ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΕΣ ΕΙΚΟΝΕΣ SAR ΥΨΗΛΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ: Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΠΥΛΩΝΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Δήμητρα Βασιλάκη

Ερευνητής – Δρ Μηχανικός Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο Αθήνα, Ελλάδα e-mail: dimitra.vassilaki@gmail.com

Θανάσης Στάμος

Ε.ΔΙ.Π. – Δρ Μηχανικός Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο Αθήνα, Ελλάδα e-mail: stamthan@central.ntua.gr

Μανόλης Βουγιούκας

Λέκτορας Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο Αθήνα, Ελλάδα e-mail: manolis@central.ntua.gr

1. ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι μεταλλικοί πυλώνες μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας είναι μια ειδική περίπτωση μεταλλικών κατασκευών. Η χαρτογράφηση και η παρακολούθησή τους συνήθως πραγματοποιείται με επί τόπου ενόργανες μετρήσεις. Σε μερικές περιπτώσεις όμως η πραγματοποίηση επί τόπου μετρήσεων μπορεί να μην είναι εφικτή. Σε αυτές τις περιπτώσεις η από απόσταση χαρτογράφηση και παρακολούθηση τους είναι η καλύτερη λύση. Η παρούσα εργασία αφορά στην ανίχνευση και προσδιορισμό θέσης των μεταλλικών κατασκευών από το διάστημα. Η δορυφορική παρατήρηση υπερτερεί της επίγειας ενόργανης και επιτόπου παρατήρησης σε περιπτώσεις: α) που δεν είναι δυνατή (ή είναι επικίνδυνη) η επί τόπου παρουσία στην περιοχή του ενδιαφέροντος (πχ καταστροφικοί σεισμοί, πυρηνικά ατυχήματα κλπ) και β) ζητείται η μαζική παρατήρηση πολλών και διάσπαρτων κατασκευών σε σύντομο χρόνο και με οικονομικό τρόπο. Η παρούσα εργασία διερευνά την απεικόνιση των μεταλλικών πυλώνων και τον προσδιορισμό της θέσης τους σε πειραματικές μικροκυματικές εικόνες υψηλής ανάλυσης του γερμανικού δορυφορικού αισθητήρα TerraSAR-X. Η πλευρική γεωμετρία του αισθητήρα σε συνδυασμό με τη χρήση μικροκυματικής ακτινοβολίας και την πολύ υψηλή ανάλυση των εικόνων καθιστούν δυνατό τον εντοπισμό των μεταλλικών πυλώνων. Η σχετική μεθοδολογία εφαρμόζεται με επιτυχία σε ημιαστική περιοχή στην Αττική.

2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρούσα εργασία αφορά στην ανίχνευση και προσδιορισμό θέσης των μεταλλικών κατασκευών από το διάστημα. Η δορυφορική παρατήρηση υπερτερεί της επίγειας ενόργανης και επιτόπου παρατήρησης σε περιπτώσεις: α) που δεν είναι δυνατή ή είναι επικίνδυνη η επί τόπου παρουσία στην περιοχή του ενδιαφέροντος (πχ καταστροφικοί σεισμοί, πυρηνικά ατυχήματα κλπ) και β) ζητείται η μαζική παρατήρηση πολλών και διάσπαρτων κατασκευών σε σύντομο χρόνο και με οικονομικό τρόπο.

