

Elastyczny system profilowania użytkownika budynku z wykorzystaniem elementów sztucznej inteligencji

Michał Kosnowski, Mariusz Nowak

1. Wprowadzenie

Coraz większe możliwości świadczenia pracy zdalnej z miejsca zamieszkania, a także zdobywania wiedzy w formule zdalnej oraz realizacji zakupów online powodują, że ludzie coraz więcej czasu spędzają w mieszkaniach i domach oraz różnego rodzaju innych budynkach. Mieszkania, szkoły, biura, centra handlowe, obiekty sportowe, kina, muzea, hotele, a także budynki przemysłowe to miejsca, w których spędzamy nawet 90% naszego życia. Budynki są miejscem, gdzie prowadzimy aktywność zawodową, zaspakajamy swoje codzienne potrzeby oraz odpoczywamy. Każdy z nas chce przebywać w budynkach, w których oferowane są komfortowe warunki mikroklimatyczne – właściwa temperatura, wilgotność i czystość powietrza, odpowiednie oświetlenie oraz akceptowalny poziom natężenia hałasu. Osoby przebywające w budynkach, w których panują właściwe warunki środowiska wewnętrznego, są zadowolone i odpowiednio wydajne w wykonywaniu pracy [1, 2]. Właścicielom budynków zależy na tym, aby dostarczanie optymalnych warunków mikroklimatycznych wiązało się z jak najniższymi kosztami. Wysoki komfort oferowany użytkownikom budynków stoi w sprzeczności z niskim zużyciem energii. Pogodzenie interesów obu stron jest możliwe w budynkach wyposażonych w zaawansowane systemy automatyki, dzięki którym można takie obiekty nazywać budynkami inteligentnymi. Budynek inteligentny to z definicji obiekt wyposażony w zintegrowany, spójny i elastyczny system automatyki, pozwalający na swobodną komunikację z budynkowymi czujnikami pomiarowymi i urządzeniami wykonawczymi charakterystycznymi dla instalacji budynkowych. System

Streszczenie: W artykule przedstawiono propozycję elastycznego systemu profilowania osób będących użytkownikami inteligentnych budynków. Zaproponowano wykorzystanie elementów sztucznej inteligencji do wykrywania użytkownika budynku, jego zachowań i preferencji w nastawach wartości parametrów komfortu mikroklimatycznego. Profil taki może być wykorzystany przez system BMS do sterowania systemami automatyki budynkowej gwarantującymi użytkownikowi odczucie komfortu mikroklimatycznego przy jednoczesnej minimalizacji kosztów realizacji. Uwzględnianie profili użytkowników gwarantuje możliwość realizacji inteligentnych algorytmów sterowania, które do optymalnego sterowania wykorzystują profile wszystkich osób przebywających w danej strefie lub pomieszczeniach budynku.

Słowa kluczowe: inteligentny budynek, sztuczna inteligencja, BMS, profil użytkownika budynku

FLEXIBLE BUILDING USER PROFILING SYSTEM USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE ELEMENTS

Abstract: The paper presents a proposal for a flexible system for profiling people who are users of intelligent buildings. It was proposed to use elements of artificial intelligence to detect the building user, his behaviour and preferences in the settings of microclimatic comfort parameters. Such a profile can be used by the BMS to control building automation systems that guarantee the user's feeling of microclimatic comfort while minimising implementation costs. Taking into account the users' profiles guarantees the possibility of implementing intelligent control algorithms, which use the profiles of all people present in a given zone or rooms of the building for optimal control.

Keywords: intelligent building, artificial intelligence, BMS, profile of building user

automatyki budynkowej umożliwia kontrolę działania instalacji technicznych oraz sterowanie w sposób najbardziej wydajny i oszczędny dla użytkownika. Realizacja optymalnego zarządzania zużyciem energii w budynku jest zadaniem trudnym. Wynika to między innymi z faktu zmiennych zachowań użytkowników budynku. Użytkownik może w dowolnej chwili zażądać podwyższenia lub obniżenia temperatury powietrza w pomieszczeniu, co spowoduje uruchomienie systemu grzewczego lub instalacji klimatyzacji. Użytkownik

może także, zgodnie z własnym życzeniem, włączyć lub wyłączyć oświetlenie, użyć zasłony lub rolety w zależności od nastroju. Kompleksowe zarządzanie zużyciem energii w budynku wymaga zatem od systemu automatyki budynkowej współpracy wielu podsystemów sterujących instalacjami budynkowymi. Do optymalnego działania każdego z podsystemów można wykorzystać algorytmy sterowania opracowane i dostrajane na bazie pozyskiwanej i gromadzonej wiedzy eksperckiej. Takie rozwiązanie wiąże się niestety z koniecznością ponoszenia

