

2. Τύποι Δεκτών – Είδη Μετρήσεων

2.1 Τύποι δεκτών - Είδη μετρήσεων

Οι δέκτες του συστήματος GPS (Σχ. 2.1) λαμβάνουν τα σήματα των δορυφόρων και στη συνέχεια υπολογίζουν την απόσταση μεταξύ δορυφόρου – δέκτη είτε με τη μέτρηση ψευδοαποστάσεως (χρήση κώδικα) είτε με τη μέτρηση της διαφοράς φάσης της φέρουσας συχνότητας μεταξύ δορυφόρου δέκτη, δηλαδή ανάλογα με τη μέθοδο μέτρησης που θα χρησιμοποιήσουμε. Τα κύρια μέρη ενός δέκτη GPS είναι :

1. Κεραία με προενισχυτή.
2. Τμήμα υψηλής συχνότητας για την επεξεργασία των σημάτων.
3. Υπολογιστική μονάδα για έλεγχο και προσδιορισμό θέσης.
4. Χρονομετρικό σύστημα ακριβείας.
5. Πηγή ηλεκτρικής ενέργειας.



Σχήμα 2.1: Κέντρωση δέκτη GPS σε τρίποδα (Aztech¹).

Οι δέκτες είναι συστήματα υψηλής τεχνολογίας που ποικίλουν σε δυνατότητες ανάλογα με τη χρήση για την οποία προορίζονται. Επειδή υπάρχει η ανάγκη παρακολούθησης τουλάχιστον τεσσάρων δορυφόρων (βέβαια πάντα πρέπει να επιδιώκεται η παρακολούθηση περισσότερων), κάθε δέκτης διαθέτει ανάλογο αριθμό διαύλων (channels) που είναι είτε **παράλληλοι δίαυλοι** (parallel channels) είτε **εναλλασσόμενοι δίαυλοι** (sequencing channels). **Στους παράλληλους**, κάθε δίαυλος παρατηρεί ένα διαφορετικό δορυφόρο, ενώ **στους εναλλασσόμενους** έχουμε εναλλαγή των δορυφόρων ανά συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα, ώστε κάθε δίαυλος να “σαρώνει” όλους τους διαθέσιμους δορυφόρους. Οι εναλλασσόμενοι έχουν χαμηλότερο κόστος, αλλά είναι πιο αργοί και γι’ αυτό πλέον έχουν σχεδόν αντικατασταθεί από τους παράλληλους.

¹ <http://products.thalesnavigation.com/>

Υπάρχουν τέσσερις βασικοί τύποι δεκτών, οι οποίοι διακρίνονται από τον κώδικα που χρησιμοποιούν και από την δυνατότητα, ή μη, να αξιοποιούν τις φέρουσες συχνότητες μέσω παρατηρήσεων διαφορών φάσης.

2.2 Τύποι δεκτών G.P.S.

Δέκτες ψευδοαποστάσεων από τον κώδικα C/A:

Το GPS εκτός από τις Τοπογραφικές και Γεωδαιτικές εφαρμογές όπου απαιτούνται υψηλές ακρίβειες, χρησιμοποιείται και σε πολλές εφαρμογές όπου οι απαιτήσεις σε ακρίβεια είναι μικρότερες. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην ορειβασία, στην αλιεία, στους περιπάτους, στην πλοήγηση πλοίων, αυτοκινήτων, κ.τ.λ. καθώς και σε μια πληθώρα άλλων εφαρμογών. Οι δέκτες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στις παραπάνω εφαρμογές είναι φορητοί δέκτες ευρείας χρήσεως (Σχ. 2.2 και 2.3), μικρής ακρίβειας και χαμηλού κόστους τους οποίους χρησιμοποιούν οι περιηγητές, τα σκάφη αναψυχής, τα αυτοκίνητα, κ.λ.π., και που είναι οι πλέον γνωστοί στο ευρύ κοινό.



Σχήμα 2.2: Φορητοί δέκτες GPS της εταιρείας Garmin. Απλός δέκτης (αριστερά), δέκτης με χάρτες (μέσον) και συνδυασμός δέκτη GPS με υποφορητή (handheld) συσκευή (Φώτο: Garmin²).

