

# Function Approximation for Engineering and Scientific Problems

ΠΡΟΤΑΣΗ ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΪΑΤΡΙΚΗΣ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

## ΘΕΜΑΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ

*Artificial Intelligence*

## ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ

*Bayesian Methods, Function Approximation, Data Modeling, Optimisation, Fuzzy Systems*

## ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΘΕΜΑΤΟΣ

Το θέμα της διδακτορικής μου διατριβής αφορά στην μελέτη και ανάπτυξη συστημάτων βασισμένων στις θεωρίες *Bayesian* και *Fuzzy*, στην υλοποίηση υπολογιστικών μοντέλων και την εφαρμογή τους σε προβλήματα της επιστήμης και της τεχνολογίας. Επικεντρωνόμαστε στο πρόβλημα της πρόβλεψης που έχει δύο βασικές κατηγορίες: *Regression* και *Classification*, ως αναδυόμενα προβλήματα της *επιβλεπόμενης μάθησης (Supervised Learning)*.

Η μοντελοποίηση δεδομένων (*data modeling*) που αφορά στις τεχνολογικές και επιστημονικές εφαρμογές είναι τα τελευταία χρόνια αντικείμενο εκτενούς έρευνας. Η μηχανική μάθηση (*machine learning*) και τα ευφυή συστήματα (*intelligent systems*), αποτελούν ένα ξεχωριστό επιστημονικό πεδίο σε άμεση σύνδεση με τομείς όπως η επιστήμη του μηχανικού, οι επιστήμες πληροφορικής και υπολογισμού καθώς με τομείς όπως η ιατρική, οι φυσικές επιστήμες ακόμα και η οικονομία.

Το προτεινόμενο αντικείμενο της παρούσας διατριβής είναι η μελέτη και ο σχεδιασμός ευφυών συστημάτων για τη μοντελοποίηση, στο πλαίσιο προσέγγισης μη γραμμικών συναρτήσεων, δεδομένου μια σειράς πειραματικών δεδομένων, που περιγράφουν μια διεργασία.

Απώτερος σκοπός είναι η δημιουργία υπολογιστικών μοντέλων με δυνατότητες προσέγγισης, ανάλυσης και πρόβλεψης της δυναμικής συμπεριφοράς ενός συστήματος

Για την ανάπτυξη του υπολογιστικού μοντέλου θα μελετηθούν θεωρίες και μεθοδολογίες από τους ευρύτερους τομείς της μηχανικής μάθησης με επίκεντρο την θεωρία κατά *Bayes* (Bayesian Models), τα μη παραμετρικά μοντέλα κατά *Bayes* (Non Parametric Bayesian Models, Gaussian Processes), τους ασαφείς μετασχηματισμούς (Fuzzy Transforms) και την θεωρία των προσεγγίσεων με RBF (Radial Basis Functions Networks).

Παράλληλα, θα βασιστούμε στην θεωρία του εξελικτικού υπολογισμού (Evolutionary Computation), στο πλαίσιο βελτιστοποίησης και συγκεκριμένα θα ασχοληθούμε με τους αλγόριθμους CMA ES και Differential Evolution και βελτιώσεις τους.

Μέχρι στιγμής είμαστε στην θέση να έχουμε μελετήσει εις βάθος τα μη παραμετρικά *Bayes* μοντέλα, όπως τα *Gaussian Processes* και να έχουμε την μαθηματική βάση καθώς και τα υπολογιστικά μοντέλα για την πρόβλεψη σε συστήματα υπό την παρουσία θορύβου. Η θεωρία κατά *Bayes* στον τομέα της πρόβλεψης, δίνει την δυνατότητα αναπαράστασης της αβεβαιότητας που οφείλεται στην παρουσία θορύβου και αβεβαιότητας στις μεταβλητές.

Παράλληλα, έχουμε πραγματοποιήσει εκτενή έρευνα στις προσεγγιστικές ιδιότητες των λεγόμενων ασαφών μετασχηματισμών *Fuzzy Transforms*, που εντοπίζονται στον κοινό τόπο της θεωρίας μετασχηματισμών με τα ασαφή συστήματα. Βιβλιογραφική έρευνα πάνω στον τομέα και συγκεκριμένα πάνω στο ζήτημα του *Partition* μας οδηγεί στην πρόταση μεθόδων για την συστηματική βελτίωση των συγκεκριμένων παραμέτρων του μοντέλου.

Η απόδοση και οι γενικευμένες δυνατότητες τέτοιων τεχνικών στην επίλυση επιστημονικών προβλημάτων, σε συνθήκες αβεβαιότητας, θορύβου και ελλειπών δεδομένων, τις καθιστά αναπόσπαστο κομμάτι της επιστήμης του μηχανικού, δίνοντας θέση στην επιστήμη γνώσης.

## **ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑ ΚΑΙ ΠΡΩΤΟΤΥΠΙΑ ΤΗΣ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ**

Η συνεισφορά της προτεινόμενης διδακτορικής διατριβής είναι η μελέτη και βελτίωση προσεγγιστικών μοντέλων καθώς και η ανάπτυξη ευφυών τεχνικών για την επίλυση προβλημάτων επιστήμης ή μηχανικής.

