

Detekcja sposobu użytkowania pomieszczeń czujnikowymi systemami pomiarowymi

Andrzej Szczurek, Monika Maciejewska



Politechnika Wroclawska

1

Wstęp

- W krajach wysokorozwiniętych ludzie spędzają od 80-90% swojego czasu w pomieszczeniach.
- Oznacza to, że jakość powietrza wewnętrznego ma kluczowe znaczenie dla współczesnego człowieka.

2



Politechnika Wroclawska

2

Wstęp

- W ostatnich latach coraz częściej odnotowuje się skargi na ten podstawowy element środowiska.
- Problem jest istotny, ponieważ gazy, które wdychamy w pomieszczeniach wpływają w istotnym stopniu na zdrowie, samopoczucie i wydajność pracy przebywających tam ludzi.

3



Politechnika Wroclawska

3

Wstęp

- Działania ukierunkowane na poprawę zaistniałej sytuacji wymagają informacji o właściwościach powietrza wewnętrznego, efektach, które ten gaz wywołuje, ale również o **czynnikach i procesach wpływających na jego jakość.**

4



Politechnika Wroclawska

4

Wstęp

Czynniki wpływające na jakość powietrza wewnętrznego są zróżnicowane i zalicza się do nich:

- warunki występujące na zewnątrz budynku;
- zastosowane materiały, strukturę i konstrukcję budynku (infiltracja, przepuszczalność ścian budynku dla zanieczyszczeń);
- aranżacja przestrzenna pomieszczeń;
- wewnętrzne źródła zanieczyszczeń powietrza;
- wewnętrzne źródła ciepła;
- system wentylacji, klimatyzacji i ogrzewania;
- użytkowanie pomieszczeń (liczbę użytkowników, ich specyficzny styl życia, wzorce zachowań).

5



Politechnika Wroclawska

5

Wstęp

- Do uzyskania potrzebnych danych wykorzystuje się:
 - badania ankietowe;
 - analizę skarg;
 - przegląd dokumentacji i stanu technicznego obiektu;
 - obserwacje;
 - metody sensoryczne;
 - instrumentalne metody pomiarowe.

Ostatnia grupa metod należy do najbardziej obiektywnych źródeł informacji.

6



Politechnika Wroclawska

6

Wstęp

- Celem wystąpienia jest pokazanie, że stosując technikę czujnikową i klasyfikatory danych można rozpoznawać i wykrywać różne aktywności występujące w pomieszczeniach.
- Zaprezentowane badania należy traktować, jako przykładowe rozwiązanie sformułowanego problemu.

7



Politechnika Wroclawska

7

Metoda

- Czujnikiem nazywamy urządzenie, które reaguje na fizyczny lub chemiczny czynnik stymulujący (taki jak ciepło, światło, dźwięk, ciśnienie, pole magnetyczne, itp.) a następnie przetwarza wytworzone pobudzenie na sygnał elektryczny lub optyczny – najczęściej napięcie lub prąd.
- Generowany sygnał wyjściowy zależy od rodzaju i wielkości działającego bodźca.

8



Politechnika Wroclawska

8

Metoda

- Dostępne obecnie czujniki odpowiadają na różne wielkości fizyczne i chemiczne.
- Oznacza to, że zestaw (matryca) takich urządzeń może wytworzyć zbiór danych, w którym zawarta jest sumaryczna informacja o środowisku oddziałującym z czujnikami.
- Zawartą w odpowiedzi matrycy czujnikowej informację można uzyskać („wyekstrahować”) wykorzystując metody klasyfikujące dane oraz algorytmy stosowane do rozpoznawania obrazów.

9



Politechnika Wroclawska

9

Założenia

- W pracy przyjęto następujące założenia :
 - zmierzone czujnikami wielkości stanowią cyfrową reprezentację jakości otaczającego przyrząd gazu;
 - aktywności występujące w pomieszczeniu wpływają na jakość powietrza wewnętrznego, tzn. zmieniają parametry charakteryzujące stan tego gazu;
 - znajduje to swoje odzwierciedlenie w odpowiedziach czujników poddanych na działanie powietrza wewnętrznego;
 - fakt ten stanowi podstawę do rozpoznawania aktywności występujących w pomieszczeniu.

