



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΑΤΡΩΝ
UNIVERSITY OF PATRAS

Project στον Ευφυή Έλεγχο

Εαρινό Εξάμηνο 2018-2019

Τίτλος:

**Μοντελοποίηση Κτιρίου Μηδενικού Ισοζυγίου
Ενέργειας με τη χρήση Εξελιγμένων Ασαφών
Γνωστικών Δικτύων**

Υπεύθυνος καθηγητής: Γρουμπός Π.

Μέλη ομάδας:

Ιωάννης Κουτουλογένης 1019659

Γεώργιος Κατέρης 1019525

Εισαγωγή

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι να αξιοποιήσουμε τη θεωρία των ασαφών γνωστικών δικτύων για την μοντελοποίηση ενός κτιρίου μηδενικού ισοζυγίου ενέργειας (MIE). Ένα κτίριο ονομάζεται κτίριο MIE εάν παράγει τόση ενέργεια όση καταναλώνει, σε ετήσια βάση. Με τα ασαφή γνωστικά δίκτυα καταφέρνουμε να μελετήσουμε την συμπεριφορά ενός τέτοιου κτιρίου και να αποφανθούμε για την ενεργειακή του ισορροπία.

Το μοντέλο που χρησιμοποιούμε αποτελείται από ένα σύνολο “χαρακτηριστικών” ή “concepts”, τα οποία αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους. Αυτή η αλληλοεπίδραση μοντελοποιείται με τη χρήση ενός πίνακα βαρών, που συσχετίζουν τα “concepts” μεταξύ τους. Για παράδειγμα, το concept «Εσωτερική θερμοκρασία» συσχετίζεται με το concept «Παράθυρα» μέσω ενός βάρους $w = 0.2$, που δείχνει πόσο ισχυρή είναι αυτή η συσχέτιση.

Τα διάφορα concepts και ο πίνακας βαρών που χρησιμοποιούμε δίνονται παρακάτω.

Concepts:

C1: Φωτοβολταϊκό Σύστημα	C8: Παράθυρα
C2: Ανεμογεννήτρια	C9: Φυσικό φως
C3: Φωτισμός	C10: Σκίαση
C4: Ηλεκτρικές/ Ηλεκτρονικές Συσκευές	C11: Εσωτερική Θερμοκρασία
C5: Κλιματισμός	C12: Εξωτερική Θερμοκρασία
C6: Ηλιακή Ακτινοβολία	C13: Γεωθερμία
C7: Ταχύτητα του Αέρα	C14: Συνολική Παραγωγή
	C15: Συνολική Κατανάλωση

Πίνακας Βαρών (W_{ij}):

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15
C1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.8	0
C2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0
C3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1
C4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.3
C5	0	0	0	0	0	0	0	-0.5	0	0	0	0	0	0	0.15
C6	0.95	0	0	0	0	0	0	0	0.6	-0.2	0	0	0	0	0
C7	0	0.85	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.3	0	0	0	0
C9	0	0	-0.3	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0	0	0	0
C10	0	0	0.3	0	0	0	0	0	-0.2	0	-0.01	0	0	0	0
C11	0	0	0	0	-0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C12	0	0	0	0	-0.05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.05
C14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Για την επίλυση του προβλήματος χρησιμοποιούμε τις παρακάτω εξισώσεις:

$$x_{k+1} = x_k + \frac{\Delta x_{k+1}}{\sum_{j=1, j \neq i}^n |w_{ji}|} \quad (1)$$

$$y_{k+1} = y_k + \frac{\Delta y_k}{\sum_{j=1, j \neq i}^m |w_{ji}|} \quad (2)$$

$$\Delta x_{k+1} = A \Delta x_k + B \Delta u_k \quad (3)$$

$$\Delta y_k = C \Delta x_k + D \Delta u_k \quad (4)$$

Οι πίνακες A,B,C,D προκύπτουν από τον αρχικό πίνακα βαρών αφού τα concept του συστήματος χωριστούν σε concept κατάστασης, εισόδου και εξόδου.