Ειδικότερα, η παρούσα εργασία αφορά στον προσδιορισμό της θέσης μεταλλικών πυλώνων μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας σε μικροκυματικές εικόνες. Η σημασία των πυλώνων σε περιπτώσεις φυσικών καταστροφών ή ατυχημάτων είναι μεγάλη, λόγω της ενεργειακής εξάρτησης μιας χώρας από αυτούς. Επιπλέον οι πυλώνες βρίσκονται διάσπαρτοι σε όλη την επιφάνεια μιας χώρας και συχνά είναι χωροθετημένοι σε απομακρυσμένες ή/και δύσβατες περιοχές. Οι δορυφορικές εικόνες (φωτογραφίες) της γήινης επιφάνειας που έχουν ληφθεί με ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία στην περιοχή του ορατού φωτός, παρότι απεικονίζουν με επιτυχία τις κατασκευές από σκυρόδεμα, απεικονίζουν ελάχιστα τους μεταλλικούς πυλώνες (στις περισσότερες περιπτώσεις οι πυλώνες είναι δυσδιάκριτοι, είτε δεν φαίνονται καθόλου, είτε φαίνεται μόνο η σκιά τους). Αντίθετα, οι μεταλλικοί πυλώνες είναι ευδιάκριτοι σε εικόνες στη μικροκυματική περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Επιπλέον, με τις τελευταίες εξελίξεις στον τομέα των δορυφορικών αισθητήρων, υπάρχουν σήμερα διαθέσιμες δορυφορικές εικόνες πολύ υψηλής ανάλυσης στη μικροκυματική περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος.

Η παρούσα εργασία διερευνά την απεικόνιση των μεταλλικών πυλώνων και τον προσδιορισμό της θέσης τους σε πειραματικές μικροκυματικές (SAR) εικόνες υψηλής ανάλυσης του γερμανικού δορυφορικού αισθητήρα TerraSAR-X. Η πλευρική γεωμετρία του αισθητήρα σε συνδυασμό με τη χρήση μικροκυματικής ακτινοβολίας και την πολύ υψηλή ανάλυση των εικόνων καθιστούν δυνατό τον εντοπισμό των μεταλλικών πυλώνων, ανεξάρτητα από τις καιρικές συνθήκες, ακόμα και τη νύχτα. Ειδικότερα, από τις οριζοντιογραφικές συντεταγμένες του πυλώνα, και σε συνδυασμό με παγκόσμια ψηφιακά μοντέλα επιφανείας, προσδιορίζεται η θέση που θα έπρεπε να απεικονίζεται ο πυλώνας στην εικόνα SAR. Η σχετική μεθοδολογία εφαρμόζεται με επιτυχία σε ημιαστική περιοχή στην Αττική.

3. ΕΙΚΟΝΕΣ SAR: ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΚΑΙ ΑΙΧΜΗ ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

Οι εικόνες SAR είναι εικόνες που έχουν ληφθεί με χρήση ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στη μικροκυματική περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Τα πρώτα πειράματα με χρήση ραδιοκυμάτων στη συχνότητα των μικροκυμάτων έγιναν στο τέλος του 19ου αιώνα και έδειξαν ότι οι ανακλάσεις μπορούν να λαμβάνονται από μεταλλικά και μη μεταλλικά αντικείμενα. Οι πρώτες έρευνες για την ανάπτυξη των radars πραγματοποιήθηκαν στην Αγγλία, στη Γερμανία και στις ΗΠΑ και κορυφώθηκαν στην περίοδο του Β' Παγκοσμίου Πολέμου [1, 2]. Στα πρώτα radars όταν εντοπίζονταν στόχοι όπως π.χ. πλοία ή αεροπλάνα, εμφανιζόταν θόρυβος στο σήμα. Σύντομα διαπιστώθηκε ότι ο θόρυβος αυτός ήταν μια χονδροειδής εικόνα του αντικειμένου που εντοπιζόταν και έτσι στα επόμενα χρόνια τα radars εξελίχθηκαν σε δέκτες απεικόνισης με αποτέλεσμα να παράγουν κάποιας μορφής εικόνα του αντικειμένου. Μετά τον πόλεμο τα radars χρησιμοποιήθηκαν στις γεωεπιστήμες. Σύγκριση των τότε εικόνων radar με υφιστάμενους

