

# Αναγνώριση ιδιομορφών υποβρύχιου ακουστικού σήματος με χρήση συνελικτικών νευρωνικών δικτύων

Τμήμα Μαθηματικών και Εφαρμοσμένων Μαθηματικών, Πανεπιστήμιο Κρήτης

Κώστας Σμαραγδάκης, Ιωάννης Μαρής, Μιχάλης Ταρουδάκης

Σάββατο 15.10.2022

- ▶ Χρήση καμπύλων διασποράς ως δεδομένα ενός αντίστροφου προβλήματος σε εφαρμογές ακουστικής ωκεανογραφίας.
- ▶ Οι καμπύλες διασποράς προκύπτουν από το φασματογράφημα ενός ακουστικού σήματος που λαμβάνεται στο θαλάσσιο περιβάλλον.
- ▶ Σε προβλήματα ακουστικής τομογραφίας ή αναγνώρισης πυθμένα, οι καμπύλες διασποράς συγκρίνονται με θεωρητικές καμπύλες που προκύπτουν από την εφαρμογή ενός μοντέλου ακουστικής διάδοσης στο θαλάσσιο περιβάλλον.
- ▶ Είναι απαραίτητο οι καμπύλες διασποράς του μετρούμενου σήματος να αναγνωρισθούν ως προς τις ιδιόμορφες στις οποίες αντιστοιχούν.

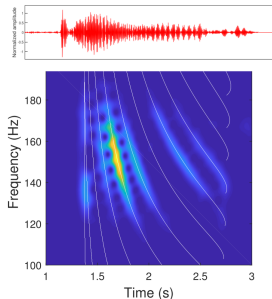
- ▶ Αυτόματη αναγνώριση καμπυλών διασποράς

Σήμα  $\rightarrow$  Φασματογράφημα  $\rightarrow$  ANN  $\rightarrow$  παράμετροι καμπυλών διασποράς

- ▶ Εφαρμογή για την αναγνώριση των τριών πρώτων ιδιομορφών από μια οικογένεια συνθετικών σημάτων
- ▶ Εκπαίδευση του μοντέλου σε ένα σύνολο σημάτων (training set)
- ▶ Αξιολόγηση της απόδοσης του μοντέλου σε ανεξάρτητο σύνολο σημάτων (testing set)

## Θεωρητικές καμπύλες διασποράς

Από την εκτέλεση ενός κώδικα κανονικών ιδιομορφών (normal mode) μπορούμε να προσεγγίσουμε τις καμπύλες διασποράς από τα σημεία  $(\tau_i = t^{(n)}(f_i), f_i)$ ,  $i = 1, \dots, n$



Χρόνος άφιξης της  $n$ -οστής ιδιόμορφης για την συχνότητα  $f$

$$t^{(n)}(f) = \frac{r}{v_g^{(n)}(f)}, \quad v_g^{(n)} = \left. \frac{\partial \omega}{\partial k^{(n)}} \right|_{\omega=2\pi f} \quad (\text{ταχύτητα ομάδας})$$

- ▶ Παράμετροι

$$\mathbf{a}^{(n)} = [a_0^{(n)}, a_1^{(n)}, a_2^{(n)}, a_3^{(n)}, a_4^{(n)}, a_5^{(n)}]$$

- ▶ Πολυωνυμική περιγραφή της  $n$ -οστής καμπύλης διασποράς

$$\hat{t}^{(n)}(f) = a_5^{(n)} f^5 + a_4^{(n)} f^4 + a_3^{(n)} f^3 + a_2^{(n)} f^2 + a_1^{(n)} f + \varepsilon a_0^{(n)}, \quad \varepsilon = 0.1$$

- ▶ Προσαρμογή των παραμέτρων (συντελεστών των πολυωνύμων)

$$\mathbf{a}_*^{(n)} = \arg \min_{\mathbf{a}} \sum_i (\hat{t}^{(n)}(f_i) - t^{(n)}(f_i))^2$$

- ▶ Το νευρωνικό δίκτυο που θα εισάγουμε στη συνέχεια, θέλουμε να προσεγγίσει το διανύσματα των συντελεστών.