A. Διαχωρισμός concept και καθορισμός πινάκων A,B,C, D

Για να κάνουμε τον διαχωρισμό των concepts σε input, state και output πρέπει να λάβουμε υπόψιν τα εξής:

- Input: Δεν επηρεάζονται από άλλα concepts, άρα έχουν κενή στήλη
- Output: Δεν επηρεάζουν άλλα concepts, άρα έχουν κενή γραμμή
- State: Επηρεάζουν και επηρεάζονται από άλλα concepts

Επομένως, με βάση τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι:

Inputs = C4, C6, C7, C12, C13

States = C1, C2, C3, C5, C8, C9, C10, C11

Outputs = C14, C15

Παρακάτω δίνονται οι πίνακες A, B, C, D, όπως φαίνονται στο Matlab:

A =

0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	-0.3000	0.3000	0
0	0	0	0	0	0	0	0.2000
0	0	0	-0.5000	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	-0.2000	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0.3000	0.1000	-0.0100	0

B =

0	0.9500	0	0	0
0	0	0.8500	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0.0500	0
0	0	0	0	0
0	0.6000	0	0	0
0	-0.2000	0	0	0
0	0	0	0	0

C =

0.8000	0.2000	0	0	0	0	0	0
0	0	0.0500	0.4000	0	0	0	0

D =

0	0	0	0	0.2000
0.3000	0	0	0	0.0500

Επεξήγηση:

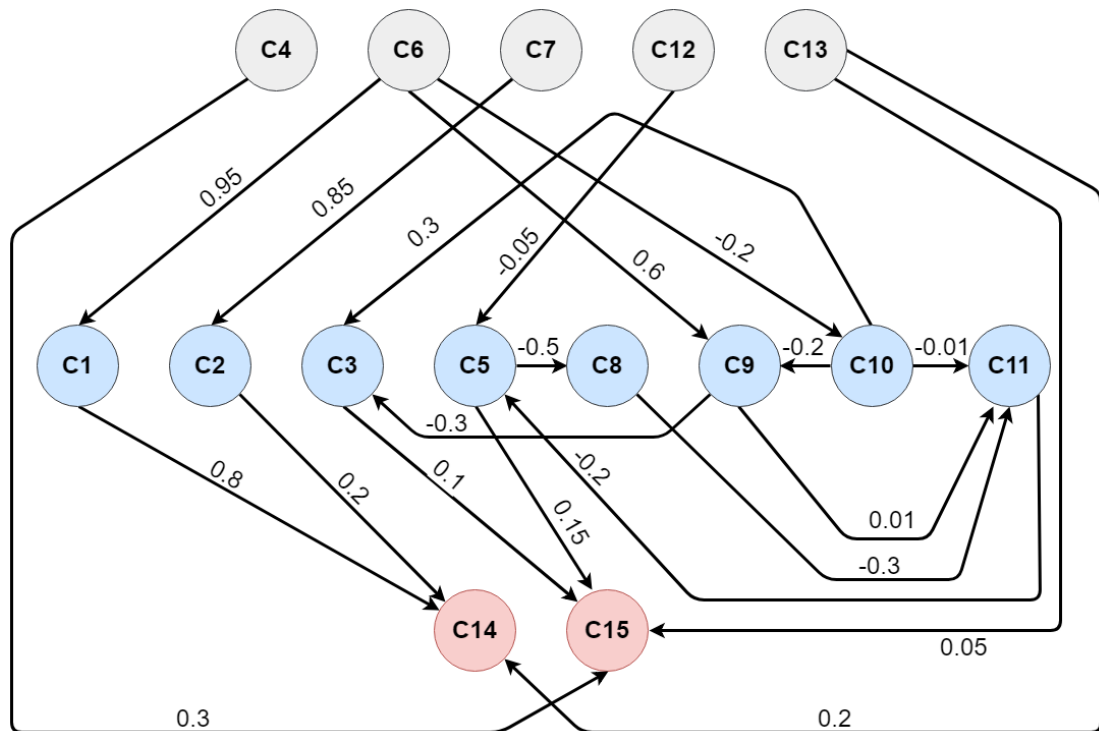
Ο πίνακας A συσχετίζει τα concept κατάστασης μεταξύ τους.

Ο πίνακας B συσχετίζει τα concept κατάστασης με τα concept εισόδου.

