

ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΓΡΑΜΜΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ ΜΙΚΡΗΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ ΣΤΟΝ ΚΟΡΙΝΘΙΑΚΟ ΚΟΛΠΟ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΤΩΝ ΣΤΑΘΕΡΩΝ ΣΚΕΔΑΣΤΩΝ

Παναγιώτης Ηλίας¹, Χαράλαμπος Κοντοές¹, Ιωάννης Παπουτσίης² και Ιωάννης Κώτσης²

¹ Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, Ινστιτούτο Διαστημικών Εφαρμογών και Τηλεπισκόπησης

² Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών

Περίληψη

Η τεχνική των Σταθερών Σκεδαστών (ΣΣ - Permanent Scatterers - PS), που αναπτύχθηκε από την ερευνητική ομάδα του Πολυτεχνείου του Μιλάνου, είναι μία προσέγγιση, η οποία ελαχιστοποιεί τα ανεπιθύμητα στοιχεία θορύβου που παρουσιάζει η κλασσική διαφορική συμβολομετρία με ραντάρ συνθετικού ανοίγματος (DInSAR). Τέτοια στοιχεία οφείλονται κυρίως στη χωρική και χρονική αποσυσχέτιση, στην καθυστέρηση του σήματος λόγω των ατμοσφαιρικών και των τροποσφαιρικών μεταβολών, στα σφάλματα τροχιών καθώς και στα τοπογραφικά σφάλματα (σχετιζόμενα με το ψηφιακό μοντέλο εδάφους). Η προσέγγιση της τεχνικής των ΣΣ είναι κατάλληλη για τη μέτρηση των σχεδόν κατακόρυφων παραμορφώσεων της τάξης του ενός χιλιοστού το χρόνο και αξιοποιεί μεγάλο όγκο SAR δεδομένων με την απαίτηση για διαθεσιμότητα φυσικών και/ή τεχνητών Σταθερών Σκεδαστών. Σε αυτή τη μελέτη, περιγράφεται η εφαρμογή της τεχνικής των ΣΣ, ονομαζόμενη PerSePHONE (Permanent Scatterers Project Held by the Observatory, National, of Hellas). Η ανάπτυξή της στηρίχθηκε σε μια σειρά από αλγοριθμικές τροποποιήσεις καθώς και σε νέες μεθόδους για την επιλογή των Υποψήφιων Σταθερών Σκεδαστών. Η εν λόγω τεχνική εφαρμόζεται στην βόρεια περιοχή του Κορινθιακού Κόλπου.

SMALL SCALE SURFACE DEFORMATION DETECTION OF THE GULF OF CORINTH (HELLAS) USING PERMANENT SCATTERERS TECHNIQUE

Panagiotis Elias¹, Charalabos Kontoes¹, Ioannis Papoutsis², Ioannis Kotsis²

¹ National Observatory of Athens, Institute for Space Applications and Remote Sensing

² National Technical University of Athens, Department of Rural and Surveying Engineering

Abstract

The Permanent Scatterers (PS) technique, invented by Politecnico di Milano research team, is an approach that minimises the undesirable noise components in the classic InSAR technique, such as spatial and temporal decorrelations, signal delay due to tropospheric and ionospheric disturbances, orbital errors as well as topographical errors. This approach is suitable for the measurement of near vertical displacements of the order of ~1 mm per year. It exploits almost all of the available SAR interferometric data over an area and requires availability of natural and/or artificial permanent scatterers. In this study we describe the implementation of the PS technique, called PerSePHONE (Permanent Scatterers Project Held by the Observatory, National, of Hellas). Its development has been based on a number of algorithmic adaptations, as well as new approaches in PS candidate selection. An example of this implementation is shown for the case of the Corinth Rift area (Hellas).

