Μετάδοση δεδομένων GNSS για προσδιορισμό θέσης σε πραγματικό χρόνο. Εφαρμογές στον Ελληνικό χώρο.

Σ. Κατσουγιαννόπουλος
Επιστημονικός Συνεργάτης, Τμήμα Γεωπληροφορικής & Τοπογραφίας, ΤΕΙ Σερρών
Τέρμα Μαγνησίας, 62124, Σέρρες
Τηλ.: 2321049247, Φαξ: 2321049247, E-mail: skatso@teiser.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Με την παρούσα εργασία επιχειρείται η παρουσίαση της τεχνολογίας μετάδοσης δεδομένων από δορυφορικά συστήματα προσδιορισμού θέσης GNSS σε εφαρμογές σχετικού προσδιορισμού θέσης σε πραγματικό χρόνο στην Ελλάδα. Αρχικά γίνεται μια σύντομη αναφορά στα δίκτυα μόνιμων σταθμών GNSS και στη μετάδοση των δεδομένων τους μέσω του διαδικτύου και του πρωτοκόλλου NTRIP. Οι δύο πιο κοινές τεχνικές σχετικού προσδιορισμού θέσης που βασίζονται στην μετάδοση διορθώσεων σε πραγματικό χρόνο είναι η τεχνική διαφορικού GPS (DGPS - Differential GPS) και η τεχνική κινηματικού προσδιορισμού σε πραγματικό χρόνο (RTK – Real Time Kinematic). Οι τεχνικές DGPS και RTK στην περίπτωση των δικτύων μόνιμων σταθμών χρησιμοποιούν διορθώσεις που υπολογίζονται από τους σταθμούς αναφοράς και διατίθενται σε τυποποιημένες μορφές, όπως π.χ. στις διάφορες εκδόσεις του μηνύματος RTCM η μετάδοση του οποίου στο διαδίκτυο γίνεται μέσω του πρωτοκόλλου NTRIP. Δυο χαρακτηριστικά παραδείγματα δικτύων στο Ελληνικό χώρο που χρησιμοποιούν την τεχνική NTRIP είναι το δίκτυο HEPOS της Κτηματολόγιο Α.Ε. και το δίκτυο «Ερμής» του Α.Π.Θ. Στη συνέχεια περιγράφεται η δομή και η λειτουργία των δύο δικτύων καθώς και οι τελικές ακρίβειες για τις τεχνικές DGPS και RTK. Περιγράφονται επίσης τα πλεονεκτήματα των σύγχρονων μεθόδων GNSS στις τοπογραφικές αποτυπώσεις και τις χαράξεις και οι προσαρμογές που θα πρέπει να γίνουν για την εφαρμογή τους σε τοπικό επίπεδο. Σημαντική βαρύτητα δίνεται στην εφαρμογή των παραπάνω τεχνικών στον Ελληνικό χώρο. Η περίπτωση της Ελλάδας έχει ιδιαιτερότητες λόγω της χρήσης πολλών γεωδαιτικών και προβολικών συστημάτων αλλά και λόγω των ανομοιογενών ποιοτικά χαρτογραφικών και γεωδαιτικών υποβάθρων. Συμπερασματικά επιχειρείται να δοθεί μια χρηστική προσέγγιση του σχετικού προσδιορισμού σε πραγματικό χρόνο με τη χρήση δικτύων GNSS και του πρωτοκόλλου NTRIP για τοπογραφικές κυρίως εφαρμογές στον Ελληνικό χώρο.

Λέξεις Κλειδιά: Προσδιορισμός θέσης σε πραγματικό χρόνο , Δίκτυα μόνιμων σταθμών.

ABSTRACT: In this present work is attempted a presentation of real time positioning using GNSS satellite systems in applications in the Greek area. Initially is presented a short report in the GNSS permanent stations networks and the transmission of their data via the internet and protocol NTRIP. The two most common techniques of relative positioning that are based on the transmission of corrections in real time are the code differential technique (DGPS - Differential GPS) and the phase kinematic technique (RTK - Real Time Kinematic). The DGPS and RTK method in networks use corrections calculated by permanent stations of report and sold in standardised forms, in the various versions of message RTCM which is tranmissed via protocol NTRIP. In the greek area two characteristic examples of networks witch use the technical NTRIP are the network HEPOS of Ktimatologio S.A. and the network "Hermes" of AUTH. The essay describes the operation of these two networks and the final precision for the DGPS and RTK techniques, as well as the advantages of modern methods GNSS in topography. Emphasis is given in the application of these techniques in Greece, due to the several geodetic and projective systems and the non-homogeneous quality in the cartographic and geodetic backgrounds. In conclusion it is given a useful approach of relative real time positioning using GNSS networks and protocol NTRIP on topographic application.

Keywords: GNSS Permanent network, GPS, NTRIP, DGPS, RTK.

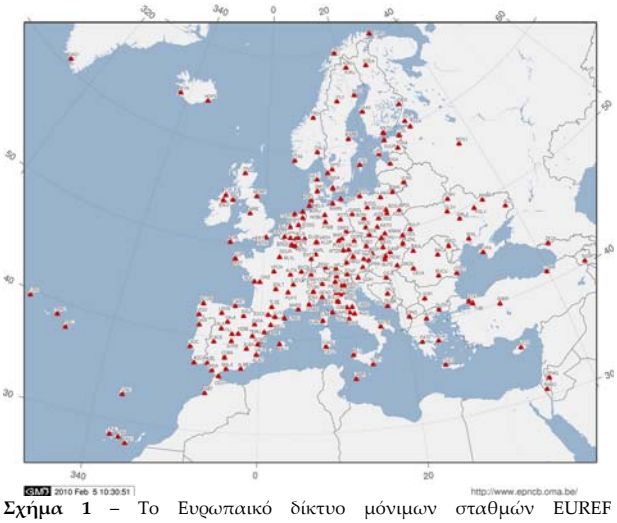
I. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΜΟΝΙΜΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ

Τα τελευταία χρόνια αναπτύσσεται ραγδαία η τεχνική του προσδιορισμού θέσης με συστήματα GNSS σε πραγματικό χρόνο με την βοήθεια δικτύων μόνιμων σταθμών. Η εγκαθίδρυση τέτοιων δικτύων παρουσιάζει πολλά πλεονεκτήματα συγκρινόμενη με την παλιότερη τεχνική RTK όπου η μετάδοση των διορθώσεων γίνεται με τη χρήση ραδιομόντεμ. Η δομή και η λειτουργία τέτοιων δικτύων περιλαμβάνει μόνιμους σταθμούς GNSS εγκατεστημένους σε σημεία γνωστών συντεταγμένων, συνεχούς καταγραφής, με δεδομένα που θα μπορούν να είναι διαθέσιμα μέσω του διαδικτύου στους τελικούς χρήστες. Οι εκπεμπόμενες διορθώσεις, παρέχονται στο κοινό πρότυπο RTCM, από τους σταθερούς δέκτες προς του κινητούς δέκτες μέσω του διαδικτύου με χρήση του πρωτοκόλλου NTRIP. Τα δίκτυα μόνιμων σταθμών GNSS καλύπτουν ένα μεγάλο εύρος εφαρμογών που μπορεί να αφορούν από απλές τοπογραφικές αποτυπώσεις μέχρι και ερευνητικές δραστηριότητες γεωτεκτονικής και καιρικών προγνώσεων.

Το μεγαλύτερο δίκτυο μόνιμων σταθμών στην Ευρώπη ονομάζεται EPN (Euref Permanent Network) (http://www.epncb.oma.be) και αποτελείται σήμερα (05 Φεβρουαρίου 2010) από 224 ενεργούς σταθμούς GNSS (σχήμα 1).

Η δημιουργία του δικτύου EPN-EUREF έχει ως στόχο τον ορισμό, την υλοποίηση και την διατήρηση του Ευρωπαϊκού επίγειου πλαισίου αναφοράς (ETRF: European Terrestrial Reference Frame), ενός γεωδαιτικού υπόβαθρου κατάλληλο για τις εν γένει γεωδαιτικές ανάγκες της κάθε χώρας και της διεθνούς επιστημονικής κοινότητας [1]. Μέσω του δικτύου EUREF, έχει αναπτυχθεί πληθώρα δραστηριοτήτων που σχετίζονται τόσο με γεωδαιτικού ενδιαφέροντος αντικείμενα όπως ο ορισμός του συστήματος ETRS (European Terrestrial Reference System) και του

κατακόρυφου συστήματος αναφοράς (European Vertical Reference System), αλλά και με την χρήση των δεδομένων από τοπικά δίκτυα μόνιμων σταθμών συμβάλλοντας σημαντικά στην ολοκλήρωση πολλών άλλων εφαρμογών όπως είναι οι γεωδυναμικές, τοπογραφικές, υδρογραφικές καθώς και οι μελέτες-εφαρμογές έργων και δικτύων κοινής ωφέλειας και μεγάλων κατασκευών, π.χ. οδοποιίας και υδραυλικών έργων, ενημέρωση χαρτών, εφαρμογές GIS και εντοπισμός προεπιλεγμένων θέσεων. Τα δεδομένα, μετρήσεις GNSS, διατίθενται στο κοινό format Rinex ή στο πιο σύγχρονο compact RINEX format.
Υπάρχουν συγκεκριμένα κέντρα συλλογής και επεξεργασίας (Data Centers) των παρατηρήσεων τα οποία έχουν και την ευθύνη της διάθεσης των πρωτογενών αλλά και των παράγωγων στοιχείων μέσω του διαδικτύου με τη βοήθεια του πρωτόκολλου ανώνυμης μεταφοράς αρχείων FTP.



Σχήμα 1 – Το Ευρωπαικό δίκτυο μόνιμων σταθμών EUREF (www.epncb.oma.be).

Εκτός από το δίκτυο EPN-EUREF αρκετά δίκτυα μόνιμων σταθμών είναι σε χρήση για ερευνητικούς ή εμπορικούς σκοπούς ήδη από τα μέσα της δεκαετίας του 1990, όπως για παράδειγμα το δίκτυο SAPOS στη Γερμανία. Η δυνατότητα των δικτύων μόνιμων σταθμών να παρέχουν διορθώσεις επί εικοσιτετραώρου βάσης είτε για εκ' των υστέρων επεξεργασία είτε την σε πραγματικό χρόνο επίλυση στο πεδίο τα έχουν οδηγήσει στην κορυφή της τεχνολογίας και στην περίπτωση της χρηστικής τους αξίας σε συνήθεις τοπογραφικές εφαρμογές και γεωδαιτικές εφαρμογές.
Τα κριτήρια επιλογής των σημείων που θα τοποθετηθούν οι δέκτες ενός τέτοιου δικτύου θα πρέπει να τηρούν ορισμένες προϋποθέσεις, όπως [2] :

- η γεωγραφική θέση από τη σκοπιά της ομοιόμορφης κατανομής τους στο χώρο.
- ο ανοιχτός ορίζοντας.
- η αποφυγή περιοχών με πιθανές παρεμβολές από ηλεκτρομαγνητικά κύματα και υψηλές τιμές «θορύβου».
- η ασφάλεια από ζημίες οφειλόμενες σε εξωτερικούς παράγοντες για τον δέκτη και τα παρελκόμενα του.
- προσβασιμότητα του σημείου.
- εξασφάλιση της συνεχούς λειτουργίας του δέκτη σε σχέση με τις παροχές (παροχή ηλεκτρικού ρεύματος, σύνδεση στο διαδίκτυο κ.α.)

