

BeiDou: Ο ρόλος του σε εφαρμογές GNSS υψηλής ακρίβειας

Η Leica Geosystems AG κατέχει ηγετική θέση στον παγκόσμιο χάρτη του εντοπισμού GNSS, ενσωματώνοντας καινοτόμες μεθόδους για την παροχή υπηρεσιών GNSS υψηλής ακρίβειας. Με την ένταξη νέων σημάτων GNSS όπως το BeiDou και άλλων που θα προστεθούν προσεχώς, και με την αύξηση της διαθεσιμότητας του αριθμού των δορυφόρων, απαιτείται χρήση νέων μεθόδων για πλήρη εκμετάλλευση και αξιοποίηση τους. Εντούτοις, για την υλοποίηση όλων των δυνατοτήτων των νέων συστημάτων, πρέπει να γίνει κατανοητό ποια πλεονεκτήματα μπορούν να προσφέρουν, όταν χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές GNSS υψηλής ακρίβειας. Σε αυτήν την μελέτη παρουσιάζονται κάποια αποτελέσματα από την ενσωμάτωση του BeiDou στις τεχνολογίες GNSS της Leica Geosystems AG. Αναλύεται η ισχύς του σήματος BeiDou και η απόδοση εντοπισμού κώδικα – φάσης αξιολογείται σε επίπεδα πολυανάκλασης (multipath) και θορύβου. Περαιτέρω ευρήματα δείχνουν ότι μέσω της αφομοίωσης δεδομένων BeiDou μπορεί να επιτευχθεί σημαντική βελτίωση στον εντοπισμό GNSS, καθώς και κάποιες προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπιστούν προκειμένου να παράγεται η υψηλότερη ποιότητα θέσης GNSS σε όλα τα περιβάλλοντα, χωρίς συμβιβασμούς στην αξιοπιστία.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ: Το δορυφορικό σύστημα πλοήγησης BeiDou (BDS) έχει επικεντρωθεί στη βελτίωση επίγειων και διαστημικών τομέων, για τη δημιουργία εντοπισμού υψηλής ακρίβειας, πλοήγησης και υπηρεσιών χρονισμού. Τον Δεκέμβριο του 2012, ο αρμόδιος φορέας της Κίνας για δορυφορική πλοήγηση (CSNO – China Satellite Navigation Office) εξέδωσε το επίσημο έγγραφο Signal-in-Space Interface Control Document (ICD; ICD-BeiDou, 2012) και ανακοίνωσε τη λειτουργία του συστήματος πάνω από την περιοχή Ασίας – Ειρηνικού. Η ανακοίνωση του ICD παρότρυνε την Leica Geosystems στην αναβάθμιση του λογισμικού της για να υποστηρίζεται πλήρως ο σχηματισμός BeiDou στις τεχνολογίες Leica GNSS Viva: Leica SmartTrack, Leica SmartCheck, Leica xRTK. Προηγούμενες εργασίες πάνω στην εισαγωγή των Glonass στον εντοπισμό RTK της Leica Geosystems έδειξε βελτιωμένη παραγωγικότητα, αξιοπιστία, εσωτερική και πραγματική ακρίβεια, ιδιαίτερα σε επιβαρυσμένα περιβάλλοντα παρατήρησης (Takac and Walford, 2006). Αυτό υποδηλώνει ότι η ένταξη του BeiDou στα συστήματα Leica Viva GNSS μπορεί να επιφέρει μία σειρά από οφέλη στους χρήστες GNSS υψηλής ακρίβειας. Μαζί με παρατηρήσεις GPS & Glonass, οι παρατηρήσεις BeiDou αναλύονται σε αυτήν την εργασία με σκοπό την μελέτη των χαρακτηριστικών σήματος και τα πιθανά οφέλη για τα συστήματα Leica Viva GNSS.

