

Συλλογιστικός Μηχανισμός Προτάσεων Διαχείρισης Αίθουσας Σε Περιβάλλον Smart Campus

Παρασκευή Παναγοπούλου Α.Μ. 2022084



Πρόβλημα

Σε αίθουσες χωρίς αερισμό και με μεγάλη παρουσία ατόμων, η ποιότητα του αέρα υποβαθμίζεται ραγδαία.

Επίδραση στον Χώρο

- Συσσώρευση CO₂
- Σταδιακή αύξηση θερμοκρασίας
- Αύξηση επιπέδων υγρασίας



Επίδραση στα Άτομα

- Δυσκολία συγκέντρωσης
- Υπνηλία
- Αίσθημα δύσπνοιας - δυσφορίας

Βασικό μειονέκτημα του Χειροκίνητου Αερισμού

Βασίζεται στην υποκειμενική και καθυστερημένη αντίληψη του ανθρώπου καθώς τα συμπτώματα δύσπνοιας ξεκινούν να εμφανίζονται αφότου πλέον έχουν ξεπεράσει τα όρια.

Αποτελέσματα Κακής Διαχείρισης Αερισμού

Ενεργειακή Απώλεια:

Βασική επίπτωση του άσκοπου αερισμού



Άσκοπος Αερισμός

Πετυχαίνει αντίθετα αποτελέσματα από τα επιθυμητά.

Δημιουργεί ζέστη το καλοκαίρι και κρύο τον χειμώνα.

Οικονομικό & Τεχνικό Κόστος

- Οικονομικά δαπανηρή διαχείριση.
- Υπερχρήση συσκευών θέρμανσης/ψύξης που οδηγεί σε επιρρέπεια σε βλάβες.

Περιβαλλοντικό Αποτύπωμα

Αρνητικό περιβαλλοντικό αποτύπωμα του κτιρίου λόγω της συνεχούς σπατάλης ενέργειας.

Λύση

IoT Υποδομή

Αισθητήρες που συλλέγουν τηλεμετρικά δεδομένα σε πραγματικό χρόνο



Case - Based Reasoning (CBR)

Μηχανισμός επίλυσης νέων προβλημάτων χρησιμοποιώντας γνώσεις προηγούμενων καταστάσεων



Βέλτιστη Λύση Αερισμού

Αυτόματη πρόταση ιδανικού χρόνου αερισμού, εξαλείφοντας τα προαναφερθέντα προβλήματα