Έχουν πολύ μικρές διαστάσεις, όσο και ένα κινητό τηλέφωνο. Διαθέτουν ανάλογα από 1 έως 6 διαύλους. Όταν ο προσδιορισμός γίνεται από σταθερή θέση αρκεί 1 δίαυλος, ο οποίος παρατηρεί εναλλακτικά διαφορετικούς δορυφόρους. Αλλά σε εφαρμογές όπου ο δέκτης βρίσκεται σε κίνηση χρειάζονται τέσσερις τουλάχιστον δίαυλοι, για την ταυτόχρονη παρακολούθηση ισάριθμων δορυφόρων. Έχουν μικρό μέγεθος για να μεταφέρονται εύκολα, αλλά και σημαντικά μικρότερο κόστος συγκρινόμενοι με τους ακριβέστερους

² <http://www.garmin.com>

γεωδαιτικούς δέκτες. Η ακρίβεια που μας παρέχουν οι συγκεκριμένοι δέκτες είναι της τάξεως των 15-50 m ανάλογα πάντα με τις δυνατότητες του κάθε τύπου και την κατασκευάστρια εταιρία. Η παραπάνω ακρίβεια είναι αρκετή για την πλοήγηση και την ναυσιπλοΐα, αλλά και για εφαρμογές όπως, ενημέρωση χαρτών σε μικρές κλίμακες (π.χ. 1:10000) και χρήση σε προγράμματα GIS.



Σχήμα 2.3: Φορητοί δέκτες GPS της εταιρείας Magellan. Απλός δέκτης (αριστερά), δέκτης με χάρτες (μέσον) και συνδυασμός δέκτη GPS με υποφορητή (handheld) συσκευή (Φώτο: Magellan³).

³ <http://www.magellangps.com/>

Δέκτες φέρουσας συχνότητας και κώδικα C/A:

Οι δέκτες αυτοί εκτελούν παρατηρήσεις ψευδοαποστάσεων από τον **κώδικα C/A** και φάσεων από τη **φέρουσα συχνότητα L1**. Διαθέτουν από 4 έως 12 διαύλους και έχουν τη δυνατότητα καταχώρησης σε μνήμη των παρατηρήσεων αποστάσεων και φάσεων, μαζί με τους αντίστοιχους χρόνους (Σχ. 2.4). Παραλλαγή του τύπου αυτού αποτελούν οι δέκτες που μπορούν να μετρούν επίσης και φάσεις της **φέρουσας συχνότητας L2** με τεχνικές ανεξάρτητες του κώδικα, οι οποίες περιγράφονται παρακάτω. Το κυριότερο πλεονέκτημά τους είναι η μείωση της ιονοσφαιρικής επίδρασης από συνδυασμό φάσεων L1 και L2 (ionospheric free). Οι δέκτες αυτοί διαθέτουν, σε σχέση με τους προηγούμενους, χαμηλότερη αναλογία σήματος προς θόρυβο (signal to noise ratio) και μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε τοπογραφικές εφαρμογές.



Σχήμα 2.4: Ο δέκτης φέρουσας συχνότητας και κώδικα της Leica Geosystems, GPS System 500 (Φώτο: Leica⁴).

Δέκτες κώδικα P:

Οι δέκτες αυτοί έχουν τη δυνατότητα να δημιουργούν ένα αντίγραφο του κώδικα P και να το συσχετίζουν με το λαμβανόμενο σήμα που περιέχει ένα τμήμα του κώδικα πάνω στις συχνότητες L1 και L2. Με τη συσχέτιση αναγνωρίζεται το συγκεκριμένο τμήμα και αφαιρείται από το σήμα, ώστε να παραμείνουν “καθαρές” πλέον οι φέρουσες συχνότητες L1 και L2 για τη μέτρηση φάσεων. Οι ακρίβειες που επιτυγχάνονται είναι της τάξης των μερικών cm για αποστάσεις 100 km. Ακρίβειες μερικών cm για αποστάσεις 20 km μέσα σε 10 λεπτά μπορούν να επιτευχθούν με μία τεχνική που ονομάζεται “wide laning” και στηρίζεται στο γραμμικό συνδυασμό φάσεων από τις L1 και L2. Όταν ο κώδικας Y αντικαθιστά τον P (Anti-Spoofing), χρησιμοποιούνται τεχνικές ανεξάρτητες (ή

⁴ <http://www.leica-geosystems.com/gps/>

σχεδόν ανεξάρτητες) του κώδικα, με τις οποίες επιτυγχάνονται παρατηρήσεις φάσεων της L2 και ψευδοαποστάσεων από τον κώδικα, χωρίς να είναι γνωστός ο κώδικας Υ. Οι δέκτες αυτοί επιτυγχάνουν υψηλές ακρίβειες και μπορούν να χαρακτηριστούν ως γεωδαιτικοί δέκτες (Ανδριτσάνος κα 1997).



