

ΣΥΝΕΔΡΙΑ ΤΗΣ 2^{ΑΕ} ΙΟΥΝΙΟΥ 1994

ΠΡΟΕΔΡΙΑ ΘΕΜΙΣΤΟΚΛΗ ΔΙΑΝΝΕΛΙΔΗ

ΣΕΙΣΜΟΛΟΓΙΑ.— **Ἀναίρεση μαγνητοτελλουρικοῦ θορύβου μεθόδους ἀνάλυσης καὶ πρόβλεψης χαοτικῶν χρονοσειρῶν**, ὑπὸ *I. Μ. Πολυγιαννάκη, I. Μακρῆ, Γ. Ἀντωνοπούλου, Κ. Εὔταξιά**, διὰ τοῦ Ἀκαδημαϊκοῦ κ. Καίσαρος Ἀλεξοπούλου.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ἀποτέλεσμα μαγνητοσφαιρικῶν διαταραχῶν εἶναι ἡ ἐκπομπή πρὸς τὴ $\Gamma\eta$ χρονικὰ μεταβαλλόμενου ἡλεκτρομαγνητικοῦ πεδίου. Ἡ ἀλληλεπίδραση τοῦ πεδίου αὐτοῦ μετὰ τὴ γεωηλεκτρικὴ δομὴ διαμορφώνει στὴν ἐπιφάνειά της τὸ μαγνητοτελλουρικὸ πεδίο, τοῦ ὁποῖου ἡ ἡλεκτρικὴ συνιστώσα συσχετίζεται μετὰ τὴ μαγνητικὴ μέσω τοῦ *ταυστῆ* τῆς ἐμπέδησης

$$\bar{E}(\omega) = \tilde{Z}(\omega)\bar{H}(\omega)$$

Ἡ μελέτη τοῦ *ταυστῆ* τῆς ἐμπέδησης ἐπιτρέπει τὴν ἄντληση πληροφοριῶν, (π.χ. συμμετρίες, χαρακτηριστικὲς διευθύνσεις), γιὰ τὴν τοπικὴ κατανομὴ τῆς ἀγωγιμότητος.

Ἡ μαγνητοτελλουρικὴ διαταραχὴ συνιστᾷ «θόρυβο» στὴν προσπάθεια ἀνίχνευσης μεταβολῶν τοῦ ἡλεκτρικοῦ πεδίου στὴν ἐπιφάνεια τῆς $\Gamma\eta$ ς ποὺ προέρχονται ἀπὸ διαδικασίες ποὺ λαμβάνουν χώρα στὸ ὑπέδαφος, ὅπως γιὰ παράδειγμα συμβαίνει κατὰ τὸ προπαρασκευαστικὸ στάδιο ἑνὸς σεισμοῦ. Ἔτσι ἡ ἀνίχνευση ἑνὸς προσεισμικοῦ σήματος προϋποθέτει τὴν ἀναίρεση τῆς μαγνητοτελλουρικῆς διαταραχῆς.

* I. M. POLYGIANNAKIS, I. MAKRI, G. ANTONOPOULOS, K. EFTAXIAS, **Cancellation of magnetotelluric noise using methods for analysing and predicting chaotic timeseries.**

Ἡ συνήθης μαγνητοτελλουρική μέθοδος ἀναίρεσης περιγράφεται ποιοτικά ἀπὸ τὴ σχέση:

$$\bar{A}(\omega) = \bar{E}(\omega) - \tilde{Z}(\omega) \bar{H}(\omega)$$

Ἡ νέα μέθοδος γιὰ τὴν ἀναίρεση τοῦ μαγνητοτελλουρικοῦ θορύβου ποὺ παρουσιάζεται, στηρίζεται στὴ θεωρία καὶ στὶς μεθόδους ἀνάλυσης καὶ πρόβλεψης χρονοσειρῶν χαοτικῶν συστημάτων, ποὺ ἀναπτύχθηκαν κυρίως κατὰ τὴν τελευταία δεκαετία.

Οἱ μέθοδοι αὐτὲς ἐπιτρέπουν, κάτω ἀπὸ πολὺ γενικὲς ὑποθέσεις, κατ' ἀρχάς, τὴν ἀκριβῆ φαινομενολογικὴ ἀναπαράσταση τῆς συμπεριφορᾶς ἑνὸς δυναμικοῦ συστήματος ἀπὸ ἓνα μεγάλο ἀριθμὸ μετρήσεων ἑνὸς ἢ περισσοτέρων μεγεθῶν του (ἐδῶ τῶν μαγνητοτελλουρικῶν διαταραχῶν ποὺ μετρῶνται ἀπὸ τὸ δίκτυο BAN), χωρὶς νὰ εἶναι ἀπαραίτητη ἡ γνώση τῶν ἐξισώσεων ποὺ τὸ διέπουν.