BeiDou : Επί του παρόντος, καλύπτει την ευρύτερη περιοχή Ασίας – Ειρηνικού (πληροφορίες 2013, σήμερα έχει επεκταθεί πού περισσότερο) με έναν σχηματισμό έξι δορυφόρων γεωστατικής τροχιάς (GEO-Geostationary Earth Orbit, PRN C1-C5), οκτώ δορυφόρων ελλειπτικής γεωσύγχρονης τροχιάς (IGSO, PRNC6-C10) και έξι δορυφόρων μεσαίας περιόδου γη τροχιάς (MEO, C11-C14), συνολικά 20* (*Κατάσταση λίστας όπως καταγράφεται το Νοέμβριο 2016, πηγή Wikipedia). Οι δορυφόροι γεωστατικής τροχιάς (GEO) παραμένουν πάντα πάνω από τον Ινδικό και Ειρηνικό Ωκεανό, ενώ οι δορυφόροι IGSO βελτιώνουν τη διαθεσιμότητα τους (high elevation) σε πυκνοκατοικημένες περιοχές (Montenbruck et al., 2013). Η χρήση των δορυφόρων GEO & IGSO είναι ένα ιδιαίτερο χαρακτηριστικό του σχηματισμού BeiDou, το οποίο επιτρέπει τοπικές – περιφερειακές υπηρεσίες επί του παρόντος και θα τις ενισχύσει στο μέλλον, όσον αφορά δορυφορική διαθεσιμότητα, όταν το σύστημα θα είναι σε πλήρη λειτουργία και σε παγκόσμιο επίπεδο (Ge, 2013). Οι δορυφόροι BeiDou εκπέμπουν σήματα σε τρεις συχνότητες (B1, B2, B3), που έχουν κοινά χαρακτηριστικά με τους GPS & Galileo, π.χ. CDMA. Οι συχνότητες B1, B2 και B3 είναι αρκετά κοντά στις GPS L1, GPS L5 & Galileo E6 αντίστοιχα (Ge, 2013). Τα τρέχοντα ρολόγια ρουβιδίου BeiDou είναι ανταγωνιστικά με παλαιότερης γενιάς πρότυπα συχνοτήτων GPS και με τα ρολόγια ρουβιδίου GIOVE-A/B (Montenbruck et al., 2013). Με δεδομένο ότι οι δορυφόροι GEO & IGSO έχουν περιορισμένες τροχιακές κινήσεις όσον αφορά τον αισθητήρα GNSS, οι εκτιμήσεις ακριβείας ρολογιού και τροχιάς είναι πιο απαιτητικές από δορυφόρους MEO. Με το βλέμμα στραμμένο προς το μέλλον, οι εφαρμογές και τα προϊόντα BeiDou θα βελτιώνονται μέσω αύξησης δορυφόρων MEO, ταχείας εγκατάστασης σταθμών monitoring και διαθεσιμότητας ακριβέστερων παραμέτρων βαθμονόμησης κεραιών GNSS (Shi et al., 2013).

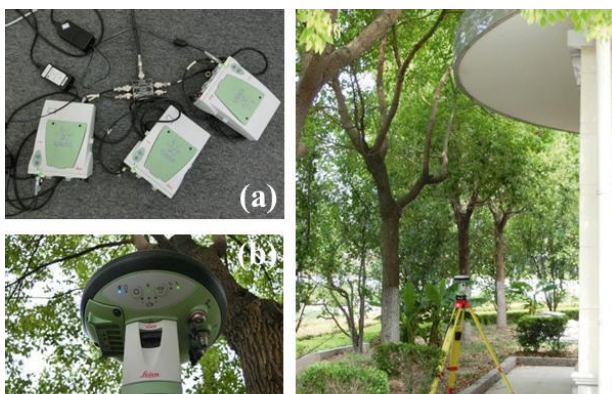


Figure 1: Δομή zero-baseline στατικής παρατήρησης (a) και δοκιμή GNSS RTK σε συνθήκες πυκνής δεντροκάλυψης (b & c).

ΣΥΛΛΟΓΗ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΩΝ: Πρακτικά, η ένταξη του BeiDou στην επεξεργασία GNSS RTK υλοποιείται σε αρκετά, διαφορετικά στάδια: το βασικότερο από αυτά είναι η λήψη των πρωτογενών δεδομένων και η ενσωμάτωση τους στους αλγορίθμους εντοπισμού RTK. Για να εκτιμηθεί η απόδοση του σήματος BeiDou, συλλέχθηκαν πρωτογενείς μετρήσεις GNSS απευθείας από τον δέκτη Leica Viva GNSS, μαζί με πληροφορίες almanacs δορυφόρων, χωρίς ενδιάμεσα στάδια προ-επεξεργασίας και ομαλοποίησης σήματος (smoothing). Για την δοκιμή στατικής μέτρησης, έγινε χρήση μίας δομής μηδενικής βάσης (zero-baseline) για την εξάλειψη κοινών εξωτερικών παραγόντων σφάλματος και για την μέτρηση πρωτογενούς «θορύβου» παρατηρήσεων φάσης GNSS σε επίπεδο μονών διαφορών. Στο πείραμα αυτό, έγινε χρήση δύο δεκτών Leica Viva GS10 συνδεδεμένων σε μία κεραία Leica Viva AS10 μέσω ενός τετραπλού splitter σήματος κεραίας (Fig. 1a). Έγινε συλλογή 24

ωρών δεδομένων GNSS από τις τοποθεσίες δοκιμής της Σανγκάης σε περιβάλλοντα ανοιχτού ουρανού και ορίζοντα για την επίτευξη πλήρους διέλευσης των δορυφόρων MEO και για μεγιστοποίηση της λήψης των δορυφόρων GEO & IGSO. Επιπρόσθετα, έγινε δοκιμή RTK σε μικρή βάση 5km, όπου έγινε λήψη παρατηρήσεων GNSS 3 ωρών από δέκτη Leica GS15 μέσα σε πυκνή δεντροκάλυψη (Fig. 1b and c). Από την ανάλυση δεδομένων σε δύσκολα και απαιτητικά περιβάλλοντα, αξιολογήθηκαν τα οφέλη της ενσωμάτωσης του σχηματισμού BeiDou στους αλγορίθμους Leica RTK σε επίπεδο θέσης.