Σχήμα 2.5: Γεωδαιτικοί δέκτες των εταιρειών Ashtech (αριστερά) και Leica Geosystems (δεξιά) (Φώτο: Ashtech και Leica).

Δέκτες κώδικα Υ:

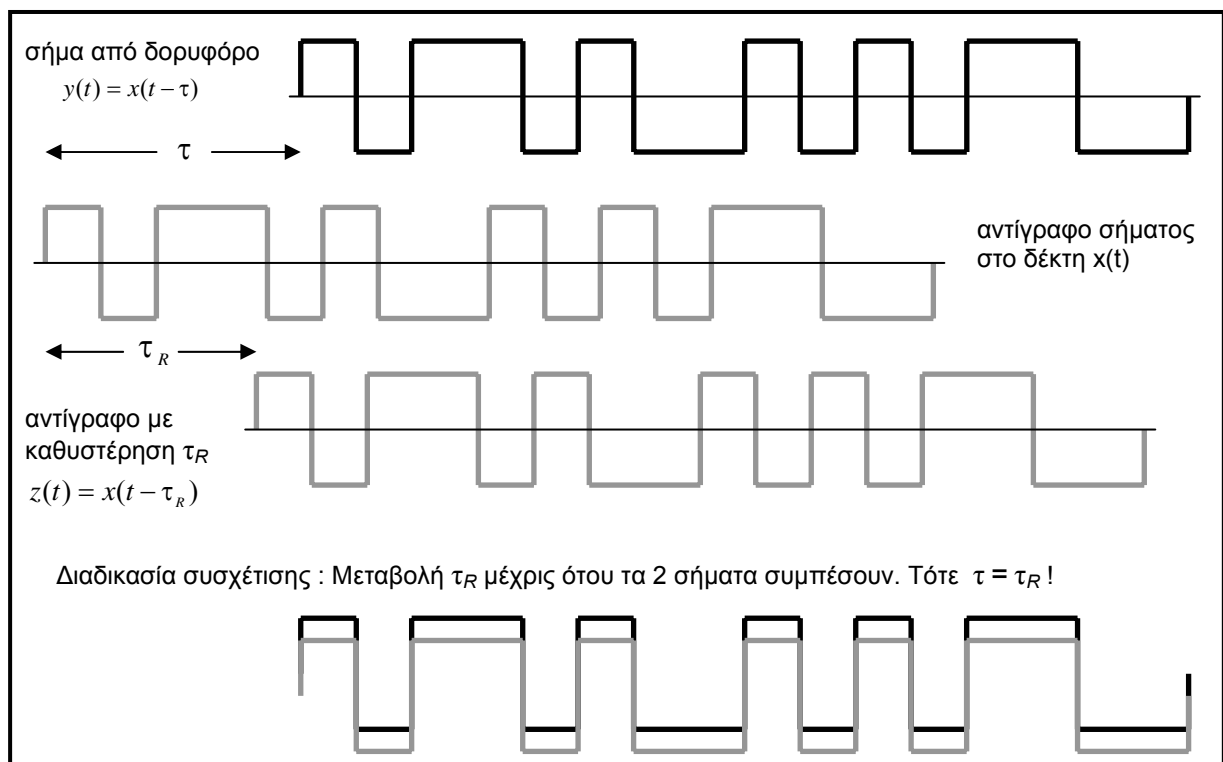
Πρόκειται για τους δέκτες στρατιωτικής χρήσης των εξουσιοδοτημένων χρηστών του συστήματος. Διαθέτουν σε κάθε δίαυλο ειδικό μηχανισμό (AOC = Auxiliary Output Chips) για τη “μετάφραση” του κώδικα Υ σε κώδικα Ρ, καθώς και για τη διόρθωση των αλλοιωμένων με την επιλεκτική διαθεσιμότητα (φυσικά μέχρι την 1^η Μαΐου 2000, οπότε και η επιλεκτική διαθεσιμότητα καταργήθηκε – χωρίς αυτό να σημαίνει ότι δε πρόκειται να επανεργοποιηθεί) παραμέτρων χρόνου και τροχιάς των δορυφόρων.

