

Τερματισμός της Επιλεκτικής Διαθεσιμότητας στο GPS: Τι αλλάζει στις εφαρμογές του συστήματος.

Μιχάλης Ι. Γιαννίου
Διπλ. ATM - ΑΠΘ
Ph.D. Satellite Geodesy - TU of Darmstadt

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Την τελευταία δεκαετία το Παγκόσμιο Σύστημα Εντοπισμού (GPS: Global Positioning System) έχει διεισδύσει έντονα σε πολλούς τομείς της επιστημονικής αλλά και καθημερινής πρακτικής. Οι εφαρμογές του συστήματος είναι ήδη πολλές και συνεχώς διευρύνονται τόσο ποιοτικά όσο και ποσοτικά. Σε ότι αφορά στις εφαρμογές Αγρονόμου - Τοπογράφου Μηχανικού στον ελλαδικό χώρο η αναγκαιότητα της ευρύτερης αξιοποίησης του GPS έγινε έντονη μόλις τα λίγα τελευταία χρόνια. Σε αυτό συνετέλεσε η πραγματοποίηση των μεγάλων έργων και κυρίως αυτού της σύνταξης του Εθνικού Κτηματολογίου.

Από την 1η Μαΐου του 2000 τερματίστηκε η εφαρμογή της Επιλεκτικής Διαθεσιμότητας (SA: Selective Availability) του GPS που ήταν σε ισχύ από το 1990. Η Επιλεκτική Διαθεσιμότητα ήταν μία μέθοδος για την μείωση της ακρίβειας στους πολιτικούς χρήστες (civilian users) του συστήματος.

Το άρθρο αυτό αποσκοπεί αφενός στο να περιγράψει τον τρόπο με τον οποίο εφαρμόζονταν η Επιλεκτική Διαθεσιμότητα και αφετέρου στο να διευκρινίσει το πως διαμορφώνονται σήμερα οι δυνατότητες αξιοποίησης του GPS. Γίνεται αναφορά σε όλα τα πεδία εφαρμογών του συστήματος ενώ δίνεται έμφαση στις τοπογραφικές - γεωδαιτικές εργασίες και στη συλλογή δεδομένων GIS.

2. Η ΕΠΙΛΕΚΤΙΚΗ ΔΙΑΘΕΣΙΜΟΤΗΤΑ

Γενικά στοιχεία

Όπως είναι γνωστό οι δορυφόροι του GPS εκπέμπουν σε δύο συχνότητες: την L1 (1575.42 MHz) και την L2 (1227.60 MHz). Οι συχνότητες αυτές χρησιμοποιούνται σαν φέρουσες προκειμένου να μεταφέρουν - με τη μορφή διαμόρφωσης - τις επιθυμητές πληροφορίες, δηλαδή τους κώδικες και το ναυτιλιακό μήνυμα (navigation message). Συγκεκριμένα δύο είδη κωδίκων εκπέμπονται από το σύστημα. Ο πρώτος είναι ο C/A (Coarse/Acquisition), ο οποίος είναι διαθέσιμος στους πολιτικούς χρήστες του συστήματος. Ο δεύτερος κώδικας είναι ο P (Precise), του οποίου η χρήση περιορίζεται στους εξουσιοδοτημένους χρήστες (authorized users). Μέχρι τον Ιανουάριο του 1994 ο κώδικας P ήταν διαθέσιμος και στους πολιτικούς χρήστες ενώ τώρα εκπέμπεται κρυπτογραφημένος και είναι γνωστός σαν Y κώδικας. Για το λόγο αυτό πολλές φορές ο κώδικας P αναφέρεται και σαν κώδικας P(Y). Εκτός από τους δύο κώδικες κάθε δορυφόρος GPS εκπέμπει και το ναυτιλιακό μήνυμα, το οποίο περιλαμβάνει κυρίως τα στοιχεία της τροχιάς του, παραμέτρους για τη συμπεριφορά του ατομικού ρολογιού του, πληροφορίες για την ορθότητα των εκπεμπόμενων στοιχείων (health status) και τέλος προσεγγιστικές παραμέτρους για τις τροχιές των υπόλοιπων δορυφόρων του συστήματος (almanac). Η συχνότητα L1 διαμορφώνεται και με τα τρία είδη πληροφορίας ενώ η L2 μόνο με τον κώδικα P(Y) και το ναυτιλιακό μήνυμα.

Μέθοδοι ελεγχόμενης πρόσβασης και μείωσης της ακρίβειας του GPS

Το Παγκόσμιο Σύστημα Εντοπισμού αναπτύχθηκε και ελέγχεται από το Υπουργείο Άμυνας των ΗΠΑ και αποσκοπεί κατά κύριο - αλλά όχι αποκλειστικό - λόγο στην εξυπηρέτηση στρατιωτικών αναγκών. Η μέγιστη ακρίβεια προσδιορισμού θέσης που μπορεί να παρέχει το GPS είναι ιδιαίτερα υψηλή και παρέχεται μόνο στους εξουσιοδοτημένους χρήστες. Για τους πολιτικούς χρήστες προβλέπονται από το σύστημα δύο μέθοδοι περιορισμού της πρόσβασης και της ακρίβειας: η Επιλεκτική Διαθεσιμότητα (SA) και το A-S (Anti-Spoofing).