Βασικὲς ὑποθέσεις γιὰ τὴ χρῆση αὐτῶν τῶν τεχνικῶν εἶναι οἱ ἑξῆς:

α. Τὰ παρατηρούμενα μεγέθη εἶναι ὑποσύνολο τῶν πεπερασμένων στὸ πλῆθος, ὁμοειδῶν, ἀνεξαρτήτων μεταβλητῶν ἑνὸς ντετερμινιστικοῦ συστήματος, ὑποκειμένου σὲ ἐξισώσεις ἐξέλιξης, δὲν πρόκειται δηλαδὴ γιὰ τυχαῖα διακυμαινόμενα μεγέθη μιᾶς στοχαστικῆς διαδικασίας. Ἡ ὑπόθεση αὕτη εἶναι κοινὴ γιὰ ὅλες τὶς μεθόδους ποὺ προκύπτουν ἀπὸ φυσικὲς θεωρίες.

β. Τὰ παρατηρούμενα μεγέθη εἶναι χρονικῶς στάσιμα. Τοῦτο σημαίνει πὼς ἡ δυναμικὴ τοῦ συστήματος παραμένει στατιστικῶς ὅμοια σὲ ὅλη τὴν χρονικὴ περίοδο ποὺ μᾶς ἐνδιαφέρει, χωρὶς νὰ παρατηροῦνται νέα φαινόμενα.

Μὲ τὴ χρῆση ἱκανοῦ ἀριθμοῦ μετρήσεων ὡς «βάσεως δεδομένων» γιὰ τὴν ἐκμάθηση στὴ συμπεριφορὰ τοῦ συστήματος, εἶναι δυνατὴ ἡ πρόβλεψη μελλοντικῶν τιμῶν γιὰ τὰ μεγέθη του.

Ἡ ἀκρίβεια τῆς προβλέψεως μὲ αὐτὲς τὶς τεχνικὲς ἐξαρτᾶται ἀπὸ τὸ εἶδος τῆς δυναμικῆς τοῦ συστήματος, τὶς ἐπιδόσεις τῆς χρησιμοποιούμενης τεχνικῆς, καθὼς καὶ ἀπὸ τὸ μέγεθος καὶ τὴν ἀντιπροσωπευτικότητά τῆς βάσεως δεδομένων ποὺ ἐπιλέχθηκε. Γιὰ χαοτικὰ δυναμικὰ συστήματα, ὅπως στὴν περίπτωσή μας, ἡ προβλεψιμότητα μειώνεται μὲ τὸ χρόνο καὶ εἶναι σημαντικὴ μόνο γιὰ τὸ ἐγγύτερο μέλλον.

Ἀπὸ μιὰ κατάλληλα ἐπιλεγμένη, ἀντιπροσωπευτικὴ βάση ἡλεκτρικῶν μετρήσεων μαγνητοτελλουρικοῦ θορύβου, στὴν ὁποία ὑποθέτουμε ὅτι δὲν περιέχονται σήματα διαφορετικῆς δυναμικῆς, γιὰ κάθε μελλοντικὴ χρονικὴ στιγμή ὑπολογίζονται οἱ προβλεπόμενες τιμὲς τοῦ μαγνητοτελλουρικοῦ θορύβου καὶ ἀφαιροῦνται ἀπὸ τὶς ἀντίστοιχες παρατηρούμενες.

Οί διαφορές, (ἐκτὸς ἀπὸ μιὰ χαμηλὴ στάθμη θορύβου, ὀφειλομένη στὴν ἐγγενὴ ἀπώλεια προβλεψιμότητος, καὶ μιὰ ἀκόμη μικρότερη, ὀφειλομένη σὲ μετρητικὰ καὶ ὑπολογιστικὰ σφάλματα διακριτοποιήσεως, στρογγυλοποιήσεων, ἀποκοπῆς κ.ἄ.), παρ-
αβιάζουν τὴν ὑπόθεση τῆς χρονικῆς στασιμότητος καὶ ἐρμηνεύονται ὡς ἔκτακτα
σήματα διαφορετικῆς δυναμικῆς συμπεριφορᾶς ἀπὸ αὐτὴ τοῦ μαγνητοτελλουρικοῦ
θορύβου, ὅπως αὕτη τῶν προσεισιμικῶν σημάτων.

2. ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ

Ἡ ἐξέλιξις ἑνὸς δυναμικοῦ συστήματος E ἀνεξαρτήτων μεταβλητῶν $X_i(t)$, $i = 1, \dots, E$, μπορεῖ νὰ προβλεφθεῖ ἐπακριβῶς ἂν εἶναι γνωστὰ μὲ ἀπεριόριστη βε-
βαιότητα:

(α) τὸ διάνυσμα κατάστασης τοῦ συστήματος $X(t_0) = \{X_i(t_0)\}$, $i = 1, \dots, E$
σὲ κάποια χρονικὴ στιγμή t_0 , καὶ

(β) οἱ ἐξισώσεις ἐξέλιξης τοῦ συστήματος $X(t) = F\{X_i(t)\}$. (Ἐδῶ τὸ σύστημα
ὑποτίθεται πὼς ἔχει θεθεῖ σὲ αὐτόνομη μορφή).

