

Function Approximation for Engineering and Scientific Problems

Παναγιώτης Κορκίδης

Επιβλέπων: Καθηγητής Αναστάσιος Ντούνης



Ετήσια Έκθεση Προόδου

28/10/2024

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΪΑΤΡΙΚΗΣ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

Ψηφιακή Βεβαίωση Εγγράφου

Μπορείτε να ελέγξετε την ισχύ του εγγράφου
σκανάροντας το QR code ή εισάγοντας τον κωδικό
στο docs.gov.gr/validate



Κωδικός εγγράφου: Ac7θiBjfv3kNDYtkθXoiIA

: 1/10

Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή

Αναστάσιος Ντούνης
Καθηγητής, Τμήμα Μηχανικών Βιοϊατρικής
Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής

Γεώργιος Βούρος
Καθηγητής, Τμήμα Ψηφιακών Συστημάτων
Πανεπιστήμιο Πειραιά

Διονυσία Κολοκοτσά
Καθηγήτρια, Τμήμα Χημικών Μηχανικών και
Μηχανικών Περιβάλλοντος
Πολυτεχνείο Κρήτης

Ψηφιακή Βεβαίωση Εγγράφου

Μπορείτε να ελέγξετε την ισχύ του εγγράφου
σκανάροντας το QR code ή εισάγοντας τον κωδικό
στο docs.gov.gr/validate



Κωδικός εγγράφου: Ac7θiBjfv3kNDYtkθXoiIA

: 2/10

Περιεχόμενα

1	Εισαγωγή	1
2	Μοντέλα και Μέθοδοι	3
3	Μελλοντικές Κατευθύνσεις	5
	Βιβλιογραφία	6



Εισαγωγή

Περίληψη

Το αντικείμενο της διδακτορικής διατριβής με τίτλο *Function Approximation for Engineering and Scientific Problems*, αφορά στη διερεύνηση καθώς και στην ανάπτυξη αλγορίθμων που βασίζονται στον ευρύτερο τομέα της υπολογιστικής νοημοσύνης και της μηχανικής μάθησης και στην εφαρμογή τους προς την επίλυση επιστημονικών προβλημάτων.

Κατά τη διάρκεια του ακαδημαϊκού έτους 2023-2024 η ερευνητική προσπάθεια επικεντρώθηκε στο πρόβλημα ανάπτυξης ολοκληρωμένων μεθοδολογιών καθώς και πρωτότυπων μοντέλων υπολογιστικής νοημοσύνης. Το πεδίο εφαρμογής των μοντέλων/μεθοδολογιών αφορά στο πρόβλημα της αποδοτικότερης πρόβλεψης της ταχύτητας ανέμου, *wind speed prediction*. Ερευνητικά εστιάζουμε στην πρόβλεψη μετεωρολογικών μεταβλητών, για δεδομένα που χορηγήθηκαν από το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών (National Observatory of Athens) και περιγράφουν την εξέλιξη της ταχύτητας ανέμου στο χρόνο, σε μορφή χρονοσειράς.

Η αρχική ερευνητική υπόθεση μετουσιώνεται στην υπόθεση ότι η μελλοντική τιμή της μεταβλητής εξαρτάται από την προηγούμενη εξέλιξη της στο χρόνο:

$$\dots, x_{t-D}, \dots, x_{t-2}, x_{t-1}, ?, ?, \dots$$

Κατά συνέπεια, αναζητείται ένας υπολογιστικός αλγόριθμος, ο οποίος αναδυόμενος από το φορμαλισμό της θεωρίας των ασαφών συστημάτων ή/και άλλων θεωριών της ευρύτερης τεχνητής νοημοσύνης θα προσφέρει την κατάλληλη εργαλειοθήκη ή και ενδεχομένως μια προς το βέλτιστο λύση, για την ακριβή προσέγγιση της πραγματικής απεικόνισης, που χαρτογραφεί το χώρο των παρελθοντικών τιμών στις μελλοντικές πραγματοποιήσεις της μεταβλητής.