Η ανάγκη για την εφαρμογή της Επιλεκτικής Διαθεσιμότητας προέκυψε όταν διαπιστώθηκε ότι η ακρίβεια που μπορούσε να επιτευχθεί με χρήση του κώδικα C/A ήταν πολύ καλύτερη της τάξης των

400 μέτρων, όπως αναμενόταν αρχικά. Έτσι από τους δορυφόρους δεύτερης γενιάς (σειρά II) προβλέπεται η δυνατότητα ενεργοποίησης της Επιλεκτικής Διαθεσιμότητας, η οποία ξεκίνησε να εφαρμόζεται από το Μάρτιο του 1990.

Η εφαρμογή του A-S διασφαλίζει ότι ο δέκτης δεν θα παραπλανηθεί από εσφαλμένα αντίγραφα του κώδικα P τα οποία εκπέμπονται εκτός συστήματος προκειμένου να οδηγήσουν σε λάθος προσδιορισμό θέσης. Η μέθοδος αυτή στηρίζεται στη απόκρυψη του κώδικα P και την μεταβολή του σε κώδικα Y όπως αναφέρθηκε πιο πάνω. Αν και ο κύριος στόχος του A-S είναι η προστασία του συστήματος, το έμμεσο αποτέλεσμα είναι η μείωση της ακρίβειας για τους πολιτικούς χρήστες καθώς επιτρέπει την πρόσβαση μόνο στον κώδικα C/A, ο οποίος παρέχει μικρότερη ακρίβεια εντοπισμού από ότι ο P(Y).

Συνιστώσες της Επιλεκτικής Διαθεσιμότητας

Η Επιλεκτική Διαθεσιμότητα εφαρμόζεται με παράλληλη χρήση δύο επιμέρους μεθόδων: της ϵ (ϵ -process) και της δ (δ -process). Η πρώτη μέθοδος αφορά στην ακρίβεια των δεδομένων του ναυτιλιακού μηνύματος. Το τμήμα ελέγχου του συστήματος είναι σε θέση να υπολογίζει με μεγάλη ακρίβεια τα στοιχεία της τροχιάς και του χρονομέτρου κάθε δορυφόρου. Η μέθοδος ϵ προβλέπει την εσκεμμένη παραποίηση αυτών των στοιχείων πριν την εκπομπή τους από τους δορυφόρους. Αυτό βέβαια έχει επίδραση μόνο στους πολιτικούς χρήστες καθώς τα εισαγόμενα σφάλματα είναι επακριβώς γνωστά στους εξουσιοδοτημένους χρήστες και μπορούν να αφαιρεθούν πλήρως.

Η εφαρμογή της μεθόδου δ γίνεται με την εισαγωγή θορύβου (dithering) στον ατομικό ταλαντωτή του δορυφόρου. Καθώς όλα τα εκπεμπόμενα σήματα (φέρουσες συχνότητες και κώδικες) δημιουργούνται από τον ίδιο ταλαντωτή, η επίδραση του θορύβου είναι ανάλογη του μήκους κύματος των φερουσών συχνοτήτων και του ψηφιακού ρυθμού (chipping rate) των κωδίκων. Το άμεσο αποτέλεσμα της μεθόδου δ είναι η εσφαλμένη εκτίμηση των αποστάσεων που υπολογίζονται με βάση μετρήσεις του κώδικα ή της φάσης των φερουσών συχνοτήτων.

Επίδραση της Επιλεκτικής Διαθεσιμότητας

Πρέπει να τονιστεί ιδιαίτερα ότι η Επιλεκτική Διαθεσιμότητα σχεδιάστηκε για να μειώσει την ακρίβεια εντοπισμού που επιτυγχάνεται με χρήση ενός μόνο δέκτη. Όταν ο προσδιορισμός θέσης γίνεται με χρήση δύο δεκτών που παρατηρούν ταυτόχρονα - όπως συμβαίνει σε όλες τις τοπογραφικές και γεωδαιτικές εργασίες - η επίδραση της Επιλεκτικής Διαθεσιμότητας εξαλείφεται σχεδόν ολοκληρωτικά.