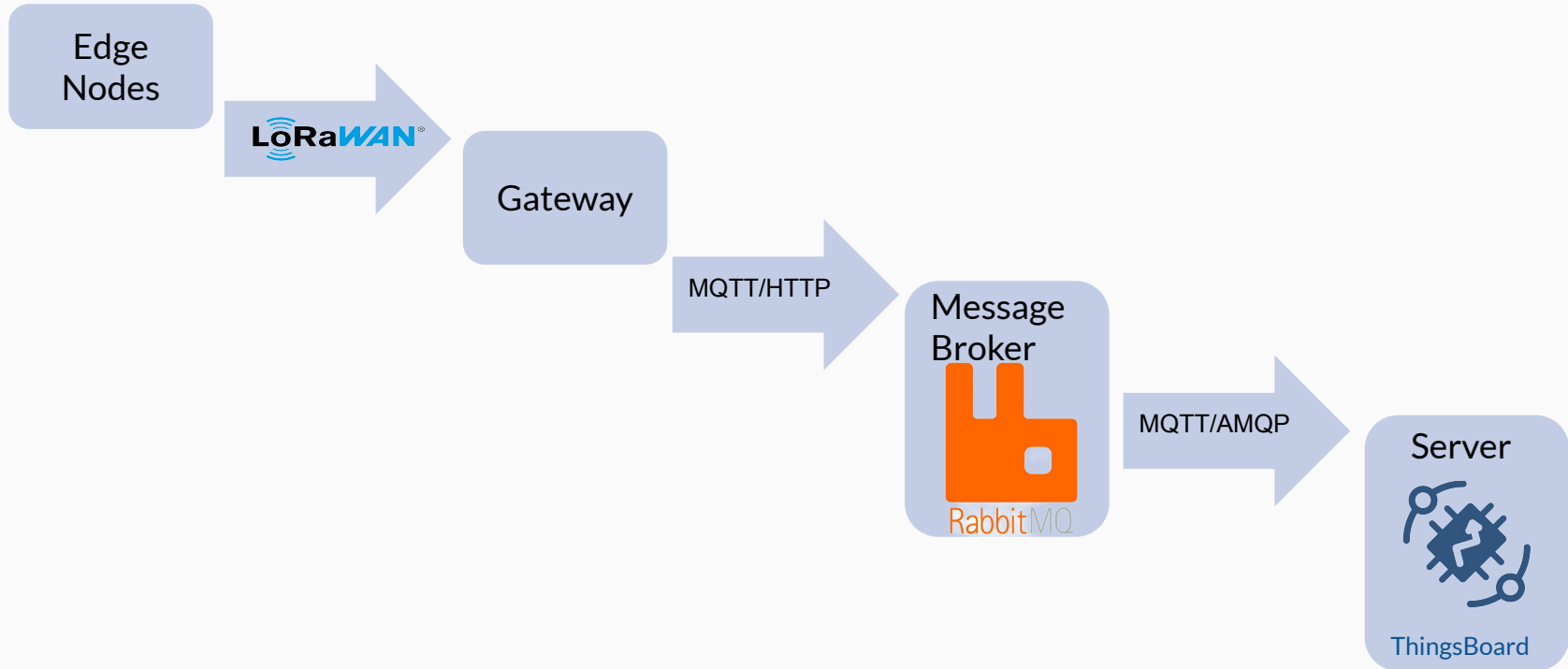
Classic CBR:

Απλή ανάκτηση του κοντινότερου case

Proposed Custom CBR:

Βελτιστοποίηση με βάση τις ιδανικές συνθήκες αερισμού, επιβάλλοντας ποινές

Αρχιτεκτονική Συστήματος



Δίκτυο Αισθητήρων

Milesight / IAQ

Εσωτερικός αισθητήρας: CO₂, θερμοκρασία, υγρασία, επίπεδο φωτισμού, σωματίδια (pm10, pm2_5), πίεση



Milesight / Desk Sensors

Κατάσταση μιας θέσης στα εργαστήρια



Magnetic Contact (MC)

Κατάσταση παραθύρου / πόρτας



Milesight People Counter (PC) - Workplace Occupancy (WO)