Ενσωμάτωση BeiDou με τις τεχνολογίες Leica Viva GNSS

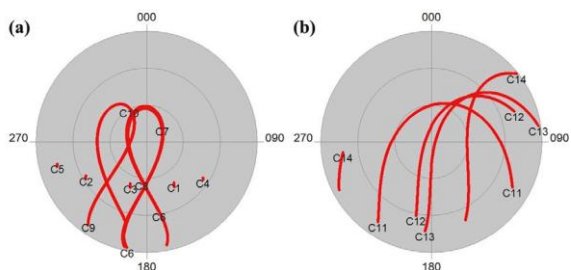


Figure 2. Απεικόνιση ουρανού τροχιών BeiDou στις 24 Αυγούστου 2013 δορυφόρων GEO & IGSO(a), δορυφόροι MEO (b).

δορυφόροι MEO C11-C14 απεικονίζουν τροχιακές κινήσεις με μεγαλύτερη μεταβλητότητα και φτάνουν και ως το μέγιστο αζιμούθιο των 88.6° (C13 στο Fig.2b). Ο συνδυασμός των GEO, IGSO & MEO επιτρέπει την ταυτόχρονη παρακολούθηση μέχρι και 10 δορυφόρων BeiDou σε συνθήκες ανοιχτού ορίζοντα δίχως εμπόδια.

Ισχύς Σήματος: Όπως περιγράφει ο Luo (2013, Sect 5.1), η ισχύς του σήματος GNSS που λαμβάνεται εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως στην ευαισθησία και απόδοση του δέκτη και της κεραίας, στην απόσταση μεταξύ δορυφόρου και δέκτη, στη γωνία ανύψωσης και αζιμούθιο του εισερχομένου σήματος κ.λπ. Η αναλογία σήματος προς θόρυβο (SNR) σε σχέση με την γωνία παρατήρησης όπως εντοπίζεται και αξιολογείται από δέκτη Leica Viva GS10 με κεραία AS10 για το σύνολο σημάτων GPS, Glonass, BeiDou απεικονίζεται στο Fig. 3a & b.

Πολυανάκλαση Κώδικα

Για την εκτίμηση της πολυανάκλασης κώδικα, εφαρμόζεται ο συνδυασμός πολυανάκλασης, ο οποίος εξαλείφει την ιονοσφαιρική επίδραση πρώτου βαθμού και το γεωμετρικό εύρος μεταξύ δορυφόρου και δέκτη (Estey and Meertens, 1999; Shi et al., 2013). Τα αποτελέσματα σε σχέση με γωνία ανύψωσης δορυφόρου απεικονίζονται στο Fig. 4a για τις αντίστοιχα εύρη συχνοτήτων L1, G1, B1. Η πολυανάκλαση κώδικα μειώνεται καθώς αυξάνεται η γωνία ανύψωσης, προσεγγιστικά από 1m σε χαμηλές γωνίες μέχρι 0.2m σε υψηλές. Η συμπερίληψη των δορυφόρων GEO: C5 (13.9°-15.1°), C2 (31.6°-33.3°), C4 (34.4°-35.6°) και C3 (50.1°-53.4°) μειώνει σημαντικά τα τιμές RMS για τα διαστήματα ανύψωσης [10°, 15°], [30°, 35°] και [50°, 55°](βλ. μαύρες κουκίδες στο Fig. 4a). Σχετικά με το skyplot (απεικόνιση ουρανού) πολυανάκλασης που φαίνεται στο Fig. 4b, παρατηρείται ότι οι δορυφόροι IGSO επηρεάζονται εντονότερα από το φαινόμενο πολυανάκλασης σε σχέση με τους MEO σε κοινές γωνίες ανύψωσης.

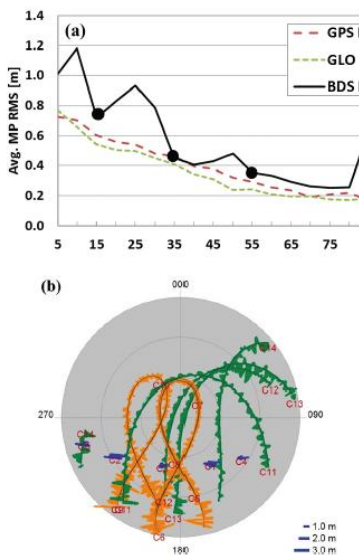


Figure 4 Σύγκριση σφαλμάτων λόγω πολυανάκλασης κώδικά (MP)(Σανγκάη, συνθήκες ανοιχτού ορίζοντα, 24 Αυγούστου 2013), (a) Multipath vs. Elevation για GPS L1, Glonass G1 & BeiDou B1, (b) skyplot πολυανάκλασης για τον δορυφορικό σχηματισμό BeiDou.