Τὸ διάνυσμα κατάστασης μπορεῖ νὰ κατασκευαστεῖ ἐπίσης ἀπὸ μιὰ ὁποιαδή-
ποτε μεταβλητὴ $X(t)$ καὶ διαδοχικὲς χρονικὲς τῆς παραγώγους. Ἐτσι, ἂν τὸ σύ-
στημα εἶναι κατανάλισκον, ὅποτε οἱ καταστάσεις του νὰ βρίσκονται τελικὰ πάνω σὲ
ἕναν ἔλκυστή, εἶναι δυνατὴ κατ' ἀρχὴν ἡ ἀνακατασκευὴ τοῦ φασικοῦ χώρου ἀπὸ
«ἄρκετὰ μεγάλο» ἀριθμὸ μετρήσεων μιᾶς μόνο ποσότητος χωρὶς τὴ γνώση τῶν ἐξι-
σώσεων τοῦ συστήματος. Ὁ φασικὸς χῶρος μπορεῖ νὰ ἀνακατασκευαστεῖ ἐπίσης
ἀπὸ χρονοσειρὲς μιᾶς μεταβλητῆς μὲ συνιστώσες «καθυστέρησης» (delay time
co-ordinates) (Packard *et al.*, 1980):

$$X^T(t) = \{X(t), X(t+\tau), X(t+2\tau), \dots, X[t+(E-1)\tau]\} \quad (1)$$

Ἡ ἀναπαράσταση αὕτη γενικεύτηκε εἰδικὰ γιὰ τὶς ἀνάγκες τῆς μεθόδου ἀνάλι-
σεως γιὰ νὰ συμπεριλάβει n ταυτόχρονες μετρήσεις περισσοτέρων ἀνεξαρτήτων με-
ταβλητῶν $X_i(t)$, $i = 1, \dots, n$ τοῦ συστήματος, πού, στὴν περίπτωσή μας, ἀντιπρο-
σωπεύουν μετρήσεις γεωηλεκτρικῶν σημάτων σὲ κάθετες, μεταξὺ τους, διευθύνσεις
ἢ/καὶ ἀπὸ διαφορετικὲς περιοχὲς στὸν ἴδιο σταθμό.

$$X^T(t) = \{X_i(t), X_i(t+\tau), X_i(t+2\tau), \dots, X_i[t+(E-1)\tau]\}, i = 1, \dots, n \quad (2)$$

Ὁ χρόνος «καθυστέρησης» τ , καθὼς καὶ ἡ διάσταση ἐμβάπτισης E τοῦ φασι-
κοῦ χώρου εἶναι, συνήθως, ἄγνωστα ἐκ τῶν προτέρων. Ἡ σημασία τῆς ἐπιλογῆς
τους ἐξαρτᾶται ἀπὸ τὸν σκοπὸ τῆς ἀνακατασκευῆς τοῦ φασικοῦ χώρου τοῦ ὑπὸ με-
λέτη συστήματος.

Μοντέλα πρόβλεψης τῶν μελλοντικῶν καταστάσεων τοῦ συστήματος μποροῦν νὰ κατασκευαστοῦν ἂν δίνεται μία «βάση» προγενεστέρων καταστάσεων (Farmer & Sidorowich 1987, Casdagli 1989).

Οἱ μέθοδοι αὐτὲς χωρίζονται, γενικά, ὡς ἀκολούθως:

(α) *Καθολικὲς τεχνικὲς προβλέψεως (global prediction methods)*, στὶς ὁποῖες ἀπὸ ὀλόκληρη τὴ βάση δεδομένων κατασκευάζεται μία προσεγγιστικὴ ἀπεικόνιση ποὺ συνδέει τὶς προγενέστερες μὲ τὶς μελλοντικὲς καταστάσεις τοῦ συστήματος.

(β) *Τοπικὲς τεχνικὲς προβλέψεως (local prediction methods)*, οἱ ὁποῖες χρησιμοποιοῦν τὴν ἐξέλιξη μικροῦ ἀριθμοῦ k πλησιέστερων καταστάσεων $X_j(t_j)$ σὲ κάθε κατάσταση ἀναφορᾶς $X(t)$ γιὰ τὴν κατασκευὴ τῆς τοπικῆς (προσεγγιστικῆς) ἀπεικόνισης. Ἡ προβλεπόμενη κατάσταση τοῦ συστήματος $X_p(t+T)$ μετὰ ἀπὸ χρόνον T στὶς τοπικὲς τεχνικὲς γράφεται:

$$X_p(t+T) = \sum_{i=1}^k \omega_i X_j'(t_j+T) \quad (3)$$

ὅπου τὰ βάρη ω_j ὑπολογίζονται, σύμφωνα μὲ τὴ μέθοδο, ἀπὸ τὶς καταστάσεις $X(t)$ καὶ $X_j(t_j)$.