Πληρότητα αίθουσας

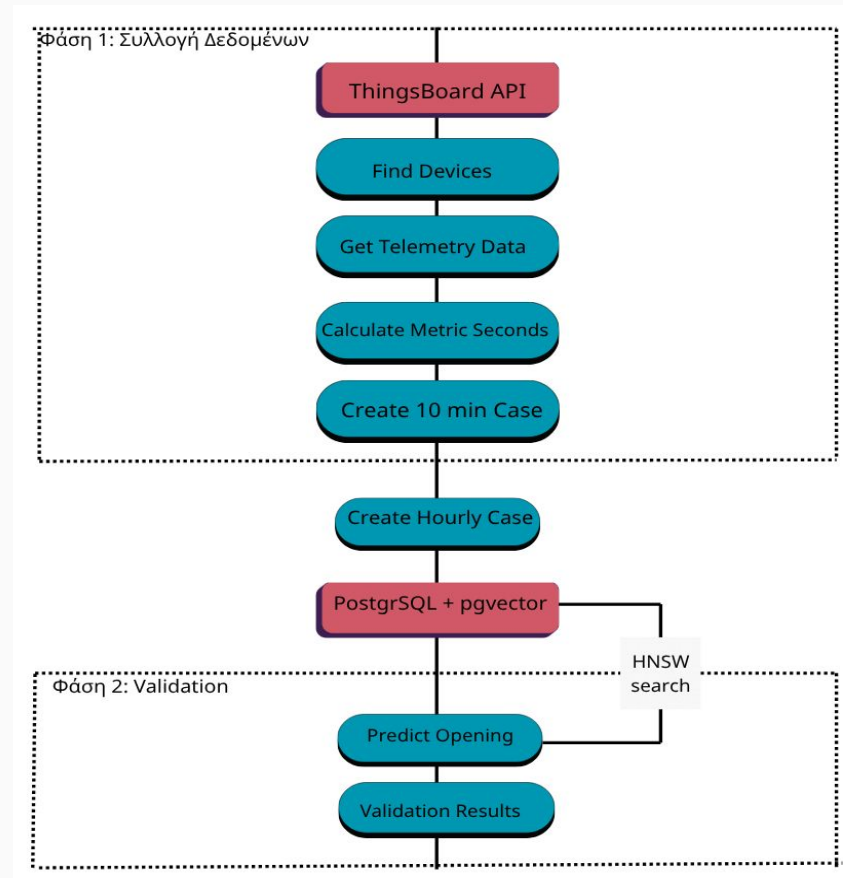


Decentlab Sensors

Εξωτερικός αισθητήρας: CO₂, θερμοκρασία, υγρασία, ατμοσφαιρική πίεση, ταχύτητα και κατεύθυνση ανέμου, κ.α.



Υλοποίηση Συστήματος



Μέρος 1: Raw Data σε Case Data

1

Εξαγωγή Δεδομένων

Αντληση raw data (REST-API) από την πλατφόρμα ThingsBoard

2

Επιλογή Features

Θερμοκρασία, CO₂, occupancy, εξωτ. θερμοκρασία, εξωτ. υγρασία, ταχύτητα αέρα

3

Υπολογισμός Διαφορών

Εξαγωγή μεταβολής για CO₂ και θερμοκρασία

4

Μετατροπή Καταστάσεων

Υπολογισμός νέων μετρικών σε χρόνο
(ανθρωποδευτερόλεπτα,
ανοιγματοδευτερόλεπτα)

5

Διανυσματική Αναπαράσταση (Embeddings)

- **Κανονικοποίηση:** Όλα τα αριθμητικά features στην ίδια κλίμακα με StandardScaler.
- **Αποθήκευση:** Μετατροπή σε διάνυσμα 13 διαστάσεων και αποθήκευση στη βάση **Postgres** με την επέκταση **pgvector**.
- **Αναζήτηση:** Γρήγορος εντοπισμός των πλησιέστερων μέσω ευρετηρίου **HNSW**.



Υπολογισμός Ευκλείδειας Απόστασης (L2 metric)

$$d(x, y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}$$

embedding | [0.2630097,-0.17005533,-0.16335885,0.09835263,0.10407678,-0.047992527,-0.34342512,0.49632686,-0.032985993,-0.023221495,1.2605315,0.052165773,0.2634276,-1.425864]

6

Εξαγωγή Case

Ενοποίηση των παραπάνω features και των raw data σε ένα case διάρκειας 10 λεπτών.

Μέρος 1: Raw Data σε Case Data



Αντιμετώπιση Ελλιπών Τιμών: 

Η τελευταία παρατηρηθείσα τιμή παραμένει σταθερή μέχρι την επόμενη μέτρηση

Αισθητήρες
Καταστάσεων (Desk
Sensors, MC):

Η κατάσταση δεν έχει
μεταβληθεί

Χρονικό Όριο Case:

Όταν η τελευταία
γνωστή τιμή ξεπερνά
ένα καθορισμένο όριο



Απόρριψη Case

Μέρος 2: Data Validation

1

Δημιουργία Ωριαίων Cases

Ενοποίηση 6 συνεχών 10λεπτων cases



Δίνει μια πιο σταθερή και αντιπροσωπευτική εικόνα της συμπεριφοράς και εξομαλύνει τις βραχυπρόθεσμες διακυμάνσεις.