χάρτες έδειξε ότι οι εικόνες radar περιέχουν σημαντικές πληροφορίες της γήινης επιφάνειας υπερβαίνοντας, σε κάποιες περιπτώσεις, τις διαθέσιμες από τους χάρτες. Τα επόμενα χρόνια αναπτύχθηκαν δύο διαφορετικοί τύποι radars απεικόνισης. Αρχικά τα RAR (Real Aperture Radar) / SLAR (Side-Looking Airborn Radar) και στη συνέγεια τα SAR (Synthetic Aperture Radar). Η ανάγκη για την ανάπτυξη των SAR προέκυψε από τους περιορισμούς στην ανάλυση που είχαν οι προγενέστεροι τύποι radars απεικόνισης, τα RAR/SLAR. Με την επιτυχή εκτόξευση του LANDSAT το 1972 και τη σύντομη διάρκεια λειτουργίας του πρώτου πολιτικού δορυφορικού αισθητήρα SAR (SEASAT, 1978), οι αισθητήρες SAR επανεμφανίζονται τη δεκαετία του 90, αφού διαπιστώθηκαν περιορισμοί στους οπτικούς αισθητήρες, όπως για παράδειγμα σε περιοχές με εκτεταμένη νεφοκάλυψη ή μεγάλη διάρκεια νύχτας. Τη δεκαετία του 90 εκτός από τα εναέρια συστήματα SAR έκαναν την εμφάνιση τους και αρκετά δορυφορικά συστήματα (ERS, JERS, RADARSAT, ALMAZ κλπ) [1, 2]. Τα τελευταία χρόνια υπάρχει αυξημένο ενδιαφέρον για τις δυνατότητες των εικόνων SAR, τόσο όσον αφορά στην εξέλιξη των αισθητήρων όσο και στην ανάπτυξη τεχνικών επεξεργασίας των εικόνων [3]. Οι δορυφορικοί αισθητήρες SAR τελευταίας γενιάς (TerraSAR-X (2007), COSMO-SkyMed (2007), TanDEM-X (2010), Sentinel (2014), PAZ (2014), KOMPSAT-5 (2014) κλπ) εμφανίζουν σε μεγάλο βαθμό καινοτομικά γαρακτηριστικά σε σγέση με την προηγούμενη γενιά, όπως είναι η λειτουργία τους σε συμπλέγματα δορυφόρων, η ποικιλία πολώσεων, η πολύ υψηλή ανάλυση κλπ.

4. Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΠΥΛΩΝΩΝ: ΦΩΤΟΕΡΜΗΝΕΙΑ

Οι εικόνες SAR είναι εικόνες 2 διαστάσεων. Η διεύθυνση y μιας εικόνας SAR είναι παράλληλη στη διεύθυνση πτήσης του αισθητήρα και η διεύθυνση x είναι κάθετη στη διεύθυνση πτήσης. Σε αντίθεση με τις οπτικές εικόνες η γεωμετρία των εικόνων SAR είναι πλευρική και όχι κατακόρυφη με αποτέλεσμα να φαίνεται η πλευρική επιφάνεια του πυλώνα (Φωτ. 1 και Φωτ. 2) που είναι πολύ μεγαλύτερη από την κάτοψη του πυλώνα [4].



Φωτ. 1 Το δίκτυο υψηλής τάσης όπως απεικονίζεται σε τοπογραφικό διάγραμμα μέσης κλίμακας (αριστερά), σε οπτική δορυφορική εικόνα (μέση) και σε δορυφορική εικόνα SAR (δεξιά) [4].