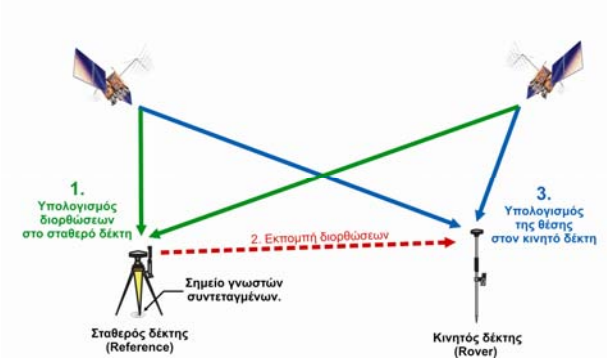
Στην Ελλάδα το κυριότερο δίκτυο μόνιμων σταθμών GNSS ονομάζεται HEPOS και περιλαμβάνει περίπου 100 σταθμούς ομοιόμορφα κατανεμημένους σε ολόκληρη την ελληνική επικράτεια και παρέχει δεδομένα RINEX αλλά και RTK. Το δίκτυο HEPOS είναι υπό τον έλεγχο του ΟΚΧΕ (Οργανισμός Κτηματολογίου και Χαρτογραφήσεων Ελλάδος) και παρέχει δεδομένα παρατηρήσεων GPS σε μορφή RINEX για την εκ' των υστέρων επεξεργασία αλλά σε πραγματικό χρόνο διορθώσεις με το πρωτόκολλο NTRIP. Η παροχή των δεδομένων γίνεται μέσω του διαδικτύου και μόνο σε εξουσιοδοτημένους χρήστες.
Παράλληλα και άλλα δίκτυα μόνιμων σταθμών είναι σήμερα σε λειτουργία από εμπορικές εταιρίες όπως το δίκτυο METRICA_GNSS της εταιρίας METRIKA (www.metrica.gr), το δίκτυο TD-CORS-NET της εταιρίας CIVILSHOP (www.civilshop.gr), το δίκτυο URANUS της εταιρίας TREE COMPANY (www.uranus.gr) και το δίκτυο JGC-Net της εταιρίας JGS (www.jgs.gr). Τα παραπάνω δίκτυα έχουν διάφορα χαρακτηριστικά όσον αφορά και τον τρόπο υπολογισμού της θέσης αλλά και στο τρόπο παροχής και σύνδεσης από την πλευρά των χρηστών. Η λειτουργία των παραπάνω δικτύων δεν καλύπτουν τις δυνατότητες του HEPOS ωστόσο παρέχουν αρκετές υπηρεσίες στους χρήστες τους.
Μια άλλη ακόμη προσέγγιση αποτελεί και το δίκτυο «Ερμής» του Α.Π.Θ. του τομέα Γεωδαισίας και Τοπογραφίας [3]. Το δίκτυο «Ερμής» περιλαμβάνει την δεδομένη χρονική στιγμή 5 σταθμού αναφοράς και η προσέγγιση του είναι κυρίως ερευνητικού χαρακτήρα, αλλά μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε διάφορες εφαρμογές στην περιοχή που καλύπτουν οι σταθμοί.

ΙΙ. ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΜΕΣΩ ΤΟΥ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟΥ ΜΕ ΤΟ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ NTRIP

Οι δύο μέθοδοι σχετικού προσδιορισμού που χρησιμοποιούνται συνήθως στο σε εφαρμογές πραγματικού χρόνου είναι οι DGPS και RTK. Η πρώτη αφορά κυρίως διαφορικό προσδιορισμό με χρήση κώδικα ενώ η δεύτερη τον διαφορικό προσδιορισμό με χρήση παρατηρήσεων φάσης. Στη μέθοδο DGPS ο σταθερός δέκτης υπολογίζει τις διορθώσεις (διαφορά γεωμετρική απόστασης από παρατηρούμενη) σε μια σειρά παρατηρήσεων ψευδοαπόστασεων, μαζί με τα

γνωστά μοντελοποιημένα σφάλματα, όπως τα ατμοσφαιρικά, στη συνέχεια οι διορθώσεις μεταβιβάζονται μαζί όλα τα απαραίτητα στοιχεία στον κινητό δέκτη ο οποίος με τη σειρά του υπολογίζει την τελική του θέση (σχήμα 2). Παρόμοια μεθοδολογία ακολουθείται και για την περίπτωση του διαφορικού προσδιορισμού με χρήση παρατηρήσεων φάσης (RTK) με τη διαφορά ότι εδώ δεν έχουμε διορθώσεις στις ψευδοαποστάσεις αλλά εκτίμηση του αριθμού των ακεραίων κύκλων.

Στον προσδιορισμό θέσης πραγματικού χρόνου θεωρούμε ομοιογενή περιοχή μέτρησης και ίδιες συνθήκες μέτρησης στους δύο δέκτες, θεωρούμε ότι οι διορθώσεις και τα σφάλματα που υπολογίζονται στον σταθερό δέκτη ισχύουν και στο κινητό δέκτη, αυτό βέβαια δεν μπορεί να ισχύει σε μεγάλες περιοχές και η μέτρηση των βάσεων περιορίζεται στα 50 Km.



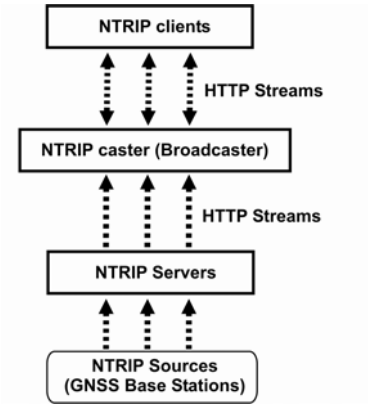
Σχήμα 2 – Σχεδιάγραμμα λειτουργίας του σχετικού προσδιορισμού θέσης σε πραγματικό χρόνο.

Η μεταφορά των διορθώσεων μπορεί να γίνει με άμεσα με απευθείας σύνδεση χρησιμοποιώντας είτε ραδιομόντεμ είτε κινητό τηλέφωνο ή έμμεσα με σύνδεση μέσω διαδικτύου, τεχνική που αναλύεται στη συνέχεια της παρούσας εργασίας.