Ghost Cases: Οι PC αισθητήρες δείχνουν πλασματική παρουσία στην αίθουσα λόγω αποτυχίας διαχωρισμού των θερμικών ορίων των ατόμων

Stuck Cases

Το occupancy παραμένει σταθερό για 4+ ώρες



Διαγραφή cases μέχρι το case με την πραγματική μεταβολή

Late Night Cases

Μη μηδενική πληρότητα μεταξύ 22:00 - 06:00



Διαγραφή μη μηδενικών cases εκείνων των ωρών

Μικρή τάξη (≤ 6) $\rightarrow$ 4.29 ghost cases/μέρα
Μεσαία τάξη (6-18) $\rightarrow$ 9.73 ghost cases/μέρα
Μεγάλη τάξη (>18) $\rightarrow$ 9.00 ghost cases/μέρα

Μέρος 2: Data Validation

2

Φιλτράρισμα του dataset

Απομόνωση των ωριαίων cases με
πληρότητα > 1



Μας ενδιαφέρει η επίδραση της ανθρώπινης παρουσίας σε μία αίθουσα

3

Πρόβλεψη Αερισμού - Αναζήτηση με βάση την Ομοιότητα

Τιμή στόχο οι τελικές τιμές των ωριαίων cases



Αν το CO₂ βρίσκεται σε καλά επίπεδα και η εσωτερική θερμοκρασία είναι αυξημένη ενώ έξω έχει περισσότερη ζέστη



Πρόβλεψη αερισμού: 0 ανοιγματοδευτερόλεπτα

```
[22-05-2025 16:20] CO2: 472 - 471ppm | Temp: 25.2 - 25.2°C | Ext Temp: 28.4-28.2 | Occ: 1.0 | PS: 3600s | actual=7014s | predicted=0s
└ Top 5 Neighbors:
  1. [19-05-2025 17:40] CO2: 614- 617 | T_in: 24.5-24.4 | T_ext: 24.7-24.6 | Occ: 1.5 | PS: 5400 | Open: 4415s
  2. [22-05-2025 17:20] CO2: 471- 487 | T_in: 25.2-25.1 | T_ext: 28.6-28.4 | Occ: 2.0 | PS: 7200 | Open: 3600s
  3. [07-11-2025 14:00] CO2: 525- 523 | T_in: 23.9-23.8 | T_ext: 21.8-21.6 | Occ: 2.7 | PS: 9600 | Open: 10800s
  4. [29-05-2025 15:30] CO2: 578- 634 | T_in: 25.8-25.7 | T_ext: 25.2-24.8 | Occ: 1.2 | PS: 4200 | Open: 7200s
  5. [29-05-2025 16:30] CO2: 586- 516 | T_in: 25.7-25.7 | T_ext: 24.7-24.6 | Occ: 2.2 | PS: 7800 | Open: 8381s
```

Διαφορετικά, Παραλλαγές Πρόβλεψης:

Παραλλαγές Πρόβλεψης

Closest Neighbour: 10800 seconds

Simple Mean Average of 5 closest neighbours: 8152 seconds $((10800 + 8719 + 3690 + 6748 + 10800)/5)$

Weighted Mean Average of 5 closest neighbours: 6882 seconds $((3690 \times 0.35) + (6748 \times 0.25) + (8719 \times 0.20) + (10800 \times 0.12) + (10800 \times 0.08))$

```
[20-10-2025 17:00] CO2: 924 - 625ppm | Temp: 25.3 - 24.9°C | Ext Temp: 18.6-18.6 | Occ: 16.0 | PS: 57600s | actual=9115s
| prediction weighted mean=6882s | prediction mean=8152s | prediction closest=10800s | ideal opening: 8300s | error=+27.91%
  ↳ Top 5 Neighbors:
    1. [31-10-2025 11:40] CO2: 872- 685 | T_in: 25.7-25.4 | T_ext: 21.4-21.3 | Occ: 17.0 | PS: 61200 | Open: 10800s
    2. [03-11-2025 15:00] CO2: 744- 774 | T_in: 24.4-24.9 | T_ext: 23.7-23.6 | Occ: 20.3 | PS: 73200 | Open: 8719s
    3. [16-10-2025 14:40] CO2: 1145-1307 | T_in: 24.6-24.7 | T_ext: 21.4-21.3 | Occ: 11.7 | PS: 42000 | Open: 3690s
    4. [30-10-2025 20:00] CO2: 952- 794 | T_in: 26.1-26.0 | T_ext: 19.5-19.3 | Occ: 14.0 | PS: 50400 | Open: 6748s
    5. [11-11-2025 12:20] CO2: 652- 572 | T_in: 25.0-24.7 | T_ext: 21.6-21.9 | Occ: 13.5 | PS: 48600 | Open: 10800s
```

