

Τίτλος Διδακτορικής Διατριβής

Ανάπτυξη και θεμελίωση νέων μεθόδων Υπολογιστικών Μαθηματικών στην Υπολογιστική Νοημοσύνη.

Ονοματεπώνυμο

Σταμάτιος-Άγγελος Ν. Αλεξανδρόπουλος

Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή

Μιχαήλ Ν. Βραχάτης (Καθηγητής, Επιβλέπων)

Παναγιώτης Δ. Αλεβίζος (Αναπληρωτής Καθηγητής)

Σωτήριος Β. Κωτσιαντής (Επίκουρος Καθηγητής)

Περίληψη

Δύο πολύ σημαντικά επιστημονικά πεδία, αυτά της Υπολογιστικής Νοημοσύνης και των Υπολογιστικών Μαθηματικών, ενδείκνυνται για την αποτελεσματική και αποδοτική αντιμετώπιση σύνθετων προβλημάτων του πραγματικού κόσμου. Με βάση αυτά τα επιστημονικά πεδία έχει αναπτυχθεί ένα ευρύ φάσμα μεθόδων και τεχνικών οι οποίες συγκεντρώνουν την προσοχή της επιστημονικής κοινότητας. Αυτό που παρατηρείται συχνά είναι διάφοροι αλγόριθμοι και τεχνικές προσαρμοσμένες σε ένα συγκεκριμένο πρόβλημα, οι οποίες δεν μπορούν να ανταποκριθούν εξίσου καλά σε άλλα, παρεμφερή προβλήματα. Η «συνεργία» των δύο παραπάνω επιστημονικών πεδίων μπορεί να οδηγήσει στην μαθηματική θεμελίωση αλγορίθμων για την αξιόπιστη αντιμετώπιση μιας πληθώρας παρεμφερών προβλημάτων.

Η Υπολογιστική Νοημοσύνη ως νέος επιστημονικός κλάδος, περιγράφει υπολογιστικές μεθόδους, οι οποίες μεταξύ των άλλων, εμπνέονται από φυσικά και βιολογικά συστήματα και δύναται να συνδυάσει επιστημονικούς τομείς, όπως τα Υπολογιστικά Μαθηματικά και την Επιστήμη των Υπολογιστών, έχοντας επεκτάσεις και εφαρμογές σχεδόν σε όλους τους τομείς των επιστημών και της τεχνολογίας. Οι αλγόριθμοι και τα μοντέλα που συναντώνται στον τομέα της Υπολογιστικής Νοημοσύνης και έχουν τις βάσεις τους σε μεθόδους των Υπολογιστικών Μαθηματικών (Αριθμητικής Επίλυσης Συνήθων Διαφορικών Εξισώσεων), αποτελούν ένα σημαντικό μέρος αυτής της διατριβής.

Πολλές και διαφορετικές εφαρμογές που άπτονται σε αρκετούς τομείς της έρευνας και της τεχνολογίας εμφανίζονται ή μπορούν να αντιμετωπιστούν ως προβλήματα Βελτιστοποίησης. Αρκετές μέθοδοι της Υπολογιστικής Νοημοσύνης, βασίζονται σε μια ειδική κλάση μεθόδων βελτιστοποίησης που περιλαμβάνει τη μελέτη και τη θεμελίωση υπολογιστικών μεθόδων, οι οποίες αντιμετωπίζουν αποτελεσματικά δύσκολα προβλήματα του φυσικού κόσμου. Αυτές οι μέθοδοι είναι πολύ σημαντικές, καθώς προσεγγίζουν προβλήματα Βελτιστοποίησης χωρίς περιορισμούς, κάτι που ευρέως συναντάται σε διάφορα προβλήματα της επιστήμης και της τεχνολογίας. Επιπλέον, λόγω του εύρους των εφαρμογών, και κυρίως της ανάπτυξης νέων τεχνολογιών, έχουν αναπτυχθεί προβλήματα που επιζητούν λύση και άπτονται σε διαφορετικά ήδη Βελτιστοποίησης, όπως η πολυ-αντικειμενική Βελτιστοποίηση και η

Βελτιστοποίηση με περιορισμούς. Για την προσέγγιση αυτών των δύσκολων προβλημάτων, χρησιμοποιούνται μέθοδοι της Υπολογιστικής Νοημοσύνης και ειδικότερα τεχνικές και αλγόριθμοι που ανήκουν στον τομέα της Μηχανικής Μάθησης και των Τεχνητών Νευρωνικών Δικτύων.