Η μετάδοση των διορθώσεων GNSS στις εφαρμογές πραγματικού χρόνου γίνεται με τη χρήση διαφόρων τύπων του μηνύματος RTCM [1]. Υπάρχουν σε χρήση διάφορες εκδόσεις του μηνύματος RTCM , 2.0, 2.1, 3.0 κτλ. Το μήνυμα RTCM μπορεί να χρησιμοποιηθεί με οποιαδήποτε διάταξη GNSS ανεξαρτήτως του τύπου και του τρόπου μετάδοσης των δεδομένων του δέκτη, όταν υπάρχει και το απαραίτητο συμβατό λογισμικό. Οι εκπεμπόμενες διορθώσεις RTCM μπορεί να αφορούν τους κώδικες ή τις φάσεις και εφαρμόζονται τόσο σε φορητούς δέκτες όσο και σε δέκτες δύο συχνοτήτων που περιλαμβάνουν μια συσκευή διασύνδεσης (πχ. radiomodem UHF, GPRS κ.α.). Οι διορθώσεις εκπέμπονται από τον σταθερό δέκτη GNSS προς τον κινητό δέκτη.

Στην περίπτωση που η διασύνδεση γίνεται μέσω του διαδικτύου χρησιμοποιείται το πρωτόκολλο NTRIP (Networked Transport of RTCM via Internet Protocol) . Το πρωτόκολλο NTRIP αποτελεί ένα γενικό, διεθνές, πρότυπο για τη ροή πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο του μηνύματος RTCM στις τεχνικές DGPS και RTK. Βασίζεται στο HTTP/1.1 (HyperText Transfer Protocol v1.1.) πρωτόκολλο και από το 2004 αποτελεί μέρος των προτύπων RTCM και εφαρμόζεται στη μεταφορά διαφορικών διορθώσεων σε κινούμενους δέκτες GNSS, δια μέσου οποιουδήποτε κινητού δικτύου IP (GSM, GPRS κ.α.). Οι περισσότερες κατασκευάστριες εταιρίες δεκτών GNSS έχουν ενσωματωμένη την τεχνολογία NTRIP στα αντίστοιχα λογισμικά που συνοδεύουν τους υπολογιστές πεδίου και γραφείου.

Το πρωτόκολλο αποτελείται από τρείς συνιστώσες, που ονομάζονται NTRIPServer, NTRIPClient και NTRIPCaster [4]. Οι εφαρμογές αυτές είναι διαθέσιμες σε εκτελέσιμη μορφή αλλά και σε μορφή πηγαίου κώδικα από την ιστοσελίδα http://igs.bkg.bund.de/ntrip/download. Το NTRIPServer και το NTRIPClient λειτουργούν τεχνικά ως πελάτες HTTP που λαμβάνουν αντίστοιχα δεδομένα από διάφορες πηγές NTripSources και τα διοχετεύουν προς διαφορετικές εφαρμογές και χρήστες. Ο NTRIPCaster αποτελεί ουσιαστικά ένα λογισμικό HTTP εξυπηρετητή διαμερισμού της ροής δεδομένων GNSS, δηλαδή λειτουργεί ως μεταδότης των διορθώσεων (DGPS ή RTK) και μεταδομένων GNSS (επιπρόσθετα στοιχεία δέκτη)[4].



Σχήμα 3 – Δομή της λειτουργίας NTRIP.

Στο σχήμα 3 παρουσιάζεται η δομή λειτουργίας ενός συστήματος βασισμένο σε πρωτόκολλο NTRIP. Οι διαδικτυακοί εξυπηρετητές NtripServer λαμβάνουν ο καθένας δεδομένα από μια πηγή NTripSource (βλ. πίνακα 1) και τα προωθούν στο NTripCaster που με τη σειρά του ενεργεί ως «κεντρικός υπολογιστής» που ικανοποιεί πολλαπλούς κινούμενους χρήστες NtripClient.

Η σύνδεση ενός κινούμενου δέκτη στο πεδίο γίνεται μέσω GPRS και στη συνέχεια σύνδεση με την συγκεκριμένη IP διεύθυνση του NTripCaster εισάγοντας το κατάλληλο όνομα χρήστη και κωδικό. Η επιλογή του base γίνεται μεταξύ των διαθέσιμων ενεργών σταθμών του δικτύου (πίνακας 1) που παρουσιάζεται με τη μορφή πίνακα πηγών δεδομένων (source table).

Πίνακας 1 – Τμήμα source table του Hermes NtripCaster (Fotiou et al 2009).

…
STR;DUTH0;Xanthi;RTCM3.0;1004(1);1006(10);1008(10);none;GRC;41.08;24.55;0;0;2;GPS+GLO;EUREF;LEICA GRX 1200GGPRO;none;B;N;1600
STR;TEIS0;Serres;RTCM3.0;1004(1);1006(10);1008(10);none;GRC;41.04;23.33;0;0;2;GPS;DGSNET;LEICA GRX 1200PRO;none;B;N;1500
STR;LARI0;Larissa;RTCM2.3;1(1);2(10);18(1);19(1);GRC;39.38;22.24;0;0;2;GPS+GLO;EUREF;LEICA GRX 1200+GNSS;none;B;N;5000
STR;AUT10;Thessaloniki;RTCM2.3;1(1);2(10);18(1);19(1);GRC;40.57;23.00;0;0;2;GPS;EUREF;LEICA GRX 1200PRO;none;B;N;5000
STR;TATM0;Thessaloniki;RTCM2.1;1(1);2(10);18(1);19(1);GRC;40.37;22.57;0;0;2;GPS;DGSNET;LEICA RS 500;none;B;N;5000
…

Το πρωτόκολλο NTRIP υποστηρίζει τη διάδοση οποιασδήποτε ροής δεδομένων GNSS (GPS GLONASS, Galileo, EGNOS, WAAS κ.λπ.) που χρειάζεται ρυθμούς μετάδοσης 0.2 έως 10 KBIT/s συγκεκριμένα περιλαμβάνει [5] :