Μέρος 2: Data Validation

4

Πρόβλεψη Βέλτιστου Αερισμού
Ιδανικών συνθηκών – Αναζήτηση με
βάση την Ομοιότητα

Ιδανικό CO₂: **550 ppm**

Ιδανική θερμοκρασία: **22°C**

Αν το CO₂ βρίσκεται σε καλά επίπεδα και η
εσωτερική θερμοκρασία είναι αυξημένη ενώ έξω έχει
περισσότερη ζέση



Πρόβλεψη αερισμού: 0 ανοιγματοδευτερόλεπτα
Διαφορετικά, Επιβολή Ποινών:

Ποινή CO₂



$\max(0, \Delta\text{CO}_2 \text{ αναγκαία} - \Delta\text{CO}_2 \text{ επιτευχθείσα}) /$
 (co2_needed)

Ποινή Θερμικής Άνεσης

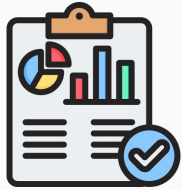


Τετραγωνική συνάρτηση απώλειας για αποκλίσεις
από τους 22°C.
Τιμωρεί εκθετικά τις μεγαλύτερες αποκλίσεις.

Ποινή Ενέργειας



Δυναμικός συντελεστής που αυξάνεται όσο
μεγαλώνει η μεταβολή εσωτερικής και εξωτερικής
θερμοκρασίας.