2.3 Είδη μετρήσεων G.P.S. – Τεχνικές συσχέτισης

Τα είδη των μετρήσεων GPS είναι δύο. Οι μετρήσεις κώδικα (code ή pseudorange measurements) και οι μετρήσεις φάσης (phase measurements). Οι μετρήσεις κώδικα αφορούν ουσιαστικά στη συσχέτιση (correlation) του μέρους του κώδικα, κατά τη χρονική στιγμή της εκπομπής του από τον δορυφόρο, με το μέρος του κώδικα, το οποίο αναπαράγεται τη στιγμή της λήψης από το δέκτη. Η τεχνική αυτή ονομάζεται **τεχνική της συσχέτισης κωδικών** (Σχ. 2.6). Μετά την απομάκρυνση του κώδικα από το εισερχόμενο σήμα και μετά από κάποιο φιλτράρισμα, λαμβάνεται το σήμα πριν από την παραμόρφωσή του εξαιτίας του κώδικα (demodulation). Το αποτέλεσμα της σύγκρισης ανάμεσα στο σήμα που λαμβάνεται από το δορυφόρο και στο αντίγραφο του σήματος που έχει ο δέκτης είναι

ένα κλασματικό μέρος της φάσης του σήματος. Η διαδικασία προσδιορισμού αυτού του κλασματικού μέρους της φάσης του σήματος ονομάζεται **τεχνική των μετρήσεων φάσης**.

Η τεχνική της συσχέτισης των κωδικών εξασφαλίζει όλες τις συνιστώσες του δορυφορικού σήματος, δηλαδή **την ανάγνωση του ρολογιού του δορυφόρου, το ναυτιλιακό σήμα και τη φέρουσα συχνότητα του σήματος**. Το μειονέκτημα βρίσκεται στο ότι η διαδικασία χρειάζεται τη γνώση ενός εκ των κωδικών τουλάχιστον. Η τεχνική της συσχέτισης εφαρμόζεται σε διαδοχικά βήματα. Καταρχήν, ένα σήμα εκπέμπεται από το δέκτη, το οποίο στη συνέχεια μορφοποιείται από ένα αντίγραφο του γνωστού κώδικα. Σ' ένα δεύτερο βήμα, το σήμα που προκύπτει συσχετίζεται με το δορυφορικό σήμα, το οποίο λαμβάνεται από το δέκτη. Τα δύο σήματα μετακινούνται κατάλληλα στην κλίμακα του χρόνου, έτσι ώστε να ταυτιστούν βέλτιστα (βλ. Σχ. 2.6). Μετά την απομάκρυνση του κώδικα, το σήμα που λαμβάνεται περιέχει ακόμα το μήνυμα της ναυσιπλοΐας, το οποίο αποκωδικοποιείται και απομακρύνεται με τη βοήθεια ενός φίλτρου που επιτρέπει τη διόδο υψηλών συχνοτήτων (high-pass filter). Εφόσον η χρήση του κώδικα είναι απαραίτητη, η τεχνική της συσχέτισης των κωδικών είναι σε γενικότερη κλίμακα εφαρμόσιμη μόνο στον C/A κώδικα και, έτσι, μόνον η φέρουσα συχνότητα L1 μπορεί να ανακατασκευαστεί. Εάν είναι διαθέσιμος και ο κώδικας P (για την ακρίβεια ο κώδικας Y), τότε μέσω της τεχνικής αυτής μπορούν να ανακατασκευαστούν και οι δύο φέρουσες συχνότητες L1 και L2.



Σχήμα 2.6: Η διαδικασία συσχέτισης του κώδικα στο δέκτη.

Ένα από τα αποτελέσματα της τεχνικής συσχέτισης του κώδικα C/A είναι η αποκωδικοποίηση του ναυτιλιακού σήματος που περιλαμβάνει το HOW, το οποίο είναι και το κλειδί για τη συσχέτιση με τη χρήση του πιο ακριβούς κώδικα P.