10



Politechnika Wroclawska

10

Zakres

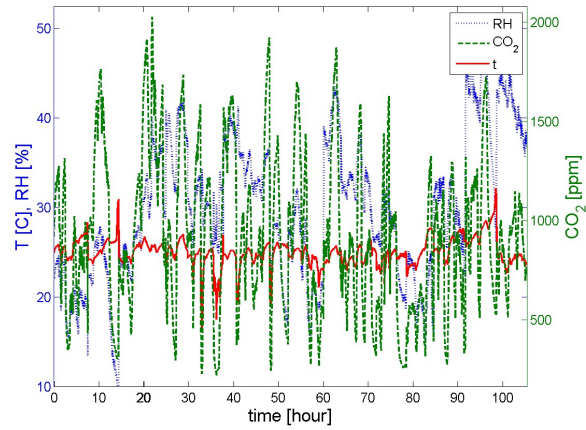
Badania dotyczyły:

- określenia liczby osób w pomieszczeniu (**zadanie 1a**),
- detekcji obecności ludzi w pomieszczeniu (**zadanie 1b**),
- identyfikacji parametrów powietrza które podlegają istotnej zmianie wskutek aktywności ludzi w pomieszczeniu (**zadanie 2a**),
- detekcji poszczególnych aktywności ludzi w pomieszczeniu (**zadanie 2b**).

Zadanie 1a

Określanie liczby użytkowników sali dydaktycznej było realizowane przy użyciu czujników: temperatury, wilgotności względnej i ditlenku węgla.

Zadanie 1a



Rys. Przebieg czasowy parametrów mierzonych. Wyniki z wielu dni zagregowano. [1]

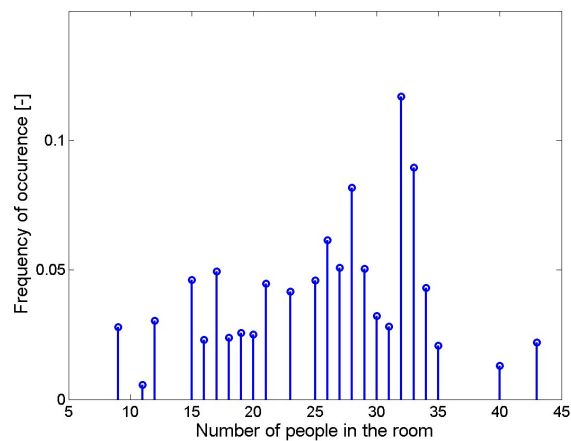
13



Politechnika Wroclawska

13

Zadanie 1a



Rys. Histogram częstości występowania dla liczby ludzi w pomieszczeniu. [1]

14



Politechnika Wroclawska

14

Zadanie 1a

- Rozpoznawanie polegało na określeniu liczby ludzi która przebywa w pomieszczeniu w danej chwili.
- Jest to problem klasyfikacji wieloklasowej (25 klas).
- Jako podstawę klasyfikacji przyjęto kilka różnych wektorów cech.
- Jako klasyfikatorów użyto algorytmu K -najbliższych sąsiadów oraz liniowej analizy dyskryminacyjnej (LDA).
- Wyniki podano z rozdzielczością 1 min.

15



Politechnika Wroclawska

15

Zadanie 1a

- Dla oceny klasyfikacji użyto:

1. Udział błędnych klasyfikacji

$$MCR = 1 - \frac{\sum_{j=1}^c n_c}{n}$$

gdzie: c – liczba klas, n_c - czas gdy w pomieszczeniu było c osób i liczba ta została poprawnie rozpoznana", n – cały czas badania (liczba chwil).