Λέξεις κλειδιά: γραμμική παραμόρφωση, διαφορική συμβολομετρία με ραντάρ συνθετικού ανοίγματος, σταθεροί σκεδαστές

Key words: linear deformation, SAR interferometry, permanent scatterers

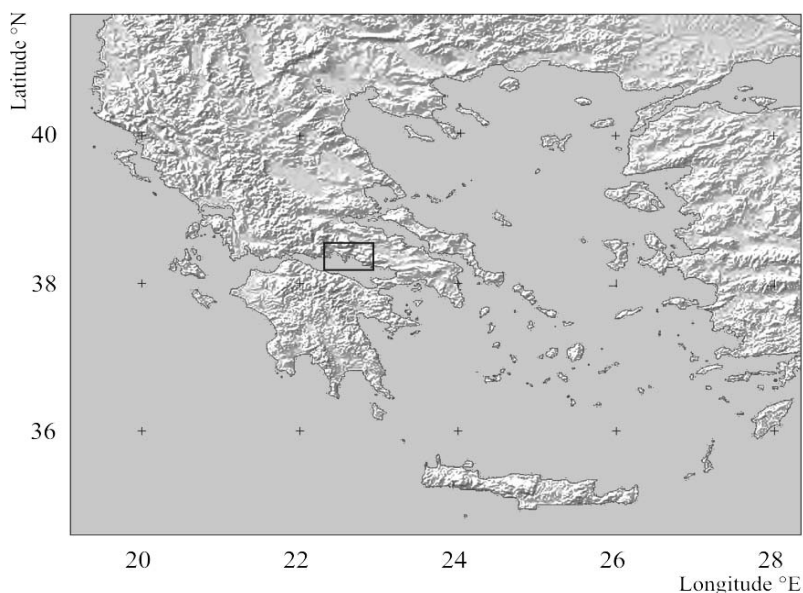
1. Εισαγωγή

Η διαδεδομένη τεχνική της διαφορικής συμβολομετρίας με ραντάρ συνθετικού ανοίγματος (Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar - DInSAR) έχει προσφέρει σημαντικό όγκο αξιόπιστων μετρήσεων της παραμόρφωσης του εδάφους. Αυτές οι μετρήσεις πάσχουν από ανεπιθύμητες συνιστώσες εξαιτίας της χωρικής και χρονικής αποσυσχέτισης, της καθυστέρησης του σήματος λόγω των τροποσφαιρικών και ιονοσφαιρικών επιδράσεων, των σφαλμάτων τροχιών καθώς και των τοπογραφικών σφαλμάτων (σχετιζόμενα με το ψηφιακό μοντέλο εδάφους). Η πιο ελπιδοφόρα προσέγγιση για τον περιορισμό αυτών των προβλημάτων είναι η επανομαζόμενη τεχνική των Σταθερών Σκεδαστών (ΣΣ - Permanent Scatterers - PS), από την ομάδα POLIMI (Ferretti *et al.*, 2001). Αυτή η τεχνική αξιοποιεί μεγάλο όγκο δεδομένων SAR, σχηματίζοντας μια σειρά από συμβολομετρικά ζευγάρια με μία επιλεγμένη κύρια (master) εικόνα,

συμπεριλαμβανομένων και εκείνων με μεγάλη χρονική και γεωμετρική γραμμή βάσης. Επιπλέον, η τεχνική απαιτεί τη διαθεσιμότητα φυσικών και/ή σταθερών σκεδαστών. Η μέθοδος των ΣΣ είναι ιδανική για τη μέτρηση των παραμορφώσεων μικρής κλίμακας στο έδαφος, που οφείλονται σε προσεισμική δραστηριότητα, καθιζήσεις σε αστικές περιοχές, βαθμιαία κατολίσθηση κοντά σε ρήγματα καθώς και σε μετατοπίσεις από ενεργά ρήγματα και ηφαίστεια. Το βασικό κίνητρο για την εφαρμογή της τεχνικής των ΣΣ αποτέλεσε η μελέτη μιας γεωφυσικά ενεργής περιοχής, όπως είναι ο Κορινθιακός Κόλπος.