Με τη μέθοδο ϵ εισάγεται ένα ακτινικό σφάλμα στην τροχιά ενός δορυφόρου το οποίο μπορεί να ανέλθει σε 130 m [Breuer et al., 1993]. Αντίστοιχα η μέγιστη τιμή του σφάλματος που εισάγεται στην απόσταση που μετρείται με βάση τον κώδικα (δ μέθοδος) είναι της τάξης των 60 m. Μέχρι την πρόσφατη κατάργησή της η Επιλεκτική Διαθεσιμότητα μαζί με το A-S συνιστούσαν το καθεστώς λειτουργίας του GPS για πολιτικούς χρήστες, το λεγόμενο SPS (Standard Positioning Service). Σύμφωνα με τα στοιχεία των υπεύθυνων του συστήματος η ακρίβεια εντοπισμού που μπορούσε να επιτευχθεί από πολιτικούς χρήστες ανέρχονταν στη δυσμενέστερη περίπτωση σε 100 m για την οριζόντια θέση και 156 m για το υψόμετρο. Οι αντίστοιχες τιμές για την ταχύτητα και τον προσδιορισμό του χρόνου ήταν 0.3 m/s και 340 nsec. Οι τιμές αυτές αναφέρονται σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95% [Oslen, 1992]. Για υψηλότερο επίπεδο εμπιστοσύνης (π.χ. 99%) οι τιμές αυτές μεγαλώνουν σύμφωνα με τους νόμους της στατιστικής.

Τερματισμός της Επιλεκτικής Διαθεσιμότητας

Την 1η Μαΐου του 2000 ανακοινώθηκε επίσημα από την αμερικάνικη κυβέρνηση ότι η Επιλεκτική Διαθεσιμότητα τερματίζεται άμεσα από τα μεσάνυχτα της ίδιας ημέρας. Η χρονική τοποθέτηση αυτής της απόφασης ήταν απροσδόκητη σε παγκόσμιο επίπεδο. Το 1996 είχε ήδη ανακοινωθεί η απόφαση τερματισμού της Επιλεκτικής Διαθεσιμότητας αλλά με χρονικό ορίζοντα το έτος 2006. Στην παράγραφο που ακολουθεί παρατίθενται τα κυριότερα σημεία της σχετικής δήλωσης του προέδρου των ΗΠΑ.

Μετά την κατάργηση της Επιλεκτικής Διαθεσιμότητας ο εντοπισμός θέσης (με χρήση ενός μόνο δέκτη) θα γίνεται με ακρίβεια δέκα φορές υψηλότερη. Η απόφαση αυτή εντάσσεται στην γενικότερη πολιτική για ευρύτερη αξιοποίηση του συστήματος από πολιτικούς χρήστες. Το περασμένο έτος ο αντιπρόεδρος Gore ανακοίνωσε σχέδια για την ανανέωση του συστήματος με την προσθήκη δύο νέων πολιτικών σημάτων και τοποθέτηση σε τροχιά καινούργιων δορυφόρων. Το σύνολο αυτών των δυνατοτήτων θα

εξακολουθήσουν να παρέχονται ατελώς σε όλους τους χρήστες του συστήματος. Η απόφαση για κατάργηση της Επιλεκτικής Διαθεσιμότητας στηρίζεται στη γνωμοδότηση Υπηρεσιών και Υπουργείων (Άμυνας, Εμπορίου κ.α.) με βάση την οποία η ασφάλεια διεθνών μεταφορών καθώς και τα επιστημονικά και εμπορικά συμφέροντα θα ευνοηθούν σημαντικά. Το GPS θα εξακολουθήσει να αξιοποιείται πλήρως για στρατιωτικές εφαρμογές. Η κατάργηση της Επιλεκτικής Διαθεσιμότητας δε θα έχει ουσιαστική επίπτωση στην εθνική ασφάλεια. Εξάλλου έχει αποδειχθεί η δυνατότητα διασφάλισης της εθνικής ασφάλειας σε τοπικό επίπεδο όταν παραστεί ανάγκη. Το GPS αν και αναπτύχθηκε σαν στρατιωτικό σύστημα απέκτησε πολύπλευρες εφαρμογές σε παγκόσμιο επίπεδο όπως πλοήγηση σε ξηρά, αέρα και θάλασσα, τηλεπικοινωνίες, αντιμετώπιση επειγόντων περιστατικών, εξορύξεις κ.α. Σήμερα η τεράστια βελτίωση της ακρίβειας του συστήματος θα επιτρέπει για παράδειγμα σε μία ομάδα διάσωσης να διακρίνει σε ποια πλευρά ενός αυτοκινητοδρόμου πρέπει να επέμβει κερδίζοντας έτσι πολύτιμο χρόνο.

3. ΤΙ ΑΛΛΑΖΕΙ ΣΤΙΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΟΥ GPS

Το κεφάλαιο αυτό αποσκοπεί στο να εξηγήσει το πως διαμορφώνονται οι εφαρμογές του GPS σήμερα, μετά τον τερματισμό της Επιλεκτικής Διαθεσιμότητας. Γενικά υπάρχουν διάφορες μέθοδοι κατηγοριοποίησης των εφαρμογών GPS, όπως για παράδειγμα ανάλογα με το χώρο που βρίσκεται ο δέκτης (επίγειες, θαλάσσιες, εναέριας και διαστημικές) [Wells et al., 1986] ή ανάλογα με την κινητική κατάσταση και τον αριθμό των χρησιμοποιούμενων δεκτών (σχετικός ή απόλυτος, στατικός ή δυναμικός εντοπισμός) [Παραδείσης, 1992]. Εδώ η κατηγοριοποίηση γίνεται με βάση τον αριθμό των χρησιμοποιούμενων δεκτών (σχετικός ή απόλυτος εντοπισμός) και το είδος των παρατηρήσεων που χρησιμοποιούνται (κώδικας ή φάσεις). Πολλές εφαρμογές περιγράφονται σε περισσότερες από μία κατηγορίες. Έτσι η συλλογή δεδομένων GIS για παράδειγμα περιγράφεται σε δύο κατηγορίες καθώς η επίδραση του τερματισμού της Επιλεκτικής Διαθεσιμότητας είναι εντελώς διαφορετική ανάλογα με το αν η συλλογή γίνεται με ένα μόνο δέκτη ή με χρήση διαφορικού GPS. Στη συνέχεια δίνονται περιγραφικοί ορισμοί για εφαρμογές οι οποίες εντάσσονται σε περισσότερες από μία κατηγορίες.