1. Błąd określenia liczby ludzi

$$ME = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |N_{det,i} - N_{tue,i}|$$

- gdzie: $N_{det,i}$ to liczba ludzi podana przez klasyfikator, $N_{tue,i}$ to prawdziwa liczba ludzi.

16



Politechnika Wroclawska

16

Zadanie 1a

- Z badań wynika, że informacje o liczbie użytkowników pomieszczenia można uzyskać na podstawie czujnikowych pomiarów:
 - stężenia CO₂ (poziom MCR = 1.6%, ME = 0.45 osoby);
 - temperatury (MCR = 1.6%, ME = 0.48 osoby);
 - wilgotności względnej (MCR = 3.3%, ME = 0.79 osoby).
- Zaprezentowana metoda może być zastosowana do wyznaczenia czasu trwania użytkowania pomieszczenia.

17



Politechnika Wroclawska

17

Zadanie 1b

Przeanalizowano możliwość detekcji obecności ludzi w pomieszczeniu na podstawie pomiaru LZO (PID, FID) i odpowiedzi czujników półprzewodnikowych, w porównaniu z użyciem pomiaru CO₂.

18



Politechnika Wroclawska

18

Zadanie 1b

Przeanalizowano możliwość detekcji obecności ludzi w pomieszczeniu na podstawie pomiaru LZO (PID, FID) i odpowiedzi czujników półprzewodnikowych, w porównaniu z użyciem pomiaru CO₂.

19



Politechnika Wroclawska

19

Zadanie 1b

- Detekcja polegała na stwierdzeniu czy w danej chwili czasu w pomieszczeniu są ludzie (Tak) czy nie (Nie).
- Jest to problem klasyfikacji binarnej.
- Jako podstawę klasyfikacji użyto:
 - a) odpowiedzi czujnika w okresie 30 min od momentu detekcji;
 - b) zmiany odpowiedzi czujnika w tym czasie;
 - c) odpowiedzi czujnika i jej zmiany.
- Jako klasyfikator posłużył algorytm K -najbliższych sąsiadów.
- Wyniki podano z rozdzielczością 1 min.

20



Politechnika Wroclawska

20

Zadanie 1b

- Dla oceny klasyfikacji użyto:

1. Udziału błędnych klasyfikacji

$$MCR = \frac{n_{TAK} + n_{NIE}}{n}$$

gdzie: n_{TAK} - czas gdy w pomieszczeniu znajdowali się ludzie i to zostało poprawnie rozpoznane, n_{NIE} - czas gdy w pomieszczeniu nie było ludzi i to zostało poprawnie rozpoznane, n - cały czas objęty badaniem.

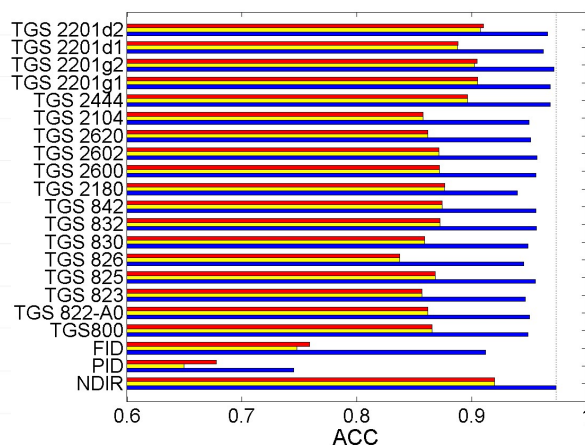
21



Politechnika Wroclawska

21

Zadanie 1b



Rys. Dokładność detekcji obecności ludzi na podstawie: odpowiedzi czujnika (czerwony), zmian odpowiedzi czujnika (żółty), obu (niebieski). [2]

22



Politechnika Wroclawska

22

Zadanie 1b

- Najlepsze wyniki uzyskano z użyciem czujnika CO₂ (ACC=97.36 %)
- Na porównywalną efektywność detekcji pozwalają czujniki półprzewodnikowe (ACC=97.16% -TGS2201g2)
- Najgorsze rezultaty uzyskano z użyciem czujnika PID (ACC=74.51%).