Η περιοχή μελέτης του Κορινθιακού Κόλπου (καλύπτει $\sim 3350 \text{ km}^2$ και εκτείνεται βορειοδυτικά από $22^\circ 04' \text{E}$, $38^\circ 38' \text{N}$ μέχρι νοτιοανατολικά $22^\circ 57' \text{E}$, $38^\circ 14' \text{N}$), η οποία παρουσιάζεται στο σχήμα 1, έχει αναγνωριστεί σαν περιοχή μείζονος σημασίας εξαιτίας της έντονης γεωφυσικής δραστηριότητας που παρουσιάζει. Είναι μια από τις ηπειρωτικές περιοχές με τον υψηλότερο ρυθμό μετακίνησης σε παγκόσμιο επίπεδο και έχει παράγει μια σειρά από σεισμούς με μέγεθος μεγαλύτερο από 5.8: στις Αλκυονίδες (Φεβρουάριος 1981, $M=6.7$), στο Αίγιο (Ιούνιος 1995, $M_w=6.1$) και στο Γαλαξίδι (Νοέμβριος 1992, $M_w=5.8$). Επιπλέον, μετρήσεις από GPS εκστρατείες (GPS σε κινούμενο όχημα) και σταθερών GPS δεκτών έχουν αναδείξει την ύπαρξη οριζόντιας μετακίνησης από βορρά προς νότο της τάξης του 1.5 εκατοστού το χρόνο (Briole *et al.*, 2000). Αυτός ο μηχανισμός διάστασης συχνά οδηγεί σε υποθαλάσσιες κατακρημνίσεις και σε καταστροφικά τσουνάμι. Στη στεριά το ίδιο σύστημα προκαλεί κατολισθήσεις.

Πρέπει να σημειωθεί σε αυτό το σημείο, ότι τα περισσότερα από τα παραπάνω φαινόμενα στην υπό μελέτη περιοχή παρακολουθούνται εδώ και μία δεκαετία στο πλαίσιο αρκετών εθνικών και ευρωπαϊκών προγραμμάτων με χρήση μόνιμων GPS δεκτών, επιτόπιων παρατηρήσεων καθώς και με χρήση κλασσικής διαφορικής συμβολομετρίας (Avallone, 2003; Briole *et al.*, 2000). Αυτές οι τεχνικές παρουσιάζουν περιορισμούς στην εκτίμηση των κατακόρυφων ρυθμών μετακίνησης ($\sim 23^\circ$ από το ζενίθ) με ικανοποιητική ακρίβεια. Οι περιορισμοί αυτοί αντιπετωπίζονται μέσω της τεχνικής των ΣΣ.



Σχήμα 1. Τοποθεσία της υπό μελέτης περιοχής στην Ελλάδα. Εστιάζεται στο βορειοανατολικό μέρος του Κορινθιακού Κόλπου.

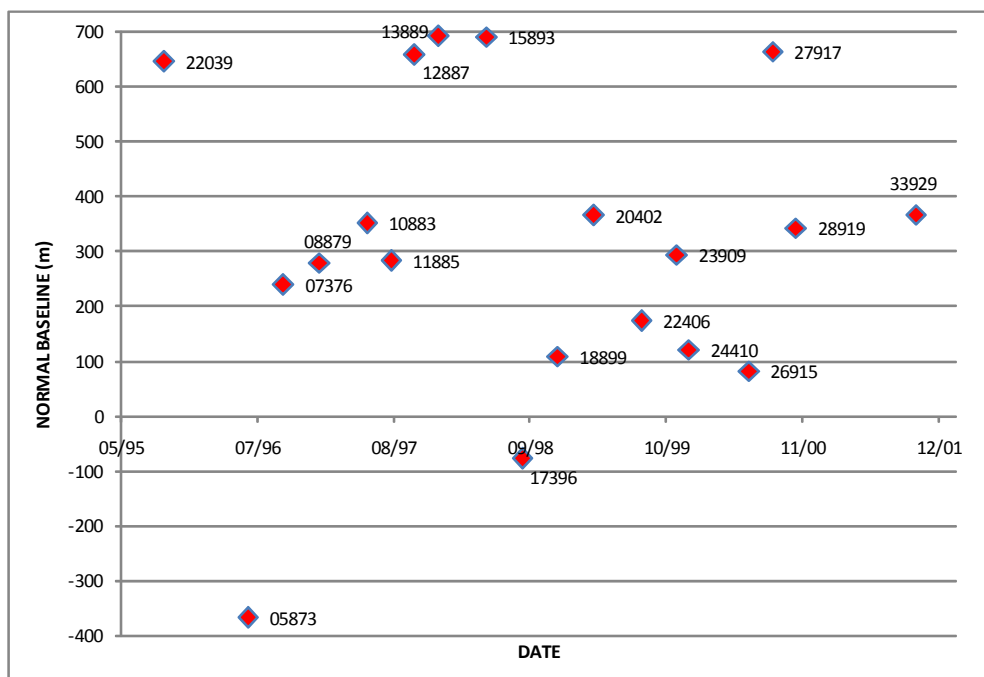
Σε αυτή τη μελέτη περιγράφεται η εφαρμογή της τεχνικής των ΣΣ, ονομαζόμενη PerSePHONE (Permanent Scatterers Project Held by the Observatory, National, of Hellas), η οποία αναπτύχθηκε από το Ινστιτούτο Διαστημικών Εφαρμογών και Τηλεπισκόπησης του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών.