Αὐτὰ τὰ μοντέλα πρόβλεψης εἶναι μὴ γραμμικά, καθὼς χωρικὰ κοντινὲς καταστάσεις στὴ σχέση (3) δὲν εἶναι, γενικά, δυναμικὰ συνδεδεμένες, δηλαδὴ χρονικῶς κοντὰ.

Ἡ μέθοδος τοπικῆς πρόβλεψης ποὺ χρησιμοποιήθηκε (Sugihara & May 1990) ὀρίζει $k = E+1$ (ποὺ στὴν περίπτωσή μας γενικεύεται σὲ $k = nE+1$ γιὰ n ἀνεξάρτητες μετρήσεις), μὲ τὴ συνθήκη κανονικοποίησης:

$$\sum_{i=1}^k \omega_i = 1 \quad (4)$$

δίνοντας βάρη ω_j ἐκθετικὰ ἐξαρτώμενα ἀπὸ τὴν ἀπόσταση τῆς κατάστασης ἀναφορᾶς ἀπὸ τὴν j πλησιέστερή της.

Ἡ ἀκρίβεια τῆς πρόβλεψης σὲ μέλλοντα χρόνο T ἀξιολογεῖται στατιστικὰ γιὰ ἓνα μεγάλο ἀριθμὸ καταστάσεων ἀναφορᾶς $X(t)$ μὲ τὸ συντελεστὴ γραμμικῆς συσχέτισης $r(T)$ μεταξὺ μιᾶς προβλεπόμενης συνιστώσας τῶν καταστατικῶν διανυσμάτων (στὴν ἀναπαράσταση (2) τῆς $X[t+T+(E-1)\tau]$ καὶ τῆς ἀντίστοιχης παρατηρούμενης. Τὰ μὴ-χαρακτικὰ δυναμικὰ συστήματα εἶναι πλήρως προβλέψιμα, συνεπῶς

τὸ r εἶναι ἀνεξάρτητο τοῦ T . Σὲ χαοτικὰ συστήματα μὲ ἓνα θετικὸ ἐκθέτη Lyapunov, τὸ $r(T)$ μειώνεται μὲ ρυθμὸ πού, γιὰ μικρὰ T εἶναι ἀνάλογος τῆς μετρικῆς ἐντροπίας K , ἀνεξάρτητα ἀπὸ τὴ χρησιμοποιούμενη τοπικὴ μέθοδο προβλέψεως (Wales 1991):

$$r(T) = 1 - \frac{s^2}{2\sigma^2} \exp(2KT) \quad (5)$$

ὅπου σ εἶναι ἡ τυπικὴ ἀπόκλιση τῆς μετρούμενης χρονοσειρᾶς καὶ s εἶναι ἓνα μέτρο τῆς ποσότητος πληροφορίας πού περιέχεται στίς ἀρχικὲς καταστάσεις $X_j(t_j)$ ὅπως αὐτὴ ποσοτικοποιεῖται ἀπὸ τὴ χρησιμοποιούμενη μέθοδο προβλέψεως. Ἄν τὸ χαοτικὸ σύστημα διαθέτει περισσότερους τοῦ ἑνὸς θετικούς ἐκθέτες Lyapunov, τὸ K εἶναι ἓνα κατώτερο ὄριο τῆς μετρικῆς ἐντροπίας.

Σὲ ὅλες τὶς περιπτώσεις ἀνάλυσης χρονοσειρῶν γεωηλεκτρικῶν διαταραχῶν ἀπὸ μετρήσεις τοῦ δικτύου BAN διαπιστώθηκε ἐκθετικὴ, ἀργὴ μείωση τῆς προβλεψιμότητος μὲ τὸ χρόνον T , ὑποδεικνύοντας πὼς ὑπεύθυνο γιὰ τὴ δημιουργία τους εἶναι πιθανὸν ἓνα, χαμηλῆς διάστασης, χαοτικὸ δυναμικὸ σύστημα. Γιὰ τὴν περιοχὴ τῆς Ζακύνθου προσδιορίζεται ὡς ἐνδεικτικὸ κάτω ὄριο τῆς μετρικῆς ἐντροπίας $K = 10^{-3} \text{ s}^{-1}$.