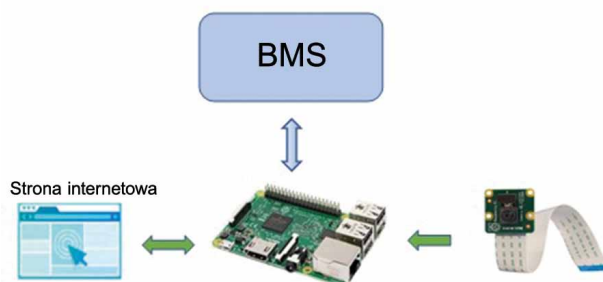
kosztów generowanych przez osoby, które na bieżąco będą korygowały poprawność działania podsystemów i gwarantowały ich optymalne działanie. Dodatkowym utrudnieniem jest dbanie o unikanie wzajemnych konfliktów w sterowaniu wybranymi podsystemami – np. odpowiednie działanie w tym samym czasie instalacji grzewczej i chłodzącej. Aby zapobiec wymienionym problemom, coraz częściej wykorzystuje się zaawansowane techniki zintegrowanego sterowania, które optymalizują działanie wszystkich elementów odpowiedzialnych za zużycie energii przez instalacje budynkowe [3, 4]. Techniki te bazują na metodach zaczerpniętych ze sztucznej inteligencji, m.in. na logice rozmytej, sieciach neuronowych, algorytmach genetycznych oraz uczeniu maszynowym [5]. Dzięki elementom sztucznej inteligencji możliwe stało się wykrywanie użytkownika budynku. Na bazie obserwacji zachowań użytkownika można budować jego profil, który może wskazywać na sposób optymalnego sterowania instalacjami budynkowymi.

W dalszej części opracowania przedstawiona zostanie propozycja elastycznego systemu profilowania użytkownika budynku z wykorzystaniem elementów sztucznej inteligencji, pozwalającego w sposób jednoznaczny identyfikować użytkownika i w konsekwencji gwarantować mu odczucie komfortu mikroklimatycznego.

2. Koncepcja systemu automatycznej identyfikacji użytkownika budynku

Wraz z powstawaniem coraz bardziej zaawansowanych technicznie budynków, oferujących możliwości wprowadzania przez użytkowników indywidualnych nastaw dla instalacji budynkowych w wybranych strefach lub pomieszczeniach, pojawiła się koncepcja automatyzacji procesu dostosowywania odczucia poziomu komfortu mikroklimatycznego do indywidualnych wymagań osób. Inteligentny budynek powinien posiadać

zdolność oferowania każdemu z użytkowników odczucia komfortu zgodnie z jego indywidualnymi preferencjami. W celu zautomatyzowania procesu niezbędne jest odpowiednie rozpoznawanie użytkownika oraz zbieranie informacji o jego zachowaniach w celu budowy profilu i wykorzystywania go do wspomagania procesu optymalnego sterowania instalacjami budynkowymi. Proces taki nazywa się adaptacyjnym uczeniem się zachowań użytkownika. Opracowanie pełnego profilu zachowań użytkownika budynku przyczynia się do sytuacji, w której instalacje budynkowe będą w stanie zapewnić każdemu z osobna odczucie pełnego komfortu przebywania w danej strefie lub pomieszczeniu w budynku. Do wykrywania i identyfikowania użytkownika budynku można wykorzystywać zarówno urządzenia będące na wyposażeniu inteligentnego budynku, czyli instalacje kontroli dostępu i karty elektroniczne używane przez osoby przebywające w budynku, lub prywatnych urządzeń mobilnych, które używane są dzisiaj praktycznie przez wszystkich. Kolejną skuteczną metodą jest wykrywanie użytkownika na podstawie analizy obrazu z kamer. Wadą tego typu rozwiązania jest jednak cena systemu wizyjnego składającego się często z wielu kamer zainstalowanych w niewralgicznych miejscach budynku. Skuteczną metodą na obniżenie ceny systemu działającego w oparciu o analizę obrazu może być wykorzystanie