2. Προεπεξεργασία δεδομένων

Κατά τη επιλογή του χρονικού διαστήματος κάλυψης των υπό επεξεργασία δεδομένων αποφεύχθηκε η παρουσία ισχυρών μη γραμμικών φαινομένων, όπως είναι ο σεισμός του Αιγίου τον Ιούνιο του 1995. Επιπλέον, λαμβάνοντας υπόψη την απαίτηση της τεχνικής των ΣΣ για ομοιόμορφη κατανομή των ημερομηνιών λήψης των εικόνων και των κάθετων γραμμών βάσης στα συμβολομετρικά ζευγάρια, η ERS-1 σκηνή που ελήφθη στις 19 Ιουνίου το 1995 (τροχιά 20536, track 007 και frame 283), επιλέχθηκε να είναι η κοινή master σκηνή για τη δημιουργία συμβολογραφημάτων. Συνεπώς, το σετ δεδομένων αποτελείται από 2 ERS-1 (20536 και 22039) και 18 ERS-2 σκηνές, οι οποίες εκτείνονται χρονικά σε διάστημα $6\frac{1}{2}$ ετών, από 19 Ιουνίου 1995 μέχρι 16 Οκτωβρίου 2001 (σχήμα 2).

Προτού προχωρήσουμε στην ανάλυση των ΣΣ, ορισμένα απαραίτητα στάδια προεπεξεργασίας των δεδομένων έπρεπε να λάβουν χώρα. Αυτά σχετίζονται με την εστίαση της εικόνας, ‘κόψιμό’ της στην περιοχή ενδιαφέροντος και αναπλήρωση για τη μηδενική απόκλιση Doppler. Επιπρόσθετα, ένα σημαντικό βήμα αποτελεί η ραδιομετρική διόρθωση των εικόνων πλάτους, με στόχο τη βελτιστοποίηση της ετεροσυσχέτισης για την κοινή εγγραφή των εικόνων. Αυτό επιτεύχθηκε μέσω της εξομοίωσης των ιστογραμμάτων των εικόνων πλάτους.

Τέλος, χρησιμοποιήθηκε μια τροποποιημένη έκδοση του λογισμικού CNES DIAPASON (CNES, 1996) για την παραγωγή των συμβολομετρικών φάσεων και άλλων απαραίτητων υποπροϊόντων για την επεξεργασία των ΣΣ. Τα 19 συμβολογραφήματα είχαν μέγεθος κελιού της τάξης των 4m στο αζιμούθιο και 20m στην κατεύθυνση δορυφόρου – σκηνής (range) και δημιουργήθηκαν από σκηνές single look χωρίς να εφαρμοστούν τεχνικές εξομάλυνσης των pixels. Επισημαίνεται επίσης, πως τα αρχεία με τις ακριβείς τροχιές των δορυφόρων παρήχθησαν από το Delft Institute και ότι το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (ΨΜΕ- Digital Elevation Model - DEM) δημιουργήθηκε από ψηφιοποίηση ισοϋψών των 20m από 1:50000 τοπογραφικούς χάρτες, με εκτιμώμενη ακρίβεια $\pm 10\text{m}$. Τα κομμάτια του ΨΜΕ χωρίς υψομετρική πληροφορία καλύφθηκαν με επαναδειγματοληψία SRTM-3 δεδομένων.