Επιπλέον στις εικόνες SAR οι κατασκευές, οι δρόμοι, οι καλλιέργειες και άλλες

λεπτομέρειες της γήινης επιφάνειας απεικονίζονται με διαφορετικό τρόπο σε σχέση με τις οπτικές (ακόμη και σε σχέση με τις πανχρωματικές οπτικές εικόνες). Η διαφορά αυτή οφείλεται στη διαφορετική τεχνολογία που χρησιμοποιείται για τη λήψη αυτών των εικόνων: οι εικόνες SAR συλλέγονται με χρήση ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στην περιοχή των μικροκυμάτων ενώ για τη συλλογή των οπτικών εικόνων χρησιμοποιείται η περιοχή του ορατού φωτός του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Οι διαφορετικοί τόνοι του γκρίζου (Φωτ. 1 και Φωτ. 2) δεν αντιστοιχούν σε "πραγματικά" χρώματα αλλά στην στην ένταση του ηλεκτρομαγνητικού κύματος που λαμβάνεται από τον αισθητήρα. Ειδικά οι μεταλλικές κατασκευές (γέφυρες, πυλώνες κλπ) ανακλούν καλύτερα την ακτινοβολία με αποτέλεσμα να εμφανίζονται έντονα και ευδιάκριτα στις εικόνες SAR.



Φωτ. 2 Το δίκτυο υψηλής τάσης όπως απεικονίζεται σε οπτική δορυφορική εικόνα (αριστερά) και σε δορυφορική εικόνα SAR (δεξιά), σε μεγέθυνση.

5. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΘΕΣΗΣ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΠΥΛΩΝΩΝ

Οι σύγχρονοι αισθητήρες SAR, σε αντίθεση με τους οπτικούς αισθητήρες, παρέχουν τη δυνατότητα της άμεσης γεωαναφοράς. Δηλαδή ένα τρισδιάστατο (3-Δ) σημείο του χώρου, με γνωστές 3-Δ συντεταγμένες (πχ συντεταγμένες στο εθνικό σύστημα αναφοράς, ΕΓΣΑ87) μπορεί να προβληθεί στη διδιάστατη (2-Δ) εικόνα χρησιμοποιώντας μόνο τα τροχιακά δεδομένα του δορυφόρου που μεταφέρει τον αισθητήρα και μεταδεδομένα που συνοδεύουν την εικόνα SAR, χωρίς να είναι απαραίτητο να γίνουν άλλες μετρήσεις (μετρήσεις φωτοσταθερών).

Στην παρούσα εργασία το πρόβλημα που εξετάζεται είναι ο υπολογισμός της θέσης μεταλλικού πυλώνα στην 2-Δ εικόνα SAR, με δεδομένες τις δύο από τις τρεις 3-Δ συντεταγμένες του στο εθνικό σύστημα αναφοράς, και συγκεκριμένα τις (E,N). Το ορθομετρικό υψόμετρο (H) του σημείου μπορεί να υπολογιστεί με χρήση ενός παγκόσμιου Ψηφιακού Μοντέλου Επιφανείας, όπως για παράδειγμα είναι το SRTM [5], το οποίο και χρησιμοποιείται στην παρούσα εργασία. Οι συντεταγμένες (E,N) στο ΕΓΣΑ87 (το οποίο αποτελεί εγκάρσια μερκατορική προβολή βασισμένη στο μετατοπισμένο ελλειψοειδές GRS80) αρχικά μετατρέπονται σε γεωδαιτικές συντεταγμένες (λ,φ) μέσω των σειρών Redfearn:

$$\lambda = \lambda_{0} + \frac{x^{1}V_{1}}{1!c_{1}(k_{0}v_{1})^{1}} - \frac{x^{3}V_{3}}{3!c_{1}(k_{0}v_{1})^{3}} - \frac{x^{5}V_{5}}{5!c_{1}(k_{0}v_{1})^{5}} - \frac{x^{7}V_{7}}{7!c_{1}(k_{0}v_{1})^{7}}$$

$$\varphi = \varphi_{1} - \frac{x^{2}\beta_{1}t_{1}U_{2}}{2!(k_{0}v_{1})^{2}} - \frac{x^{4}\beta_{1}t_{1}U_{4}}{4!(k_{0}v_{1})^{4}} - \frac{x^{6}\beta_{1}t_{1}U_{6}}{6!(k_{0}v_{1})^{6}} - \frac{x^{8}\beta_{1}t_{1}U_{8}}{8!(k_{0}v_{1})^{8}}$$
(1)