## Παραθυρικός μετασχηματισμός Fourier

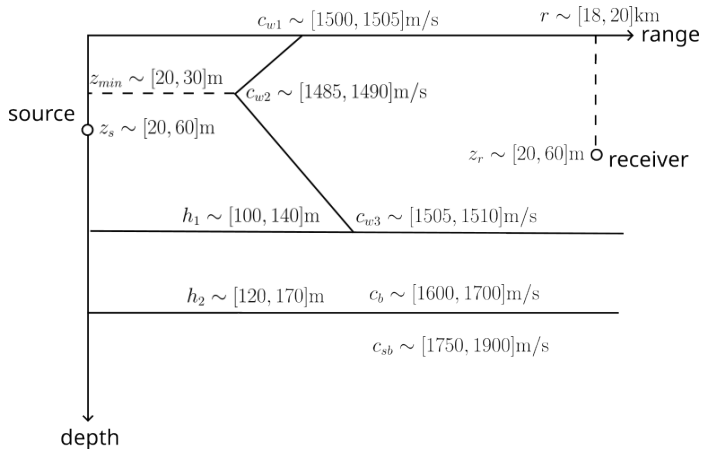
$$\text{STFT}_h(s; \tau, f) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t)h(t - \tau)e^{-i2\pi ft} dt$$

## Φασματογράφημα

$$\text{SP}_h(s; \tau, f) = |\text{STFT}_h(\tau, f)|^2$$

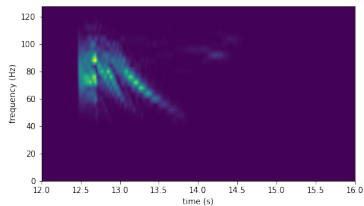
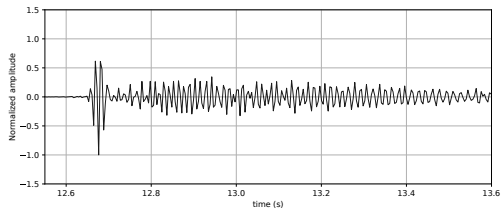
- Προσεγγίζουμε σε διακριτούς χρόνους και διακριτές συχνότητες

- Δειγματοληψία 4096 τυχαίων σετ παραμέτρων



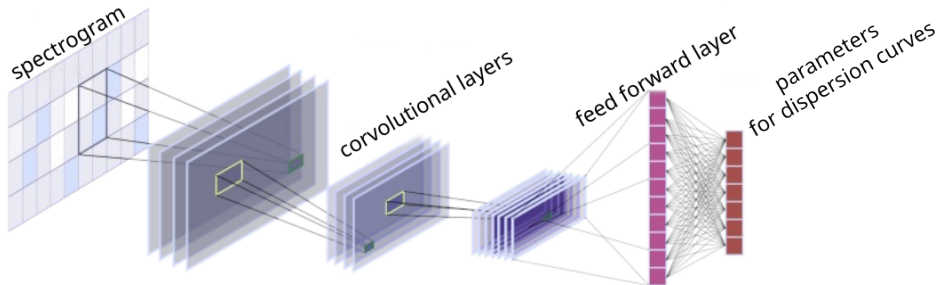
- Training set (80 %), Testing set (20 %) - Τυχαίος διαμερισμός

## Το σήμα αναφοράς





- ▶ Είσοδος:  $\log(SP + 1)$  (Φασματογράφημα σε λογαριθμική κλίμακα)
- ▶ Έξοδος:  $(a_*^{(1)}, a_*^{(2)}, a_*^{(2)})$  ( $3 \times 6 = 18$  παράμετροι)
- ▶ Συνάρτηση απώλειας: Μέσο τετραγωνικό σφάλμα (mean squared error)



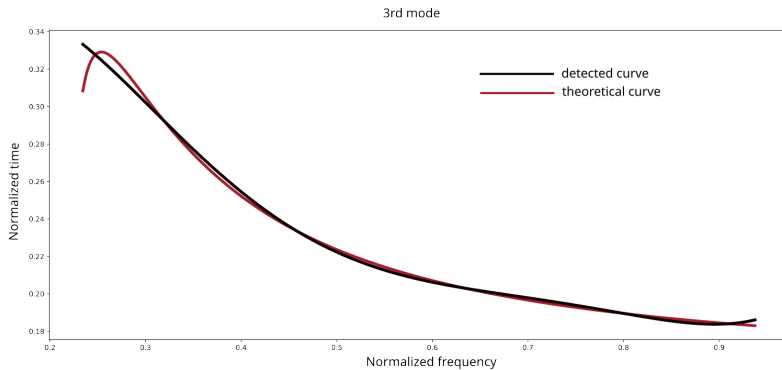
### Συντελεστές πολυωνύμου για τις 3 πρώτες καμπύλες διασποράς

