

# Ανίχνευση Κολπικής Μαρμαρυγής από Βραχυχρόνια Καταγραφή μίας μόνο Απαγωγής

ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΒΙΟΪΑΤΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Μπουρλή Στυλιανή | ΑΜ: 425  
Κουζουγλίδης Παναγιώτης | ΑΜ: 424

## Περιεχόμενα

ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	2
ΧΡΗΣΙΜΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ .....	2
ΚΑΡΔΙΑ.....	2
ΗΛΕΚΤΡΟΚΑΡΔΙΟΓΡΑΦΗΜΑ (ECG).....	3
ΣΗΜΕΙΑ ΤΟΥ ECG.....	3
ΤΥΠΟΙ ΚΑΡΔΙΑΚΗΣ ΑΡΥΘΜΙΑΣ .....	3
ΚΟΛΠΙΚΗ ΜΑΡΜΑΡΥΓΗ (ARTIAL FIBRILLATION-AF) .....	4
ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ ΚΟΛΠΙΚΗΣ ΜΑΡΜΑΡΥΓΗΣ.....	4
ΔΕΔΟΜΕΝΑ.....	5
ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ ΚΟΛΠΙΚΗΣ ΜΑΡΜΑΡΥΓΗΣ.....	5
ΕΞΙΣΟΡΡΟΠΗΣΗ ΤΩΝ ΚΑΤΗΓΟΡΙΩΝ .....	5
ΕΠΙΛΟΓΗ ΚΑΤΑΛΛΗΛΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ .....	6
ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΕ ΣΥΝΟΛΑ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗΣ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΥ .....	6
ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ .....	6
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	7
ΣΥΝΟΨΗ .....	7

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στόχος αυτής της εργασίας είναι η ανίχνευση της κολπικής μαρμαρυγής και ο έλεγχος της ακρίβειας με την οποία επιτυγχάνεται η ανίχνευση της. Μας ενδιαφέρει ο διαχωρισμός:

- 1) σημάτων τα οποία έχουν χαρακτηριστεί σαν κολπική μαρμαρυγή με σήματα τα οποία έχουν χαρακτηριστεί ως φυσιολογικά,
- 2) σημάτων τα οποία έχουν χαρακτηριστεί σαν κολπική μαρμαρυγή με σήματα τα οποία έχουν χαρακτηριστεί ότι δεν εντάσσονται στην κατηγορία της κολπικής μαρμαρυγής.

Για το σκοπό αυτό περιγράφονται αρχικά κάποιες χρήσιμες έννοιες και αναλύεται η πάθηση της κολπικής μαρμαρυγής. Στη συνέχεια, δίνονται πληροφορίες σχετικά με τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται και τις μεθόδους ανίχνευσης και αξιολόγησης. Τέλος, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα.

## ΧΡΗΣΙΜΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ

### ΚΑΡΔΙΑ

Η καρδιά είναι το όργανο που ωθεί το αίμα στο υπόλοιπο σώμα. Το αίμα μεταφέρει χρήσιμες ουσίες και οξυγόνο όπως ιστούς, και άχρηστες ουσίες και διοξείδιο του άνθρακα στα νεφρά και όπως πνεύμονες, αντίστοιχα. Αυτό γίνεται μέσω όπως διαδικασίες συστολής τμημάτων όπως καρδιάς, λειτουργίες οι οποίες ακολουθούνται από τη φάση όπως διαστολής, ώστε να γίνει εφικτή η επόμενη συστολή.

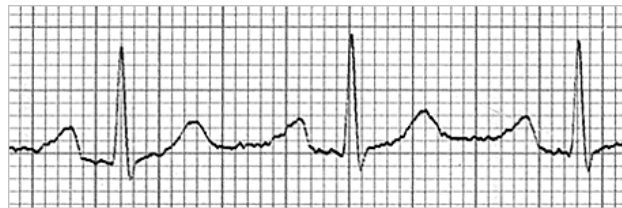


Η καρδιά αποτελείται από τέσσερις θαλάμους. Οι δύο επάνω καλούνται δεξιός και αριστερός κόλπος. Οι δύο κάτω καλούνται δεξιά και αριστερά κοιλία. Ο δεξιός κόλπος και η δεξιά κοιλία φροντίζουν για την ώθηση του αίματος στους πνεύμονες, ενώ ο αριστερός κόλπος και η αριστερή κοιλία αντλούν αίμα από τους πνεύμονες και το προωθούν προς το υπόλοιπο σώμα. Επιπλέον, ο μυς της καρδιάς (τοίχωμα) αποτελείται από τρία επίπεδα:

- ενδοκάρδιο
- μυοκάρδιο
- επικάρδιο

## ΗΛΕΚΤΡΟΚΑΡΔΙΟΓΡΑΦΗΜΑ (ECG)

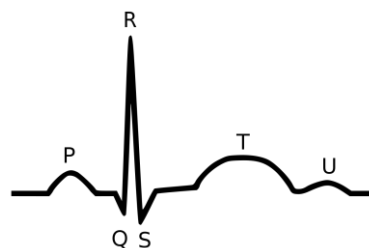
Το ηλεκτροκαρδιογράφημα (ECG) είναι μία γραφική αναπαράσταση των ηλεκτρικών σημάτων που δημιουργούνται από την καρδιά. Τα ηλεκτρικά σήματα δημιουργούνται κατά τη πόλωση και εκπόλωση των καρδιακών μυών. Κατά την εκπόλωση όπως οι μύες διοχετεύουν αίμα όπως όλο το κορμί, ενώ κατά την πόλωση επανέρχονται σε κατάσταση που να μπορούν πάλι να εκπολωθούν.



Το ηλεκτροκαρδιογράφημα περιέχει και αποκαλύπτει πολύ πληροφορία που σχετίζεται με την καρδιά, απλή αλλά καίρια πληροφορία όπως ο ρυθμός, ή το εάν παρουσιάζεται πρόβλημα σε κάποια αρτηρία, ή ακόμα και το πιθανό σημείο στο οποίο εμφανίστηκε κάποιο ισχαιμικό επεισόδιο.

## ΣΗΜΕΙΑ ΤΟΥ ECG

Τα σημαντικότερα σημεία του ηλεκτροκαρδιογραφήματος είναι τα σημεία P, QRS και T.



- **P:** Το κύμα P αντιστοιχεί στην εκφόρτιση του κοιλιακού μυοκαρδίου και φανερώνει την αρχή της συστολής που ωθεί αίμα στις κοιλίες και έχει διάρκεια 0.1 sec.
- **QRS:** Το σύμπλεγμα QRS αντανακλά την εκφόρτιση του κοιλιακού μυοκαρδίου και φανερώνει την αρχή της καρδιακής συστολής, που ωθεί το αίμα προς τους πνεύμονες και το υπόλοιπο σώμα. Η χρονική διάρκεια του συμπλέγματος QRS πρέπει να είναι μικρότερη από 0.12 sec.
- **T:** Το κύμα T αντιστοιχεί στην επαναπόλωση του κοιλιακού μυοκαρδίου, την μεταφορά του δηλαδή σε κατάσταση που θα μπορεί να εκπολωθεί ξανά και να επανωθήσει αίμα προς τους πνεύμονες και το σώμα. Συμμετρικό κύμα T είναι παθολογική ένδειξη.

## ΤΥΠΟΙ ΚΑΡΔΙΑΚΗΣ ΑΡΡΥΘΜΙΑΣ

Υπάρχουν διάφοροι τύποι καρδιακής αρρυθμίας οι οποίοι μπορούν να ταξινομηθούν με βάση:

- Την προέλευση
  - ο Κολπική αρρυθμία (atrial arrhythmia)
  - ο Κοιλιακή αρρυθμία (ventricular arrhythmia)
  - ο Αρρυθμία προερχόμενη από τον AV κόμβο (junctional arrhythmia)
- Τον ρυθμό
  - ο Βραδυκαρδία (rate 100 beats/min)
- Τον μηχανισμό δημιουργίας
  - ο Αυτοματισμός (automaticity): η εκπόλωση ξεκινάει αυτόματα χωρίς να διεγείρεται από το διπλανό κύτταρο
  - ο Μετεκπόλωση (triggered activity): πρόωρη εκπόλωση που οδηγεί σε έκτακτες συστολές, λόγω ηλεκτρικής αστάθειας στη μεμβράνη
  - ο Επανείσοδος (re-entry): Ο ηλεκτρισμός ακολουθεί κυκλική κίνηση και επαναεκπολώνει κυκλικά κύτταρα που μόλις έχουν εκπολωθεί
- Τη διάρκεια
  - ο Επιμένουσες (duration > 30 sec)
  - ο Μη επιμένουσες (duration < 30 sec)