Από την αρχή λειτουργίας του δορυφορικού συστήματος GPS μέχρι και σήμερα ήταν ελάχιστες οι φορές που το Υπουργείο Εθνικής Αμύνης των Η.Π.Α. επέτρεψε την ελεύθερη πολιτική χρήση του κώδικα P. Για το λόγο αυτό, οι κατασκευάστριες εταιρίες των δεκτών προχώρησαν στην εφαρμογή νέων αλγορίθμων μετρήσεων, οι οποίες στηρίζονται σε τεχνικές ανεξάρτητες του κώδικα (codeless) ή σχεδόν ανεξάρτητες του κώδικα (quasi-codeless), για την ανακατασκευή της φέρουσας συχνότητας του δορυφορικού σήματος, από την οποία μπορεί να μετρηθεί η φάση. Οι περισσότεροι από τους δέκτες υποστηρίζουν μία υβριδική τεχνική κατά την οποία η φέρουσα συχνότητα L1 ανακατασκευάζεται με την τεχνική της συσχέτισης των κωδικών (όπως αναφέρθηκε παραπάνω) χρησιμοποιώντας το γνωστό κώδικα C/A ενώ εφαρμόζεται μια τεχνική ανεξάρτητη του κώδικα για την ανακατασκευή της φέρουσας συχνότητας L2. Οι τεχνικές αυτές, που αναλύονται στη συνέχεια, έχουν μεγάλη σημασία στην εποχή μας, κατά την οποία είναι απαγορευμένη η χρήση του κώδικα P για πολιτικές εφαρμογές (GPS under Anti-Spoofing).

2.3.1 Τεχνικές συσχέτισης

Τεχνική τετραγωνισμού

Αυτή η ανεξάρτητη του κώδικα τεχνική πρωτοπαρουσιάστηκε από τον Counselman (1981). Η διαδικασία στηρίζεται στην αυτο-συσχέτιση (auto-correlation) του σήματος που λαμβάνεται. Με άλλα λόγια, το σήμα πολλαπλασιάζεται με τον εαυτό του και έτσι όλες οι επιπλέον μορφοποιήσεις χάνονται. Η εφαρμογή της τεχνικής αυτής έχει ως αποτέλεσμα ένα σήμα δίχως κώδικες με τη διπλάσια συχνότητα, και κατά συνέπεια μισό μήκος κύματος. Το **πλεονέκτημα** της παραπάνω τεχνικής είναι η ανεξαρτησία της από τους κώδικες. Το **μειονέκτημα** του τετραγωνισμού είναι το γεγονός της έλλειψης πληροφορίας για την τροχιά και το χρονόμετρο του δορυφόρου. Επιπλέον, με την διαδικασία τετραγωνισμού του σήματος αυξάνεται και ο θόρυβος. Τέλος, στα μειονεκτήματά της περιλαμβάνεται και το ότι η επίλυση των ασαφειών φάσης είναι δυσκολότερη για τα τετραγωνισμένα σήματα.

Τεχνική διασυσχέτισης

Αυτή είναι άλλη μία τεχνική ανεξάρτητη του κώδικα η οποία αναπτύχθηκε πρώτα από τους MacDoran et al. (1985). Η τεχνική στηρίζεται στο ότι ο άγνωστος κώδικας Y είναι όμοιος

και στα δύο φέροντα κύματα, το οποίο και επιτρέπει τη διασυσχέτιση (cross-correlation) των σημάτων L1 και L2. Εξαιτίας της εξάρτησης από τη συχνότητα κατά τη διάδοση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων μέσα από την ιονόσφαιρα, ο κώδικας Y στην L2 είναι ελάχιστα πιο αργός από τον αντίστοιχο στην L1. Η απαραίτητη χρονική καθυστέρηση για την σύγκριση του σήματος στην L1 με το σήμα στην L2 στο δέκτη αποτελεί μια μέτρηση της διαφοράς του χρόνου διάδοσης μεταξύ των δύο σημάτων. Η καθυστέρηση του σήματος στην L2 είναι μεταβλητή και πρέπει να προσαρμοστεί κατάλληλα για την επίτευξη μέγιστης συσχέτισης μεταξύ L1 και L2.