1. 0.1925, -0.0279, 0.0731, -0.1039, 0.0727, -0.0201,
2. 0.3702, -1.1324, 3.1526, -4.5516, 3.3233, -0.9606,
3. 0.3857, -0.8043, 1.6648, -1.9313, 1.1617, -0.2713

### Συντελεστές πολυωνύμου που προκύπτουν από το νευρωνικό δίκτυο

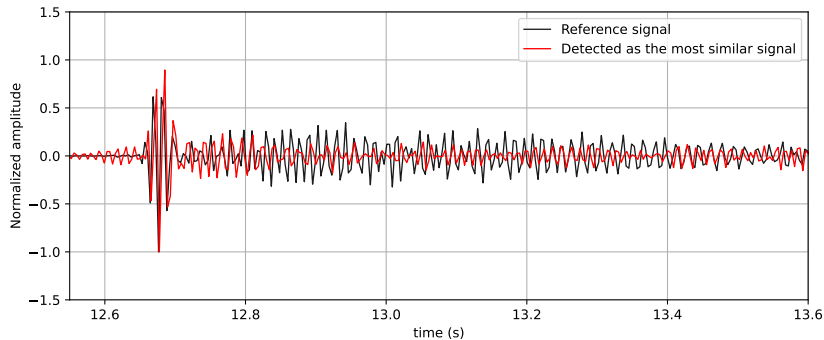
1. 0.1725, -0.0277, 0.0753, -0.1055, 0.0752, -0.0215,
2. 0.3739, -1.3339, 3.7522, -5.4873, 4.0550, -1.1950,
3. 0.4067, -1.1110, 2.5854, -3.3142, 2.2223, -0.6082

- ▶ Η εικόνα των δυο πρώτων σχεδόν ταυτίζεται
- ▶ Παρουσιάζουμε την τρίτη καμπύλη που παρουσιάζει τις μεγαλύτερες διαφορές



## Εύρεση του κοντινότερου σήματος στο σήμα αναφοράς

- ▶ Σύγκριση του σήματος αναφοράς (αναγνώριση πολυωνύμων από το NN) με όλα τα υπόλοιπα σήματα (χρήση θεωρητικών καμπυλών)
- ▶ Οι συγκρίσεις πραγματοποιούνται συγκρίνοντας τα αντίστοιχα πολυώνυμα



## Αποτελέσματα

	περιβάλλον αναφοράς	ανακτώμενο περιβάλλον	απόλυτη διαφορά/εύρος τιμών
$r \text{ (km)}$	18.834	18.994	0.16/2
$c_{w1} \text{ (m/s)}$	1500	1503	3/5
$c_{w2} \text{ (m/s)}$	1485	1488	3/5
$c_{w3} \text{ (m/s)}$	1506	1505	1/5
$z_{min} \text{ (m)}$	23	24	1/10
$h_1 \text{ (m)}$	112	105	7/40
$h_2 \text{ (m)}$	133	126	7/50
$z_s \text{ (m)}$	48	43	5/40
$z_r \text{ (m)}$	20	31	11/40
$c_b \text{ (m/s)}$	1653	1659	6/100
$c_{sb} \text{ (m/s)}$	1812	1780	32/150

- ▶ Πρώτη προσπάθεια αναγνώρισης ιδιομορφών με χρήση κατάλληλου νευρωνικού δικτύου
- ▶ Εφαρμογή σε μια συνθετική οικογένεια θαλάσσιων κυματοδηγών

Σε επόμενο στάδιο της έρευνας

- ▶ Επέκταση για την αναγνώριση περισσότερων ιδιομορφών
- ▶ Εφαρμογή σε μεγαλύτερη βάση δεδομένων
- ▶ Χρήση σε αντίστροφα προβλήματα σε εφαρμογές ακουστικής ωκεανογραφίας

Ευχαριστώ για την προσοχή σας