Γιὰ νὰ ἐλαχιστοποιηθεῖ ἡ ἀπώλεια τῆς προβλεψιμότητος, οἱ προβλέψεις γίνονται στὸ μικρότερο δυνατὸ χρονικὸ βῆμα Δt , ὅπου Δt ὁ χρόνος δειγματοληψίας. Τὸ ἀναιρεθὲν σῆμα προκύπτει ἀπὸ τὴν ἀφαίρεση τῶν προβλεπομένων συνιστωσῶν κάθε μεταβλητῆς (στὴν ἀναπαράσταση (2) τῶν $X_i^p[t+T+(E-1)t]$, ἀπὸ τὶς ἀντίστοιχες παρατηρούμενες.

Εἰδικὴ μέριμνα λαμβάνεται γιὰ τὴν ἐξασφάλιση τῶν ιδιοτήτων στασιμότητος τῶν σημάτων καὶ ταυτότητας τῆς δυναμικῆς τοῦ μαγνητοτελλουρικοῦ ὑποβάθρου θορύβου μεταξὺ τῆς βάσεως δεδομένων καὶ τοῦ πρὸς ἀναίρεση σήματος, ὅπως ἀπαιτεῖται ἀπὸ τὶς ὑποθέσεις. Πρὸ τῆς διαδικασίας ἀναίρεσης, ἀπὸ τὶς μετρήσεις τῆς βάσεως δεδομένων καὶ αὐτὲς τοῦ πρὸς ἀναίρεση σήματος ἀφαιρεῖται ἡ γραμμικὴ τάση τους (linear trend) καὶ κανονικοποιοῦνται μὲ κατάλληλη ἀλλαγὴ κλίμακος ὥστε νὰ ἐμφανίζουν μοναδιαία διασπορά. Ἡ διαδικασία αὕτη ἔχει ὡς ἀποτέλεσμα οἱ ροπὲς πρώτης καὶ δευτέρας τάξεως τῆς κατανομῆς πιθανότητος ἐμφάνισης νὰ εἶναι ἀνεξάρτητες τοῦ χρόνου καὶ ἴσες γιὰ τὴ βάση καὶ τὸ ἀναιρούμενο σῆμα.

3. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Γιὰ τὶς ἐφαρμογὰς τῆς μεθόδου χρησιμοποιήθηκαν μετρήσεις γεωηλεκτρικῶν διαταραχῶν ἀπὸ τὴν περιοχὴ τῆς Ζακύνθου, μὲ χρόνον δειγματοληψίας 1s, ἀποτε-

λούμενων από 15α τμήματα 4096 συνεχώς μετρήσεων ταυτοχρόνως σε δύο απομακρυσμένα μεταξύ τους ηλεκτρικά δίπολα μήκους 100 και 200 μέτρων, αντίστοιχα.

Ως βάση δεδομένων χρησιμοποιήθηκε το τμήμα από την 9/5/1990 και προς ανάιρεση το τμήμα από την 12/6/1990 (περίπου σε χρονική απόσταση ενός μηνός). Η ανάιρεση έγινε με παραμέτρους ἐμβάπτισης $E=1$, $\tau=1$ χωριστά για κάθε δίπολο (δηλαδή $n=2$). Τα αποτελέσματα φαίνονται στο σχήμα (1α-δ). Παρατηρούμε αποτελεσματική ανάιρεση του θορύβου σε όλες τις περιπτώσεις.

Για τη μελέτη της ἐπιτυχίας ἀνάδειξης σημάτων διαφορετικῆς δυναμικῆς ἀπὸ αὐτὴ τοῦ θορύβου ὑποβάθρου, στὸ πρὸς ἀνάιρεση μετρηθὲν σῆμα προστέθηκε τεχνητὸς παλμὸς σχήματος Γκαουσιανοῦ κώδωνα σὲ διάφορους συνδυασμοὺς εὗρους, ὕψους, χρονικοῦ μέσου καὶ γωνίας πόλωσης. Τὰ γενικὰ συμπεράσματα γιὰ τὴν ἀπόδοση εἶναι τὰ ἑξῆς:

(α) Ἡ μέθοδος μπορεῖ νὰ ἀναδείξει με ἐπιτυχία σήματα μικρῆς χρονικῆς διάρκειας, σὲ σχέση με αὐτὴ τοῦ συνολικοῦ πρὸς ἀνάιρεση σήματος, ὥστε ἡ παρουσία του νὰ μὴν ἀλλοιώνει σοβαρὰ τὶς στατιστικὲς ιδιότητές του.

(β) Ἡ ἀνάδειξη εἶναι ἐπιτυχέστερη ὅταν τὸ τεχνητὸ σῆμα ἔχει γωνία γραμμικῆς πόλωσης κάθετη σὲ αὐτὴ τοῦ μαγνητοτελλουρικοῦ σήματος.

Παραδείγματα ἀνάδειξης τεχνητοῦ σήματος παρουσιάζονται στὰ σχήματα (1α-δ).

