

Έκθεση προόδου: Μέθοδοι βέλτιστης δυναμικής τιμολόγησης και πρόβλεψης ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας σε κτήρια

Υποψήφιος διδάκτορας: Δημήτριος Κ. Παναγιώτου¹

Τριμελής επιτροπή: Α. Ντούνης¹, Γ. Παπαδάκης², Δ. Μανωλάκης³

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο υποψήφιος διδάκτορας Δημήτριος Παναγιώτου έγινε δεκτός από το τμήμα Μηχανικών Βιοϊατρικής τον Οκτώβριο του 2020 με την υπ' αριθμ. 14/08-10-2020 απόφαση της γενικής συνέλευσης του τμήματος. Η έρευνα του εστιάζει στις ευφυείς μεθόδους δυναμικής τιμολόγησης και πρόβλεψης ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας σε κτήρια-με έμφαση στις κρίσιμες υποδομές, όπως είναι τα νοσοκομεία και οι μονάδες υγείας εν γένει. Τελεί υπό την επίβλεψη του καθηγητή του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής κ. Αναστασίου Ντούνη.

Ερευνητική εργασία

Η παρούσα διδακτορική διατριβή εστιάζει στην μελέτη και το σχεδιασμό ευφυών συστημάτων για την πρόβλεψη και την δυναμική τιμολόγηση ηλεκτρικής ενέργειας. Για την ανάπτυξη των συστημάτων αυτών μελετώνται θεωρίες και μεθοδολογίες από το χώρο της υπολογιστικής νοημοσύνης, όπως τα νευροασαφή συστήματα και τα νευρωνικά δίκτυα, έχοντας ως στόχο τη διερεύνηση τεχνικών ακριβούς δυναμικής τιμολόγησης σε συνδυασμό με την πρόβλεψη ζήτησης καταναλωτών.

Πιο συγκεκριμένα, μελετώνται βιβλιογραφικά τόσο οι διάφορες τεχνικές πρόβλεψης και τιμολόγησης που προτείνονται από την επιστημονική κοινότητα, όσο και διερευνώνται προσομοιωτικά νέες βελτιωμένες μέθοδοι, η απόδοση και οι δυνατότητες των οποίων στην επίλυση τεχνικών και επιστημονικών προβλημάτων τις καθιστά βασικό εργαλείο της επιστήμης του μηχανικού.

Η συνεισφορά της προτεινόμενης διατριβής είναι η μελέτη της δυνατότητας των νευροασαφών συστημάτων να προβλέψουν την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας σε πραγματικό χρόνο και να αναπροσαρμόσουν άμεσα την τιμολογιακή πολιτική του παρόχου.

Η πρωτοτυπία της διατριβής έγκειται στη χρήση και την αξιολόγηση των ανάλογων τελεστών που επηρεάζουν τις αποφάσεις αυτές και θα εξεταστεί το βέλτιστο σχήμα διατεταγμένων σταθμισμένων μέσων όρων (Ordered Weighted Averages-OWA) [1] [2], καθώς και αρχιτεκτονικών ευφυών συστημάτων, όπως οι committee machines [3].

¹ Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής, Τμήμα Μηχανικών Βιομηχανικής Σχεδίασης και Παραγωγής

² Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής

³ Διεθνές Πανεπιστήμιο της Ελλάδος, Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης



Πεπραγμένα 1^{ου} έτους

Κατά την διάρκεια του 1^{ου} έτους εκπόνησης της διδακτορικής διατριβής, ο υποψήφιος διδάκτορας ασχολήθηκε με τα εξής:

- Εκτενής βιβλιογραφική έρευνα της υπάρχουσας βιβλιογραφίας ώστε να προσδιοριστεί το τρέχον επίπεδο γνώσης αιχμής του αντικειμένου.
- Ανάπτυξη και διερεύνηση των κύριων ερευνητικών προβληματισμών.
- Σχεδίαση και υλοποίηση μοντέλων πρόβλεψης με την εφαρμογή σύγχρονων μεθόδων προσομοίωσης και ανάλυσης.
- Εκπόνηση και διεξαγωγή εργαστηριακών ασκήσεων στα μαθήματα «Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα» και «Εξελικτικός Υπολογισμός» του Προπτυχιακού Προγράμματος του Τμήματος Μηχανικών Βιοϊατρικής.
- Προετοιμασία και συγγραφή δύο (2) εργασιών οι οποίες είναι υπό δημοσίευση.