Στα πλαίσια της παραπάνω συνεργατικής αντιμετώπισης, είναι απαραίτητη η μελέτη των προαπαιτούμενων αυτών των αλγορίθμων. Έτσι, πριν την εφαρμογή αυτών των τεχνικών, είναι αναγκαία η προεργασία και προετοιμασία του διαθέσιμου συνόλου δεδομένων προκειμένου να δημιουργηθούν αξιόπιστα μοντέλα με καλή απόδοση και καλή ικανότητα γενίκευσης. Κατόπιν, αυτές οι μέθοδοι μπορούν να εφαρμοστούν και να αντιμετωπίσουν προβλήματα που άπτονται σε αρκετούς τομείς της επιστήμης, όπως, μεταξύ των άλλων, η μηχανική, η φυσική, η βιολογία, τα μαθηματικά, η ιατρική, η επιστήμη των υπολογιστών, η βιομηχανία, η μουσική, η οικονομία και η κρυπτογραφία.

Στη σύγχρονη βιβλιογραφία παρουσιάζεται ένα τεράστιο πλήθος αλγορίθμων και τεχνικών που άπτονται στις παραπάνω κατευθύνσεις. Παρόλα αυτά η πλειοψηφία τους αφορά ένα συγκεκριμένο πλαίσιο, το οποίο είναι προσαρμοσμένο στις απαιτήσεις του εκάστοτε προβλήματος. Συνήθως περιορίζονται σε στατιστικά μοντέλα και σε παραμέτρους που ερμηνεύουν ένα συγκεκριμένο πρόβλημα, αποκλείοντας έτσι, την επιτυχή εφαρμογή σε οποιοδήποτε άλλο πρόβλημα ή ακόμα και στο ίδιο πρόβλημα με διαφορετικές παραμέτρους. Μια αξιόπιστη λύση σε αυτό το μείζον πρόβλημα παρέχεται μέσω της ανάπτυξης αλγορίθμων με μαθηματική θεμελίωση και αυστηρή μαθηματική τεκμηρίωση με απόδειξη. Ένας αλγόριθμος με ισχυρό μαθηματικό υπόβαθρο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε περισσότερες εφαρμογές με μεγαλύτερη επιτυχία.

Στην αρχή αυτή στηρίζεται ο πυρήνας της διατριβής, δηλαδή στη μαθηματική θεμελίωση αλγοριθμικών τεχνικών, οι οποίες θα απευθύνονται σε μια πλειάδα προβλημάτων, συνεισφέροντας στην επιστημονική βιβλιογραφία αναφορικά με την συνεργία της Υπολογιστικής Νοημοσύνης και των Υπολογιστικών Μαθηματικών. Πιστεύουμε και προσδοκούμε ότι στηριζόμενοι στα αποτελέσματα της διατριβής μπορούν να δημιουργηθούν μέθοδοι οι οποίες θα δώσουν τη δυνατότητα σε επιστήμονες άλλων περιοχών να αντιμετωπίσουν με αξιοπιστία μεγάλης κλίμακας και πολυπλοκότητας προβλήματα, τα οποία εμφανίζονται συχνά σε ερευνητικούς και εφαρμοσμένους τομείς του εμπορίου, της οικονομίας και της βιομηχανίας, με προφανή οφέλη.

Title of the Thesis

Development and foundation of new methods of Computational Mathematics in Computational Intelligence.

Full Name

Stamatios-Aggelos N. Alexandropoulos

Three-member Advisor Committee

Michael N. Vrahatis (Professor, Supervisor)

Panagiotis D. Alevizos (Associate Professor, Member of the Advisor Committee)

Sotirios B. Kotsiantis (Assistant Professor, Member of the Advisor Committee)

Abstract

Two very important scientific fields, namely, the Computational Intelligence and the Computational Mathematics, are useful for tackling efficiently and effectively complex real-world problems. A variety of methods and techniques have been developed based on the two aforementioned scientific fields, attracting the attention of the scientific community. It is often observed that, various algorithms and techniques are adapted to a particular problem without being able to respond equally well to other similar problems. The “synergy” of these two disciplines can provide mathematical algorithms in order to reliably deal with a plethora of problems.

The new scientific field of Computational Intelligence describes computational methods that are inspired, among others, by nature and biological systems and that can combine scientific fields, such as Computational Mathematics and Computer Science, having in their turn several extensions and applications in science and technology. The algorithms and the models that belong to the field of Computational Intelligence and are based on Computational Mathematics (Numerical Solution of Ordinary Differential Equations) constitute the main issue of the present thesis.

A great variety of applications related to several areas of research and technology arise or can be addressed as Optimization problems. Several methods of Computational Intelligence refer to a specific class of optimization methods that involves the study and the creation of computational methods which effectively deal with difficult real-world problems. These methods are very important since they are approaching optimization problems which are common in most problems. Nevertheless, due to numerous applications, and in particular due to the development of new technologies, problems have been emerged that require solution and are related to different kinds of optimization, such as multi-objective or constrained optimization. To handle these difficult problems, Computational Intelligence methods are used, and in particular techniques and algorithms that belong to the field of Machine Learning and Artificial Neural Networks.