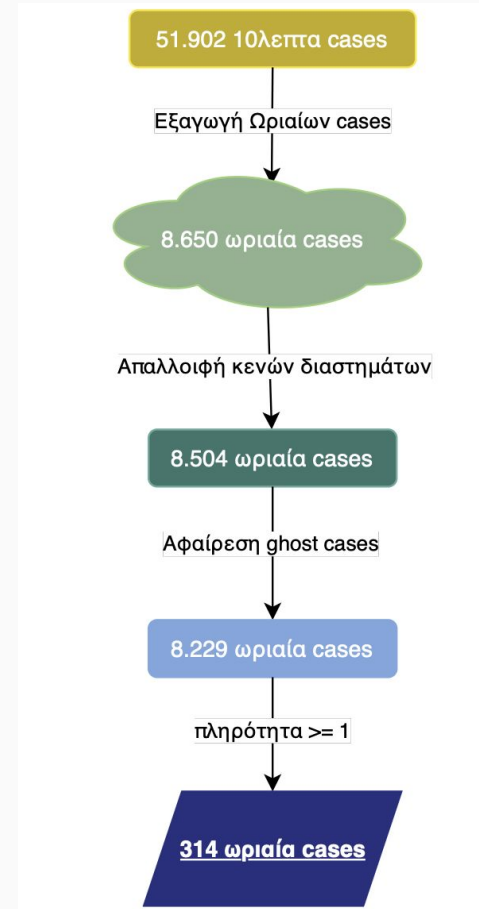


Αποτελέσματα

Αποτελέσματα

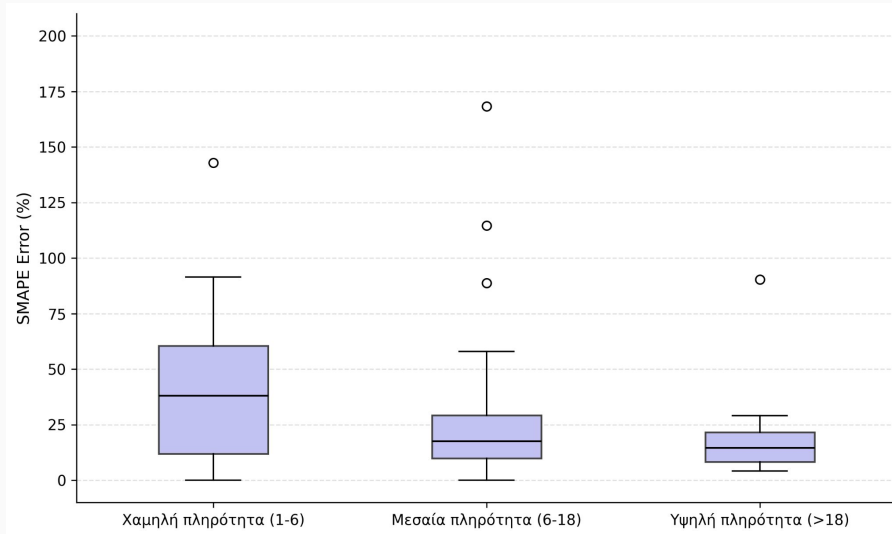
Διαδικασία Φιλτραρίσματος & Τελικός Αριθμός Ωριαίων Cases:

Για διάστημα ενός χρόνου (Μάιος 2025 - Μάιος 2026) και για μία συγκεκριμένη αίθουσα (3.9), από 8.650 ωριαία cases κατέληξαν σε 314 που χρησιμοποιήθηκαν (3.63%)

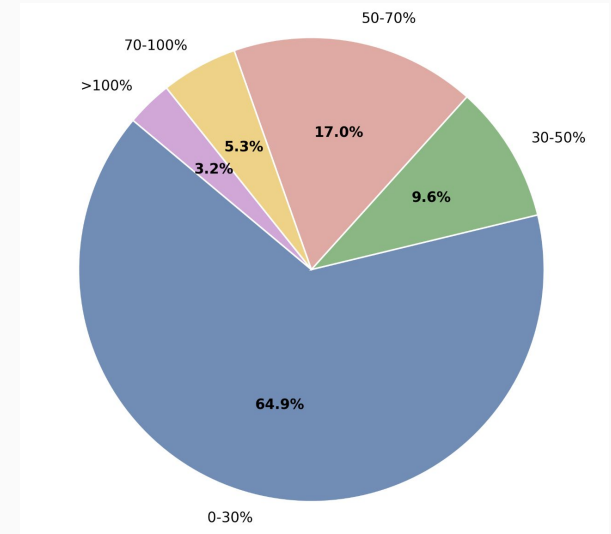


Αποτελέσματα

Κατανομή Σφαλμάτων:



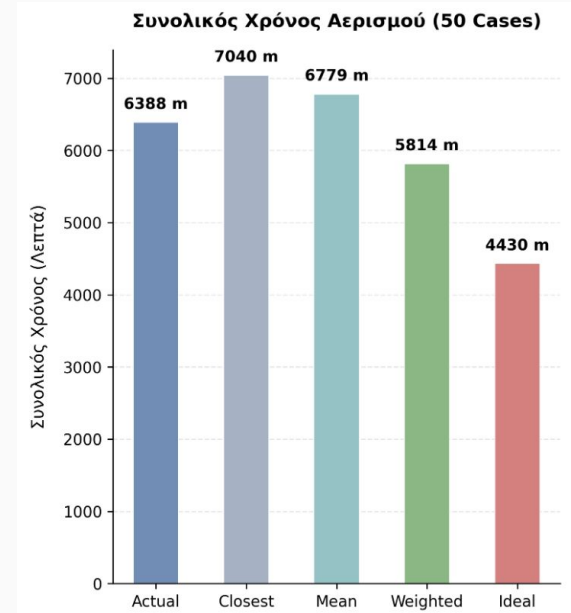
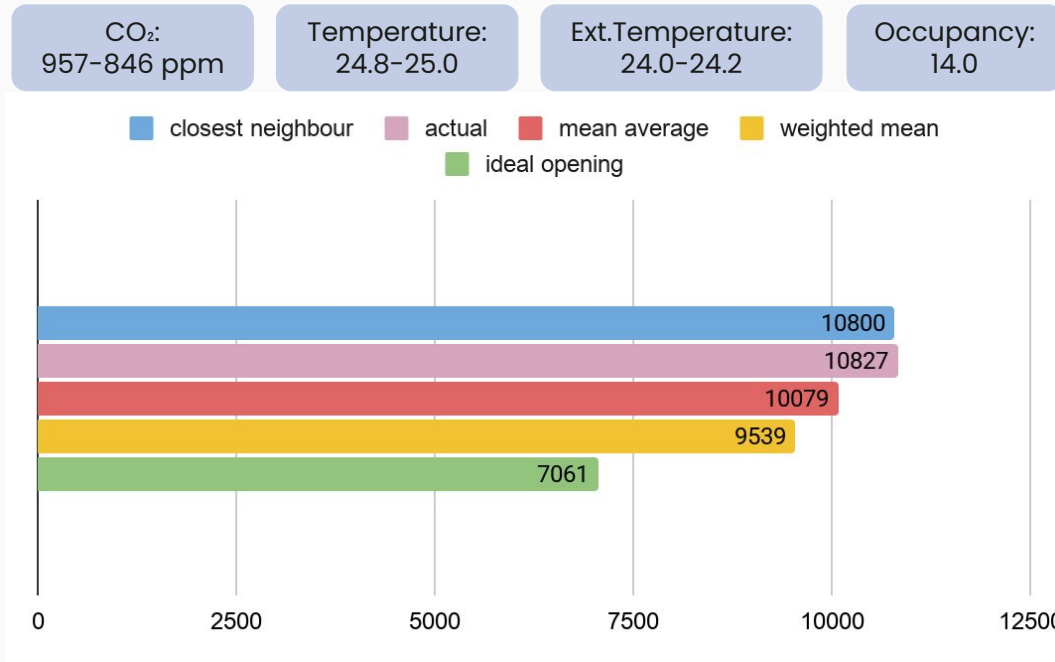
Σφάλματα ανά πληρότητα



Ποσοστιαία Κατανομή (SMAPE)

Αποτελέσματα

Πλάνα Αερισμού:



Συνολικός χρόνος ανοιγματοδευτερολέπτων για κάθε πλάνο για 50 cases

Συμπεράσματα



- **Δυσκολία preprocessing & validation:** Ο καθαρισμός δεδομένων (3.2% του dataset) ήταν καθοριστικός για αξιόπιστη πρόβλεψη.
- Η **ακρίβεια του CBR** εξαρτάται από την πληρότητα: σε γεμάτες αίθουσες ο αερισμός είναι αναγκαίος και προβλέψιμος (μέσο σφάλμα 21.88% και <30% στο 90% των cases)
- **Ενεργειακή Βελτιστοποίηση:** Οι χρήστες τείνουν να υπεραερίζουν άσκοπα τους χώρους. Μείωση του αερισμού κατά 30.65%, εξασφαλίζοντας τεράστια εξοικονόμηση ενέργειας.

Μελλοντικά Βήματα

- Κατάθεση της παρούσας εργασίας ως επιστημονικό paper.
- Ενσωμάτωση HVAC
- Μοντελοποίηση σφαλμάτων αισθητήρων πληρότητας μέσω πιθανοτικής ανάλυσης με βάση το μέγεθος των τάξεων.
- Παρακολούθηση σε βάθος χρόνου της αποτελεσματικότητας του μοντέλου με ενημερώσεις

8.503 → 314 cases

21.88% μέσο
σφάλμα πρόβλεψης
CBR

30.65% δυνητική
εξοικονόμηση
ενέργειας

Ευχαριστώ για την προσοχή σας!