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τὰ πλεονεκτήματα τῆς προταθείσης μεθόδου εἶναι τὰ ἑξῆς:

α) Ἡ ἀνάιρεση τῆς ηλεκτρικῆς συνιστώσας τῆς μαγνητοτελλουρικῆς διαταραχῆς δὲν ἀπαιτεῖ ταυτόχρονες μετρήσεις τοῦ μαγνητικοῦ πεδίου, ὅπως ἡ μέθοδος τῆς μαγνητοτελλουρικῆς ἀνάιρεσης, ἀλλὰ δρᾷ μόνο στὶς πρὸς ἀνάιρεση ηλεκτρικὲς μετρήσεις.

β) Ἡ διαφοροποίηση τῆς δυναμικῆς τοῦ πρὸς ἀνάδειξη σήματος, ἀπὸ ἐκείνη τοῦ μαγνητοτελλουρικοῦ θορύβου εἶναι ἡ μόνη ἀναγκαία προϋπόθεση γιὰ τὴν ἐφαρμογὴ τῆς μεθόδου.

γ) Ἡ μέθοδος μπορεῖ νὰ ἐφαρμοστεῖ γιὰ τὴν ἀνάιρεση τοῦ μαγνητοτελλουρικοῦ θορύβου πὺ καταγράφεται σὲ ἓνα καὶ μόνο δίπολο, ἐνῶ ἡ μαγνητοτελλουρικὴ ἀνάιρεση ἀπαιτεῖ ταυτόχρονες καταγραφὲς ἀπὸ ζευγὸς διπόλων σὲ κάθετες διευθύνσεις.

δ) Ἡ ἐφαρμογὴ τῆς μεθόδου ἀπαιτεῖ μικρὸ χρόνο ὑπολογιστικῆς ἐπεξεργασίας, καθιστώντας, κατ' ἀρχήν, δυνατὴ τὴν ταυτόχρονη μετὴ συλλογὴ μετρήσεων, ἀνάιρεση τοῦ μαγνητοτελλουρικοῦ θορύβου σὲ πραγματικὸ χρόνο.

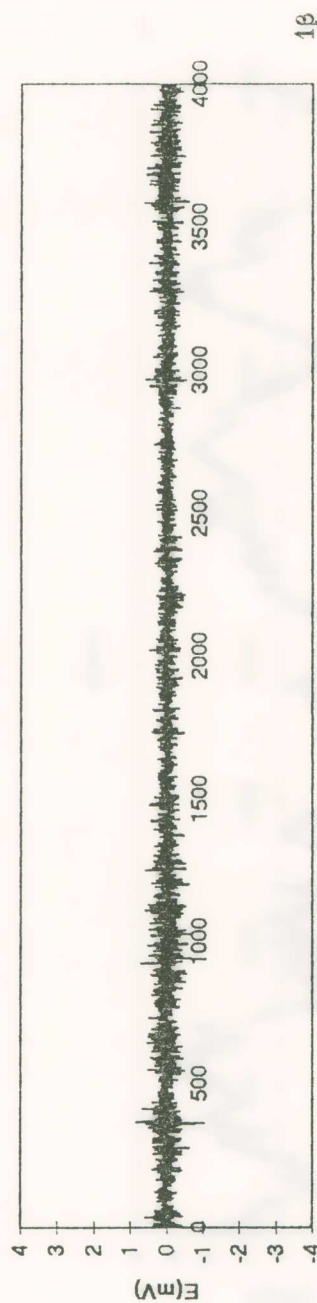
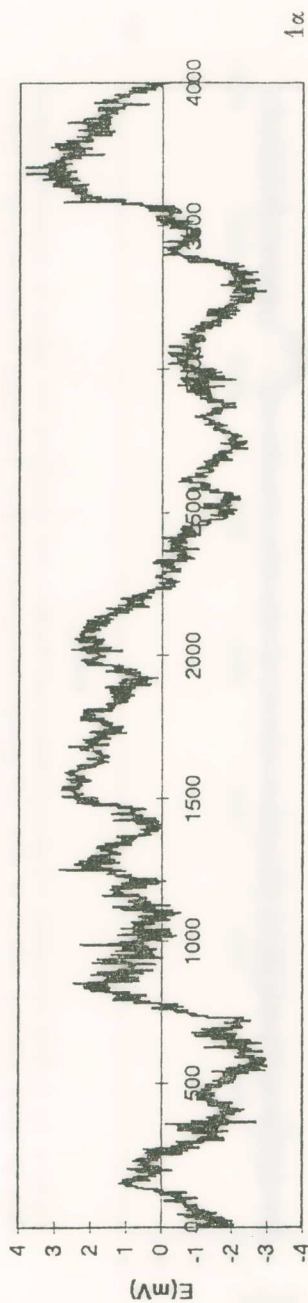
SUMMARY

Cancellation of magnetotelluric noise using methods for analysing and predicting chaotic timeseries.