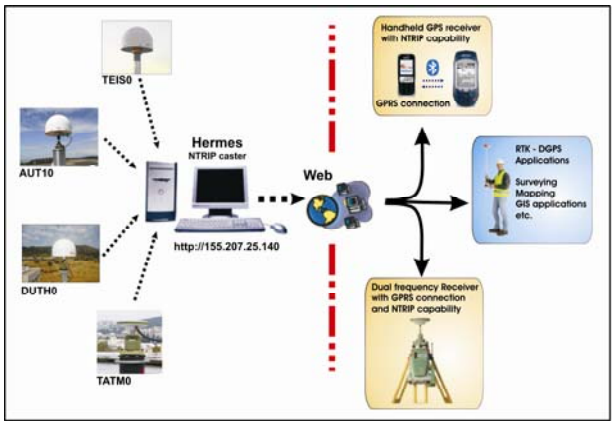
- RTCM παρατηρήσεις ή εκπεμπόμενες εφημερίδες τροχιών ή διορθώσεις τροχιών και ρολογιών, DGNSS, RTK.
- RTCA διορθώσεις, EGNOS & WAAS
- Πρωτογενή δεδομένα (Raw GNSS receiver data)
- SOC παρατηρήσεις
- άλλα GNSS data/formats

Σήμερα από τους πλέον γνωστούς μεταδότες NTRIP είναι εκείνοι της ευρωπαϊκής υπηρεσίας EUREF (ο αποκαλούμενος EUREF-IP NTRIP Broadcaster) και ο αντίστοιχος της διεθνούς Υπηρεσίας GPS (ο αποκαλούμενος IGS-IP NTRIP Broadcaster) που βασίζονται αντίστοιχα στις μετρήσεις των μόνιμων δικτύου των σταθμών GNSS που λειτουργούν κάτω από την εποπτεία των εν λόγω υπηρεσιών.
Ο σχετικός προσδιορισμός θέσης σε πραγματικό χρόνο χωρίζεται σε δύο κατηγορίες:

- Προσδιορισμός θέσης σε πραγματικό χρόνο με χρήση ψευδοαποστάσεων που είναι γνωστή με την ονομασία DGPS (Differential GPS)

- Προσδιορισμός θέσης με χρήση φάσεων και είναι γνωστή με τον όρο RTK(Real Time Kinematic)

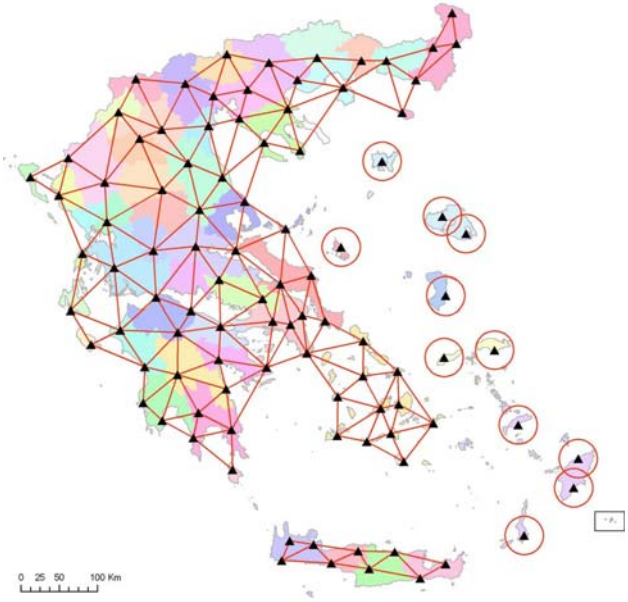
Η εφαρμογή σε πραγματικό χρόνο με την χρήση ενός μόνο σταθερού δέκτη αποδίδει ικανοποιητικά και στις δύο κατηγορίες για βάσεις που δεν ξεπερνούν τις μερικές δεκάδες Km. Για μεγαλύτερες αποστάσεις του κινητού από τον σταθερό δέκτη, ο προσδιορισμός θέσης σε πραγματικό χρόνο καθίσταται επισφαλής, ο λόγος είναι ότι η υπόθεση ότι τα ατμοσφαιρικά σφάλματα, καθώς επίσης και τα σφάλματα τροχιάς των δορυφόρων δεν συμπεριφέρονται όμοια και στους δύο δέκτες. Σε αυτή την περίπτωση η τεχνική των μεμονωμένων σταθμών δεν επαρκεί και απαιτείται η χρήση δικτύων μόνιμων σταθμών με τη χρήση άλλων τεχνικών όπως π.χ. η τεχνική εικονικού σταθμού αναφοράς VRS (Virtual Reference Station)[6]. Η συγκεκριμένη τεχνική στηρίζεται στη δημιουργία ενός εικονικού σταθμού αναφοράς ο οποίος λειτουργεί ως πραγματικός δέκτης GPS σε κοντινή απόσταση από τον κινητό δέκτη. Η τεχνική αυτή εφαρμόζεται σε δίκτυα GPS και προσομοιώνει τον χώρο μέτρησης στην ευρύτερη περιοχή που κινείται ο δέκτης και απαιτεί για το σκοπό αυτό αμφίδρομή επικοινωνία του κέντρου ελέγχου του δικτύου και του κινητού δέκτη.



Σχήμα 4 – Λειτουργία του δικτύου Ερμής (Fotiou et al 2009).