Τεχνική συσχέτισης κωδικών σε συνδυασμό με την τεχνική τετραγωνισμού

Αυτή η βελτιωμένη τεχνική τετραγωνισμού παρουσιάστηκε από τον Keegan (1990). Η μέθοδος περιγράφεται επίσης ως τεχνική τετραγωνισμού με τη βοήθεια κώδικα και αναφέρεται στη συσχέτιση του κώδικα Y που λαμβάνεται στο σήμα της L2 με ένα τοπικό αντίγραφο του κώδικα P. Μετά την παραπάνω συσχέτιση εφαρμόζεται ένα φίλτρο αποκοπής των υψηλών συχνοτήτων (χαμηλοπερατό φίλτρο – low-pass filter) και ταυτόχρονα το σήμα τετραγωνίζεται για την απομάκρυνση του κώδικα. Η τεχνική αυτή εξασφαλίζει μέτρηση απόστασης με τη βοήθεια του κώδικα και, εξαιτίας του τετραγωνισμού, φέρον κύμα μισού μήκους ($\lambda/2$). Η συσχέτιση με τον κώδικα P οδηγεί σε ασφαλέστερες από παράσιτα (noise) μετρήσεις και βελτιώνει τον λόγο σήματος προς θόρυβο (signal to noise ration - SNR⁵). Τέλος, οδηγεί και στη βελτίωση της αντιμετώπισης των πολυκλαδικών παρεμβολών λόγω του φαινομένου της πολυδιαδρομής (multipath).

Τεχνική Z-tracking

Η πιο πρόσφατη και σχεδόν-ανεξάρτητη του κώδικα τεχνική ονομάζεται τεχνική **Z-tracking** και αναφέρθηκε πρώτα από τους Ashjaee and Lorenz (1992). Μέχρι στιγμής η τεχνική αυτή προσφέρει τα καλύτερα αποτελέσματα κατά την περίοδο της απόκρυψης του κώδικα Y (Anti-Spoofing). Ο κώδικας Y, τόσο στην L1 όσο και στην L2, συσχετίζεται χωριστά με ένα αντίγραφο του κώδικα P που δημιουργείται στο δέκτη. Εφόσον πραγματοποιείται χωριστή συσχέτιση στην L1 και στην L2, λαμβάνεται ο κώδικας W σε κάθε συχνότητα. Η συνολική διαδικασία περιγράφεται από τον Ashjaee (1993) ως εξής: “Τα φέροντα κύματα σε κάθε συχνότητα περιλαμβάνουν και τους κώδικες. Εκείνη τη στιγμή, με κατάλληλη ολοκλήρωση του σήματος, ο άγνωστος κώδικας εκτιμάται για κάθε συχνότητα και

⁵ Ο λόγος του σήματος προς το θόρυβο αποτελεί ένα μέτρο του ποσοστού του θορύβου που περιλαμβάνεται στο σήμα. Όπως είναι ευνόητο, όσο λιγότερο θόρυβο περιέχει ένα σήμα, τόσο καλύτερη πληροφορία μας παρέχει για την υπό προσδιορισμό ή μέτρηση ποσότητα. Στην περίπτωση του GPS, αυτή η ποσότητα είναι η απόσταση μεταξύ δορυφόρου-δέκτη και τελικά οι συντεταγμένες της θέσης του δέκτη. Συμπερασματικά λοιπόν, πρέπει να επιδιώκεται ο λόγος του σήματος προς το θόρυβο (SNR=s/n) να είναι όσο το δυνατό μεγαλύτερος.

τροφοδοτείται στην άλλη συχνότητα. Η εκτίμηση αυτή χρησιμοποιείται για την απομάκρυνση του άγνωστου κώδικα από το σήμα.” Η προαναφερθείσα ολοκλήρωση πραγματοποιείται με την εφαρμογή ενός χαμηλοπερατού φίλτρου που επιτρέπει τη δίοδο χαμηλών συχνοτήτων (low-pass filter). Η απομάκρυνση του άγνωστου κώδικα οδηγεί σε όμοια σήματα, όπως και στην περίπτωση ελεύθερης χρήσης του κώδικα Υ. Με αυτόν τον τρόπο είναι διαθέσιμες τόσο αποστάσεις που προήλθαν από τη χρήση κωδικών όσο και φέρουσες φάσεις L1 και L2 πλήρους μήκους κύματος. Σημειώνουμε ότι οι ψευδοαποστάσεις, οι προερχόμενες από τη χρήση του κώδικα Υ είναι **“ακριβώς οι ίδιες παρατηρήσεις με αυτές που λαμβάνονται από την τεχνική συσχέτισης με τη βοήθεια του Ρ-κώδικα”**.

Και οι τέσσερις προσεγγίσεις για τη ανασύσταση του φέροντος κύματος της L2, όταν ο κώδικας Ρ δεν παρέχεται ελεύθερα, υποφέρουν από συνεχή μείωση του λόγου “σήματος προς θόρυβο”. Χωρίς εξαίρεση, καμία από τις παραπάνω τεχνικές δεν μπορεί να αντικαταστήσει την τεχνική συσχέτισης των κωδικών στην ανασύσταση της πληροφορίας των σημάτων GPS.