23

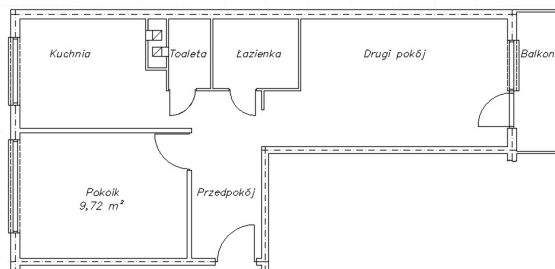


Politechnika Wroclawska

23

Zadanie 2

Badania wykonano w mieszkaniu. Trwały miesiąc.



Rys. Układ mieszkania. [3]

24

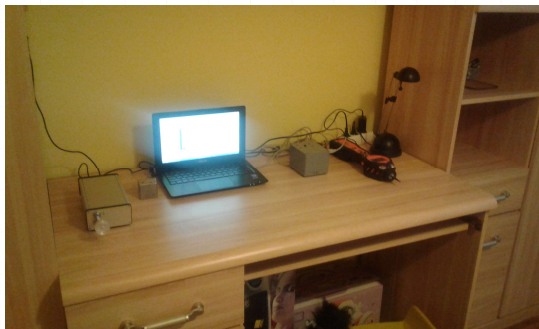


Politechnika Wroclawska

24

Zadanie 2

- Czujniki były umieszczone w pokoju dziecięcym.
- Odpowiedzi czujników były mierzone wyłącznie w dzień.



Rys. Punkt pomiarowy.

25



Politechnika Wroclawska

25

Zadanie 2

Rejestrowano w sposób ciągły 32 wielkości.

Tab. Mierzone wielkości. [3,4]

Lp.	Wielkość mierzona	Lp.	Wielkość mierzona	Lp.	Wielkość mierzona	Lp.	Wielkość mierzona
1	Temperatura [°C]	9	TGS2603 [S]	17	PM1.34-1.59 [L.c./s]	25	PM10-12 [L.c./s]
2	Wilg. względn. [%]	10	TGS2610 [S]	18	PM1.59-2.07 [L.c./s]	26	PM12-14 [L.c./s]
3	Ciśnienie [Pa]	11	TGS2611 [S]	19	PM2.07-3 [L.c./s]	27	PM14-16 [L.c./s]
4	CO ₂ [ppm]	12	TGS2620 [S]	20	PM3-4 [L.c./s]	28	PM16-17.5 [L.c./s]
5	TLZO (PID-em) [ppm]	13	PM0.38-0.54 [L.c./s]	21	PM4-5 [L.c./s]	29	PM [L.c./s]
6	TGS 8100 [S]	14	PM0.54-0.78 [L.c./s]	22	PM5-6.5 [L.c./s]	30	PM1 [μg/m ³]
7	TGS2600 [S]	15	PM0.78-1.05 [L.c./s]	23	PM6.5-8 [L.c./s]	31	PM2.5 [μg/m ³]
8	TGS2602 [S]	16	PM1.05-1.34 [L.c./s]	24	PM 8-10 [L.c./s]	32	PM10 [μg/m ³]

26



Politechnika Wroclawska

26

Zadanie 2

Równoległe prowadzono obserwację 26 aktywności.

Tab. Wyróżnione aktywności [3,4].