Τα ερευνητικά αποτελέσματα που αντικατοπτρίζουν την πρόοδο της διδακτορικής έρευνας, έως της παρούσα στιγμή, έχουν δημοσιευτεί¹ στα ακόλουθα επιστημονικά περιοδικά των εκδοτικών οίκων MDPI και Elsevier:

- Korkidis, P.; Dounis, A. Intelligent Fuzzy Models: WM, ANFIS, and Patch Learning for the Competitive Forecasting of Environmental Variables. *Sustainability* 2023, 15, 8032. <https://doi.org/10.3390/su15108032>

¹Με ημερολογιακή σειρά: Από πρόσφατο σε παλαιότερο.



- Panagiotis Korkidis, Anastasios Dounis. On Training Non-Uniform Fuzzy Partitions for Function Approximation using Differential Evolution: A Study on Fuzzy Transform and Fuzzy Projection, Information Sciences, Volume 619, 2023, Pages 867-888. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2022.11.050>
- Korkidis, P.; Dounis, A.; Kofinas, P. Computational Intelligence Technologies for Occupancy Estimation and Comfort Control in Buildings. Energies 2021, 14, 4971. <https://doi.org/10.3390/en14164971>

Την παρούσα περίοδο βρισκόμαστε σε στάδιο συγγραφής εργασίας (ερευνητικού paper) προς δημοσίευση των αποτελεσμάτων που περιγράφονται στο επόμενο κεφάλαιο, σε επιστημονικό journal διεθνούς εκδοτικού οίκου.

Ψηφιακή Βεβαίωση Εγγράφου

Μπορείτε να ελέγξετε την ισχύ του εγγράφου
σκανάροντας το QR code ή εισάγοντας τον κωδικό
στο docs.gov.gr/validate



Μοντέλα και Μέθοδοι

Περιγραφή

Διερευνούμε ευφυή υπολογιστικά μοντέλα (υπολογιστική νοημοσύνη/μηχανική μάθηση) με πεδίο εφαρμογής την πρόβλεψη χρονοσειρών. Η ταχύτητα ανέμου αποτελεί την υπό πρόβλεψη περιβαλλοντική μεταβλητή. Θεωρούμε την ταχύτητα ανέμου ως κεντρικό πρόβλημα, λόγω της δυσκολίας αποδοτικής πρόβλεψης και της υψηλής μεταβλητότητας της. Εκτός, της συγκεκριμένης μεταβλητής, ενδιαφερόμαστε να εφαρμόσουμε τις μεθοδολογίες μας και σε άλλα δεδομένα, θαλάσσιος κυματισμός, μέση θερμοκρασία, χαοτικά συστήματα, δεδομένα από διεθνή αποθετήρια δεδομένων (αστρονομία, περιβάλλον, κ.α.) [1]. Τα παραπάνω μελετώνται μέσα υπό το πρίσμα των αναπτυσσόμενων ασαφών μοντέλων και μεθοδολογιών.

Όπως έχει αναφερθεί και στην έκθεση προόδου του προηγούμενου ακαδημαϊκού έτους, το κίνητρό μας αναδύεται από την ανάγκη ανάπτυξης ισχυρών προβλεπτικών μοντέλων τα οποία θα είναι ικανά να ανταπεξέλθουν σε απαιτητικά προβλήματα, όπως αποδεικνύεται το πρόβλημα πρόβλεψης της ταχύτητας του ανέμου. Οι προσεγγίσεις επίλυσης του προβλήματος από πλήθος ερευνητών στο τοπίο της διεθνούς βιβλιογραφίας, δείχνουν μια τάση προς το συνδυασμό πολλών μεθόδων και μοντέλων [2, 3, 4, 5]. Συνεπώς και ακολουθώντας την ερευνητική τάση του τομέα, σκοπός μας είναι αρχικά η δημιουργία νέων πρωτότυπων και ισχυρότερων ασαφών συστημάτων, καθώς και η ένταξη τους σε ένα ολοκληρωμένο πλαίσιο μεθοδολογίας.