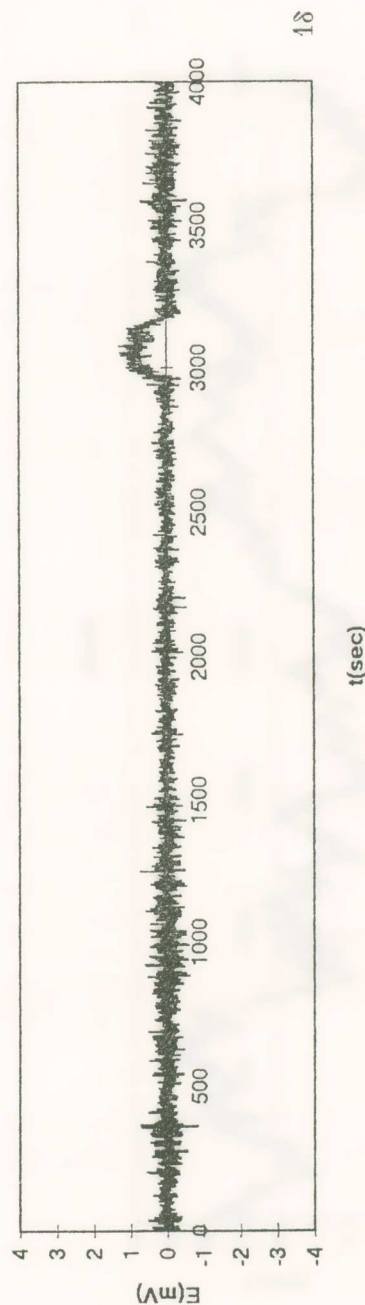
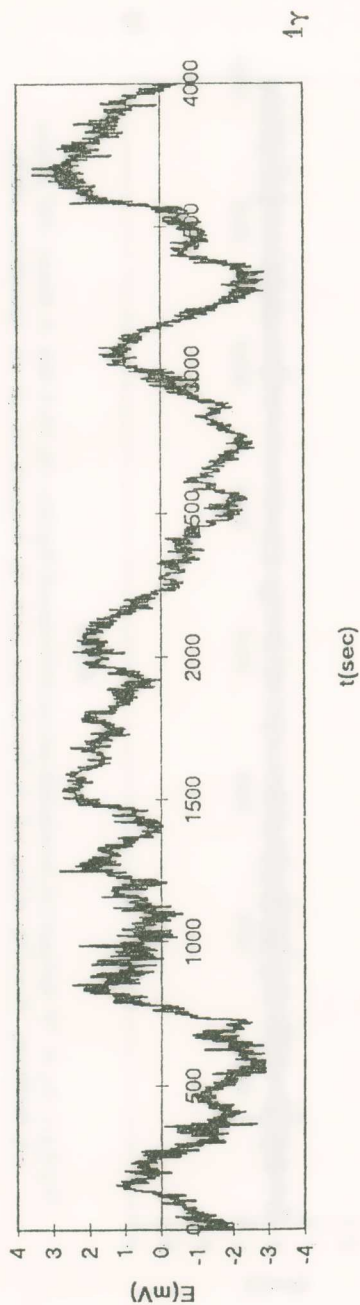
We present a new method for filtering the magnetotelluric noise from the Earth electric field measurements, recorded in VAN stations. The method is based on techniques of non linear forecasting of chaotic timeseries. Applications and evaluation of the performance of the method are made using high resolution data from Zakynthos.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