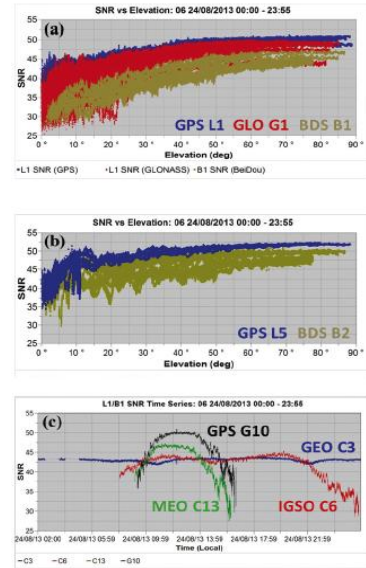


Figure 3 Αναλογία σήματος προς θόρυβο (SNR in dB-Hz) για εντοπισμό σήματος GPS, Glonass & BeiDou (δέκτης Leica Viva GS10 & κεραία Leica AS10, Σανγκάη, συνθήκες ανοιχτού ορίζοντα, 24 Αυγούστου 2013), (a) SNR vs. Elevation for L1/G1/B1, (b) SNR vs, elevation for L5/B2, (c) Παραδείγματα χρονοσειράς SNR, L1/B1.

Θόρυβος Φάσης

Ο στόχος της δοκιμής στατικής παρατήρησης μηδενικής βάσης (zero-baseline) είναι η αξιολόγηση της απόδοσης του δέκτη και η μελέτη των επιπέδων θορύβου των πρωτογενών παρατηρήσεων φάσης GNSS. Υπολογίζοντας μονές διαφορές (SD-Single Differences) με γνωστές Fixed συντεταγμένες, μπορούν να εξαλειφθούν εξωγενείς πηγές σφαλμάτων, όπως σφάλματα δορυφορικών ρολογιών και τροχιών, ατμοσφαιρικές επιδράσεις και επιδράσεις πολυανάκλασης σχετικές με την τοποθεσία (site-specific) (Amiri0Simko0eei and Tibenius, 2007). Τα αποτελέσματα απεικονίζονται στην Fig. 5 γραφικά σε σχέση με δορυφορικό σχηματισμό GNSS προς την δορυφορική συνιστώσα BeiDou. Για τις συχνότητες L1, G1, B1 σε GPS, Glonass και BeiDou αντίστοιχα, οι παρατηρήσεις φάσης της G1 παρουσιάζουν τα υψηλότερα επίπεδα θορύβου στο Fig. 5a, που μειώνονται καθώς αυξάνεται η γωνία ανύψωσης και κυμαίνονται από 3mm έως 0.5mm. Σε σχέση με την L1, ο θόρυβος φάσης των παρατηρήσεων της B1 των δορυφόρων MEO BeiDou είναι ελαφρώς μεγαλύτερος αλλά λιγότερο εξαρτώμενος στην γωνία ανύψωσης. Αυτό υποδηλώνει ότι τα σήματα MEO BeiDou μπορούν να εντοπιστούν με αξιοπιστία με την τεχνολογία Leica Viva SmartTrack ακόμα και σε χαμηλές γωνίες ανύψωσης. Για τις διαφορετικές ομάδες δορυφόρων BeiDou, η Fig. 5b απεικονίζει τη συμπεριφορά θορύβου της συχνότητας B1. Στην Fig. 5c, το σήμα της MEO B2 παρουσιάζει παρόμοια επίπεδα θορύβου με την GPS L5, με προφανή βελτίωση σε χαμηλές γωνίες ανύψωσης. Η Fig. 6 απεικονίζει τον θόρυβο φάσης μονών διαφορών προς γωνία ανύψωσης για τους δορυφόρους BeiDou GEO, IGSO & MEO. Τα σφάλματα αυτά χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των RMS σφαλμάτων που φαίνονται στην Fig. 5b. Οι GEO δορυφόροι C5 και C2 παρουσιάζουν μεγαλύτερες διακυμάνσεις στην Fig. 6a, κάτι που εξηγείται από τις μικρές γωνίες ανύψωσης. Επίσης, σημαντικά περισσότερες απώλειες κύκλων (cycle slips) παρατηρούνται για τους ακόλουθους δύο δορυφόρους GEO: (C5: 4478, C2: 1317 για τον δέκτη 1; C5: 3208, C2: 1020 για τον δέκτη 2).