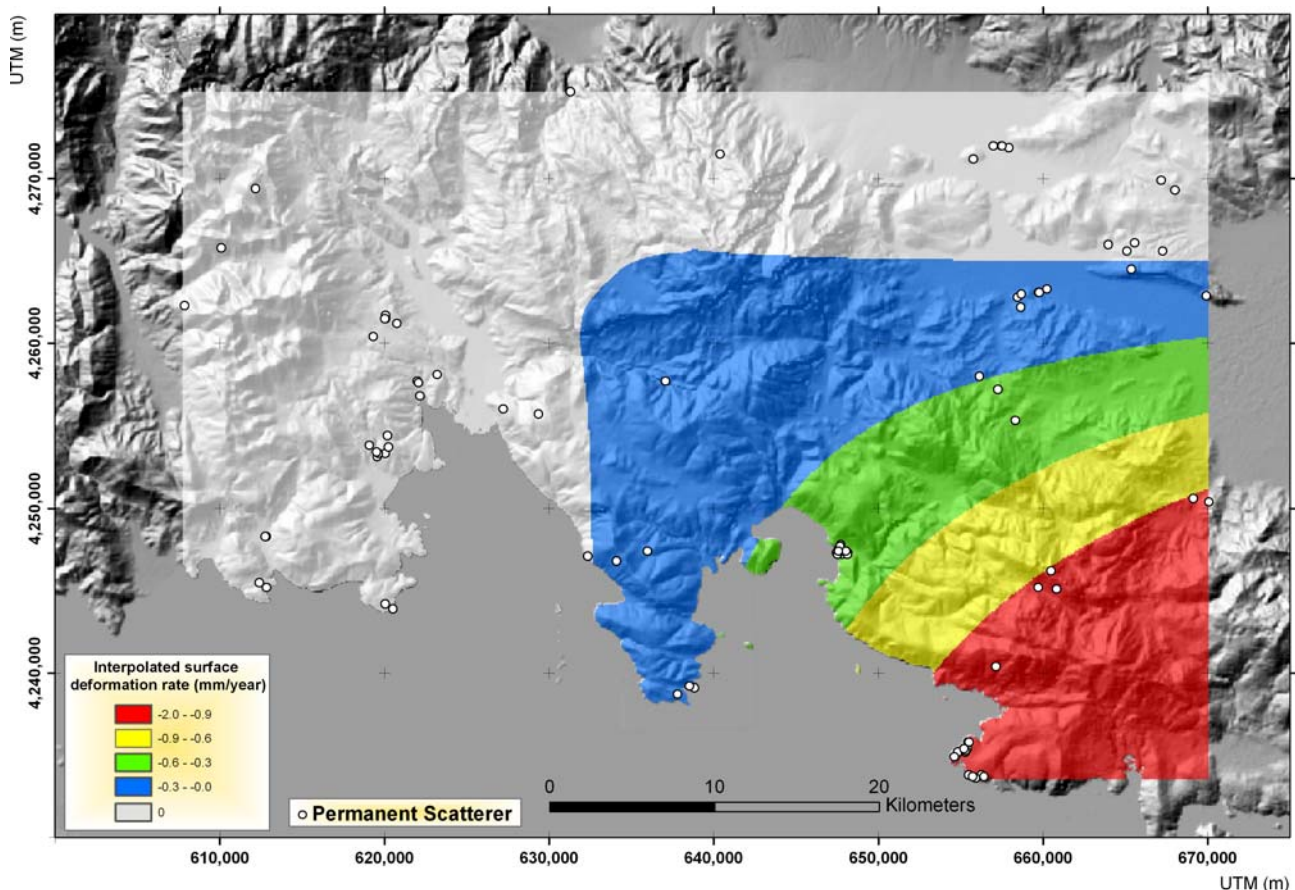
Σχήμα 2. Κάθετες γραμμές βάσης συναρτήσει των ημερομηνιών λήψης των σκηνών. Οι ετικέτες στα σημεία δείχνουν τον αριθμό τροχιάς κάθε σκηνής.