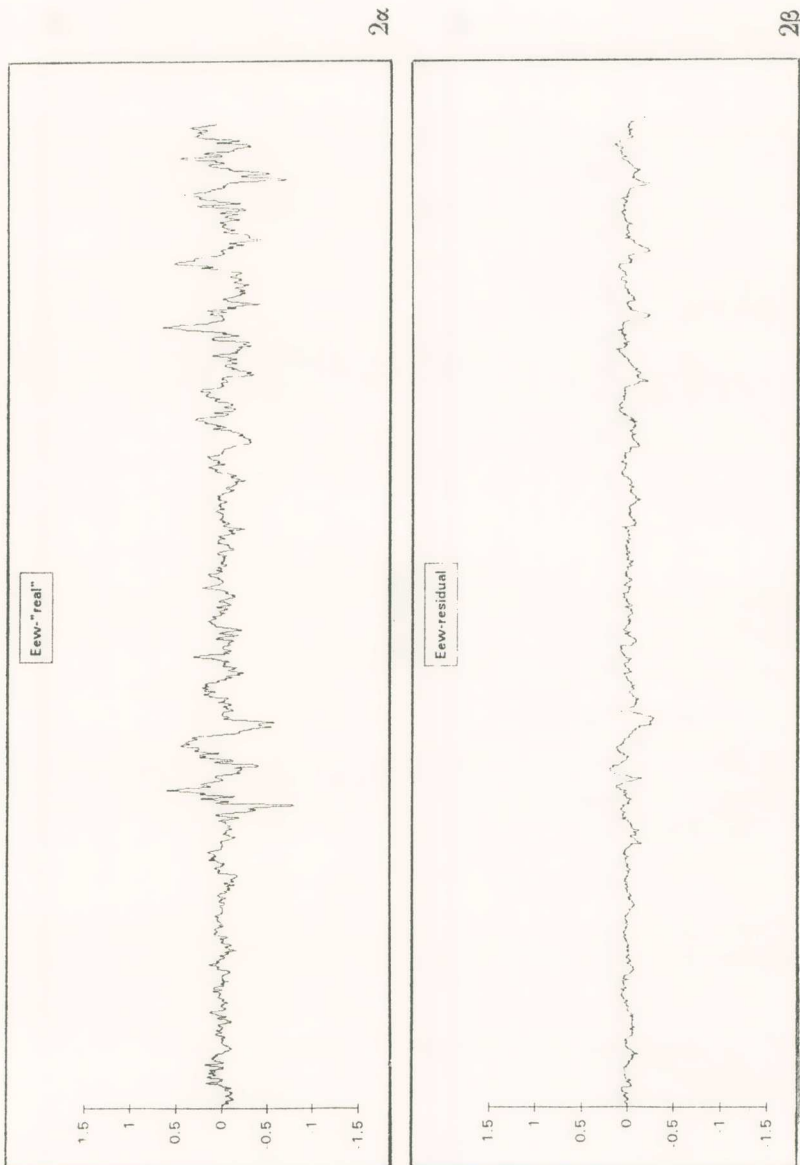
- Casdagli, M.: 1989, Physica D, **35**, 335-356
Farmer, J. D., Sidorowich, J. J.: 1987, Phys. Rev. Lett. **59**, 845-848
Packard, N. H., Crutchfield, L. P., Farmer, J. D., Shaw, R. S.: 1980, Phys. Rev. Lett., **45**, 712-716
Sugihara, G., May, R. M.: 1990, Nature **344**, 734-741
Wales, D. J.: 1991, Nature **350**, 485-488



Σχῆμα 1α, β: Ἡ πραγματική καταγραφή μαγνητοελλοειρικοῦ θορύβου τῆς 12/6 ἀπὸ τὸ δίπολο 100 μέτρων στῇ διεύθυνση Ἀνατολῆς-Δύσης καὶ τὸ ἀποτελεσμα μετὰ τὴν ἀναίρεσὴ του μὲ τὴν προταθείσα μέθοδο.



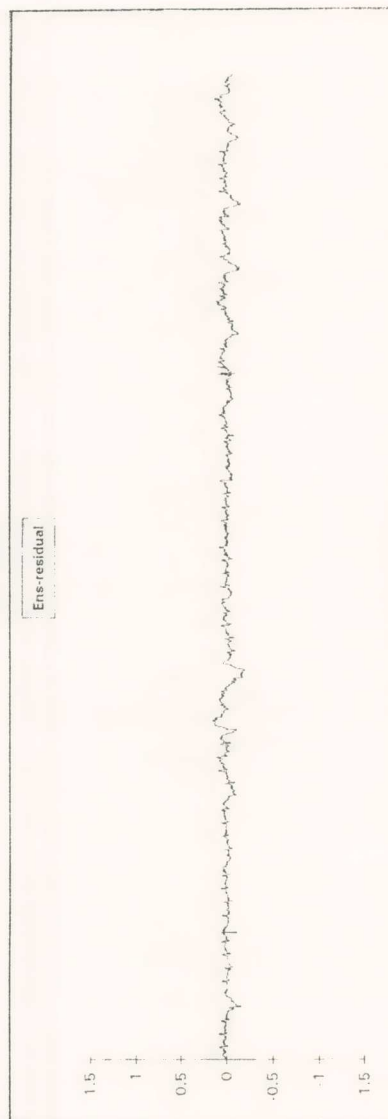
Σχήμα 1γ, δ: Στην καταγραφή του μαγνητοελλοειδικού θορύβου που εικονίζεται στο σχήμα 1α προστέθη τεχνητό σήμα με γωνία πόλωσης κάθετη σε αυτή του μαγνητοελλοειδικού θορύβου. Στο σχήμα 1γ απεικονίζεται η επαλληλία των δύο σημάτων και στο 18 το άποτέλεσμα της μαγνητοελλοειδικής συνιστώσας.



Σχ 2α-β: Προγραμματικές καταγραφές μαγνητοτελελυμένου θορύβου από την περιοχή Ζακύνθου και το αποτέλεσμα της ανάλυσής του με την μαγνητοτελελυτική μέθοδο [$\bar{A}(\omega) = \bar{E}(\omega) - \tilde{Z}(\omega)\bar{H}(\omega)$].



27



28