ΙΙΙ. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΟΝ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΧΩΡΟ

Στη Ελλάδα υπάρχουν αρκετά δίκτυα μόνιμων σταθμών, εμπορικού ή ερευνητικού χαρακτήρα. Το κυριότερο δίκτυο εκπομπής διορθώσεων σε πραγματικό χρόνο HEPOS, λειτουργεί από την Κτηματολόγιο Α.Ε. και έχει σαν σκοπό να παρέχει διευκόλυνση στο έργο της επίγειας αποτύπωσης με GPS στην δημιουργία του Εθνικού Κτηματολογίου, φυσικά μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε οποιαδήποτε τοπογραφική εφαρμογή. Η πρόσβαση δεν είναι ελεύθερη αλλά παρέχεται κατόπιν συνδρομής. Και παρέχονται και διάφορα επίπεδα υπηρεσιών προσδιορισμού της θέσης.
Οι σταθμοί είναι ισοκατανεμημένοι και καλύπτουν ολόκληρο τον Ελληνικό χώρο και σε αποστάσεις μεταξύ των γειτονικών σταθμών που δεν υπερβαίνουν τα 70 km (σχήμα 5).
Η λειτουργία του δικτύου βασίζεται στην μετάδοση δεομένων μέσω του διαδικτύου σε συνδυασμό με την τεχνική εικονικού σταθμού αναφοράς VRS και για τον κινηματικό προσδιορισμό σε πραγματικό χρόνο παρέχεται η δυνατότητα σύνδεσης μέσω GPRS (General Packet Radio Service). Η μετάδοση των διορθώσεων γίνεται με το πρωτόκολλο NTRIP. Οι παρεχόμενες ακρίβειες για DGPS (διαφορικός προσδιορισμός με χρήση κώδικα) και RTK (διαφορικός προσδιορισμός με χρήση φάσης) δίνονται στον παρακάτω πίνακα 2.



Σχήμα 5 – Η κατανομή των μόνιμων σταθμών GPS του δικτύου HEPOS (www.hepos.gr).

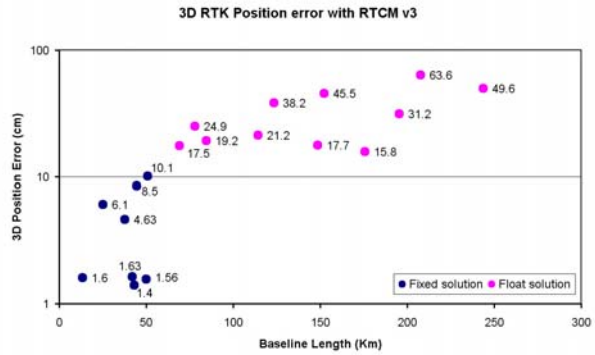
Πίνακας 2 – Παρεχόμενη ακρίβεια του δικτύου HEPOS σε τεχνικές πραγματικού χρόνου (Δεληκαράογλου 2006).

	Οριζοντιογραφικά	Υψομετρικά
DGPS	< 0.8 m	< 0.8 m
RTK	0.010m±1 ppm	0.020m±1 ppm

Η μετάδοση των διορθώσεων γίνεται και στο δίκτυο «Ερμής», με την διαφορά ότι δεν έχει ακόμη ενσωματωθεί η δυνατότητα του εικονικού σταθμού αναφοράς VRS, η οποία είναι υπό ανάπτυξη . Το δίκτυο «Ερμής» στην παρούσα φάση αποτελείται από ένα κεντρικό υπολογιστή στον οποίο είναι εγκατεστημένος ο αναμεταδότης NTRIP ο οποίος είναι επιφορτισμένος με την εκπομπή των διορθώσεων RTCM σε πραγματικό χρόνο (σχήμα 4).

Σχήμα 6 – Θέσεις των μόνιμων σταθμών GPS του δικτύου Ερμής (Fotiou et al. 2009).

Οι μόνιμοι σταθμοί που είναι άμεσα χρησιμοποιήσιμοι είναι πέντε, αναλυτικά στη Θεσσαλονίκη είναι δύο, στις Σέρρες ένας, στη Ξάνθη ένας και στη Λάρισα επίσης ένας. Υπάρχει πρόβλεψη για την προσθήκη ενός ακόμα σταθμού GNSS στη Κοζάνη ο οποίος θα είναι διαθέσιμος πολύ σύντομα και θα συμπληρώσει το σύνολο των έξι σταθμών του αρχικού σχεδιασμού. Ο συνολικός αριθμός των έξι σταθμών είναι ικανοποιητικός για να καλύψει το μεγαλύτερο μέρος της Μακεδονίας και τη Θράκης (σχήμα 6). Ήδη η παρεχόμενη ακρίβεια σε DGPS και RTK δοκιμές είναι ικανοποιητική για την περιοχή που καλύπτουν οι υπάρχοντες σταθμοί, με τη μέγιστη τιμή σφάλματος να μη ξεπερνά τα 10 εκατοστά για ένα μήκος βάσης 50 Km (σχήμα 7).



Σχήμα 7 – Σφάλμα στο προσδιορισμό θέσης RTK συναρτήσει του μήκους της βάσης (Fotiou et al 2009).

IV. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΕ ΤΟΠΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Σε ένα δίκτυο μόνιμων σταθμών GNSS οι δέκτες υπολογίζονται σε ένα παγκόσμιο γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς όπως το WGS'84, στις συνήθεις όμως εφαρμογές, αποτυπώσεις και χαράξεις, η χρήση ενός τέτοιου συστήματος είναι πρακτικά άχρηστη. Συνεπώς απαιτείται η σύνδεση του παγκόσμιου συστήματος του δικτύου GNSS με το εκάστοτε τοπικό κρατικό σύστημα αναφοράς.

Η σύνδεση στο τοπικό σύστημα αναφοράς προϋποθέτει την γνώση των παραμέτρων μετασχηματισμού στην ευρύτερη περιοχή του δικτύου και συγκεκριμένα τον υπολογισμό των παραμέτρων μετασχηματισμού του γεωδαιτικού συστήματος όσο και του προβολικού συστήματος με τον υπολογισμό των αντίστοιχων συντελεστών στις περιπτώσεις:

- Μετάβαση από το σύστημα του δικτύου στο τοπικό σύστημα αναφοράς.
- Αντίστροφο πρόβλημα μετασχηματισμού από το τοπικό σύστημα αναφοράς στο σύστημα του δικτύου.