Ο πίνακας C συσχετίζει τα concept εξόδου με τα concept κατάστασης.

Ο πίνακας D συσχετίζει τα concept εξόδου με τα concept εισόδου.

Η αναπαράσταση του ασαφούς γνωστικού δικτύου φαίνεται παρακάτω:



B. Υπολογισμός εξόδου για συγκεκριμένη είσοδο

Ο πίνακας βαρών περιγράφει την λειτουργία του κτιρίου για μια χειμερινή μέρα. Σύμφωνα με τα δεδομένα έχουμε:

C4: Οι ένοικοι του κτιρίου κάνουν υψηλή χρήση των ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συσκευών του σπιτιού (0.9)

C6: Χαμηλή ηλιακή ακτινοβολία (0.2)

C7: Ο άνεμος που φυσάει είναι μέτριος (0.6)

C12: Η εξωτερική θερμοκρασία πολύ χαμηλή (0.1)

C13: Στην περιοχή υπάρχει έντονη γεωθερμική δραστηριότητα (0.8)

Επομένως, η είσοδος είναι $u = [0.9, 0.2, 0.6, 0.1, 0.8]^T$

Για να υπολογίσουμε την έξοδο πρέπει να εφαρμόσουμε τις εξισώσεις (1) - (4).

Στο Matlab τρέχουμε έναν επαναληπτικό βρόχο για να υπολογίσουμε τα διάφορα Δx_k σε κάθε βήμα. Σταματάμε όταν η ικανοποιηθεί το κριτήριο τερματισμού, δηλαδή όταν δύο διαδοχικές επαναλήψεις διαφέρουν λιγότερο από $\varepsilon = 0.001$.

Οι εξισώσεις (1) και (2) απαιτούν τον υπολογισμό μιας σταθεράς $\sum_{j=1, j \neq i}^n w_{ij}$, η οποία υπολογίζεται ως το άθροισμα της κάθε στήλης ξεχωριστά, του πίνακα βαρών.

Τα αποτελέσματα για την συγκεκριμένη είσοδο, μετά από 4 επαναλήψεις, είναι τα εξής:

Συνολική παραγωγή (C14) = 0.3450

Συνολική κατανάλωση (C15) = 0.5069

Δηλαδή, το κτίριο καταναλώνει περισσότερη ενέργεια από αυτή που παράγει, επομένως είναι **ενεργειακά μη αποδοτικό**.

Γ. Μελέτη κτιρίου κατά τους καλοκαιρινούς μήνες

Για να μοντελοποιήσουμε τη λειτουργία του κτιρίου κατά τους καλοκαιρινούς μήνες πρέπει να τροποποιήσουμε λίγο τον πίνακα βαρών, ώστε να αντιπροσωπεύει όσο γίνεται καλύτερα την ενεργειακή κατάσταση αυτού του μήνες.

Πιο συγκεκριμένα, αλλάζουμε τα παρακάτω βάρη:

- | | | |
|--|---|---|
| <ul style="list-style-type: none">• $W_{11,5} = 0.2$• $W_{12,5} = 0.05$ | } | Ο κλιματισμός επηρεάζεται πλέον αντίστροφα από την εσωτερική και εξωτερική θερμοκρασία. |
| <ul style="list-style-type: none">• $W_{8,11} = 0.3$• $W_{9,11} = 0.1$ | } | Η εσωτερική θερμοκρασία επηρεάζεται θετικά από το φυσικό φως και τα παράθυρα, καθώς αυτά αυξάνουν τη θερμοκρασία. |
| <ul style="list-style-type: none">• $W_{3,15} = 0.05$• $W_{5,15} = 0.4$ | } | Η κατανάλωση ενέργειας οφείλεται πολύ περισσότερο στον κλιματισμό και λιγότερο στον φωτισμό. |

Επίσης, υποθέτουμε ότι τα concepts εισόδου για μια καλοκαιρινή μέρα είναι ως εξής:

C4: Οι ένοικοι του κτιρίου κάνουν υψηλή χρήση των ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συσκευών του σπιτιού (0.9)

C6: Υψηλή ηλιακή ακτινοβολία (0.9)

C7: Ο άνεμος που φυσάει είναι μέτριος (0.5)

C12: Η εξωτερική θερμοκρασία πολύ υψηλή (0.7)

C13: Στην περιοχή υπάρχει έντονη γεωθερμική δραστηριότητα (0.8)

Επομένως, το διάνυσμα εισόδου είναι $u = [0.9, 0.9, 0.5, 0.7, 0.8]^T$.

