτές τις βάσεις κυμαίνονται από 1.9 έως 4.2. Για το δεύτερο δίκτυο, όπου δεν υπήρχε τέτοιο πρόβλημα, οι αντίστοιχες τιμές είναι από 0.6 έως 1.6 που θεωρούνται πολύ καλές. Οι τυπικές αποκλίσεις των συνιστωσών βάσης κυμαίνονται από 1mm έως 9mm.

## 7.2 Εργασίες αεροφωτογράφισης

Από τις πρώτες πτήσεις που έγιναν με τους δέκτες επιβεβαιώθηκε η ικανότητα πολύ καλής λήψης σήματος. Μετά από εξέταση των δεδομένων δεν παρατηρήθηκαν καθόλου διακοπές λήψης ούτε για την L1 ούτε για την L2. Επίσης δεν παρατηρήθηκαν παρά λίγα cycle slips, τα οποία αφορούσαν μεμονωμένους δορυφόρους. Η επεξεργασία των μετρήσεων δεν έχει γίνει ακόμα.

## 8. Επίλογος

Στην εργασία αυτή παρουσιάστηκαν οι γεωδαιτικοί δέκτες διπλής συχνότητας της Trimble. Μέσα από επεξεργασία πειραματικών μετρήσεων έγιναν φανερά τα πλεονεκτήματα των εξελιγμένων μοντέλων. Στη συνέχεια αναλύθηκαν οι δυνατότητες που προσφέρουν οι δέκτες 4700 και το πως αυτοί καλύπτουν τις πολύπλευρες απαιτήσεις επίγειων και εναέριων εφαρμογών της εταιρίας *Geomatics ΕΠΕ*. Η επεξεργασία των πρώτων μετρήσεων επιβεβαίωσε την δυνατότητα των δεκτών να καλύπτουν τις απαιτήσεις της εταιρίας σε αξιοπιστία, ακρίβεια και παραγωγικότητα.

## Ευχαριστίες

Ευχαριστούμε την εταιρία Geotech για τη διάθεση των δεκτών 4000 SSI και 4400.

## Βιβλιογραφικές αναφορές

**Gianniou, M.** (1996): "Genauigkeitssteigerung bei kurzzeit-statischen und kinematischen Satellitenmessungen bis hin zur Echtzeitanwendung", Διδακτορική Διατριβή, Technische Universitaet Darmstadt, DGK bei der Bayerischen Akademie der Wissenschaften, Reihe C Heft Nr. 458.

**Mathes, A.** (1998): "GPS und GLONASS als Teil eines hybriden Meßsystems in der Geodaesie am Beispiel des Systems HYGGINs", Διδακτορική Διατριβή, Technische Universitaet Darmstadt.

**Trimble** (1998): "TSC1 Survey Controller Reference Manual", Trimble Navigation Ltd, Sunnyvale, California.

**Ward, P.** (1994): "Dual Use of Military Anti-Jamming GPS Receiver Design Techniques for Commercial Aviation RF Interference Integrity Monitoring", SPN Journal for Satellite Positioning Navigation and Communication, 4/94, Wichmann Verlag, Karlsruhe.

**Wells, D. et al.** (1986): "Guide to GPS Positioning", Canadian GPS Associates, Fredericton, New Brunswick, Canada.