Η ανάπτυξη βέλτιστων¹ ασαφών μοντέλων είναι μια ανοιχτή πρόκληση η οποία ερευνητικά συνίσταται στη βελτιστοποίηση, στην ικανότητα γενίκευσης, στην ερμηνευσιμότητα καθώς και στην αντιμετώπιση του λεγόμενου *curse of dimensionality*. Ταυτόχρονα, όπως σε κάθε μεθοδολογία μηχανικής μάθησης, η επιλογή εισόδων του μοντέλου είναι κρίσιμης σημασίας και η επιτυχία στην επιλογή αντικατοπτρίζεται στην τελική απόδοση. Η γενική μεθοδολογία που αναπτύσσουμε προσπαθεί να υιοθετήσει προσεγγίσεις και να απαντήσει σε κάθε πτυχή του προβλήματος.

Μελετήθηκαν μέθοδοι αποδόμησης δεδομένων [6] για μείωση της μεταβλητότητας, και την παραγωγή *intrinsic mode functions*. Αναπτύχθηκε ασαφές μοντέλο υψηλής τάξης, του οποίου οι όροι στα συναρτησιακά εξόδο των ασαφών κανόνων, δεν περιορίζονται σε

¹συχρητικά με τις vanilla εκδοχές τους και βάσει τις μετρικές απόδοσης μοντέλων μηχανικής μάθησης στη βιβλιογραφία.



γραμμικούς [7]. Το μοντέλο αποτελεί την καρδιά της μεθοδολογίας, άρα η απόδοση του καθορίζει σε σημαντικό βαθμό την γενική απόδοση της ολοκληρωμένης μεθοδολογίας. Η αύξηση των βαθμών ελευθερίας του ασαφούς μοντέλου, συνάδει με αύξηση της προσεγγιστικής του ικανότητας. Η δημιουργία ενός ασαφούς μοντέλου περιλαμβάνει τον καθορισμό της δομής του και την εκπαίδευση του πάνω στο σύνολο δεδομένων εκπαίδευσης. Προτείνεται μεθοδολογία εκπαίδευσης του ασαφούς μοντέλου με σύγχρονο εξελικτικό αλγόριθμο [8] και συγκεκριμένα με αλγόριθμο μεταβλητής μετάλλαξης και προσαρμοσμένων υπερπαραμέτρων διαφορικής εξέλιξης. Η εκπαίδευση αφορά πληθυσμό υποψήφιων λύσεων και χρήση τελεστών μετάλλαξης και διασταύρωσης για την παραγωγή των βέλτιστων παραμέτρων του ασαφούς μοντέλου. Ένα βήμα προς μια ολοκληρωμένη μεθοδολογία είναι η κωδικοποίηση της πολυπλοκότητας του μοντέλου, χωρίς να ορίζεται *a priori*.

Ανεξαρτήτου ακριβείας στην εύρεση βέλτιστων λύσεων, οι εξελικτικοί αλγόριθμοι βασίζονται σε πληθυσμό υποψήφιων λύσεων, αυξάνοντας το χρόνο εκπαίδευσης. Συνεπώς, μελετήθηκε και προτείνεται εναλλακτικός τρόπος βελτιστοποίησης του μοντέλου μας, με χρήση παρένθετων μοντέλων. Η συγκεκριμένη πρόταση έρχεται ως υποψήφια λύση στο πρόβλημα της χρονικής πολυπλοκότητας των τελικών αλγορίθμων. Η επιλογή των εισόδων, ήτοι του αριθμού των χρονικών καθυστερήσεων της μεταβλητής που παράγει το χώρο εισόδου, μελετάται στο πλαίσιο της *συνάρτησης αμοιβαίας πληροφορίας* καθώς και με τη χρήση ακολουθιακών (sequential search) αλγορίθμων. Τέλος, μελετάται το πρόβλημα του περιορισμού της μη-απαραίτητης αύξησης της πολυπλοκότητας του τελικού μοντέλου, με στόχο μείωση υπολογιστικών πόρων και βελτίωση της ικανότητας γενίκευσης σε δοκιμαστικά δεδομένα.

Σε ότι αφορά στα πεδία της μηχανικής μάθησης, εκτός θεωρίας ασαφών συστημάτων, μελετώνται προσεγγιστικά μοντέλα όπως νευρωνικά δίκτυα, υποστηρικτικά διανύσματα καθώς και γκαουσσιανές ανελίξεις, όπως επίσης και μια αυτοματοποιημένη διαδικασία επιλογής και βελτιστοποίησης του μοντέλου βάσης.