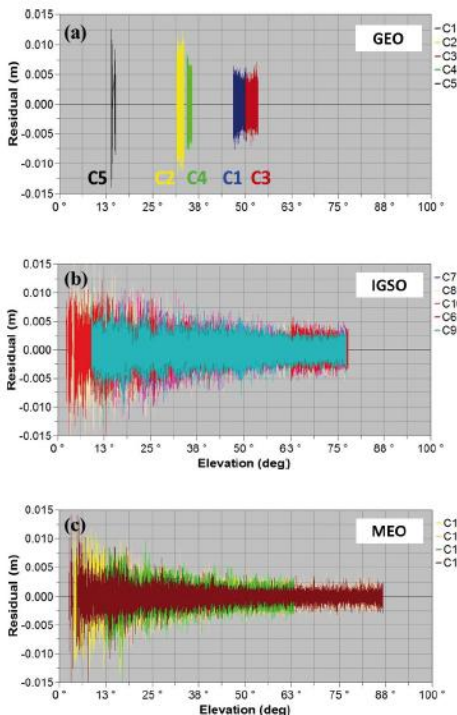


Figure 6 Σφάλματα φάσης μονών διαφορών (SD) προς γωνία ανύψωσης για την συχνότητα BeiDou B1 (Δοκιμή zero-baseline στην Σανγκάη, συνθήκες ανοιχτού ορίζοντα, 24 Αυγούστου 2013)

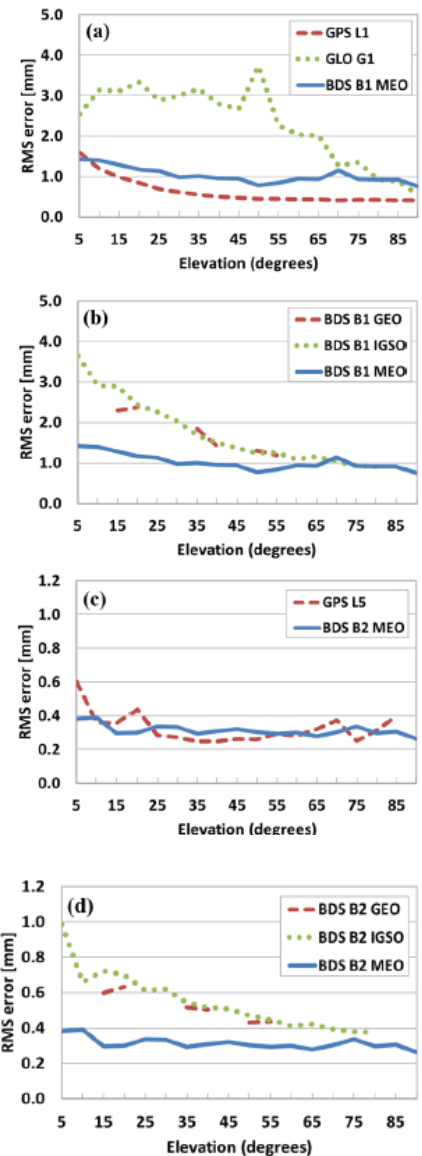


Figure 5 Σύγκριση RMS σφαλμάτων μονών διαφορών (SD) με αναφορά τον σχηματισμό GNSS και προς τη δορυφορική συνιστώσα BeiDou (Δοκιμή zero-baseline στην Σανγκάη, συνθήκες ανοιχτού ορίζοντα, 24 Αυγούστου 2013).

Συγκρίνοντας τα σχήματα Fig. 6b & c μεταξύ τους, εξάγεται το συμπέρασμα ότι οι δορυφόροι IGSO έχουν υψηλότερο επίπεδο θορύβου

από του MEO. Αυτό συμπίπτει με την ανάλυση SNR παραπάνω (βλ. Fig. 3) και μπορεί να οφείλεται στα διαφορετικά τροχιακά υψόμετρα. Οι δορυφόροι GEO & IGSO κρίνονται κατάλληλοι για εφαρμογές RTK, έχοντας επίπεδα θορύβου τάξης mm. Σύμφωνα με την Fig. 6 οι μέγιστες γωνίες ανύψωσης που επιτυγχάνονται για τους δορυφόρους GEO, IGSO & MEO είναι 53.4° (C3), 77.8° (C6) και 86.7° (C13) αντίστοιχα (βλ. Fig. 2). SmartCheck & xRTK σε δύσκολες συνθήκες μέτρησης, όπως σε πυκνή βλάστηση και «αστικά φαράγγια» (urban canyons), η ακρίβεια και η διαθεσιμότητα θέσης RTK μπορούν να περιοριστούν από μερική ή πλήρη εμπλοκή σημάτων GNSS. Στην Fig. 7 απεικονίζεται η ορατότητα στην δοκιμαστική τοποθεσία «πυκνής βλάστησης και δεντροκάλυψης» στην Σανγκάη για περίοδο 3 ωρών στις 23 Αυγούστου, 2013 (Fig. 1b&c). Ο αριθμός των διαθέσιμων δορυφόρων κυμαίνεται από 8 έως 21, (Πίνακας 1), και εξαρτάται από τον δορυφορικό σχηματισμό. Ο σχηματισμός BeiDou παράγει μικρότερο εύρος ορατών δορυφόρων σε σύγκριση με τον σχηματισμό GPS και συνεισφέρει με μεγαλύτερο αριθμό δορυφόρων ανά εποχή σε σύγκριση με τον σχηματισμό Glonass. Η μεγαλύτερη συνεισφορά του BeiDou μπορεί να αποδοθεί στην χρήση των δορυφόρων GEO & IGSO και τονίζει τα