Τα αποτελέσματα, μετά από 7 επαναλήψεις, είναι:

Συνολική παραγωγή (C14) = 0.7742

Συνολική κατανάλωση (C15) = 0.3961

Δηλαδή, το κτίριο καταναλώνει λιγότερη ενέργεια από αυτή που παράγει, επομένως είναι **ενεργειακά αποδοτικό**, ή αλλιώς το ενεργειακό ισοζύγιο είναι θετικό το καλοκαίρι.

Δ. Συντελεστής Συσχέτισης (R) vs Συντελεστής Αιτιότητας (W)

Ο συντελεστής συσχέτισης στη στατιστική είναι ένας συντελεστής που μας δείχνει πόσο ισχυρή είναι η σύνδεση μεταξύ δύο τυχαίων μεταβλητών X , Y . Δηλαδή, αν δύο μεταβλητές σχετίζονται πολύ μεταξύ τους, με άλλα λόγια η παρουσία της μιας υποδηλώνει μεγάλη *πιθανότητα* παρουσίας και της δεύτερης, τότε ο συντελεστής συσχέτισης είναι μεγάλος. Οι δύο μεταβλητές ωστόσο δεν συνδέονται απευθείας με κάποια σχέση αιτίου-αποτελέσματος. Ο συντελεστής αυτός είναι αμφίδρομος, δηλαδή $R_{XY} = R_{YX}$ και η συσχέτιση μπορεί να έχει θετική ή αρνητική κατεύθυνση, δηλαδή αύξηση της μιας μεταβλητής να προκαλεί αύξηση ή μείωση της άλλης, αντίστοιχα.

Ένας πιο επίσημος ορισμός είναι ο εξής, «*Συσχέτιση είναι ένα στατιστικό μέτρο (εκφρασμένο ως αριθμός) που περιγράφει το μέγεθος και την κατεύθυνση μια σχέσης μεταξύ δύο ή περισσότερων μεταβλητών*».

Τα όρια του συντελεστή συσχέτισης είναι $[-1,1]$ και ο μαθηματικός ορισμός του είναι ο εξής:

$$\rho_{X,Y} = \text{corr}(X, Y) = \frac{\text{cov}(X, Y)}{\sigma_X \sigma_Y} = \frac{E[(X - \mu_X)(Y - \mu_Y)]}{\sigma_X \sigma_Y},$$

όπου σ_X και σ_Y είναι οι τυπικές αποκλίσεις των δύο μεταβλητών, μ_X και μ_Y οι αναμενόμενες τιμές των μεταβλητών X , Y αντίστοιχα και E ο τελεστής της αναμενόμενης τιμής (μέση τιμή).

- $R = +1$ σημαίνει θετική συσχέτιση
- $R = 0$ σημαίνει μη συσχέτιση των δύο μεταβλητών
- $R = -1$ σημαίνει αρνητική συσχέτιση

Από την άλλη πλευρά, ο συντελεστής αιτιότητας είναι ένας συντελεστής που εκφράζει την σχέση αιτιότητας μεταξύ δύο μεταβλητών. Δηλαδή, για δύο τυχαίες μεταβλητές ο συντελεστής αιτιότητας περιγράφει την ύπαρξη σχέση αιτίου-

αποτελέσματος μεταξύ των δύο. Με άλλα λόγια, η ύπαρξη της μίας είναι αποτέλεσμα της ύπαρξης της άλλης μεταβλητής.