Η περίπτωση της Ελλάδας παρουσιάζει αρκετές ιδιαιτερότητες σε αντίθεση με πολλές ευρωπαϊκές χώρες. Το κυριότερο μειονέκτημα είναι η πολυμορφία

στα γεωδαιτικά και προβολικά συστήματα που κατά καιρούς χρησιμοποιήθηκαν και που παραμένουν ακόμη σε χρήση για την νομική κυρίως διάσταση που περιλαμβάνουν. Με βάση τη συγκεκριμένη ιδιαιτερότητα ένα δίκτυο μόνιμων σταθμών GNSS για τον Ελληνικό χώρο δημιουργεί ένα πρόσθετο βαθμό δυσκολίας. Σίγουρα Θα πρέπει το δίκτυο να είναι συμβατό τουλάχιστον με το κυριότερο γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς ΕΓΣΑ'87 και την προβολή του ΤΜ'87 αλλά θα πρέπει να παρέχονται και επιπλέον εργαλεία που επικουρικά να μπορούν να υποστηρίζουν και τα υπόλοιπα συστήματα.

Για την περίπτωση του δικτύου HEPOS ένα νέο σύστημα αναφοράς υιοθετήθηκε ως αναφορά του νέου δικτύου με την ονομασία HTRS07 (Hellenic Terrestrial Reference System 2007). Το νέο σύστημα αποτελεί μια υλοποίηση του ευρωπαϊκού ETRS89. Η σύνδεση με το κρατικό σύστημα επιτεύχθηκε υπολογίζοντας συντελεστές για τον ευθύ και τον αντίστροφο μετασχηματισμό από και προς το σύστημα ΕΓΣΑ'87, χρησιμοποιώντας συνολικά 2000 περίπου τριγωνομετρικά σημεία σε ολόκληρη την Ελλάδα και παρήχθησαν παράμετροι μετασχηματισμού από και προς το σύστημα ΕΓΣΑ 87 και της εγκάρσιας προβολής του ΤΜ 87. Επίσης προτάθηκε και μια νέα προβολή για την απεικόνιση στο γεωδαιτικό σύστημα του HTRS07.

Οι θέσεις των σταθμών του δικτύου υπολογίστηκαν από συνεχείς καταγραφές δεκατεσσάρων ημερών χρησιμοποιώντας επίσης το πρόγραμμα BERNESE. Οι συντεταγμένες αναφέρονται στο σύστημα ETRF 2005, το οποίο αποτέλεσε το τρέχων σύστημα αναφοράς την εποχή των υπολογισμών [8].

Όσον αφορά το δίκτυο «Ερμής» το σύνολο των πέντε σταθμών επιλύθηκε συνολικά ως δίκτυο με αναφορά έχουν επιλυθεί συνολικά σε δίκτυο ώστε να τους δοθούν οι αρχικές συντεταγμένες. Το σύστημα που επιλέχθηκε να αναφέρονται όλοι οι σταθμοί είναι το παγκόσμιο ITRF 05. Ο υπολογισμός της θέσης των σταθμών έγινε χρησιμοποιώντας παρατηρήσεις αρκετών ημερών με το πρόγραμμα BERNESE v.5.0 [3]. Ο υπολογισμός όλων των σταθμών σε αυτό το σύστημα αναφοράς δίνει την δυνατότητα σύνδεσης του δικτύου και με το ευρωπαϊκό ETRF ή με άλλο παγκόσμιο. Παράμετροι μετασχηματισμού από και προς το σύστημα ΕΓΣΑ'87 σε πρώτο στάδιο έχουν ήδη υπολογιστεί αλλά δεν είναι ακόμη διαθέσιμές καθώς είναι ακόμη στο στάδιο ελέγχου της αξιοπιστίας τους.

Η περίπτωση της Ελλάδας παρουσιάζει αρκετές ιδιαιτερότητες σε αντίθεση με πολλές ευρωπαϊκές χώρες. Το κυριότερο μειονέκτημα είναι η πολυμορφία στα γεωδαιτικά και προβολικά συστήματα που κατά καιρούς χρησιμοποιήθηκαν και που παραμένουν ακόμη σε χρήση για την νομική διάσταση που περιλαμβάνουν. Με βάση το συγκεκριμένο πρόβλημα ένα δίκτυο μόνιμων σταθμών GPS θα πρέπει οπωσδήποτε να είναι συμβατό τουλάχιστον με το κυριότερο γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς ΕΓΣΑ'87 και την προβολή του ΤΜ'87. Συγκεκριμένα θα πρέπει να διερευνηθεί η συμβατότητα όσον αφορά την ακρίβεια του υπάρχοντος συστήματος ΕΓΣΑ 87, του οποίου οι συντεταγμένες των τριγωνομετρικών σημείων αλλά και τα τοπογραφικά διαγράμματα που έχουν ήδη παραχθεί παλιότερα δεν συμβαδίζει με την υψηλή ακρίβεια του συστήματος του HEPOS, δηλαδή απαιτείται ενημέρωση και υπολογισμός των μετακινήσεων των σημείων.

Επίσης μια παράμετρος ακόμη που θα πρέπει να διερευνηθεί είναι και ο υψομετρικός προσδιορισμός με το σύστημα HEPOS που θα περιλαμβάνει και την προσαρμογή ενός μοντέλου γεωειδούς στον Ελληνικό χώρο.

V. ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Η ύπαρξη πολλών δικτύων μόνιμων σταθμών αποτελεί πλεονέκτημα για τους μελετητές που έχουν την δυνατότητα επιλογής, αλλά θα πρέπει να τηρούνται και ορισμένες κοινές αρχές λειτουργίας προκειμένου να μην αυξηθεί ακόμη περισσότερο η πολυμορφία των Ελληνικών γεωδαιτικών και προβολικών συστημάτων αναφοράς.

Η υιοθέτηση ενός νέου συστήματος αναφοράς όπως και στην περίπτωση του HEPOS είναι απαραίτητη για τη σωστή λειτουργία του συστήματος γιατί θα πρέπει να είναι απαλλαγμένο από τα σφάλματα των παλιότερων επιλύσεων.