Εντοπισμός θέσης

Κατά τον εντοπισμό θέσης ο χρήστης βρίσκεται σε ένα σημείο ενδιαφέροντος και απαιτείται ο προσδιορισμός των συντεταγμένων του.

Πλοήγηση

Με την ευρύτερη έννοια του ο όρος πλοήγηση αναφέρεται στην τεχνική του προσδιορισμού της θέσης ενός σταθερού ή κινούμενου αντικειμένου ή ανθρώπου και των κατάλληλων στοιχείων πορείας για την μετάβασή του σε κάποιο επιλεγμένο τόπο.

Διαχείριση στόλου

Κατά τη διαχείριση στόλου (fleet management) ο διαχειριστής ενός συνόλου κινούμενων αντικειμένων (ταξί, φορτηγά, ασθενοφόρα, σκάφη κ.α.) χρειάζεται να γνωρίζει τη θέση του καθενός από αυτά ώστε να ελέγχει και να αξιοποιεί βέλτιστα το στόλο. Πολλές φορές ο εντοπισμός θέσης γίνεται με GPS και το στίγμα κάθε μέλους στέλνεται σε τακτά διαστήματα στο διαχειριστή του στόλου.

3.1 Εφαρμογές με χρήση ενός δέκτη

Οι χρήσεις ενός μόνο δέκτη αποτελούν την πιο απλή αλλά ταυτόχρονα και την περισσότερο διαδεδομένη περίπτωση εφαρμογής GPS. Πρόκειται επιπλέον για την εφαρμογή που επωφελείται κατά το μέγιστο από τον τερματισμό της Επιλεκτικής Διαθεσιμότητας και είναι αυτή στην οποία αφορά η βελτίωση της ακρίβειας κατά δέκα φορές όπως αναφέρθηκε στο τέλος του δεύτερου κεφαλαίου.

Εντοπισμός θέσης

Όπως περιγράφεται στην παράγραφο για την επίδραση της Επιλεκτικής Διαθεσιμότητας το σφάλμα στον εντοπισμό ήταν συνήθως μέχρι εκατό μέτρα με τυπική τιμή τα 50 m οριζοντιογραφικά και 78 m υψομετρικά [Trimble, 1993]. Σήμερα το εύρος διακύμανσης του σφάλματος έχει περιοριστεί δραστικά

και πρακτικά εξαρτάται μόνο από το είδος του δέκτη που χρησιμοποιείται. Αυτό επιβεβαιώθηκε και από μετρήσεις υπαίθρου που πραγματοποιήθηκαν μετά την 1η Μαΐου 2000. Αντιπροσωπευτικά αναφέρεται ότι για την απλούστερη κατηγορία δεκτών χειρός GPS που παρέχουν το στίγμα με ελάχιστη ανάγνωση ενός δευτερολέπτου γεωδαιτικού πλάτους και μήκους εξαντλείται η ακρίβειά τους. Για την περιοχή της Ελλάδας η ανάλυση αυτή αντιστοιχεί περίπου σε 30.8 m κατά Y και σε 25.5 m έως 23.5 m κατά X. Σε αντιδιαστολή με τους δέκτες χειρός αναφέρεται ότι με χρήση ενός γεωδαιτικού δέκτη τελευταίας τεχνολογίας (έτος κατασκευής 1998) το οριζοντιογραφικό σφάλμα που παρατηρήθηκε σε δέκα σημεία γνωστών συντεταγμένων ήταν μικρότερο από 1 m εκτός από δύο περιπτώσεις που ανήλθε σε 2 m και 3 m. Για την κατακόρυφη συνιστώσα το σφάλμα ήταν της τάξης των λίγων μέτρων. Ακριβή μεγέθη του υψομετρικού σφάλματος δε δίνονται καθώς ο μέσος χρήστης ενδιαφέρεται για το ορθομετρικό υψόμετρο και δε διαθέτει μοντέλο γεωειδούς για να μεταβεί σε αυτό από το γεωμετρικό υψόμετρο που παρέχει ο δέκτης.