Μελλοντικές Κατευθύνσεις

Η έρευνα που έχει πραγματοποιηθεί στο πλαίσιο της διδακτορικής διατριβής μπορεί να αποδομηθεί σε τρία βασικά πεδία; την ανάπτυξη νέων μοντέλων της υπολογιστικής νοημοσύνης, με έμφαση στα υβριδικά συστήματα, τη μελέτη του προβλήματος της εκτίμησης πληρότητας βασισμένοι σε στοχαστικές μεθοδολογίες και την επίλυση του προβλήματος αποδοτικής πρόβλεψης της ταχύτητας ανέμου καθώς και άλλων μεταβλητών, των οποίων τα δεδομένα παρέχονται σε μορφή χρονοσειράς.

Οι άμεσες ενέργειες μας αφορούν:

- Την ολοκλήρωση των υπολογιστικών αλγορίθμων
- Την εφαρμογή των τελικών μοντέλων σε προβλήματα προσέγγισης συναρτήσεων
- Τη συγγραφή επιστημονικών εργασιών για δημοσίευση των αποτελεσμάτων



Βιβλιογραφία

- [1] Shahrokh Shahi, Flavio H. Fenton, and Elizabeth M. Cherry. Prediction of chaotic time series using recurrent neural networks and reservoir computing techniques: A comparative study. *Machine Learning with Applications*, 8:100300, 2022.
- [2] Xiangjie Liu, Hao Zhang, Xiaobing Kong, and Kwang Y. Lee. Wind speed forecasting using deep neural network with feature selection. *Neurocomputing*, 397:393–403, 2020.
- [3] K. Gnana Sheela and S.N. Deepa. Neural network based hybrid computing model for wind speed prediction. *Neurocomputing*, 122:425–429, 2013. Advances in cognitive and ubiquitous computing.
- [4] A. Khosravi, R.N.N. Koury, L. Machado, and J.J.G. Pabon. Prediction of wind speed and wind direction using artificial neural network, support vector regression and adaptive neuro-fuzzy inference system. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 25:146–160, 2018.
- [5] Shaolong Sun, Han Qiao, Yunjie Wei, and Shouyang Wang. A new dynamic integrated approach for wind speed forecasting. *Applied Energy*, 197:151–162, 2017.
- [6] Yuanchen Gao, Bin Wang, Fei Chen, Wenjing Zhang, Dongdong Zhou, Fengjiao Wu, and Diyi Chen. Multi-step wind speed prediction based on lssvm combined with esmd and fractional-order beetle swarm optimization. *Energy Reports*, 9:6114–6134, 2023.
- [7] Dongrui Wu, Ye Yuan, Jian Huang, and Yihua Tan. Optimize tsf fuzzy systems for regression problems: Minibatch gradient descent with regularization, dropout, and adaboost (mbgd-rda). *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 28(5):1003–1015, 2020.
- [8] Yuzhen Li, Shihao Wang, and Bo Yang. An improved differential evolution algorithm with dual mutation strategies collaboration. *Expert Systems with Applications*, 153:113451, 2020.



ANASTASIOS
NTOUNIS

Digitally signed by ANASTASIOS
NTOUNIS
Date: 2024.11.06 09:12:54 +02'00'

Δρ. Αναστάσιος Ντούνης

Δρ. Γεώργιος Βούρος

Digitally signed by
Dionysia Kolokotsa
Date: 2024.11.19
08:43:46 +02'00'

Δρ. Διονυσία Κολοκοτσά

Ψηφιακή Βεβαίωση Εγγράφου

Μπορείτε να ελέγξετε την ισχύ του εγγράφου
σκανάροντας το QR code ή εισάγοντας τον κωδικό
στο docs.gov.gr/validate



Επιβεβαιώνεται το γνήσιο. Υπουργείο
Ψηφιακής Διακυβέρνησης / Verified by the Ministry
of Digital Governance, Hellenic Republic
20241118181839+02'00'

Υπογραφή:
ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΒΟΥΡΟΣ
Πατρώνυμο: ΑΣΗΜΑΚΗΣ
ΑΦΜ: 043061889
Ημ. Υπογραφής: 18/11/2024 18:18:33