

Συνέργεια Ασαφούς Υπολογιστικής και Μοντέλων Βαθιάς Μάθησης στη Λήψη Ιατρικών Αποφάσεων

(Synergy Fuzzy Computing and Deep Learning Models in Medical Decision-Making)

ΠΡΟΤΑΣΗ ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ

Ανδρέας-Νέστωρ Αβραμόπουλος

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΪΑΤΡΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΘΕΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ

Επιστήμες Μηχανικού

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ

Extensions Fuzzy Sets, Fuzzy Computing, Evolutionary Algorithms, Neuro-Fuzzy Systems, Medical Diagnosis and Decision-Making, Medical Image Processing, Medical Knowledge Engineering, Deep Learning.

ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΘΕΜΑΤΟΣ

Διάγνωση καθίσταται η τέχνη της αναγνώρισης μιας ασθένειας που προκύπτει από την έρευνα και την ανάλυση των σημείων και των συμπτωμάτων της. Η διάγνωση είναι το πρώτο βήμα για τη διαδικασία που ονομάζεται λήψη κλινικής απόφασης. Επακολουθεί η πρόγνωση, η οποία είναι μια πρόβλεψη της πορείας της νόσου, και εν τέλει η θεραπεία της νόσου. Η σωστή διάγνωση είναι πολυπαραγοντική, διαμορφώνεται ως αποτέλεσμα συνδυασμού της κλινικής εμπειρίας του ιατρικού προσωπικού, της λήψης του σωστού ιστορικού, της παρατήρησης των παθολογικών σημείων του ασθενούς, καθώς και σειράς εξετάσεων.

Υπάρχουν πολλές διαγνωστικές μέθοδοι με την πιο κλασσική να είναι η διαφορική διάγνωση, δηλαδή η σύγκριση και ταξινόμηση νοσογόνων οντοτήτων με παρόμοια χαρακτηριστικά, εργαστηριακές εξετάσεις και απεικονιστικά αποτελέσματα που αντιστοιχούν στον ασθενή, και εκ των υστέρων αποκλεισμό των πιθανών ασθενειών μέχρι την επιτυχή ανεύρεση της νόσου του ασθενούς. Η επόμενη συνηθέστερη διαγνωστική μέθοδος καθίσταται η διάγνωση μέσω διαγνωστικών κριτηρίων, δηλαδή μέσω συγκεκριμένων συμπτωμάτων και σημείων που μόνα τους ή σε συνδυασμό είναι παθογνωμικά, δηλαδή μοναδικά για μια συγκεκριμένη νόσο.

Πλέον στην ιατρική καθημερινότητα έχει μπει και άλλη μια μέθοδος που κερδίζει συνεχώς έδαφος λόγω της ακρίβειας της και της μείωσης του λάθους από τον ανθρώπινο παράγοντα και αυτή δεν είναι άλλη από την Τεχνητή Νοημοσύνη που δημιουργούνται από ομάδες ειδικών (experts) σε διεθνές επίπεδο που η πρακτική τους θεωρείται *lege artis* και είναι μονόδρομος για την παροχή υπηρεσιών προς τον ασθενή. Είναι τα συστήματα υποστήριξης κλινικών αποφάσεων, εργαλεία δηλαδή με μεγάλη βάση δεδομένων που δημιουργούν συνθήκες επαυξημένης νοημοσύνης για τον επαγγελματία υγείας, με τελικό όμως εντολέα αποφάσεων τον ίδιο τον ιατρό.