Συλλογή δεδομένων GIS

Άμεσα συνδεδεμένη με τον εντοπισμό θέσης είναι και η συλλογή δεδομένων GIS. Ένα μεγάλο ποσοστό των εφαρμογών GIS έχει απαιτήσεις ακρίβειας των χωρικών δεδομένων που σήμερα, μετά τον τερματισμό της Επιλεκτικής Διαθεσιμότητας, μπορούν να καλυφθούν με χρήση ενός μόνο δέκτη. Το κρίσιμο σημείο εδώ είναι ο καθορισμός της ακρίβειας εντοπισμού κάποιου συγκεκριμένου δέκτη. Ο καθορισμός αυτός πρέπει να γίνεται τόσο θεωρητικά - με βάση τα στοιχεία που παρέχει ο κατασκευαστής - όσο και πρακτικά από ανάλυση επαρκούς αριθμού μετρήσεων υπαίθρου. Για παράδειγμα με χρήση ενός σύγχρονου γεωδαιτικού δέκτη μία ακρίβεια της τάξης των 5 m και καλύτερη μπορεί να θεωρείται δεδομένη. Απαιτείται όμως ταυτόχρονος έλεγχος των στοιχείων (παράμετροι DOP, τυπικές αποκλίσεις των συντεταγμένων) που παρέχει ο δέκτης ώστε να ελέγχεται η επίτευξη της επιθυμητής ακρίβειας.

Πλοήγηση - Διαχείριση στόλου

Το όφελος από τον τερματισμό της Επιλεκτικής Διαθεσιμότητας στην πλοήγηση με GPS αφορά κυρίως στις επίγειες εφαρμογές. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η αναζήτηση σημείων γνωστών συντεταγμένων όπως πολυγωνικά ή τριγωνομετρικά σημεία. Μία άλλη εφαρμογή που επωφελείται σημαντικά είναι η πλοήγηση οχημάτων και ιδιαίτερα σε πόλεις. Αυτή τη στιγμή υπάρχουν στην αγορά συστήματα για την καθοδήγηση οχημάτων, τόσο ιδιωτικής χρήσης όσο και κοινής ωφέλειας όπως π.χ. ασθενοφόρα και οχήματα συνεργείων διάσωσης. Πολλά από αυτά τα συστήματα κάνουν ταυτόχρονη χρήση πολλών αισθητήρων και αξιοποιούν ειδικές τεχνικές συσχέτισης με το χάρτη (map matching) προκειμένου να εξαλείψουν τα σφάλματα των επιμέρους αισθητήρων και να προσδιορίσουν με αξιοπιστία τη θέση του οχήματος. Με τη σημερινή ακρίβεια που παρέχει το GPS οι τεχνικές αυτές απλοποιούνται με άμεση επίπτωση στη βελτίωση αυτών των συστημάτων. Το ίδιο ισχύει και για πιο εξειδικευμένες εφαρμογές όπως τα συστήματα πλοήγησης τυφλών και η διαχείριση στόλου με απαιτήσεις ακρίβειας της τάξης των λίγων μέτρων.

3.2 Εφαρμογές με χρήση διαφορικού GPS

Το διαφορικό GPS (DGPS: Differential GPS) είναι μία τεχνική που επιτρέπει τον προσδιορισμό θέσης με ακρίβεια από 5 m έως και καλύτερη από 1 m. Η τεχνική αυτή αναπτύχθηκε για να εξαλείψει τα σφάλματα που προκαλούν διάφορες πηγές κατά τον προσδιορισμό θέσης με ένα δέκτη, το σημαντικότερο από τα οποία αποτελούσε η επίδραση της Επιλεκτικής Διαθεσιμότητας. Στη βασική του μορφή το διαφορικό GPS υλοποιείται με ένα σταθμό αναφοράς, ο οποίος λειτουργεί σε επακριβώς καθορισμένη θέση. Με τη βοήθεια κατάλληλου λογισμικού υπολογίζονται οι αποκλίσεις, οι οποίες όταν προστεθούν στα υπολογιζόμενα από το δέκτη μεγέθη προκύπτει η σωστή του θέση. Οι αποκλίσεις αυτές καλούνται διαφορικές διορθώσεις (differential corrections) [RTCM-104, 1994]. Η αρχή λειτουργίας του διαφορικού GPS στηρίζεται στο γεγονός ότι τα σφάλματα που προκαλούνται από πολλούς παράγοντες έχουν πρακτικά την ίδια τιμή για δέκτες που δουλεύουν σε γειτονικές περιοχές. Έτσι οι διαφορικές διορθώσεις μπορούν να εφαρμοστούν στις παρατηρήσεις ενός δέκτη που βρίσκεται στην ευρύτερη περιοχή του σταθμού αναφοράς - είτε με επεξεργασία στο γραφείο είτε σε πραγματικό χρόνο όταν εκπέμπονται από επίγειους σταθμούς ή μέσω δορυφόρου - προκειμένου να υπολογιστεί η θέση του με την ακρίβεια συστήματος.