3. Μεθοδολογία

Η ανάπτυξη του αλγόριθμου PerSePHONE βασίστηκε σε ένα πλήθος προσαρμογών για την επιλογή των ΣΣ και των Υποψηφίων ΣΣ (ΥΣΣ). Μια αρχική τροποποίηση ήταν ότι η κανονικοποίηση των εικόνων πλάτους, οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό του Δείκτη Διασποράς ($\Delta\Delta$ - Dispersion Index - DI) και επομένως για την πρώτη επιλογή των ΥΣΣ, έγινε με την χρήση histogram matching μεταξύ της master σκηνής και κάθε μιας από τις slave, αντί της χρήσης του παράγοντα βαθμονόμησης K των δορυφόρων ERS, όπως στο (Ferretti *et al.*, 2001). Η περιοχή μελέτης διαιρέθηκε σε 800 υποπεριοχές υπολογισμού, διαστάσεων 500 εικονοστοιχείων στο αζιμούθιο και 100 εικονοστοιχείων στο range, καλύπτοντας μια περιοχή $\sim 4\text{Km}^2$. Περίπου 200,000 στόχοι οι οποίοι είχαν $\Delta\Delta < 0.33$ αναγνωρίστηκαν σε όλες τις περιοχές υπολογισμού σαν μια πρώτη επιλογή των ΥΣΣ (υποδηλώνεται ως ΥΣΣ⁽¹⁾, όπου ο δείκτης δείχνει το σετ των ΥΣΣ το οποίο εξάγεται από το πρώτο διαδοχικό βήμα βελτιστοποίησης, όπως περιγράφεται παρακάτω και κυμαίνεται από την τιμή 1 έως το ολικό πλήθος των βημάτων βελτιστοποίησης, n). Η συμμετοχή της Εικόνας Ατμοσφαιρικής Συμβολής (ΕΑΔ - Atmospheric phase screen - APS) υπολογίστηκε χωριστά σε κάθε περιοχή υπολογισμού μέσω της επίλυσης ενός μη γραμμικού συστήματος, με χρήση ενός επαναληπτικού αλγόριθμου (Ferretti *et al.*, 2001), εφ' όσον οι συμβολομετρικές τιμές φάσης είναι γνωστές μόνο ως modulo- 2π . Η επιλογή των ΥΣΣ ενισχύθηκε αναγνωρίζοντας και αφαιρώντας εκείνους τους ΥΣΣ οι οποίοι αποτρέπουν την σύγκλιση του αλγορίθμου, είτε λόγω χαμηλής ακρίβειας του αντίστοιχου ΨΜΕ (το οποίο χρησιμοποιήθηκε για τους συμβολομετρικούς υπολογισμούς) είτε λόγω του

γεγονότος ότι η κίνησή τους οδηγεί σε αλίαση και δεν μπορεί να προσεγγιστεί με το μοντέλο σταθερής ταχύτητας (δεύτερος και τέταρτος παράγοντας, κατά το (Ferretti *et al.*, 2001)). Στη συνέχεια υπολογίστηκε η τυπική απόκλιση των τιμών διόρθωσης των αγνώστων (ταχύτητες και σφάλματα του ΨΜΕ) σε κάθε προκεχωρημένο βήμα επανάληψης. Αυτή η ποσότητα χρησιμοποιήθηκε ως κριτήριο για τη διατήρηση των ΥΣΣ (από τους ΥΣΣ⁽¹⁾), οι οποίοι παρουσιάζουν χαμηλή διασπορά των τιμών διόρθωσης στα προκεχωρημένα βήματα των επαναλήψεων. Το προκύπτον σετ ΥΣΣ (ΥΣΣ⁽²⁾) εισήχθη ξανά στον επαναληπτικό αλγόριθμο και η προαναφερθείσα διαδικασία επαναλήφθηκε έως ότου είτε ο αλγόριθμος συγκλίνει είτε το πλήθος των ΥΣΣ⁽ⁿ⁾ γίνει μικρότερο από μια ελάχιστη τιμή κατωφλίου. Η τιμή αυτή τέθηκε 20. Ο αλγόριθμος τελικά συγκλίνει εάν, εκτός από τους προαναφερθέντες παράγοντες, η χωροχρονική κατανομή των σκηνών είναι ομοιόμορφη και οι διαστάσεις κάθε περιοχής υπολογισμού είναι αρκετά μικρές, έτσι ώστε η ΕΑΔ και οι τροχιακοί κροσσοί συμβολής να προσεγγίζονται ικανοποιητικά από συνιστώσες γραμμικής φάσης (πρώτος και τρίτος παράγοντας, κατά το (Ferretti *et al.*, 2001)). Επιπλέον, οι μη γραμμικές ατμοσφαιρικές κατανομές χαμηλής συχνότητας απομονώθηκαν από τα κατάλοιπα της φάσης (η τιμή της φάσης μετά την αφαίρεση της ΕΑΔ), χρησιμοποιώντας ένα φίλτρο Kriging (Williams *et al.*, 1998) και προστέθηκαν στην ΕΑΔ. Με το τέλος της σύγκλισης, 56 περιοχές υπολογισμού ικανοποιούσαν τους προαναφερθέντες παράγοντες και συμμετείχαν περαιτέρω στους υπολογισμούς. Ένα πλήθος 1599 ΥΣΣ διατηρήθηκαν, έχοντας πυκνότητα ~28.5 ΥΣΣ ανά περιοχή υπολογισμού ή ~6 ΥΣΣ ανά Km². Αυτή η τιμή είναι χαμηλή σε σύγκριση με τις αστικές περιοχές. Αξίζει να σημειωθεί ότι ορισμένες περιοχές υπολογισμού με μεγάλος πλήθος ΥΣΣ⁽ⁿ⁾ είχαν πυκνότητα έως και 22 ΥΣΣ ανά Km².