οφέλη ενός τοπικού – περιφερειακού συστήματος σε σύγκριση με τα ήδη υπάρχοντα παγκόσμια συστήματα, όπως τα GPS & Glonass.

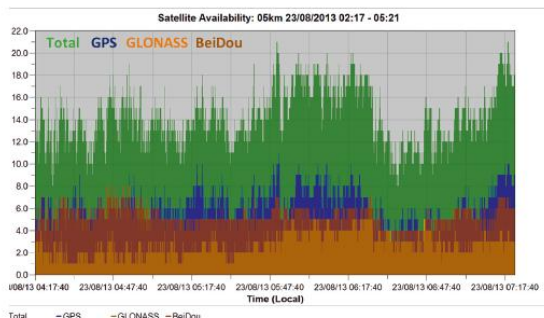


Figure 7 Διαθεσιμότητα δορυφόρων GNSS (RTK δοκιμή με βάση 5km, συνθήκες πυκνής βλάστησης, Σανγκάη, 23 Αυγούστου 2013).

Constellation	Mean	Min	Max
GNSS	14.3	8	21
GPS	6.3	3	11
GLONASS	2.7	1	5
BeiDou	5.3	4	8

Πίνακας 1 Στατιστικά αριθμού ορατών δορυφόρων (βλ. Fig. 7)

Στην Fig. 8 γίνεται σύγκριση των υψομετρικών σφαλμάτων θέσεων RTK, που παράγονται με την χρήση της τεχνολογίας SmartCheck με διαφορετικούς σχηματισμούς GNSS. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα, η ενσωμάτωση του BeiDou στο SmartCheck αυξάνει την διαθεσιμότητα θέσης RTK – υψηλής ακρίβειας από 0.21% (GPS/Glonass) σε 20.82% (GPS/Glonass/BeiDou) κατά τη διάρκεια της τριώρης περιόδου, όπως φαίνεται στον Πίνακα 2. Στην περίπτωση του xRTK, η διαθεσιμότητα θέσης βελτιώνεται κατά περίπου 10%, από 9.74% (GPS/Glonass) σε 18.47% (GPS/Glonass/BeiDou). Αναφορικά με τα αποτελέσματα RKT συνολικά, η διαθεσιμότητα θέσης γενικά μπορεί να βελτιωθεί κατά περίπου 30%, αυξάνοντας σημαντικά την παραγωγικότητα σε δύσκολα περιβάλλοντα.

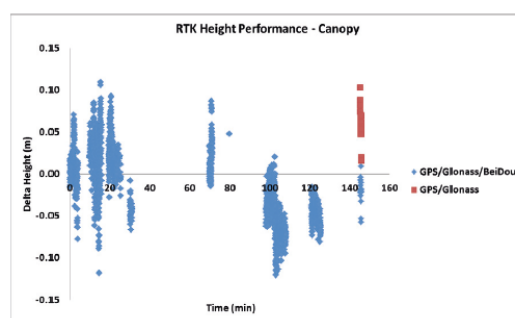


Figure 8 Υψομετρικά σφάλματα RTK με χρήση διαφορετικών σχηματισμών GNSS (RTK δοκιμή με βάση 5km, συνθήκες πυκνής βλάστησης, Σανγκάη, 23 Αυγούστου 2013).

Ο Πίνακας 3 παρέχει πληροφορίες ακρίβειας και διαθεσιμότητας εντοπισμού και θέσης RTK σε GPS/Glonass & GPS/Glonass/BeiDou, υπό τις ίδιες συνθήκες πυκνής βλάστησης. Οι επιλύσεις GPS/Glonass RTK παράγουν πολύ ακριβή αποτελέσματα, ιδίως στην συνιστώσα υψομέτρου. Εντούτοις, ο μικρός αριθμός θέσεων RTK από GPS/Glonass περιορίζει το δείγμα σύγκρισης σε μία μόνο ενιαία ομάδα μέτρησης θέσεων, περιορίζοντας και την απόδοση μίας απευθείας σύγκρισης (βλ. χρονική στιγμή 150, Fig. 8). Λαμβάνοντας υπόψη τις δυσμενείς συνθήκες μέτρησης, ο συνδυασμός GPS/GLONASS/BeiDou παρέχει εξίσου θέσεις RTK μεγάλης ακρίβειας και στις 2 συνιστώσες, οριζοντιογραφικά και υψομετρικά.