Η ακρίβεια που επιτυγχάνεται με το διαφορικό GPS εξαρτάται από τους αλγόριθμους υλοποίησης του συστήματος και από τον τύπο των χρησιμοποιούμενων δεκτών. Σημαντικό ρόλο παίζει και η απόσταση

μεταξύ κινητού δέκτη και σταθμού αναφοράς η οποία είναι αντιστρόφως ανάλογη με την ακρίβεια προσδιορισμού θέσης.

Εντοπισμός θέσης - Συλλογή δεδομένων GIS

Τα σφάλματα που οφείλονταν στις μεθόδους ϵ και δ της Επιλεκτικής Διαθεσιμότητας εξαλείφονταν σχεδόν ολοκληρωτικά με τη χρησιμοποίηση διαφορικού GPS. Το εναπομένον σφάλμα ήταν πρακτικά αμελητέο για κοντινές αποστάσεις. Για μεγάλες αποστάσεις έπαιρνε μία μικρή αλλά υπολογίσιμη τιμή. Μετά τον τερματισμό της Επιλεκτικής Διαθεσιμότητας ο εντοπισμός θέσης και η συλλογή δεδομένων GIS με χρήση διαφορικού GPS θα γίνονται συνεπώς με λίγο καλύτερη ακρίβεια σε ότι αφορά στις μεγάλες αποστάσεις.

Πλοήγηση - Διαχείριση στόλου

Το ίδιο ισχύει και για τη χρήση διαφορικού GPS σε εφαρμογές πλοήγησης και διαχείρισης στόλου. Εδώ όμως προκύπτει ένα επιπλέον όφελος από τον τερματισμό της Επιλεκτικής Διαθεσιμότητας. Σε όλες τις κινηματικές εφαρμογές DGPS πραγματικού χρόνου υπάρχει το πρόβλημα της λήψης των διαφορικών διορθώσεων. Ιδιαίτερα όταν ο κινούμενος δέκτης βρίσκεται σε αστικό περιβάλλον παρατηρούνται διακοπές στη ζεύξη με το σταθμό αναφοράς. Κατά τη διάρκεια αυτών των διακοπών το σύστημα είτε παρέχει τις συντεταγμένες που προσδιορίζει αυτόνομα ο δέκτης είτε εφαρμόζει τις τελευταίες διαφορικές διορθώσεις που έχει λάβει. Το σφάλμα όμως που προέρχεται από τη μέθοδο δ χαρακτηρίζεται από έντονα δυναμικό χαρακτήρα με αποτέλεσμα η ακρίβεια των διαφορικών διορθώσεων να μειώνεται αισθητά με την πάροδο του χρόνου. Μετά τον τερματισμό της Επιλεκτικής Διαθεσιμότητας η χρήση παλαιότερων διαφορικών διορθώσεων κατά τη διάρκεια διακοπής της ζεύξης δε θα προκαλεί ουσιαστικό σφάλμα.

3.3 Εφαρμογές με χρήση μετρήσεων φάσης

Η χρήση των μετρήσεων φάσης των φερουσών συχνοτήτων αποτελεί την ακριβέστερη μέθοδο αξιοποίησης του GPS. Οι τοπογραφικές και γεωδαιτικές εργασίες εκτελούνται με σχετικές (relative) παρατηρήσεις φάσεων. Πολλές φορές χρησιμοποιείται και ο όρος διαφορικές (differential) παρατηρήσεις. Εδώ ο όρος διαφορικές αναφέρεται στον προσδιορισμό διαφορικών (σχετικών) συντεταγμένων μεταξύ δύο σταθμών και δεν πρέπει να συγχέεται με το διαφορικό GPS, το οποίο στηρίζεται στην αρχή των διαφορικών διορθώσεων.

Στο σχετικό εντοπισμό με παρατηρήσεις φάσεων εφαρμόζεται κατά κανόνα το μοντέλο των διπλών διαφορών φάσης. Η τεχνική αυτή εξαλείφει δραστικά τα περισσότερα σφάλματα και επιτρέπει σχετικό προσδιορισμό θέσης με ακρίβεια που φτάνει τα $5\text{mm} + 0.5\text{ppm}$ ($+1\text{ppm}$ για την κατακόρυφη συνιστώσα). Για συνήθεις εφαρμογές τα σφάλματα από την επίδραση της Επιλεκτικής Διαθεσιμότητας εξαλείφονται σχεδόν ολοκληρωτικά. Αυτό όμως δεν ισχύει απόλυτα για εξειδικευμένες εφαρμογές, όπως θα αναλυθεί στη συνέχεια.

Ξεκινώντας από τη μέθοδο ϵ , το σφάλμα στο μήκος της βάσης που προσδιορίζεται είναι αντιστρόφως ανάλογο της απόστασης δορυφόρου-δέκτη και ανάλογο του μήκους της βάσης και του ακτινικού σφάλματος στην τροχιά [Vanicek et al., 1985]. Με βάση τα μεγέθη που δόθηκαν στο δεύτερο κεφάλαιο για την τιμή του σφάλματος τροχιάς εξαιτίας της μεθόδου ϵ προκύπτει ότι για μήκη βάσεων μεγαλύτερα από περίπου πέντε χιλιόμετρα το σφάλμα στον προσδιορισμό της βάσης αρχίζει να γίνεται μετρήσιμο. Σήμερα μετά τον τερματισμό της Επιλεκτικής Διαθεσιμότητας το αντίστοιχο μήκος βάσης ανέρχεται σε λίγες δεκάδες χιλιόμετρα.