## ΚΟΛΠΙΚΗ ΜΑΡΜΑΡΥΓΗ (ARTIAL FIBRILLATION-AF)

Η κολπική μαρμαρυγή (atrial fibrillation) ορίζεται ως μία ταχυ-αρρυθμία που χαρακτηρίζεται από:

- μη συντονισμένη δράση του κόλπου της καρδιάς
- με επακόλουθη επιδείνωση της μηχανικής λειτουργίας του κόλπου

Η κολπική μαρμαρυγή είναι η περισσότερο συνηθισμένη επιμένουσα καρδιακή αρρυθμία. Συμβαίνει στο 1-2% του γενικού πληθυσμού και σχετίζεται σε σημαντικό βαθμό με θνησιμότητα και νοσηρότητα. Περισσότεροι από 12 εκατομμύρια ευρωπαίοι και βορειο-αμερικάνοι υπολογίζεται ότι παρουσιάζουν επεισόδια κολπικής μαρμαρυγής, τα οποία πιθανολογείται ότι θα τριπλασιαστούν τα επόμενα 30 με 50 χρόνια.

## ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ ΚΟΛΠΙΚΗΣ ΜΑΡΜΑΡΥΓΗΣ

Οι μέθοδοι εντοπισμού ανήκουν σε δύο κατηγορίες:

- βασιζόμενες στην ανάλυση της δραστηριότητας του κόλπου
- βασιζόμενες στην ανάλυση της απόκρισης της κοιλίας

Οι βασιζόμενες στην ανάλυση της δραστηριότητας του κόλπου μέθοδοι αναζητούν την απουσία P κυμάτων ή την παρουσίας f κυμάτων μαρμαρυγής (πριονωτής μορφής κύματα που ομοιάζουν με τα P-κύματα και εμφανίζονται μέσα στα συμπλέγματα QRS, στο διάστημα TQ). Οι βασιζόμενες στην ανάλυση της απόκρισης της κοιλίας μέθοδοι εκμεταλλεύονται την προβλεψιμότητα των διαστημάτων ανάμεσα στους χτύπους της καρδιάς (RR intervals), δηλαδή στα συμπλέγματα QRS στο ηλεκτροκαρδιογράφημα.

## ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Στην ηλεκτρονική διεύθυνση: <https://physionet.org/> υπάρχουν δεδομένα από βραχυχρόνιες καταγραφές που έχουν γίνει από μία μόνο απαγωγή του ηλεκτροκαρδιογράφου. Οι καταγραφές έχουν χαρακτηριστεί από ειδικούς και ταξινομηθεί σε 4 κατηγορίες:

- κανονικός ρυθμός (normal rhythm)
- κολπική μαρμαρυγή (atrial fibrillation)
- κάποιος άλλος ρυθμός (other rhythm)
- κάτι με πολύ θόρυβο το οποίο δεν μπορεί να ταξινομηθεί (noisy)

*Πίνακας 1 Πλήθος δεδομένων ανά κατηγορία.*

normal rhythm	5154
atrial fibrillation	771
other rhythm	2557
noisy	46

## ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ ΚΟΛΠΙΚΗΣ ΜΑΡΜΑΡΥΓΗΣ

Η γενική μέθοδος που ακολουθούμε για την ανίχνευση της κολπικής μαρμαρυγής είναι η εξής:

- Εξισορρόπηση των δεδομένων των κατηγοριών αν δεν είναι ισορροπημένα
- Εξαγωγή κατάλληλων χαρακτηριστικών από τα δεδομένα
- Χρήση ενός ποσοστού των δεδομένων για εκπαίδευση ενός ταξινομητή και των υπόλοιπων δεδομένων για έλεγχο
- Αξιολόγηση των αποτελεσμάτων ανίχνευσης κολπικής μαρμαρυγής

Τα βήματα περιγράφονται αναλυτικότερα στη συνέχεια.