Στη συνέχεια πραγματοποιείται παρεμβολή στο μοντέλο γεωειδούς προκειμένου να υπολογιστεί η αποχή γεωειδούς (N) στη συγκεκριμένη θέση και στη συνέχεια το γεωμετρικό υψόμετρο (h) υπολογίζεται μέσω της σχέσης:

$$=$$
 H + N

Με γνωστές τις γεωδαιτικές συντεταγμένες (λ,φ) και το γεωμετρικό υψόμετρο (h), οι γεωκεντρικές συντεταγμένες (X,Y,Z) του σημείου υπολογίζονται μέσω των σχέσεων: $X = (N' + h) \cdot \cos(\phi) \cdot \cos(\lambda)$

(2)

$$Y = (N' + h) \cdot \cos(\phi) \cdot \sin(\lambda)$$
(3)

$$Z = [(1 - e^2)N' + h] \cdot \sin(\phi)$$

h

Οι γεωκεντρικές συντεταγμένες (X,Y,Z) οι οποίες αναφέρονται στο ελλειψοειδές GRS80 του ΕΓΣΑ87 μετατρέπονται σε γεωκεντρικές του παγκόσμιου GRS80. Στη συνέχεια προβάλλονται στην εικόνα SAR και συγκεκριμένα στις συντεταγμένες (x_p, y_p) της εικόνας, με τις παρακάτω σχέσεις (φυσικό μοντέλο αισθητήρα TerraSAR-X):

$$\mathbf{x}_{\mathrm{P}} = \frac{\mathbf{R}_{\mathrm{P}} - \mathbf{R}_{0}}{\Delta \mathbf{R}}, \qquad \mathbf{y}_{\mathrm{P}} = \frac{\mathbf{t}_{\mathrm{P}} - \mathbf{t}_{0}}{\Delta \mathbf{t}_{\mathrm{Az}}}$$
(4)

όπου R_p είναι η απόσταση αισθητήρα – πυλώνα τη χρονική στιγμή t_p, και (R₀, t₀, ΔR, Δt_{Az}) είναι σταθερές που λαμβάνονται ή υπολογίζονται από τα μεταδεδομένα που συνοδεύουν την εικόνα SAR [4]. Η θέση του αισθητήρα προσδιορίζεται από τροχιακά δεδομένα τα οποία δίνουν τη θέση και την ταχύτητα του αισθητήρα σε 12 χρονικές στιγμές. Συγκεκριμένα υπολογίζονται τα κυβικά πολυώνυμα που περιγράφουν την τροχιά του δορυφόρου (X, Y, Z) μεταξύ των 2 χρονικών στιγμών που πραγματοποιήθηκε η λήψη της εικόνας SAR:

$$\vec{S}(t) = \begin{bmatrix} X_{s}(t) \\ Y_{s}(t) \\ Z_{s}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{0} + a_{1}t + a_{2}t^{2} + a_{3}t^{3} \\ b_{0} + b_{1}t + b_{2}t^{2} + b_{3}t^{3} \\ c_{0} + c_{1}t + c_{2}t^{2} + c_{3}t^{3} \end{bmatrix}, \quad \vec{S}(t) = \begin{bmatrix} \dot{X}_{s}(t) \\ \dot{Y}_{s}(t) \\ \dot{Z}_{s}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{1} + 2a_{2}t + 3a_{3}t^{2} \\ b_{1} + 2b_{2}t + 3b_{3}t^{2} \\ c_{1} + 2c_{2}t + 3c_{3}t^{2} \end{bmatrix}$$
(5)