Σε αντίθεση με τη μέθοδο ϵ η μέθοδος δ έχει σημαντικά μικρότερη επίδραση στον σχετικό προσδιορισμό με φάσεις. Το σφάλμα εδώ προκαλείται εξαιτίας του δυναμικού χαρακτήρα του φαινομένου και γίνεται σημαντικό μόνο για πολύ μεγάλες βάσεις της τάξης των εκατοντάδων χιλιομέτρων. Για τον ίδιο λόγο προκαλείται και ένα σφάλμα όταν χρησιμοποιούνται δέκτες οι οποίοι δε συγχρονίζουν τα χρονόμετρά τους με το χρόνο GPS με ακρίβεια της τάξης του 1 msec. Αυτό συνέβαινε με παλαιότερους δέκτες όπως π.χ. ο TI-4000 (έτος κατασκευής 1984). Γενικά οι μοντέρνοι δέκτες πληρούν αυτή την απαίτηση και έτσι το εναπομένον σφάλμα δεν έχει καμία πρακτική επίδραση στις συνηθισμένες εφαρμογές GPS.

Προσδιορισμός μικρών βάσεων

Σαν συμπέρασμα των παραπάνω προκύπτει ότι ο τερματισμός της Επιλεκτικής Διαθεσιμότητας δεν επιφέρει καμία αξιοσημείωτη μεταβολή στο σχετικό προσδιορισμό βάσεων μήκους μέχρι 20 km. Αυτό το είδος των εφαρμογών συνιστά τη συντριπτική πλειοψηφία των τοπογραφικών και γεωδαιτικών εργασιών. Οι κύριες τεχνικές οι οποίες εφαρμόζονται είναι η σύντομη στατική μέθοδος (rapid static), η κινηματική μέθοδος με επεξεργασία στο γραφείο (post-processed kinematic) και η κινηματική μέθοδος πραγματικού χρόνου (RTK: Real-Time Kinematic).

Προσδιορισμός μεγάλων βάσεων

Με εξαίρεση τη σύντομη στατική μέθοδο, η οποία περιορίζεται κατά κανόνα σε μήκη βάσεων της τάξης των 20 km, οι κινηματικές μέθοδοι μπορούν να εφαρμοστούν και σε μεγαλύτερες αποστάσεις ιδιαίτερα όταν για την επίλυση των ασαφειών φάσης γίνεται αρχικά στατικός προσδιορισμός (static initialization). Κάτω από ορισμένες προϋποθέσεις είναι δυνατός ο προσδιορισμός βάσεων μέχρι 100 km. Σήμερα που η μέθοδος ε δεν εφαρμόζεται το σφάλμα στον προσδιορισμό της βάσης παραμένει σε ανεκτά επίπεδα ακόμα και για βάσεις αυτού του μήκους.

Το ίδιο ισχύει και κατά τη χρησιμοποίηση της στατικής μεθόδου (static method). Σε πολλές εφαρμογές αυτής της μεθόδου - όπως τριγωνομετρικά δίκτυα πρώτης και δεύτερης τάξης ή γεωδυναμικές έρευνες σε τοπική κλίμακα - δεν απαιτείται πλέον η χρησιμοποίηση εφημερίδων ακριβείας (precise ephemeris), αλλά μπορούν να χρησιμοποιούνται οι εκπεμπόμενες από τους δορυφόρους.

Εφαρμογές προσδιορισμού χρόνου

Το GPS εκτός από σύστημα εντοπισμού θέσης σχεδιάστηκε για να εξυπηρετεί ταυτόχρονα και εφαρμογές ακριβούς προσδιορισμού του χρόνου, όπως εξάλλου υποδηλώνει και το πλήρες όνομά του: NAVSTAR GPS (NAVigation System with Time and Ranging Global Positioning System). Υπό το καθεστώς της Επιλεκτικής Διαθεσιμότητας μία τυπική τιμή για την ακρίβεια προσδιορισμού του χρόνου ήταν 1×10^{-6} sec. Σήμερα η ακρίβεια αυτή είναι λίγο βελτιωμένη γεγονός όμως που για τις περισσότερες εφαρμογές δεν έχει πρακτική σημασία. Χαρακτηριστικό παράδειγμα τέτοιας εφαρμογής αποτελεί η υποστήριξη αεροφωτογραφήσεων με GPS, όπου η στιγμή της φωτοληψίας καταγράφεται σαν γεγονός (event) από το δέκτη GPS που είναι συνδεδεμένος με την φωτομηχανή. Το ίδιο ισχύει και για εφαρμογές υβριδικών συστημάτων όπου ο συγχρονισμός των υπόλοιπων δεκτών με το GPS γίνεται με τη βοήθεια ενός τετραγωνικού παλμού (PPS: Pulse Per Second) που παρέχει ο δέκτης. Για πιο εξειδικευμένες εφαρμογές προσδιορισμού χρόνου η βελτίωση στην ακρίβεια είναι υπολογίσιμη.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Από την παραπάνω ανάλυση προκύπτει ότι το μεγαλύτερο όφελος από τον τερματισμό της Επιλεκτικής Διαθεσιμότητας αφορά στις εφαρμογές με χρήση ενός μόνο δέκτη. Για το διαφορικό GPS η βελτίωση στην ακρίβεια είναι μικρή και το όφελος αφορά κυρίως στις εφαρμογές πραγματικού χρόνου σε περιβάλλον που προκαλεί διακοπές στη ζεύξη με το σταθμό αναφοράς. Για τις τοπογραφικές και γεωδαιτικές εργασίες με μικρά μήκη βάσεων - οι οποίες αποτελούν και την πλειοψηφία του αντικειμένου του Τοπογράφου Μηχανικού - ο τερματισμός της Επιλεκτικής Διαθεσιμότητας δεν επιφέρει πρακτικά καμία αλλαγή. Αντίθετα για εφαρμογές με μεγάλα μήκη βάσεων η κατάσταση διαφοροποιείται ουσιαστικά προς αύξηση της ακρίβειας και διευκόλυνση των εργασιών.