Constellation	RTK	xRTK	Total
GPS/GLONASS	0.21	9.74	9.95
GPS/GLONASS/BeiDou	20.82	18.47	39.29

Πίνακας 2 Διαθεσιμότητα θέσης (%) που επιτυγχάνεται με χρήση διαφορετικών σχηματισμών GNSS (RTK δοκιμή με βάση 5km, Σανγκάη)

Αν και τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στο συγκεκριμένο παράδειγμα είναι άμεσα συνδεδεμένα με την τοποθεσία (Σανγκάη), αναδεικνύουν τα οφέλη της προσθήκης του σχηματισμού BeiDou στις ήδη υπάρχουσες τεχνολογίες Leica Viva GNSS. Η αύξηση διαθεσιμότητας της λειτουργίας RTK, είναι σημαντικό πλεονέκτημα για τους χρήστες RTK οι οποίοι εργάζονται συνήθως σε δύσκολα περιβάλλοντα μέτρησης.

GNSS constellation	Position precision			Position availability
	N	E	H	
GPS/GLONASS	8.8	6.1	1.9	9.95
GPS/GLONASS/BeiDou	9.6	9.6	4.1	39.29

Πίνακας 3 Ακρίβεια (cm) και διαθεσιμότητα (%) θέσης RTK που επιτυγχάνεται με χρήση διαφορετικών σχηματισμών GNSS (βάση 5km, Σανγκάη).

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με την ολοκλήρωση του (2020) το σύστημα BeiDou θα διαδραματίσει έναν πολύ σημαντικό ρόλο σε εφαρμογές GNSS υψηλής ακρίβειας για όλους τους χρήστες παγκοσμίως. Τα πιθανά οφέλη αυτού του νέου δορυφορικού σχηματισμού και τα κυριότερα ευρήματα αυτής της μελέτης συνοψίζονται στα εξής:

1. Με την εφαρμογή της τεχνολογίας Leica Viva SmartTrack, επιτυγχάνεται εξαιρετική ισχύς σήματος. Η ποιότητα σήματος των δορυφόρων GEO είναι χρονικά σταθερή, ενώ οι τιμές SNR είναι μεγαλύτερες για τους δορυφόρους MEO από τις αντίστοιχες των IGSO σε κοινές γωνίες ανύψωσης.

2. Το επίπεδο πολυανάκλασης κώδικα (code multipath) είναι υψηλότερο για το σύστημα BeiDou συγκριτικά με τα συστήματα GPS και Glonass. Οι δορυφόροι IGSO επηρεάζονται εντονότερα από το φαινόμενο πολυανάκλασης από τους δορυφόρους MEO, ιδίως σε μικρές γωνίες ανύψωσης.

3. Τα επίπεδα θορύβου των παρατηρήσεων φάσης του BeiDou σε μονές διαφορές (SD) κυμαίνεται περίπου σε 0.3 – 3.6mm, όπου η συχνότητα B2 παρουσιάζει καλύτερη απόδοση από την B1 σχετικά με τον θόρυβο σήματος. Τα σήματα MEO φαίνονται να έχουν παρόμοια επίπεδα θορύβου με το GPS χαμηλότερο συντελεστή συσχέτισης με την γωνία ανύψωσης, συγκριτικά με τα σήματα GEO & IGSO.

4. Κατά τη συγκεκριμένη δοκιμή RTK, με την ενσωμάτωση του BeiDou παρουσιάζεται μία αύξηση του αριθμού ορατών δορυφόρων κατά 4 – 8. Αυτό ενισχύει την απόδοση του SmartCheck παρέχοντας περισσότερες επιλύσεις θέσης RTK Fixed, αυξάνοντας γενικότερα τη διαθεσιμότητα και την αξιοπιστία.

5. Σε συνθήκες πυκνής βλάστησης και δεντροκάλυψης, η προσθήκη παρατηρήσεων BeiDou στο RTK και στο xRTK μπορεί να βελτιώσει τη διαθεσιμότητα θέσης μέχρι και 30%.

Σήμερα, ο σχηματισμός GPS εξακολουθεί να έχει τον σημαντικότερο ρόλο στις επιλύσεις GNSS. Η πολλά υποσχόμενη απόδοση του BeiDou παρουσιάζει ήδη σημαντικότερη συνεισφορά από τους δορυφόρους Glonass σε τοπική – περιφερειακή κλίμακα. Κατά τη διάρκεια της πλήρους ανάπτυξης του σχηματισμού BeiDou, μπορούμε να περιμένουμε ακόμα περισσότερα πλεονεκτήματα.