Lp.	Aktywność	Lp.	Aktywność	Lp.	Aktywność
1	Otwarcie okna w pokoju dzieciennym	10	Użycie mopa	19	Gotowanie
2	Otwarcie okna w jadalni	11	Mycie	20	Smażenie
3	Otwarcie okna w kuchni	12	Zabawa z dzieckiem	21	Spożywanie posiłku
4	Otwarcie drzwi w pokoju dzieciennym	13	Zmiana pieluchy	22	Zabiegi kosmetyczne
5	Użycie piecyka elektrycznego olejowego	14	Przebieranie dziecka	23	Obecność palacza
6	Użycie grzejnika elektrycznego z dmuchawą	15	Przygotowanie do spaceru	24	Użycie odświeżacza powietrza
7	Użycie grzejnika konwektorowego	16	Kąpiel dziecka	25	Obecność choinki
8	Użycie odkurzacza	17	Przygotowanie łóżka	26	Malowanie ścian
9	Odkurzanie na mokro	18	Gotowanie wody		



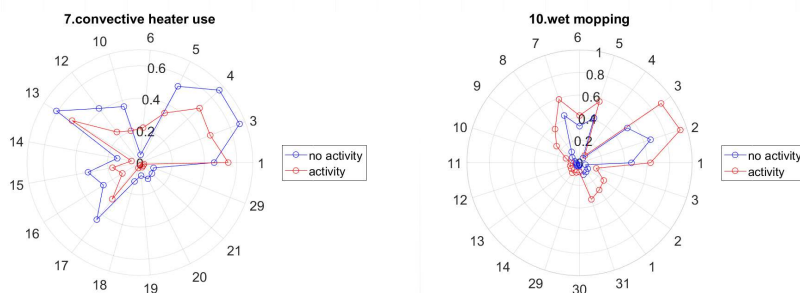
Zadanie 2a

- Opracowano metodę identyfikacji parametrów powietrza, które podlegają istotnej zmianie wskutek wstąpienia określonej aktywności w pomieszczeniu mieszkalnym.



Zadanie 2a

Stwierdzono, że w wyniku konkretnej aktywności dochodzi do zmiany niektórych parametrów powietrza.



Rys. Zmiana wartości mierzonych parametrów powietrza w wyniku wystąpienia aktywności.

29



Politechnika Wroclawska

29

Zadanie 2a

Zastosowano kryterium dyskryminacyjne Fishera w celu zidentyfikowania parametrów mierzonych, które w statystycznie istotny sposób wskazują na wystąpienie poszczególnych aktywności.

$$FDR_{i,j} = \frac{(\mu_{1,i,j} - \mu_{2,i,j})^2}{(\sigma_{1,i,j}^2 + \sigma_{2,i,j}^2)}$$

gdzie: $i = 1 \dots 32$ (mierzony parametr), $j = 1 \dots 26$ (obserwowana aktywność),
indeks - 1 oznacza występowanie aktywności, indeks - 2 oznacza brak aktywności.

30

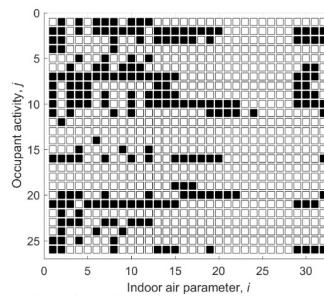


Politechnika Wroclawska

30

Zadanie 2a

Przyjęto, że parametr i jest wyróżnikiem aktywności j jeżeli $FDR_{i,j} >$ górny kwartył wszystkich $FDR_{i,j}$



Rys. Parametry powietrza będące wyróżnikami występowania aktywności [3].

31



Politechnika Wroclawska

31

Zadanie 2b

- Opracowano metodę detekcji poszczególnych aktywności występujących w mieszkaniu.
- Do realizacji tego zadania użyto
 - czujników półprzewodnikowych: TGS8100, TGS2600, TGS2602, TGS2603, TGS2610, TGS2611, TGS2620 oraz
 - klasyfikatora wykorzystującego algorytm K-najbliższych sąsiadów.

32



Politechnika Wroclawska

32

Zadanie 2b

- Detekcja polegała na stwierdzeniu czy w danej chwili czasu określona aktywność występuje (Tak) czy nie (Nie).
- Jest to problem klasyfikacji binarnej.
- Jako podstawę klasyfikacji użyto:
 - a) odpowiedzi wszystkich czujników, w danej chwili czasu;
 - b) odpowiedzi jednego czujnika, w danej chwili czasu.
- Rozwiązanie podano z rozdzielczością 1s.