Κάνοντας μία πρόβλεψη για το μέλλον εκτιμάται ότι οι εφαρμογές δεκτών χειρός GPS θα αυξηθούν σημαντικά. Ήδη είναι διαθέσιμοι στην αγορά δέκτες κόστους της τάξης των 70.000 - 80.000 δρχ με δυνατότητα ένδειξης προβολικών συντεταγμένων (π.χ. UTM ή ΕΓΣΑ '87) με ακρίβεια λίγων μέτρων!

Μία άλλη αναμενόμενη εξέλιξη σχετίζεται με την επιστημονική έρευνα στο θέμα του εντοπισμού με χρήση ενός δέκτη. Μέχρι σήμερα η Επιλεκτική Διαθεσιμότητα μείωνε σε τέτοιο βαθμό την ακρίβεια του συστήματος, έτσι ώστε η έρευνα για τον περιορισμό άλλων πηγών σφαλμάτων στον αυτόνομο εντοπισμό να στερείται ουσιαστικής σημασίας. Σήμερα αυτό δεν ισχύει και αναμένεται ότι η έρευνα θα στραφεί στον περιορισμό επιδράσεων άλλων παραγόντων όπως για παράδειγμα τα ατμοσφαιρικά σφάλματα. Αναμένεται έτσι μία παραπέρα βελτίωση της ακρίβειας του αυτόνομου εντοπισμού, κυρίως στον προσδιορισμό του υψομέτρου.

Σε ότι αφορά στις μεθόδους χρησιμοποίησης φάσεων αναμένονται μακροπρόθεσμα και εδώ θετικές εξελίξεις καθώς υπάρχουν αλγόριθμοι που κάνουν συνδυασμένη χρήση παρατηρήσεων φάσης και κώδικα. Επίσης πολλοί αλγόριθμοι για την επίλυση ασαφειών φάσης κατά την κίνηση (OTF ambiguity resolution) αξιοποιούν και τις παρατηρήσεις κώδικα [Gianniou and Groten, 1996].

Τέλος είναι βέβαιο ότι μετά τη βελτίωση της ακρίβειας του συστήματος κατά μία τάξη μεγέθους ο αριθμός των εφαρμογών του GPS θα αυξηθεί ακόμα περισσότερο.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Παραδείσης, Δ., (1992): "The Global Positioning System", Κέντρο Δορυφόρων Διονύσου, Τομέας Τοπογραφίας Ε.Μ.Π.
- Breuer et al., (1993): "GPS-Mess- und Auswerteverfahren unter Operationellen GPS-Bedingungen", SPN Journal for Satellite-Based Positioning, Navigation and Communication, 3/93, Wichmann Verlag, Karlsruhe.
- Gianniou, M. and Groten, E., (1996): "Improvement of an OTF Algorithm by Considering the Receiver Performance", Proceedings of IEEE PLANS '96, Atlanta, Georgia, April 1996.
- Oslon, DL., (1992): "FRP update - what to expect in the 1992 U.S. Federal Radionavigation Plan", Summary record of the 20th Meeting of the Civil GPS Service Interface Committee, Albuquerque, New Mexico, September 14-14, 1992.
- RTCM-104, (1994): "RTCM Recommended Standards for Differential Navstar GPS Service", Version 2.1, Radio Technical Commission for Maritime Services, Washington D.C. 20005, U.S.A.
- Trimble Navigation Ltd, (1993): "Differential GPS Explained", Sunnyvale, CA, USA.
- Vanicek et al., (1985): "DIPOP: Differential Positioning Program Package for the Global Positioning System", Geodetic Survey of Canada, Rep. 85-005, Ottawa 1985.
- Wells et al., (1986): "Guide to GPS Positioning", Canadian GPS Associates, Fredericton, Canada.