Πιο αναλυτικά:

Στο πρώτο μέρος (κεφάλαιο) της ως τώρα έρευνας, τέθηκαν οι προκείμενες και ο βασικός της στόχος:

Η απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας, τόσο στην Ελλάδα όσο και παγκοσμίως, βρίσκεται σε πλήρη εξέλιξη τα τελευταία χρόνια. Ανεξάρτητα από το στάδιο στο οποίο βρίσκεται αυτή η διαδικασία σε κάθε χώρα, κοινά προβλήματα αναδεικνύονται, όπως η ακριβής πρόβλεψη ηλεκτρικού φορτίου, η απόκριση ζήτησης (Demand Response-DM), η ενσωμάτωση των μικροπαραγωγών ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο, η ακριβής τιμολόγηση σε πραγματικό χρόνο [4, 5].

Ειδικά το ζήτημα της απόκρισης ζήτησης, η οποία ανάγει τον τελικό χρήστη σε «παίκτη» της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας συνδέοντας τον άμεσα με τους παραγωγούς ενέργειας, αποτελεί κομβικό σημείο μεταξύ της βραχυπρόθεσμης πρόβλεψης ζήτησης (Short Term Load Forecast-STLF) και των τεχνικών δυναμικής τιμολόγησης [6].

Το αντικείμενο της διατριβής είναι η μελέτη και ο σχεδιασμός ευφών συστημάτων για την πρόβλεψη και δυναμική τιμολόγηση ηλεκτρικής ενέργειας με έμφαση σε νοσοκομειακά κτήρια και υγειονομικές μονάδες (κλινικές, Κέντρα Υγείας κλπ).

Τα νοσοκομειακά κτήρια και οι υγειονομικές μονάδες χρήζουν πάντοτε ιδιαίτερης προσοχής και έρευνας διότι, λόγω του κοινωνικού ρόλου τους, ανήκουν στην κατηγορία των *κρίσιμων υποδομών (critical infrastructure)*⁴.

Για την ανάπτυξη των συστημάτων αυτών θα μελετηθούν θεωρίες και μεθοδολογίες από τον χώρο της υπολογιστικής νοημοσύνης (Νευροασαφή συστήματα-ANFIS) [7, 8], Νευρωνικά Δίκτυα [9], Αριθμητικών μεθόδων [10], Μηχανικής μάθησης [11], Decision trees [12]).

Στόχος της Διδακτορικής εργασίας, είναι η διερεύνηση τεχνικών ακριβούς δυναμικής τιμολόγησης, σε συνδυασμό με την πρόβλεψη ζήτησης ενός νοσοκομείου ή μιας υγειονομικής μονάδας (κλινική, Κέντρου Υγείας κλπ).

Πιο συγκεκριμένα, διερευνώνται βιβλιογραφικά τόσο οι διάφορες τεχνικές πρόβλεψης και τιμολόγησης που προτείνονται από την επιστημονική κοινότητα, όσο και θα προταθούν και θα διερευνηθούν προσομοιωτικά νέες, βελτιωμένες μέθοδοι.

⁴ Ως κρίσιμη υποδομή ορίζεται το σύνολο εκείνων των αγαθών, των συστημάτων και των δικτύων, είτε φυσικών είτε εικονικών, τα οποία είναι τόσο απαραίτητα για μια χώρα ώστε πιθανή μη-διαθεσιμότητά ή καταστροφή τους θα είχε τεράστιες και εξουθενωτικές επιπτώσεις στην εθνική ασφάλεια, οικονομία, την δημόσια υγεία ή οποιονδήποτε συνδυασμό αυτών (DHS, 2013). (Στεργιόπουλος, Γ.Χ., Διδακτορική Διατριβή, Οικονομικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα, 2015).