Στην ιατρική διάγνωση και λήψη αποφάσεων, άτομα με διαφορετικές ασθένειες μπορεί να παρουσιάσουν διαφορετικά συμπτώματα. Γενικά, ο ιατρός διαγιγνώσκει τον ασθενή μέσω από το συνδυασμό της ακριβούς ιατρικής

εξέτασης και των βοηθητικών ιατρικών διαγνωστικών πληροφοριών που παρέχει ο ασθενής. Λόγω της αβεβαιότητας της πραγματικής κατάστασης και της πολυπλοκότητας της νόσου, διαφορετικά άτομα με την ίδια νόσο μπορεί να παρουσιάζουν διαφορετικά συμπτώματα. Συχνά οι διαγνώσεις δύο ή περισσότερων ιατρών μπορεί να είναι διαφορετικές για τον ίδιο ασθενή. Σε τέτοια προβλήματα λήψης αποφάσεων με πολλαπλά χαρακτηριστικά που χρειάζεται ποιοτική αξιολόγηση και τα χαρακτηριστικά να επηρεάζει το ένα το άλλο η τεχνητή νοημοσύνη προσφέρει την κατάλληλη θεωρία και μεθοδολογία για την αντιμετώπιση της αβεβαιότητας που υπεισέρχεται σε τέτοιες καταστάσεις. Γενικότερα, η τεχνητή νοημοσύνη στην λήψη ιατρικών αποφάσεων μπορεί να χαρακτηριστεί ως ο επιστημονικός κλάδος που αφορά τις ερευνητικές μελέτες και τις εφαρμογές που αποσκοπούν στην υποστήριξη ιατρικών αποφάσεων και βασίζονται στην ευφυή επεξεργασία της ιατρικής γνώσης.

Η συνέργεια νευρωνικών δικτύων (απλών ή βαθέων), ασαφούς [1] και εξελικτικής υπολογιστικής έχει οδηγήσει στην ανάδειξη υβριδικών μοντέλων με εφαρμογή στην επεξεργασία ιατρικών εικόνων [8-10], στη λήψη ιατρικών αποφάσεων [11,13-15] και στη διάγνωση [2,3,12,17-19]. Οι προσεγγίσεις αυτές παρουσιάζουν το πλεονέκτημα να συνδυάζουν την ισχυρή μοντελοποίηση των νευρωνικών δικτύων (απλών ή βαθέων) με την ερμηνευσιμότητα που προσφέρει η ασαφής λογική και τις διευρυμένες δυνατότητες αναζήτησης λύσεων που χαρακτηρίζουν τους αλγορίθμους εξελικτικής υπολογιστικής.

Τα μοντέλα βαθιάς μάθησης έχουν επιτύχει καλά πρακτικά αποτελέσματα στον ιατρικό τομέα. Ωστόσο, η παραδοσιακή βαθιά μάθηση υπολογίζεται και αναπτύσσεται με βάση σαφείς τιμές. Τα ιατρικά δεδομένα είναι συνήθως ανακριβή, αβέβαια και ασαφή στη διαδικασία διάγνωσης και θεραπείας λόγω της παρουσίας θορύβου, ή μη δομημένων πληροφοριών υψηλής διάστασης. Η ασαφής βαθιά μάθηση που βασίζεται στα ασαφή σύνολα, μπορεί να αντιμετωπίσει αποτελεσματικά την ενυπάρχουσα αβεβαιότητα, τις αβέβαιες και ανακριβείς πληροφορίες, παρέχοντας νέες οπτικές γωνίες για την αντιμετώπιση των παραπάνω προβλημάτων [3-7].

Το αντικείμενο της προτεινόμενης διατριβής είναι η μελέτη και ο σχεδιασμός ευφών ιατρικών συστημάτων για τη λήψη ιατρικών αποφάσεων. Για την ανάπτυξη των συστημάτων αυτών θα μελετηθούν θεωρίες και μεθοδολογίες από τον χώρο της ασαφούς υπολογιστικής, των νευροασαφών μοντέλων, του εξελικτικού υπολογισμού, της βαθιάς μάθησης και των δένδρων απόφασης.

Στόχος της παρούσης Διδακτορικής Διατριβής, είναι ο συγκερασμός ευφών τεχνικών για τη μοντελοποίηση των εμφανιζόμενων αβεβαιοτήτων στη λήψη αποφάσεων με πολλαπλά χαρακτηριστικά.

ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑ ΚΑΙ ΠΡΩΤΟΤΥΠΙΑ ΤΗΣ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ

Η θεωρία των ασαφών συνόλων και της ασαφούς λογικής εισήχθησαν από τον Zadeh (1965) με στόχο την εφαρμογή και την αρωγή σε θέματα της ιατρικής. Η συνεισφορά της προτεινόμενης διατριβής έγκειται στη μελέτη και στην ανάπτυξη νοημόνων συστημάτων με προηγμένα ασαφή σύνολα για τη λήψη αποφάσεων πολλαπλών χαρακτηριστικών με αβεβαιότητα, στην επεξεργασία ιατρικής εικόνας και στη αναγνώριση προτύπων.

Η πρωτοτυπία της διατριβής έγκειται στην αξιοποίηση προηγμένων ασαφών συνόλων, μοντέλων ασαφούς βαθιάς μάθησης και συστημάτων συμπερασμού για τη διάγνωση, τη λήψη αποφάσεων και θεμάτων ταξινόμησης νοσογόνων οντοτήτων σε ιατρικές εικόνες.

ΒΑΣΙΚΟΣ ΣΚΟΠΟΣ, ΣΤΟΧΟΙ ΚΑΙ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΕΣ ΥΠΟΘΕΣΕΙΣ ΤΗΣ ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ

Τελικός σκοπός της διατριβής είναι η πρόταση ενός αξιόπιστου ολοκληρωμένου συστήματος ιατρικής διάγνωσης το οποίο θα καταστεί χρήσιμο εργαλείο στην ιατρική πρακτική.

Οι ερευνητικές υποθέσεις συνίστανται στο γενικό πρόβλημα της διάγνωσης και της λήψης αποφάσεων με πολλαπλά χαρακτηριστικά και της μοντελοποίησης ιατρικών δεδομένων, ιατρικής γνώσης που περιγράφουν τα προβλήματα διάγνωσης και της λήψης αποφάσεων.

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Για την εκπόνηση της έρευνας θα πραγματοποιηθεί εκτενής βιβλιογραφική μελέτη της διεθνούς βιβλιογραφίας, ώστε να προσδιοριστεί το τρέχον επίπεδο επιστημονικής γνώσης αιχμής (State of art) του αντικειμένου.

Στη συνέχεια θα τεθούν οι κύριοι ερευνητικοί προβληματισμοί και θα τεκμηριωθεί η μεθοδολογία για την απάντηση τους στα πλαίσια της διατριβής. Για το ερευνητικό μέρος της διατριβής, θα σχεδιαστούν και θα υλοποιηθούν τα απαιτούμενα μοντέλα-συστήματα διάγνωσης με την εφαρμογή σύγχρονων μεθόδων προσομοίωσης και ανάλυσης.

Με την προτεινόμενη μεθοδολογία θα επιτευχθούν τα εξής:

- Ανάπτυξη υπολογιστικού μοντέλου διάγνωσης-λήψης απόφασης
- Βελτιστοποίηση
- Τεκμηρίωση των ερευνητικών αποτελεσμάτων
- Προτάσεις για περαιτέρω αξιοποίηση των πορισμάτων