Η χρονική στιγμή (t_p) στην οποία πραγματοποιήθηκε η μέτρηση του πυλώνα υπολογίζεται από την επίλυση της πολυωνυμικής σχέσης:

$$\begin{split} q(t_{p}) &= k_{0} + k_{1}t_{p} + k_{2}t_{p}^{2} + k_{3}t_{p}^{3} + k_{4}t_{p}^{4} + k_{5}t_{p}^{5} = 0 \end{split} \tag{6}$$
 $\begin{aligned} & \delta \pi o \upsilon: \quad k_{0} = X_{p}a_{1} + Y_{p}b_{1} + Z_{p}c_{1} - a_{0}a_{1} - b_{0}b_{1} - c_{0}c_{1} \\ & k_{1} = 2X_{p}a_{2} - 2a_{0}a_{2} + a_{1}^{2} + 2Y_{p}b_{2} - 2b_{0}b_{2} + b_{1}^{2} + 2Z_{p}c_{2} - 2c_{0}c_{2} + c_{1}^{2} \\ & k_{2} = 3(X_{p}a_{3} - a_{0}a_{3} + a_{1}a_{2} + Y_{p}b_{3} - b_{0}b_{3} + b_{1}b_{2} + Z_{p}c_{3} - c_{0}c_{3} + c_{1}c_{2}) \\ & k_{3} = 4a_{1}a_{3} + 2a_{2}^{2} + 4b_{1}b_{3} + 2b_{2}^{2} + 4c_{1}c_{3} + 2c_{2}^{2} \\ & k_{4} = 5(a_{2}a_{3} + b_{2}b_{3} + c_{2}c_{3}) \\ & k_{5} = 3(a_{3}^{2} + b_{3}^{2} + c_{3}^{2}) \end{aligned}$

η οποία επιλύεται με την αριθμητική μέθοδο Netwon-Raphson [4].

6. ΕΦΑΡΜΟΓΗ

Η μέθοδος της προηγούμενης παραγράφου εφαρμόστηκε σε ημιαστική περιοχή της

Αττικής. Χρησιμοποιήθηκε εικόνα SAR του γερμανικού δορυφορικού αισθητήρα TerraSAR-X. Η εικόνα είναι μη γεωμετρικά διορθωμένη εικόνα τύπου SSC (Single Look Slant Range) η οποία συλλέχθηκε με την μέθοδο απεικόνισης High Resolution SpotLight (300 Mhz) με μέση γωνία πρόσπτωσης ίση με 53°. Η εικόνα έχει ληφθεί με πόλωση τύπου HH. Η ανάλυση της εικόνας είναι 0.45 m στη διεύθυνση σάρωσης και 0.87 m στη διεύθυνση πτήσης. Επίσης χρησιμοποιήθηκε το παγκόσμιο μοντέλο γεωειδούς EGM 2008 [6], και το παγκόσμιο ψηφιακό μοντέλο επιφανείας SRTM-CGIAR (http://srtm.csi.cgiar.org/). Η χρήση παγκόσμιων μοντέλων είναι επιβεβλημένη σε περιπτώσεις φυσικών καταστροφών ή ατυχημάτων όπου ο διαθέσιμος χρόνος ενδεχομένως να μην επαρκεί για την εύρεση και τη χρήση τοπικών δεδομένων.

Από χάρτη αρχείου 40 ετών προσδιορίστηκαν οι συντεταγμένες 3 πυλώνων στο ΕΓΣΑ87: $P_1(487742.0, 4234685.5)$, $P_2(488117.6, 4236042.4)$ και $P_3(488232.4, 4236464.6)$. Με τη διαδικασία της προηγούμενης παραγράφου τα 3-Δ σημεία P_1 , P_2 και P_3 προβλήθηκαν στην 2-Δ SAR εικόνα (Φωτ. 3). Όπως φαίνεται, οι προβολές των πυλώνων στην εικόνα SAR αντιστοιχούν σε υφιστάμενους πυλώνες.



Φωτ. 3 Οι πυλώνες που εντοπίστηκαν στις θέσεις P₁, P₂ και P₃ αντίστοιχα.