### ΕΞΙΣΟΡΡΟΠΗΣΗ ΤΩΝ ΚΑΤΗΓΟΡΙΩΝ

Η ανίχνευση της κολπικής μαρμαρυγής που εφαρμόζουμε αφορά δύο περιπτώσεις:

- 1) ανίχνευση σημάτων με κολπική μαρμαρυγή σε σχέση με σήματα τα οποία έχουν χαρακτηριστεί ως φυσιολογικά και
- 2) ανίχνευση σημάτων με κολπική μαρμαρυγή σε σχέση με σήματα τα οποία έχουν χαρακτηριστεί ότι δεν εντάσσονται στην κατηγορία της κολπικής μαρμαρυγής.

Και στις δύο περιπτώσεις έχουμε δύο κατηγορίες σημάτων οι οποίες δεν είναι ισορροπημένες. Πιο συγκεκριμένα, όπως φαίνεται και στον Πίνακα 1, στην πρώτη περίπτωση έχουμε 771 σήματα κολπικής μαρμαρυγής και 5154 φυσιολογικά σήματα, ενώ στη δεύτερη

κατηγορία έχουμε 771 σήματα κολπικής μαρμαρυγής και 7757 σήματα χωρίς κολπική μαρμαρυγή. Γι' αυτό το λόγο σε κάθε περίπτωση δειγματοληπτούμε τυχαία δεδομένα από τη μεγαλύτερη κατηγορία, έτσι ώστε να γίνει ίση με τη μικρότερη. Στη συνέχεια, εφαρμόζουμε τα υπόλοιπα βήματα της γενικής μεθόδου. Για λόγους δικαιοσύνης επαναλαμβάνουμε την όλη διαδικασία 100 φορές, ώστε να επιλεγούν διαφορετικά δείγματα κάθε φορά από τη μεγάλη κατηγορία και η τελική αξιολόγηση προκύπτει από το μέσο όρο των επιμέρους αξιολογήσεων της ανίχνευσης.

## ΕΠΙΛΟΓΗ ΚΑΤΑΛΛΗΛΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ

Αρχικά από κάθε σήμα εξάγουμε τα RR διαστήματα με τον αλγόριθμο Pan & Tompkins, που είναι τα διαστήματα μεταξύ των χτύπων της καρδιάς. Στη συνέχεια, εξάγουμε τα χαρακτηριστικά:

cvnni, cvsd, max\_hr, mean\_hr, mean\_nni, median\_nni, min\_hr, nni\_20, nni\_50, pnni\_20, pnni\_50, range\_nni, rmssd, sdn, sdsd, std\_hr,

από τα οποία κρατάμε τα 8 καλύτερα. Για να το κάνουμε αυτό χρησιμοποιούμε έναν ταξινομητή, τον ExtraTreesClassifier. Αυτός δίνει ένα score στα χαρακτηριστικά, με βάση το πόσο τον βοήθησε το κάθε χαρακτηριστικό να εκπαιδευτεί και να μάθει τα δεδομένα. Τα χαρακτηριστικά με το μεγαλύτερο score είναι τα καλύτερα. Από αυτά επιλέγουμε τα 8 πρώτα.

## ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΕ ΣΥΝΟΛΑ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗΣ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΥ

Για την εκπαίδευση του ταξινομητή χρησιμοποιείται το 75% των δεδομένων των εξισορροπημένων κατηγοριών και το υπόλοιπο 25% χρησιμοποιείται για αξιολόγηση. Χρησιμοποιούμε τον ExtraTreesClassifier για εκπαίδευση, ο οποίος αποτελείται από 10 ταξινομητές και αναλόγως το πόσο καλά έχει εκπαιδευτεί ο κάθε ταξινομητής έχει και διαφορετική συμβολή στην τελική αξιολόγηση.

## ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

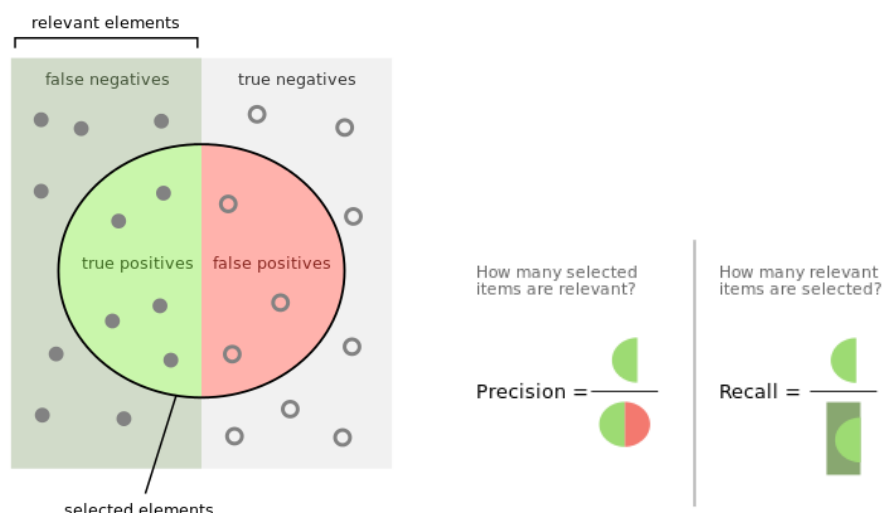
Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση της ανίχνευσης κολπικής μαρμαρυγής είναι:

- $$\text{Accuracy} = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN}$$

όπου  $TP$  = True positive,  $FP$  = False positive,  $TN$  = True negative,  $FN$  = False negative

- $$\text{F1-score} = 2 \cdot \frac{\text{precision} \cdot \text{recall}}{\text{precision} + \text{recall}}$$

Το F1-score παίρνει τιμές από 0 έως 1, όπου 0 είναι η χειρότερη και 1 η καλύτερη.



## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στον Πίνακα 2 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρικών accuracy και fi-score για τις περιπτώσεις:

- 1) σημάτων με κολπική μαρμαρυγή και σημάτων τα οποία έχουν χαρακτηριστεί ως φυσιολογικά, και
- 2) σημάτων με κολπική μαρμαρυγή και σημάτων χωρίς κολπική μαρμαρυγή.

Πίνακας 2 Αξιολόγηση ανίχνευσης κολπικής μαρμαρυγής.

	1 <sup>η</sup> περίπτωση	2 <sup>η</sup> περίπτωση
Accuracy	<b>0.93</b>	<b>0.86</b>
F1-score	<b>0.93</b>	<b>0.86</b>

Και στις δύο περιπτώσεις τα αποτελέσματα είναι ιδιαίτερα ικανοποιητικά, κάτι που δείχνει ότι η κολπική μαρμαρυγή μπορεί να ανιχνευτεί στις περισσότερες περιπτώσεις και με μεγάλη ακρίβεια χρησιμοποιώντας έναν ταξινομητή και κάποια εξαχθέντα χαρακτηριστικά από τα σήματα.

## ΣΥΝΟΨΗ

Στην εργασία αυτή έγινε μελέτη για την ακρίβεια με την οποία μπορεί να γίνει ανίχνευση κολπικής μαρμαρυγής χρησιμοποιώντας κάποιον ταξινομητή. Ακολουθήθηκε μία διαδικασία κατά την οποία εξισορροπήθηκαν οι κατηγορίες των δεδομένων και χωρίστηκαν σε δεδομένα εκπαίδευσης και ελέγχου. Έπειτα, με κατάλληλη μεθοδολογία επιλέχθηκαν κατάλληλα χαρακτηριστικά από τα δεδομένα. Αφού έγινε η εκπαίδευση του ταξινομητή, αξιολογήθηκε με κάποιες μετρικές η απόδοση του στην ανίχνευση κολπικής μαρμαρυγής. Τα αποτελέσματα ήταν ιδιαίτερα ικανοποιητικά, κάτι που δείχνει πως η χρήση ταξινομητή μπορεί να φανεί ιδιαίτερα χρήσιμη στην ανίχνευση καρδιολογικών προβλημάτων.