Στη συνέχεια για το βήμα της επιλογής των ΣΣ το πρώτο κριτήριο που χρησιμοποιήθηκε ήταν η ενιαία συνοχή φάσης (ΕΣΦ – Ensemble Phase Coherence), η οποία αντιστοιχεί στη σταθερότητα της τιμής της φάσης (απουσία της ΕΑΔ, των σφαλμάτων της τροχιάς, της εκτίμησης των ρυθμών παραμόρφωσης και του ΨΜΕ) κάθε στόχου διαμέσου όλων των σκηνών.



Σχήμα 3. Οι Σταθεροί Σκεδαστές και η διγραμμική επιφάνεια.

Μετά την αφαίρεση της ΕΑΔ και των σφαλμάτων τροχιάς από κάθε συμβολομετρικό ζεύγари, ο υπολογισμός των τελικών ταχυτήτων και σφαλμάτων του ΨΜΕ θεωρείται ως ένα μη γραμμικό αναστροφο πρόβλημα (Ferretti *et al.*, 2001), το οποίο επιλύεται μέσω της σάρωσης ενός δυσδιάστατου παραμετρικού χώρου (η ταχύτητα και το σφάλμα του ΨΜΕ) και μεγιστοποιώντας το δείκτη συσχέτισης, ο οποίος στην περίπτωση μας είναι η Συνοχή Φάσης (ΣΦ - Phase Coherence - PC). Αυτός ο δείκτης αντιστοιχεί στη

σταθερότητα της φάσης του στόχου, η οποία φάση προκύπτει από τις τελικές ταχύτητες παραμόρφωσης και σφαλμάτων του ΨΜΕ μετά από την αφαίρεση της ΕΑΔ από τις τιμές φάσης της διαφορικής συμβολομετρίας. Η Μέγιστη τιμή κάθε στόχου χρησιμοποιήθηκε ως ένα δεύτερο κριτήριο για την επιλογή των ΣΣ, το οποίο ονομάστηκε ΜΣΦ (Maximum Phase Coherence – MPC). Με την εφαρμογή κατωφλίων στα κριτήρια ΕΣΦ και ΜΣΦ με τιμές 0.2 και 0.69 αντίστοιχα, προκύπτει ένα πλήθος 107 ΣΣ σε 49 περιοχές υπολογισμού.

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι ο κώδικας αναπτύχθηκε σε περιβάλλον Matlab και εκτελέστηκε με τη χρήση του Matlab Distributed Computing Engine, για παράλληλη επεξεργασία των περιοχών υπολογισμού.

Η αναφερθήσα τεχνική ΣΣ μαζί με τις προσαρμογές και τις υφιστάμενες δυνατότητες επεξεργασίας για παραγωγή συμβολογραφημάτων (χρησιμοποιώντας το CNES DIAPASON) καθώς και προβολή σε κοινό χαρτογραφικό σύστημα, ενοποιήθηκαν σε μία κοινή αλυσίδα επεξεργασίας.