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Στην παρούσα εργασία διερευνήθηκε η απεικόνιση των μεταλλικών πυλώνων σε δορυφορικές μικροκυματικές εικόνες υψηλής ανάλυσης και παρουσιάστηκε ο τρόπος προσδιορισμού της θέσης τους. Ο εντοπισμός των μεταλλικών πυλώνων είναι εφικτός στις σύγχρονες εικόνες SAR, κάτι το οποίο δεν επιτυγχάνεται πάντα στις αντίστοιχες οπτικές εικόνες. Η διαδικασία που παρουσιάστηκε στην παρούσα εργασία θα μπορούσε να εφαρμοστεί σε περίπτωση φυσικών καταστροφών ή ατυχημάτων προκειμένου να διαπιστωθεί αν οι μεταλλικοί πυλώνες εξακολουθούν να βρίσκονται στη θέση τους. Ενδιαφέρον αντικείμενο περαιτέρω έρευνας θα ήταν η χαρτογράφηση του δικτύου των μεταλλικών πυλώνων υψηλής τάσης σε ευρύτερες περιοχές της γήινης επιφάνειας.

8. ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Οι συγγραφείς ευχαριστούν τη Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών ΕΜΠ για την ευγενική παραχώρηση των δορυφορικών εικόνων.

9. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Henderson F.M. and Anthony J.L. eds. "Principles and applications of imaging radar. Manual of remote sensing", Vol. 2, John Wiley and sons, 1998.
- [2] Maître H, ed. "Processing of Synthetic Aperture Radar (SAR) Images", Vol. 27, John Wiley & Sons, 2010.
- [3] Ioannidis C. and Vassilaki D. "Combined use of spaceborne optical and SAR data Incompatible data sources or a useful procedure?", FIG Working Week 2008, 2008.
- [4] Vassilaki D.I., Ioannidis C. and Stamos A.A. "Georeference of TerraSAR-X images using Science Orbit Data", 31st EARSeL Symposium Proceedings, 2011, pp. 472-480.
- [5] Bamler R. "The SRTM mission: A world-wide 30 m resolution DEM from SAR interferometry in 11 days". Photogrammetric week, 1999, pp. 145-154.
- [6] Pavlis N.K., Holmes S.A., Kenyon S.C. and Factor, J.K. "An earth gravitational model to degree 2160: EGM2008". EGU General Assembly, 2008, pp. 13-18.

HIGH RESOLUTION SATELLITE SAR IMAGES: THE CASE OF HIGH VOLTAGE METALLIC PILLARS

Dimitra Vassilaki

Researcher – Dr.-Ing School of Rural and Surveying Engineering, National Technical University of Athens Athens, Greece e-mail: dimitra.vassilaki@gmail.com

Thanasis Stamos

Senior teaching fellow – Dr.-Ing School of Civil Engineering, National Technical University of Athens Athens, Greece e-mail: stamthan@central.ntua.gr

Manolis Vougioukas

Lecturer – Dr.-Ing School of Civil Engineering, National Technical University of Athens Athens, Greece e-mail: manolis@central.ntua.gr

SUMMARY

High voltage metallic pillars are a special case of metallic structures. The mapping and the monitoring of high voltage metallic pillars is normally performed with in-situ measurements. In some cases though, the mapping and monitoring with in-situ measurements may not be possible. In such cases the remote mapping and monitoring is the best solution. The objective of this paper is to study the detection and the computation of the location of metallic structures using satellite data. The mapping and the monitoring from space is advantageous in cases that: a) in situ presence to the area of interest is not feasible and/or possible (eg destructive earthquakes, nuclear incidents etc) and b) the observation of many scattered structures is needed, in short time and economically. This paper studies the imaging of high voltage metallic pillars on high resolution experimental radar images collected by the German satellite sensor TerraSAR-X, as well as the computation of their position on the image. The side-looking imaging geometry of the SAR sensor, the use of the microwave part of the electromagnetic spectrum for the collection of the image, and the high resolution imaging mode of the sensor, make the location of the metallic pillars on the SAR image possible. The method is tested successfully over a sub-urban area of Attica.