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

1. Zimmerman, Hans - Jurgen, Fuzzy Set Theory and its Applications Fourth Edition, Springer Science + Business Media, (2001).
2. Yogesh Kumar, Apeksha Koul, Ruchi Singla, Muhammad Fazal Ijaz, Artificial intelligence in disease diagnosis: a systematic literature review, synthesizing framework and future research agenda, Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing (2023) 14:8459–8486.
3. Zengchen Yu, Ke Wang, Zhibo Wan, Shuxuan Xie, Zhihan Lv, Popular deep learning algorithms for disease prediction: a review, Cluster Computing (2023) 26:1231–1251.
4. Rangan Das, Sagnik Sen, and Ujjwal Maulik, A Survey on Fuzzy Deep Neural Networks, ACM Computing Surveys, Vol. 53, No. 3, Article 54. Publication date: May 2020.
5. Yuanhang Zheng, Zeshui Xu, Tong Wu, Zhang Yi, A Systematic Survey of Fuzzy Deep Learning for Uncertain Medical Data, Research Square, <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3126621/v1>.
6. Shashank Kamthan, Harpreet Singh, Thomas Meitzler, Hierarchical fuzzy deep learning for image classification, Memories - Materials, Devices, Circuits and Systems 2 (2022) 100016.
7. Shashank Kamthan, Harpreet Singh, Hierarchical Fuzzy Logic Systems, J. Inst. Eng. India Ser. B (August 2022) 103(4):1167–1175.
8. Shervin Minaee, Yuri Boykov, Fatih Porikli, Antonio Plaza, Nasser Kehtarnavaz, and Demetri Terzopoulos, Image Segmentation Using Deep Learning: A Survey, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 44, No. 7, July 2022.
9. Anastasios Dounis, Andreas-Nestor Avramopoulos, Maria Kallergi, Advanced Fuzzy Sets and Genetic Algorithm Optimizer for Mammographic Image Enhancement, Electronics 2023, 12, 3269. <https://doi.org/10.3390/electronics12153269>.
10. Anastasios Dounis, Andreas-Nestor Avramopoulos, Maria Kallergi, Hybrid Intelligent Pattern Recognition Systems for Mass Segmentation and Classification: A Pilot Study on Full-Field Digital Mammograms, Appl. Sci. 2023, 13(18), 10401, <https://doi.org/10.3390/app131810401>.

11. Fatih Emre Boran, Diyar Akay, A biparametric similarity measure on intuitionistic fuzzy sets with applications to pattern recognition, *Information Sciences* 255 (2014) 45–57.
12. Dong Wu, Xiang Liu, Feng Xue, Hanqing Zheng, Yehang Shou, Wen Jiang, A new medical diagnosis method based on Z-numbers, *Appl Intell* (2018) 48:854–867.
13. Harish Garg, *q-Rung Orthopair Fuzzy Sets*, ISBN 978-981-19-1448-5, 2022, <https://doi.org/10.1007/978-981-19-1449-2>.
14. Xindong Peng, Lin Liu, Information measures for q-rung orthopair fuzzy sets, *Int J Intell Syst.* 2019;34:1795-1834.
15. Shouzhen Zeng, Shyi-Ming Chen, Li-Wei Kuo, Multiattribute decision making based on novel score function of intuitionistic fuzzy values and modified VIKOR method, *Information Sciences* 488 (2019) 76–92.
16. Peide Liu, Peng Wang, Some q-Rung Orthopair Fuzzy Aggregation Operators and their Applications to Multiple-Attribute Decision Making, *International Journal Of Intelligent Systems*, Vol. 33, 259–280 (2018).
17. Ioannis K. Vlachos, George D. Sergiadis, Intuitionistic fuzzy information – Applications to pattern recognition, *Pattern Recognition Letters* 28 (2007) 197–206.
18. Nisha Gupta, Harjeet Singh, Jimmy Singla, Fuzzy Logic-based Systems for Medical Diagnosis – A Review, *Proceedings of the Third International Conference on Electronics and Sustainable Communication Systems (ICESC 2022)*.
19. Hossein Ahmadi, Marsa Gholamzadehc, Leila Shahmoradi, Mehrbakhsh Nilashi d,f,g, Pooria Rashvande, Diseases diagnosis using fuzzy logic methods: A systematic and meta-analysis review, *Computer Methods and Programs in Biomedicine* 161 (2018) 145–172.

Δρ. Αναστάσιος Ντούνης
Καθηγητής