4. Αποτελέσματα

Λόγω του ότι η πυκνότητα των ΣΣ ήταν μικρή, η χρήση μια επιφάνειας παρεμβολής κρίθηκε απαραίτητη. Ένα πλήθος τέτοιων επιφανειών υπολογίστηκαν για την εκτίμηση του πεδίου ρυθμού παραμόρφωσης. Αυτή η ‘trial and error’ διαδικασία είχε ως αποτέλεσμα μια διγραμμική επιφάνεια με εξίσωση $z = \alpha + \beta x + \gamma y + \delta xy$, όπου z είναι η υπολογισθείσα επιφάνεια και α , β , γ και δ είναι οι παράμετροι οι οποίοι εξήχθησαν από το σετ των ΣΣ (Σχήμα 3). Η ρίζα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος (rms) μεταξύ των τιμών των ΣΣ και της διγραμμικής επιφάνειας είναι 1.1mm ανά έτος. Μια τάση καθίζησης ~2mm ανά έτος του ΝΔ της περιοχής μελέτης είναι εμφανής.

5. Συμπεράσματα

Λόγω των συνθηκών κάλυψης (υψηλή βλάστηση, έλλειψη αστικών και βραχώδων περιοχών) καθώς και της υψηλής νεφοκάλυψης και βροχώπτωσης, η περιοχή του Κορινθιακού κόλπου θεωρείται μια ιδιαίτερη και απαιτητική περίπτωση για εφαρμογή της τεχνικής των ΣΣ.

Παρ’ όλα αυτά η παρούσα ανάλυση ανέδειξε περιοχές με ικανοποιητικό αριθμό ΣΣ (για τον υπολογισμό επιφάνειας παρεμβολής) και συνέστησε μια τάση καθίζησης. Η αναφορά (Stefatos *et al.*, 2002), η οποία δηλώνει ότι το βόρειο τμήμα του Κορινθιακού κόλπου φαίνεται να υπόκειται μιας περιφεριακής καθίζησης, επιβεβαιώνει το συμπέρασμα της παρούσας εργασίας.

Βιβλιογραφία

- Avallone A., 2003: *Analyse de dix ans de deformation du rift de Corinthe (Grece) par geodesie spatiale*, These de Doctorat, IPGP.
- Briole P., A. Rigo, H. Lyon-Caen, J. Ruegg, K. Papazissi, K. Mitsakaki, 2000: Active deformation of the Corinth rift, Greece: Results from repeated Global Positioning System surveys between 1990 and 1995. *J. Geophys. Res.* **105**, 25605–25625.
- Colesanti C., A. Ferretti, N. Fabrizio, C. Prati, and F. Rocca, 2003: SAR Monitoring of progressive and seasonal ground deformation using the permanent scatterers technique. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, vol. **41**, No. **7**, 1685-1701.
- Crosetto M., M. Castillo, and R. Arbiol, 2003: Urban subsidence monitoring using radar interferometry: algorithms and validation. *Photogrammetric Engineering & remote sensing*, vol. **6**, No. **7**, 775-783.
- Ferretti A., C. Prati, and F. Rocca, 2001: Permanent scatterers in SAR interferometry. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, vol. **39**, No. **1**, 8–19.
- Stefatos A., G. Papatheodorou, G. Ferentinos, M. Leeder, and R. Collier, 2002: Seismic reflection imaging of active offshore faults in the Gulf of Corinth: their seismotectonic significance. *Basin Research*, **14**, 487-502.
- Tarantola A., 1987: *Inverse Problem Theory. Methods for data fitting model parameter estimation*. Εκδόσεις Elsevier Science Ltd.
- Williams S., S. Bock, and P. Pang, 1998: Integrated satellite interferometry: Tropospheric noise, GPS estimates and implications for interferometric synthetic aperture radar products. *J. Geophys. Res.* vol. **103**, No. **B11**, 27051-27067.
- CNES, 1996: *Philosophie et mode d’emploi de la chaine logicielle interferometrique DIAPASON*.