Οι δυνατότητες πρόβλεψης ηλεκτρικού φορτίου έχουν τύχει προσοχής αρκετά χρόνια τώρα, με ικανοποιητικά αποτελέσματα. Αν και η διατριβή περιλαμβάνει και άλλες μεθόδους μηχανικής μάθησης και τεχνητής νοημοσύνης, η ανασκόπηση της σχετικής βιβλιογραφίας στον τομέα της πρόβλεψης με χρονοσειρές, κατέτεινε στο να χρησιμοποιηθούν τα νευρωνικά δίκτυα ως αφηρητά και κορμός του υπό ανάπτυξη συστήματος. Τα νευρωνικά δίκτυα είναι ικανά για προβλέψεις με υψηλή ακρίβεια με τη χρήση του ιστορικού κατανάλωσης του κτηρίου, ενώ η ταχύτητα τους είναι υψηλή. Στον αντίποδα, παρουσιάζουν υψηλή πολυπλοκότητα και δυσκολία στην χρήση τους. Για τις ανάγκες των προσομοιώσεων οι οποίες πραγματοποιήθηκαν στο περιβάλλον MATLAB, χρησιμοποιήθηκε ένα δίκτυο εμπρόσθιας τροφοδότησης, ενός κρυφού επιπέδου λόγω της ικανότητας που επιδεικνύουν να μοντελοποιούν προβλήματα παλινδρόμησης. Για την πειραματική διερεύνηση των νευρωνικών δικτύων ως προς την ικανότητα τους για πρόβλεψη, αναπτύχθηκαν πέντε μοντέλα δικτύων, με κοινά στοιχεία το ένα κρυφό επίπεδο και τις 24 εισόδους που αντιστοιχούν στις ωριαίες τιμές κατανάλωσης τις τελευταίες 24 ώρες.

Το πρώτο μοντέλο βελτιστοποιήθηκε με την default επιλογή του MATLAB, τον αλγόριθμο Levenberg-Marquardt.

Το δεύτερο μοντέλο βελτιστοποιήθηκε με τη χρήση του αλγορίθμου SCG (Scaled Conjugate Gradient).

Το τρίτο μοντέλο βελτιστοποιήθηκε με τη χρήση του αλγορίθμου Adaptive Learning Rate with Momentum (GDX).

Το τέταρτο μοντέλο βελτιστοποιήθηκε με την χρήση γενετικών αλγορίθμων.

Το πέμπτο μοντέλο βελτιστοποιήθηκε με τη χρήση του αλγορίθμου Particle Swarm Optimization (PSO).

Το έκτο μοντέλο βελτιστοποιήθηκε με την χρήση του αλγορίθμου Big Bang-Big Crunch.

Συμπληρωματικά σε αυτά τα νευρωνικά δίκτυα, δύο ακόμη ευφυή συστήματα αναπτύχθηκαν:

Ένα Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System και

Ένα Long-Short Term Memory Network.

Από την πειραματική μελέτη των παραπάνω μοντέλων, ενδιαφέροντα συμπεράσματα έχουν ήδη προκύψει. Στην φάση των ελέγχων, τα παραπάνω μοντέλα επιδεικνύουν ακρίβεια η οποία κυμαίνεται από 2.2% (το μοντέλο ANFIS) έως 7.3% (το μοντέλο το οποίο εκπαιδεύτηκε με τη χρήση γενετικών αλγορίθμων).

Ακόμη, αναδύθηκαν τα εξής ερωτήματα που χρήζουν διερεύνηση και απάντηση (είναι αυτή την περίοδο υπό διερεύνηση):

1. Ποιος είναι ο βέλτιστος αριθμός νευρώνων σε κάθε μοντέλο (είναι υπό διερεύνηση με μεθόδους trial and error;
2. Ποιες από τις 24 εισόδους είναι οι επικρατέστερες, και με βάση αυτό προκύπτει και το ερώτημα 3;
3. Με ποιόν τρόπο μπορεί να επιτευχθεί η μείωση της διάστασης των δεδομένων, επιτυγχάνοντας την καλύτερη δυνατή πρόβλεψη;

Τα ερωτήματα αυτά αναμένεται να απαντηθούν στο άμεσο μέλλον, ενώ στα πλαίσια της διατριβής, κατά το 2^ο έτος της εκπόνησης της προγραμματίζονται τα εξής:



- Μελέτη και υλοποίηση μικροδικτύου αποτελούμενο από φωτοβολταϊκό σύστημα, ανεμογεννήτρια και σύστημα αποθήκευσης ενέργειας για την ενίσχυση της ενεργειακής αυτονομίας μιας νοσοκομειακής μονάδας.
- Δημιουργία μοντέλου με committee machines και τεκμηρίωση της χρήσης των OWA ως aggregation functions για αυτό.
- Αποτίμηση των αποτελεσμάτων-σύγκριση των προβλέψεων του μοντέλου με τα αποτελέσματα των επιμέρους μοντέλων.
- Περαιτέρω βελτιστοποίηση του μοντέλου.