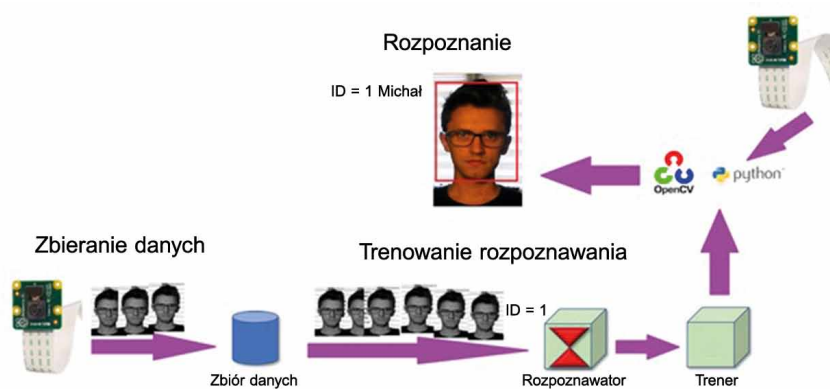
Rys. 1. Schemat komunikacji pomiędzy urządzeniami i interfejsem oraz systemem BMS

elementów sprzętowych ogólnodostępnych, np. budynkowego systemu telewizji przemysłowej oraz otwartego oprogramowania do wspierania procesu identyfikacji użytkownika. Na rynku dostępne są również dedykowane komputery wbudowane wyposażone w procesory graficzne wspomagające obróbkę obrazu, pozwalające na równoległą analizę strumieni wideo z kilku podłączonych jednocześnie kamer.

3. Automatyczna identyfikacja użytkownika i profilowanie jego zachowań w budynku

Głównym założeniem systemu profilowania jest jego zdolność do wykrywania użytkownika za pomocą kamery i elementów sztucznej inteligencji wspomagających proces identyfikacji osoby [6]. W celu obniżenia kosztów proponowane jest wykorzystanie komputera wbudowanego Raspberry Pi, na którym analizowany będzie obraz pozyskiwany ze współpracującej z nim jednej lub kilku kamer dedykowanych lub kamer IP z komunikacją Wi-Fi. Na rysunku 1 przedstawiono podstawowy schemat działania systemu identyfikacji użytkownika budynku z możliwością komunikacji z systemem BMS (ang. *Building Management System*).

Obraz pozyskiwany z kamery jest przesyłany do komputera wbudowanego Raspberry Pi, na którym realizowany jest proces identyfikacji wykrytej osoby [7]. Aplikacja webowa jest interfejsem



Rys. 2. Schemat procesu rozpoznawania twarzy

pośredniczącym między człowiekiem a aplikacją. Program działający na komputerze wbudowanym po identyfikacji użytkownika archiwizuje jego zachowania. Archiwizowane są oddziaływania użytkownika na instalacje budynkowe, takie jak: włączanie lub wyłączanie oświetlenia, wentylacja pomieszczenia, zmiany natężenia oświetlenia, zmiany nastaw temperatury powietrza i inne działania. Dane te przesyłane są do centralnego systemu zarządzania instalacjami budynkowymi – do systemu BMS, który bezpośrednio oddziałuje na instalacje budynkowe i może korelować sterowanie instalacjami z zachowaniami użytkownika.

Kamera umieszczona w miejscu gwarantującym odpowiednie pole widzenia rejestruje obraz i przesyła go do komputera wbudowanego, który na bazie elementów sztucznej inteligencji dokonuje identyfikacji użytkownika budynku. Proces rozpoznawania twarzy osoby został przedstawiony schematycznie na rysunku 2.

Proces można podzielić na trzy etapy. Pierwszy etap to zbieranie danych poprzez rejestrowanie obrazu. Etap ten realizowany jest ręcznie lub w sposób zautomatyzowany, gdzie fotografie generowane są w nastawianych odstępach czasu lub po wykryciu ruchu. Domyślnie system może rejestrować szybko wykonywane 30 zdjęć twarzy. Drugi etap to wytrenowanie, które bazuje na bibliotece open source OpenCV [8]. Biblioteka zawiera zoptymalizowane algorytmy wykorzystujące klasyczne i zaawansowane metody uczenia maszynowego. Biblioteka jest użyteczna nie

tylko w procesach wykrywania osób, ale także do identyfikowania określonych obiektów lub śledzenia ruchu obiektów. Wynikiem wytrenowania jest plik zawierający dane potrzebne do prawidłowej identyfikacji osób. W ostatnim, trzecim etapie kamera w czasie rzeczywistym monitoruje otoczenie, a po wykryciu twarzy próbuje zidentyfikować osobę, odwołując się do bazy fotografii twarzy rozpoznawalnych. Jeżeli identyfikacja zakończy się powodzeniem, system informuje o identyfikatorze, który jednoznacznie wskazuje na daną osobę.