In the context of the above synergetic approach, it is necessary to study the prerequisites of these algorithms. Thus, before applying these algorithms, it is necessary to prepare and preprocess the available data set in order to create reliable models with good performance and good generalization ability. Then, these methods can be applied to tackle problems in several fields, such as engineering, physics, biology, mathematics, medicine, computer science, industry, music, economics, and cryptography, among others.

In current scientific literature can be found great deal of algorithms and techniques related to the above issues. However, the majority of them which are related to a specific framework is tailored to the requirements of this problem. The algorithms are usually limited to probabilistic or statistical models and parameters that describe a particular problem, excluding the successful application to any other problem or even to the same problem with different parameters. A reliable solution to this major issue is

provided by the development of algorithms having mathematical foundations and rigorous mathematical justification provided by a proof. An algorithm with a strong mathematical background can be used in many applications with great success.

The present thesis is based on this discipline, namely the mathematical foundation of algorithmic techniques, which will address as many problems as possible and consequently, contributing to the scientific literature on the synergy between Computational Intelligence and Computational Mathematics. We believe and expect that the results of the thesis will contribute to the creation of reliable methods that may, among the others, enable scientists in other scientific fields to reliably deal with large-scale and complex problems that often encountered in research and applied field of commerce, financial and industry with obvious benefits.

List of publications and citations

Aridas C.K., Alexandropoulos S.-A.N., Kotsiantis S.B., Vrahatis M.N., Random resampling in the one-versus-all strategy for handling multi-class problems, **Communications in Computer and Information Science (CCIS)**, vol.744, pp.111-121, **Springer**, 2017. [citations: 2]

Alexandropoulos S.-A.N., Aridas C.K., Kotsiantis S.B., Vrahatis M.N., A deep dense neural network for bankruptcy prediction, **Communications in Computer and Information Science (CCIS)**, vol.1000, pp.435-444, Springer Nature Switzerland AG, Switzerland, 2019. [citations: 1]

Alexandropoulos S.-A.N., Kotsiantis S.B., Vrahatis M.N., Data preprocessing in predictive data mining, **Knowledge Engineering Review**, 34, Article No. e1, pp.1-33, 2019. [citations: 3]

Alexandropoulos S.-A.N., Aridas C.K., Kotsiantis S.B., Vrahatis M.N., Multi-objective evolutionary optimization algorithms for machine learning: A recent survey, **Approximation and Optimization**, I.C. Demetriou and P.M. Pardalos (eds.), Chapter 4, pp.35-55, **Springer Optimization and Its Applications** 145, **Springer** Nature Switzerland AG 2019 [ISBN: 978-3-030-12766-4, ISBN: 978-3-030-12767-1 (eBook)]. [citations: 6]

Adam S.P., Alexandropoulos S.-A.N., Pardalos P.M., Vrahatis M.N., No free lunch theorem: A review, **Approximation and Optimization**, I.C. Demetriou and P.M. Pardalos (eds.), Chapter 5, pp.57-82, **Springer Optimization and Its Applications** 145, **Springer** Nature Switzerland AG 2019 [ISBN: 978-3-030-12766-4, ISBN: 978-3-030-12767-1 (eBook)]. [citations: 3]

Alexandropoulos S.-A.N., Aridas C.K., Kotsiantis S.B., Vrahatis M.N., Stacking strong ensembles of classifiers, **IFIP Advances in Information and Communication Technology**, vol.559, pp.545-556, **Springer** Nature Switzerland AG, Switzerland, 2019.

Temponeras G.S., Alexandropoulos S.-A.N., Kotsiantis S.B., Vrahatis M.N., Financial fraudulent statements detection through a deep dense artificial neural network, Proceedings of the **IEEE Tenth International Conference on Information, Intelligence, Systems and Applications (IISA 2019)**, July 15-17, 2019, Patras, Greece, art.no.8900741, pp.1-5, IEEE 2019.

Alexandropoulos S.-A.N., Pardalos P.M., Vrahatis M.N., Dynamic search trajectory methods for global optimization, **Annals of Mathematics and Artificial Intelligence**, 88 (1-3), 3-37, 2020. [citations: 1]

Alexandropoulos S.-A.N., Kotsiantis S.B., Piperigou V.E., Vrahatis M.N., A new ensemble method for outlier identification, Proceedings of the **IEEE Tenth International Conference on International Conference on Cloud Computing, Data Science & Engineering (ICCCDE 2020)**, January 29-31, 2020, Delhi, India, in press.