Η εισαγωγή επίσης και ενός νέου συστήματος προβολής πέραν των υπαρχόντων είναι απαραίτητη ώστε να μπορεί το δίκτυο των σταθμών GNSS να λειτουργεί αυτόνομα, καλό όμως είναι το νέο σύστημα να μην αντικαταστήσει το υπάρχον γεωδαιτικό σύστημα ΕΓΣΑ'87 το οποίο θα πρέπει να διατηρηθεί σαν εθνικό σύστημα αναφοράς. Επίσης θα πρέπει να υπάρχει και δυνατότητα σύνδεσης του νέου συστήματος με το παλιότερο Ελληνικό Datum και τα προβολικό σύστημα Hatt, αφού ακόμη υπάρχουν αρκετά τοπογραφικά διαγράμματα με σημαντικές πληροφορίες που λειτουργούν ως αναφορά για το ιδιοκτησιακό καθεστώς σε μεγάλες περιοχές του ελληνικού χώρου. Συνοψίζοντας τα παραπάνω μπορούμε να πούμε ότι καλό θα ήταν να ακολουθηθούν οι παρακάτω προϋποθέσεις ώστε να επιτευχθεί μια πλήρης αξιοποίηση των δυνατοτήτων ενός ελληνικού δικτύου GNSS :

- Όλα τα συστήματα θα πρέπει να έχουν συμβατότητα ως προς το σύστημα αναφοράς του HEPOS και το ΕΓΣΑ '87 κατ' επέκταση.

- Το σύστημα αναφοράς ενός δικτύου μόνιμων σταθμών GNSS θα πρέπει να είναι συμβατό με τα παγκόσμια και ευρωπαϊκά συστήματα ITRF και ETRF και θα πρέπει να υιοθετηθεί μια μεθοδολογία ενημέρωσης του με υπολογισμό ταχυτήτων για τα σημεία του δικτύου.

- Η υπηρεσία που είναι αρμόδια για την μέτρηση και τον υπολογισμό του κρατικού δικτύου θα πρέπει επίσης να εναρμονιστεί με τις νέες δορυφορικές τεχνικές και οι συντεταγμένες που θα παρέχει για τριγωνομετρικά της σημεία να είναι πλήρως συμβατές με τα σύγχρονα δίκτυα GNSS.

- Θα πρέπει να υιοθετηθεί μια μεθοδολογίας ενημέρωσης των υπαρχόντων τοπογραφικών διαγραμμάτων ώστε να εξασφαλιστεί ένα μην υπάρχουν σφάλματα στις αλληλεπικαλύψεις.

Η νέες τεχνικές μέτρησης με τα δορυφορικά συστήματα αποτελεί και μια ευκαιρία να αναβαθμιστεί και η ποιότητα των παρεχόμενων γεωδαιτικών δεδομένων η οποία με τη σειρά της θα οδηγήσει και σε μια υψηλής ακριβείας ποιότητα τοπογραφικών και χαρτογραφικών προϊόντων στο Ελληνικό χώρο γενικότερα.

V. ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ο συγγραφέας ευχαριστεί τον επίκουρο καθηγητή του τμήματος Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του Α.Π.Θ. κ. Χρήστο Πικριδά για τις χρήσιμές υποδείξεις του.

VI. ΑΝΑΦΟΡΕΣ

[1] Φωτίου Α., Πικριδάς Χ., GPS και Γεωδαιτικές Εφαρμογές, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη, 2006.

[2] Stylianidis E., Spatalas S., Pikridas C., Patias P., «Mobile mapping applications based on the Cyprus permanent GPS network», Proceeding of 5th International Symposium on Mobile Technology (MMT), Organized by IAG-FIG-ISPRS, Padova, Italy, 28-31 May, 2007.

[3] Fotiou A., Pikridas C., Rossikopoulos D., Spatalas S., Tsioukas V. and Katsougiannopoulos S., "The Hermes GNSS NtripCaster of AUTh", EUREF 2009 Symposium, May 27-30 2009, Florence Italy.

[4] Lenz E. «Networked Transport of RTCM via Internet Protocol (NTRIP) –Application and Benefit in Modern Surveying Systems», FIG Working Week 2004, Athens, Greece, May 22-27, 2004.

[5] Weber G., Gebhard H., Kalafus R., "Networked Transport of RTCM via Internet Protocol (Ntrip) – IP-Streaming for Real-Time GNSS Applications", ION GNSS 18th International Technical Meeting of the Satellite Division, 13-16 September 2005, Long Beach, CA.

[6] Πικριδάς Χ., Φωτίου Α. και Βλαχάκης Β., «Προσδιορισμός θέσης με χρήση εικονικών σταθμών αναφοράς GPS. Εφαρμογή στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης», Τεχνικά χρονικά. Επιστημονική έκδοση ΤΕΕ, τεύχος 1, σελ. 33-41, 2010.

[7] Δεληκαράογλου Δ. «Διαφαινόμενες προοπτικές από τη δικτυακή υποδομή του HEPOS για τη μετάδοση χωρικών πληροφοριών μέσω υπηρεσιών web και ασύρματων κινητών συσκευών», Πρακτικά 9ου Εθνικού Συνεδρίου Χαρτογραφίας – Χανιά 2-4 Νοεμβρίου 2006.

[8] Katsampalos K., Kotsakis C., Gianniou M. "Hellenic Terrestrial Reference System 2007 (HTRS07): a regional densification of ETRS89 over Greece in support of HEPOS", EUREF 2009 Symposium, May 27-30 2009, Florence Italy.

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ

Συμεών Κατσουγιαννόπουλος
Τμήμα Γεωπληροφορικής & Τοπογραφίας
Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Σερρών
Τέρμα Μαγνησίας
62124 Σέρρες - ΕΛΛΑΣ

Τηλ.: 2321049247, Φαξ: 2321049247
E-mail: skatso@teiser.gr

Χωρογραφίες/ Τόμος 1/ Αρ 1/ 2010 – σελ 9-15