Innym sposobem na jednoznaczne identyfikowanie użytkownika budynku jest wykorzystywanie istniejących w inteligentnych budynkach systemów kontroli dostępu do pomieszczeń. Rozwiązanie to jest jednak ograniczone do użytkowników posiadających elektroniczny identyfikator. Każdy z użytkowników, używając karty elektronicznej do wejścia do danej strefy lub pomieszczenia, jest wykrywany i identyfikowany, a jego zachowania zostają zapamiętywane w systemie zarządzania instalacjami budynkowymi. Dzięki identyfikacji system automatyki budynkowej może w sposób optymalny zarządzać instalacjami budynkowymi i w sposób efektywny zapewnić użytkownikowi odczucie komfortu mikroklimatycznego w strefie jego przebywania.

Kolejnym sposobem na identyfikowanie osób przebywających w budynku jest wykorzystywanie urządzeń mobilnych używanych przez osoby wchodzące do budynku i w nim przebywające. Zainstalowana aplikacja mobilna może komunikować się z miniaturowymi urządzeniami zamontowanymi w charakterystycznych

miejscach wewnątrz budynku, zwanymi *beaconami*. Dzięki odpowiedniej aplikacji mobilnej komunikującej się z danym *beaconem* można określić położenie użytkownika i łatwo go zidentyfikować. Rozwiązanie to nie gwarantuje jednak automatyzacji procesu rozszerzania bazy wiedzy o kolejnych użytkowników z racji ograniczeń wynikających z konieczności instalacji specjalnej aplikacji do identyfikacji.

Przedstawione wybrane sposoby automatycznej identyfikacji użytkownika budynku mają za zadanie, oprócz wykrywania osoby, realizować także profilowanie użytkownika poprzez rejestrację jego indywidualnych zachowań oraz preferencji w zakresie parametrów mikroklimatu. Profil użytkownika budynku jest niezbędny do wspomagania procesu optymalnego sterowania instalacjami budynkowymi, gdzie wraz z zapewnieniem komfortu mikroklimatycznego gwarantowana będzie minimalizacja kosztów realizacji sterowania instalacjami budynkowymi.

5. Możliwości wykorzystania elastycznego systemu profilowania użytkownika budynku z elementami sztucznej inteligencji

Po wykryciu wejścia osoby do budynku, dysponując profilem użytkownika, system BMS powinien optymalnieysterować instalacjami budynkowymi, aby zagwarantować odczucie komfortu mikroklimatycznego przy minimalnych kosztach jego realizacji. Realizacja optymalnego sterowania nie jest zadaniem łatwym, szczególnie w sytuacji, gdy w danej strefie lub pomieszczeniu przebywa większa liczba osób o odmiennych preferencjach wartości parametrów mikroklimatycznych. Do wspomagania sterowania można wykorzystać techniki bazujące na sztucznej inteligencji. Przykładem może być wykorzystanie sztucznej sieci neuronowej, która na bazie modeli zachowań użytkowników i ich preferencji decyduje o sposobie i jakości funkcjonowania instalacji budynkowych. Wdrażanie algorytmów sterowania wykorzystujących elementy sztucznej inteligencji można realizować z wykorzystaniem specjalistycznych środowisk programistycznych, które coraz częściej