Η τριμελής συμβουλευτική επιτροπή:

Αναστάσιος Ντούνης

Γεώργιος Παπαδάκης

Δημήτριος Μανωλάκης

Anastasios
Ntounis

Digitally signed by
Anastasios Ntounis
Date: 2022.01.19
13:01:31 +02'00'

GEORGIOS
PAPADAKIS

Digitally signed
by GEORGIOS
PAPADAKIS
Date: 2022.01.20
10:05:09 +02'00'



Digitally signed
by Dimitrios
Manolakis
Date: 2022.01.20
12:38:36 +02'00'

Καθηγητής
Πανεπιστήμιο Δυτικής
Αττικής
(Επιβλέπων)

Καθηγητής
Γεωπονικό Πανεπιστήμιο
Αθηνών

Καθηγητής
Διεθνές Πανεπιστήμιο της
Ελλάδας

Ο Υποψήφιος Διδάκτορας

Δημήτριος Παναγιώτου

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: w7AIE1Bie1m8N4kccq0f_w

Σελίδα: 4/5

Αναφορές

- [1] R. Ballini and R. Yager, "OWA filters and forecasting models applied to electric power load time series," *Evolving Systems*, pp. 159-173, 29 June 2014.
- [2] S. Tesfamariam και R. Sadiq, «Propabilistic risk analysis using ordered weighted averaging (OWA) operators,» *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, pp. 1-15, 2008.
- [3] G. Sideratos, A. Ikonopoulou και N. Hatzigargyriou, «A committee of machine learning techniques for load forecasting in a smart grid environment,» *International Journal of Energy and Power*, 2015.
- [4] I. Hussain, S. Mohsin, A. Basit, Z. Ali Khan, U. Qasim και N. Javaid, «A review on demand response: Pricing, Optimization and Appliance Scheduling,» *Procedia Computer Science*, pp. 843-850, 2015.
- [5] C. Eid, E. Koliou, M. Valles, J. Reneses και R. Hakvoort, «Time-based pricing and electricity demand response: existing barriers and next steps,» *Utilities Policy*, pp. 15-25, 2016.
- [6] S. Widergren, C. Marinovici, T. Berliner και A. Graves, «Real-time pricing demand response in operations,» σε *Power and energy society general meeting*, San Diego, CA, USA, 2012.
- [7] D. Senthilkumar, S. Kumar, Y. Ozturk και G. Lee, «An ANFIS based sensor network for residential energy management system,» σε *Proceedings of the ISCA 23rd International Conference on Computer Applications in Industry and Engineering, CAINE 2010*, Las Vega, Nevada, USA, 2010.
- [8] A. A. Bazmi, M. Davoody and G. Zahedi, "Electricity demand estimation using an adaptive neuro-fuzzy network: A case study from the state of Johor, Malaysia," in *International conference on energy and environmental-ICEE 2012*, Kuala Lumpur, 2012.
- [9] T. Holtschneider και I. Erlich, «Optimization of electricity pricing considering neural network based model of consumers' demand response,» σε *2013 IEEE Computational Intelligence Applications in Smart Grid (CIASG)*, Singapore, Singapore, 2013.
- [10] N. Fallah, C. Deo, M. Shojafar, M. Conti και S. Shamshirband, «Computational intelligence approaches for energy load forecasting in smart energy management grids: State of the art, future challenges, and research directions,» *Energies*, 2018.
- [11] D. Kapetanakis, O. Neu και P. Finn, «Prediction of residential building demand response potential using data-driven techniques,» σε *IBPSA Conference*, San Francisco, CA, USA, 2017.
- [12] D. Wagy, C. Bongard, P. Bagrow και D. Hines, «Crowdsourcing predictors of residential electric energy usage,» *IEEE Systems Journal*, pp. 1-10, 2017.