33



Politechnika Wroclawska

33

Zadanie 2b

- Dla oceny klasyfikacji użyto:

1. Błąd rozpoznania klasy – TAK

$$e_e = 1 - \frac{n_{ee}}{n_e}$$

gdzie: n_e - czas gdy aktywność występowała, n_{ee} - czas gdy aktywność występowała i to zostało poprawnie rozpoznane.

2. Błąd rozpoznania klasy – NIE

$$e_0 = 1 - \frac{n_{e0}}{n_0}$$

gdzie: n_0 - czas gdy aktywność nie występowała, n_{e0} - czas gdy aktywność nie występowała i to zostało poprawnie rozpoznane.

34

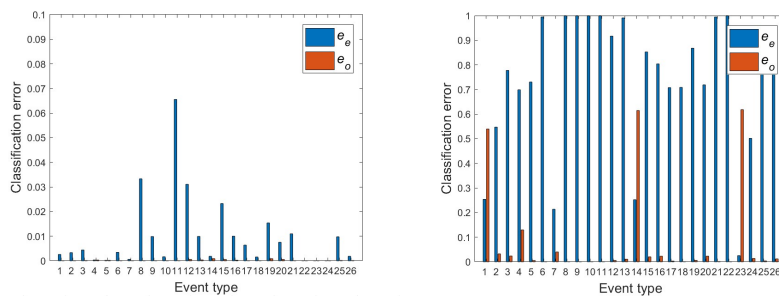


Politechnika Wroclawska

34

Zadanie 2b

- Aktywności były poprawnie rozpoznawane z użyciem matrycy czujników, z błędem <7%.



Rys. Błąd klasyfikacji z wykorzystaniem matrycy czujników (po lewej) jednego czujnika (po prawej). [4]

35



Politechnika Wroclawska

35

Podsumowanie

- Wyniki naszych badań pokazują, że obecność ludzi w pomieszczeniach oraz ich aktywności znajdują odzwierciedlenie we właściwościach powietrza wewnętrznego.
- W szczególności, tak uwarunkowane zmiany chemicznych właściwości powietrza są skutecznie rejestrowane przez czujniki chemiczne.
- Odpowiedzi czujników tworzą wzorec, który umożliwia detekcję obecności ludzi.
- Jest także w znacznym stopniu selektywny względem poszczególnych aktywności i umożliwia ich rozpoznawanie.

36



Politechnika Wroclawska

36

Literatura

1. Andrzej Szczurek, Monika Maciejewska, Tomasz Pietrucha. *Occupancy determination based on time series of CO₂ concentration, temperature and relative humidity*. Energy and Buildings. 2017, 147, 142–154.
2. Andrzej Szczurek, Monika Maciejewska, Tomasz Pietrucha. *Occupancy detection using gas sensors*. W: SENSORNETS 2017: proceedings of the 6th International Conference on Sensor Networks: Porto, Portugal, February 19-21, 2017/ eds. Eric Fleury, Andreas Ahrens and César Benavente-Peces. [B.m.] : SciTePress, cop. 2017. s. 99-107.
3. Andrzej Szczurek, Anna Dolega, Monika Maciejewska. *Profile of occupant activity impact on indoor air - method of its determination*. Energy and Buildings. 2018, 158, 1564–1575.-1575.
4. Monika Maciejewska, Andrzej Szczurek, Anna Dolega. *Classification of human activities indoors using microclimate sensors and semiconductor gas sensors*. W: SENSORNETS 2019 : proceedings of the 8th International Conference on Sensor Networks : Prague - Czech Republic, February 26-27, 2019 / eds. César Benavente-Peces, Andreas Ahrens and Olivier Camp. [B.m.] : SciTePress, cop. 2019. s. 121–128.