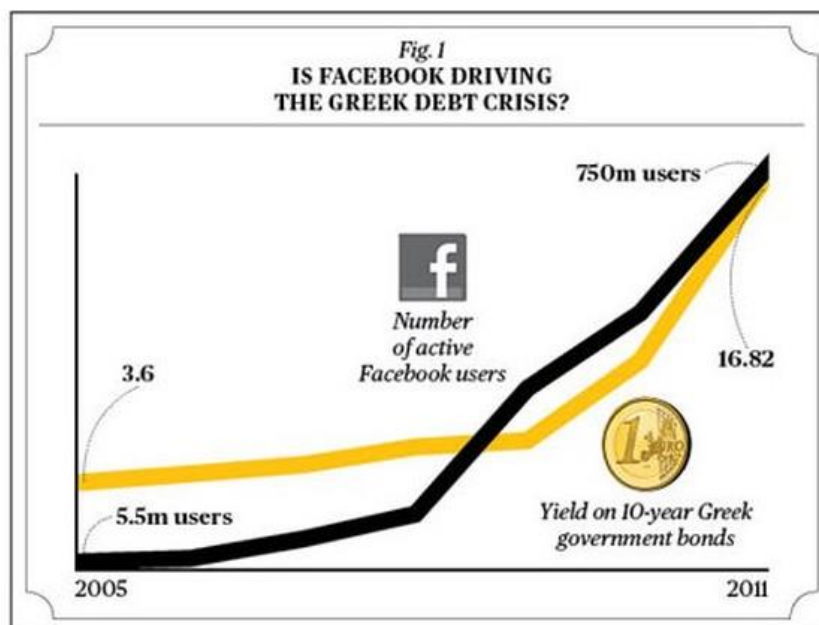
Πιο επίσημα, «η αιτιότητα υποδηλώνει ότι ένα γεγονός είναι αποτέλεσμα της ύπαρξης ενός άλλου γεγονότος, με σχέση εξάρτησης αιτίου-αποτελέσματος»

Στο παράδειγμά μας ο συντελεστής αιτιότητας συμπίπτει με τα βάρη w του πίνακα βαρών. Ο συντελεστής αυτός εκφράζει συνήθως μονόδρομη σχέση, δηλαδή εν γένει ισχύει $w_{XY} \neq w_{YX}$ και τα όριά του είναι $[-1,1]$, όπως παρατηρούμε από τον πίνακα βαρών. Δεν υπάρχει μαθηματικός τύπος που να εκφράζει τον συντελεστή αιτιότητας, ο καθορισμός του απαιτεί εμπειριστικά μελέτες από ειδικούς, για να αποφανθούν για την ύπαρξη, ή όχι, και την τιμή του.

- $w = 1$ δείχνει θετική σχέση αιτίου-αποτελέσματος
- $w = 0$ δείχνει ανύπαρκτη σχέση αιτίου-αποτελέσματος
- $w = -1$ δείχνει αρνητική σχέση αιτίου-αποτελέσματος

Ένα κλασσικό παράδειγμα διαχωρισμού αιτιότητας και συσχέτισης είναι η περίπτωση, όπου το κάπνισμα *συσχετίζεται* με τον αλκοολισμό, αλλά *δεν προκαλεί* τον αλκοολισμό (*συσχέτιση*). Από την άλλη, το κάπνισμα προκαλεί αύξηση του ρίσκου εμφάνισης καρκίνου στον πνεύμονα (*αιτιότητα*).

Από τα παραπάνω γίνεται φανερό ότι υπάρχει ένας ξεκάθαρος διαχωρισμός μεταξύ συντελεστή συσχέτισης και συντελεστή αιτιότητας και οποιαδήποτε σύγχυση μεταξύ των δύο μπορεί να οδηγήσει σε τελείως λανθασμένα συμπεράσματα. Εκτός κι αν η αλματώδης ανάπτυξη του Facebook ήταν η αιτία της κρίσης χρέους στην χώρα μας...



Βιβλιογραφία

- [1]. Mpelogianni, Vassiliki & Groumpos, Peter. (2018). Re-approaching fuzzy cognitive maps to increase the knowledge of a system. AI & SOCIETY. 33. 10.1007/s00146-018-0813-0.
- [2]. Vergini, Eleni & Groumpos, Peter. (2015). A review on Zero Energy Buildings and intelligent systems. 1-6. 10.1109/IISA.2015.7388000.
- [3]. https://el.wikipedia.org/wiki/Συσχέτιση_και_εξάρτηση
- [4]. <http://www.abs.gov.au/websitedbs/a3121120.nsf/home/statistical+language+-+correlation+and+causation>