Η προσέγγιση προβλημάτων με τις συγκεκριμένες τεχνικές καθώς και η επιμέρους ή καθ' ολοκληρία επίλυσή τους θα προσφέρει τη δυνατότητα σύγκρισης και το πλαίσιο ανάπτυξης θα προσφέρει στον μελλοντικό ερευνητή τη δυνατότητα να τις χρησιμοποιήσει για επίλυση συσχετιζόμενων επιστημονικών προβλημάτων. Η πρωτοτυπία της παρούσας διατριβής συνίσταται

στην ανάπτυξη πρωτότυπων μοντέλων, στην βελτιστοποίηση υπάρχουσων τεχνικών καθώς και στην εφαρμογή τους για επίλυση προβλημάτων μηχανικής ή/και επιστήμης.

## **ΒΑΣΙΚΟΣ ΣΚΟΠΟΣ, ΣΤΟΧΟΙ ΚΑΙ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΕΣ ΥΠΟΘΕΣΕΙΣ ΤΗΣ ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ**

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η διερεύνηση υπάρχουσων τεχνικών και υπολογιστικών μοντέλων από τον τομέα της μηχανικής μάθησης, της προσέγγισης μη γραμμικών συναρτήσεων και της ευρύτερης θεωρίας συστημάτων, καθώς και η προσπάθεια βελτίωσης σε επίπεδα απόδοσης και αποτελεσμάτων.

Οι ερευνητικές υποθέσεις συνίστανται στο γενικό πρόβλημα της προσέγγισης και μοντελοποίησης δεδομένων που περιγράφουν μια δυναμική διεργασία. Τα δεδομένα εισάγονται στα προτεινόμενα μοντέλα και με την δημιουργία κατάλληλων τεχνικών εξάγονται πολύτιμες πληροφορίες που αφορούν πρόβλεψη (*Interpolation, Regression, Classification*) χρήσιμες για την καλύτερη κατανόηση του συστήματος υπό μελέτη.

## **ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ**

Για την εκπόνηση της έρευνας θα πραγματοποιηθεί εκτενής βιβλιογραφική μελέτη εντύπου και ηλεκτρονικού υλικού, ώστε να προσδιοριστεί το τρέχον επίπεδο της επιστημονικής γνώσης, *state of art* στο προτεινόμενο αντικείμενο.

Στην συνέχεια θα τεθούν και θα αιτιολογηθούν τα κύρια ερευνητικά ερωτήματα καθώς και θα τεκμηριωθεί πλήρως η μεθοδολογία αντιμετώπισης τους στα πλαίσια της συγκεκριμένης εργασίας.

Για την διεξαγωγή της έρευνας θα σχεδιαστούν και θα υλοποιηθούν τα απαιτούμενα μοντέλα εφαρμόζοντας σύγχρονες μεθόδους εξομοίωσης και ανάλυσης.

Με την προτεινόμενη μεθοδολογία θα είναι εφικτά:

- Ανάπτυξη και μαθηματική περιγραφή μοντέλων
- Ανάπτυξη Υπολογιστικών μοντέλων
- Βελτιστοποίηση

- Εφαρμογή σε συνθετικά και πραγματικά datasets
- Τεκμηρίωση των Ερευνητικών αποτελεσμάτων

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1] Andrew Gelman John B. Carlin Hal S. Stern David B. Dunson Aki Vehtari Donald B. Rubin. *Bayesian Data Analysis*. CRC Press, third edition, 2014.
- [2] David Barber. *Bayesian Reasoning and Machine Learning*. 2010.
- [3] Christopher M. Bishop. *Pattern Recognition and Machine Learning*. Springer, 2006.
- [4] Carl Edward Rasmussen, Christopher K. I. Williams. *Gaussian Processes for Machine Learning*. The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 2006.
- [5] Prade H. Dubois D. *Fuzzy Sets and Systems: Theory and Applications*. Academic Press, 1980.
- [6] Gregory F. Fasshauer. *Meshfree Approximation Methods with MATLAB*. World Scientific Publishing Co., Inc., River Edge, NJ, USA, 2007.
- [7] Jorge Guevara, Roberto Hirata Jr, and Stephane Canu. *Kernel functions in takagi-sugeno-kang fuzzy system with nonsingleton fuzzy input*. pages 1–8, 07 2013.
- [8] Ian Goodfellow Yoshua Bengio Aaron Courville. *Deep Learning*.
- [9] Indranil Pan, Dirk Bester. *Fuzzy bayesian learning*. IEEE Transactions on Fuzzy Systems, Vol. 26(Issue 3): 1719–1731, June 2018.
- [10] David J. C. MacKay. *Information Theory, Inference and Learning Algorithms*. Cambridge University Press, 2003.
- [11] Kevin P. Murphy. *Machine Learning: A Probabilistic Perspective*. The MIT Press, 2012.
- [12] Peter Orbanz. *Lecture notes on bayesian nonparametrics*, 2014.
- [13] Michael E. Tipping. *Bayesian Inference: An Introduction to Principles and Practice in Machine Learning*, pages 41–62. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2004.
- [14] Athanasios Tsanas, Max A. Little, Patrick E. McSharry, and Lorraine O. Ramig. *Accurate telemonitoring of parkinson's disease progression by non-invasive speech tests*. IEEE Trans. Biomed. Engineering, 57(4):884–893, 2010.
- [15] Radford M. Neal. *Monte carlo implementation of gaussian process models for bayesian regression and classification*. Technical report, University of Toronto, January 1997.
- [16] I. Perfilova. *Fuzzy Transforms: theory and applications*, Fuzzy Sets and Systems 160, 993-1023, 2006.
- [17] M. Stepnicka, O. Polakovic, *A neural approach to the Fuzzy Transform*, Fuzzy Sets and Systems 157, 1037-1047, 2009.