Αξίζει να σημειωθεί ότι το 90% των σταθμών του δικτύου SmartNet Greece υποστηρίζει ήδη, την χρήση του δορυφορικού σχηματισμού BeiDou παρέχοντας πολλαπλά οφέλη στους χρήστες όπως αυξημένη διαθεσιμότητα δορυφόρων, ταχύτερο fixing ακόμα και σε δύσκολες περιοχές όπου πριν ήταν σχεδόν αδύνατη η εργασία αλλά και μεγαλύτερες ακρίβειες.

Βιβλιογραφία

- Amiri-Simkooei, A. R., Tiberius, C. C. J. M. (2007) Assessing receiver noise using GPS short baseline time series. *GPS Solutions*, 11(1), 21–35. doi:10.1007/s10291-006-0026-8 Bilich, A., Larson, K. M. (2007) Mapping the GPS multipath environment using the signal-to-noise ratio (SNR). *Radio Science*, 42, RS6003. doi:10.1029/2007RS003652 Estey, L. H., Meertens, C. M. (1999) TEQC: the multi-purpose toolkit for GPS/GLONASS data. *GPS Solutions*, 3(1), 42–49. doi:10.1007/PL00012778 Fairhurst, P., Glueckert, U., Richter, B. (2011) Leica Viva GNSS receivers. White Paper, Leica Geosystems AG, Heerbrugg, Switzerland. Gao, G. X., Heng, L., Wong, G., Phelts, E., Blanch, J., Walter, T., Enge, P., Erker, S., Thoelet, S., Meurer, M. (2010) GPS in mid-life with an international team of doctors – Analyzing IIF-1 satellite performance and backward-compatibility. In: *Proceedings of ION GNSS 2010*, Portland, OR, September 21–24, 2010, pp. 1597–1604. Ge, M. (2013) BeiDou Navigation Satellite System and its potential precise positioning service. In: *GNSS 2013 – Schneller. Genauer. Effizienter*. 124. DVW-Seminar, Karlsruhe, March 14–15, 2013, DVW-Schriftenreihe, Band 70/2013, Wißner-Verlag, Augsburg, pp. 3–30. Greillier, T., Ghion, A., Dantepal, J., Ries, L., Delatour, A., Avila-Rodriguez, J. A., Wallner, S., Hein, G. W. (2007) COMPASS signal structure and first measurements. In: *Proceedings of ION GNSS 2007*, Fort Worth, TX, September 25–28, 2007, pp. 3015–3024. Hauschild, A., Montenbruck, O., Sleewaegen, J. M., Huisman, L., Teunissen, P. J. G. (2012) Characterization of Compass M-1 signals. *GPS Solutions*, 16(1), 117–126. doi:10.1007/s10291-011-0210-3 He, L., Ge, M., Wang, J., Wickert, J., Schuh, H. (2013) Experimental study on the precise orbit determination of the BeiDou Navigation Satellite System. *Sensors*, 13(3), 2911–2928. doi:10.3390/s130302911 ICD-BeiDou (2012) BeiDou Navigation Satellite System Signal In Space Interface Control Document Open Service Signal B1I (Version 1.0). China Satellite Navigation Office, December 2012, 77 pp. ICD-GLONASS (2008) Global Navigation Satellite System GLONASS Interface Control Document (Version 5.1). Russian Institute of Space Device Engineering, Moscow, 2008, 65 pp. ICD-GPS (1993) Interface Control Document: NAVSTAR GPS Space Segment/Navigation User Interfaces, ICD-GPS-200 (Revision C). ARINC Research Corporation, El Segundo, CA, October 10, 1993, 160 pp. Luo, X. (2013) GPS Stochastic Modelling – Signal Quality Measures and ARMA Processes. Springer Theses, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 331 pp. Montenbruck, O., Hauschild, A., Steigenberger, P., Hugentobler, U., Teunissen, P., Nakamura, S. (2013) Initial assessment of the COMPASS/BeiDou-2 regional navigation satellite system. *GPS Solutions*, 17(2), 211–222. doi:10.1007/s10291-012-0272-x Shi, C., Zhao, Q., Hu, Z., Liu, J. (2013) Precise relative positioning using real tracking data from COMPASS GEO and IGSO satellites. *GPS Solutions*, 17(1), 103–119. doi:10.1007/s10291-012-0264-x Takac, F. (2009) GLONASS inter-frequency biases and ambiguity resolution, *Inside GNSS*, 2(4), 24–28. Takac, F., Walford, J. (2006) Leica System 1200 – High performance GNSS technology for RTK applications. In: *Proceedings of ION GNSS 2006*, Fort Worth, TX, September 26–29, 2006, pp. 217–225. Zhang, S., Guo, J., Li, B., Rizos, C. (2011) An analysis of satellite visibility and relative positioning precision of COMPASS. In: *Symposium for Chinese Professionals in GPS*, Shanghai, C