osadzane są na ogólnodostępnych platformach informatycznych. Opracowanie skalowalnego modelu systemu uczącego się można przeprowadzić w dostępnych darmowych środowiskach, które potrafią pracować na zestawach danych o dowolnej wielkości. Wytrenowane modele są praktycznie natychmiast gotowe do implementacji w systemach zarządzania budynkami. Jedną z możliwości jest wykorzystanie biblioteki *open source* TensorFlow oferowanej przez Google [9]. Biblioteka może być używana w wielu językach programowania, a jej implementacja gwarantuje efektywne wykorzystanie różnego rodzaju architektur sprzętowych. Dodatkową zaletą TensorFlow jest możliwość przenoszenia wytrenowanych modeli pomiędzy różnymi środowiskami programistycznymi i środowiskami uruchomieniowymi, co jest istotne w kontekście zastosowań w specyficznych, często różniących się między sobą systemach automatyki budynkowej. Biblioteka ta pozwala na budowę sieci neuronowych, które odnajdują wzorce i korelacje danych, umożliwiając optymalne sterowanie systemami budynkowymi w każdej możliwej sytuacji i według różnych scenariuszy. Odpowiednio wytrenowana sieć neuronowa jest w stanie podejmować decyzje, które gwarantują optymalizację procesu dostarczania komfortowych warunków dla osób przebywających w budynkach.

5. Podsumowanie

Rozwój w dziedzinie informatyki i sztucznej inteligencji spowodował powstanie wielu uniwersalnych otwartych platform programistycznych, które pozwalają na prototypowanie i testowanie możliwości wdrażania inteligentnych algorytmów sterowania w dziedzinie


optymalnego zarządzania inteligentnym budynkiem. Do optymalnego sterowania instalacjami budynkowymi niezbędne jest dysponowanie profilami użytkowników, które wskazują na zachowania oraz indywidualne preferencje osób przebywających w pomieszczeniach. Do budowy profili niezbędne jest identyfikowanie użytkowników, które może być wspomagane sztuczną inteligencją. Opracowane profile zidentyfikowanych osób stanowią cenne źródło danych wejściowych dla inteligentnych algorytmów sterowania instalacjami budynkowymi. Postępujący rozwój w dziedzinie sztucznej inteligencji oraz możliwości implementacji gotowych bibliotek na różnych platformach programistycznych umożliwiają włączanie podsystemów automatycznej identyfikacji i wspomagania optymalnego sterowania do funkcjonujących systemów BMS. Rozwiązania takie zwiększają funkcjonalność automatyki budynkowej oraz podnoszą komfort użytkownika budynku. Zwalniają użytkownika z konieczności ręcznej korekty nastaw parametrów środowiska wewnątrzbudynkowego z jednoczesną gwarancją minimalizacji kosztów funkcjonowania automatyki budynkowej.

Literatura

- [1] FANGER P.O., POPIOŁEK Z., WARGOCKI P.: *Środowisko wewnętrzne. Wpływ na zdrowie, komfort i wydajność pracy*. Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice 2003.
- [2] NOWAK M., URBANIAK A.: *Rozwój automatyki. Cz. 1. Inteligentne miasta. Automatyka budynkowa*. „Builder” 6/2018.
- [3] NOWAK M., URBANIAK A.: *Rozwój systemów automatyki i zarządzania w budynkach* [w:] *Innowacyjne*

wyzwania techniki budowlanej, CZARNECKI L. (RED.), Wyd. Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa 2017.

- [4] NOWAK M., URBANIAK A.: *LPWAN – inteligentne sieci niskoenergetyczne. Inteligentne miasta. Technologie informacyjno-komunikacyjne*. „Builder” 11/2019.
- [5] TADEUSIEWICZ R.: *Archipelag sztucznej inteligencji. Cz. 1. „Napędy i Sterowanie”* 12/2020.
- [6] TADEUSIEWICZ R.: *Archipelag sztucznej inteligencji. Cz. 2. „Napędy i Sterowanie”* 1/2021.
- [7] Raspberry Pi Model 3B. Single-board computer with wireless LAN and Bluetooth connectivity (on-line), <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b/> (dostęp: 07.06.2021).
- [8] Open CV. Online documentation. Tutorials. (online), <https://opencv.org> (dostęp: 07.06.2021).
- [9] TensorFlow – open-source platform for machine learning. Open-source library TensorFlow. (online), <https://www.tensorflow.org> (dostęp: 07.06.2021).

 dr inż. Mariusz Nowak – adiunkt w Instytucie Informatyki na Wydziale Informatyki i Telekomunikacji Politechniki Poznańskiej, e-mail: Mariusz.Nowak@put.poznan.pl

inż. Michał Kosnowski – student kierunku Informatyka na Wydziale Informatyki i Telekomunikacji Politechniki Poznańskiej, specjalność Internet Przedmiotów, e-mail: michal.kosnowski@student.put.poznan.pl