

Leszek Morzyński, Grzegorz Szczepański, Adam Swidziński

**Materiały informacyjne dotyczące
inteligentnej sieci sensorowej
do monitorowania środowiska pracy
i ostrzegania pracowników
o zagrożeniach za pomocą urządzeń nasobnych**

Warszawa 2019

CIOP  PIB

Materiały informacyjne dotyczące inteligentnej sieci sensorowej do monitorowania środowiska pracy i ostrzegania pracowników o zagrożeniach za pomocą urządzeń nasobnych

Opracowano na podstawie wyników IV etapu programu wieloletniego „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, sfinansowanego w latach 2017-2019 w zakresie zadań służb państwowych przez Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej.

Koordinator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.

Zadanie 2.G.05 Inteligentna sieć sensorowa do monitorowania środowiska pracy i ostrzegania pracowników o zagrożeniach za pomocą urządzeń nasobnych na przykładzie zagrożeń wibroakustycznych

Autorzy:

dr inż. Leszek Morzyński, mgr inż. Grzegorz Szczepański, inż. Adam Swidziński – Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy, Zakład Zagrożeń Wibroakustycznych, Pracownia Aktywnych Metod Redukcji Hałasu

© Copyright by
Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy
Warszawa 2019

CIOP  **PIB**

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy
ul. Czerniakowska 16, 00-701 Warszawa
tel. (48-22) 623 36 98, www.ciop.pl

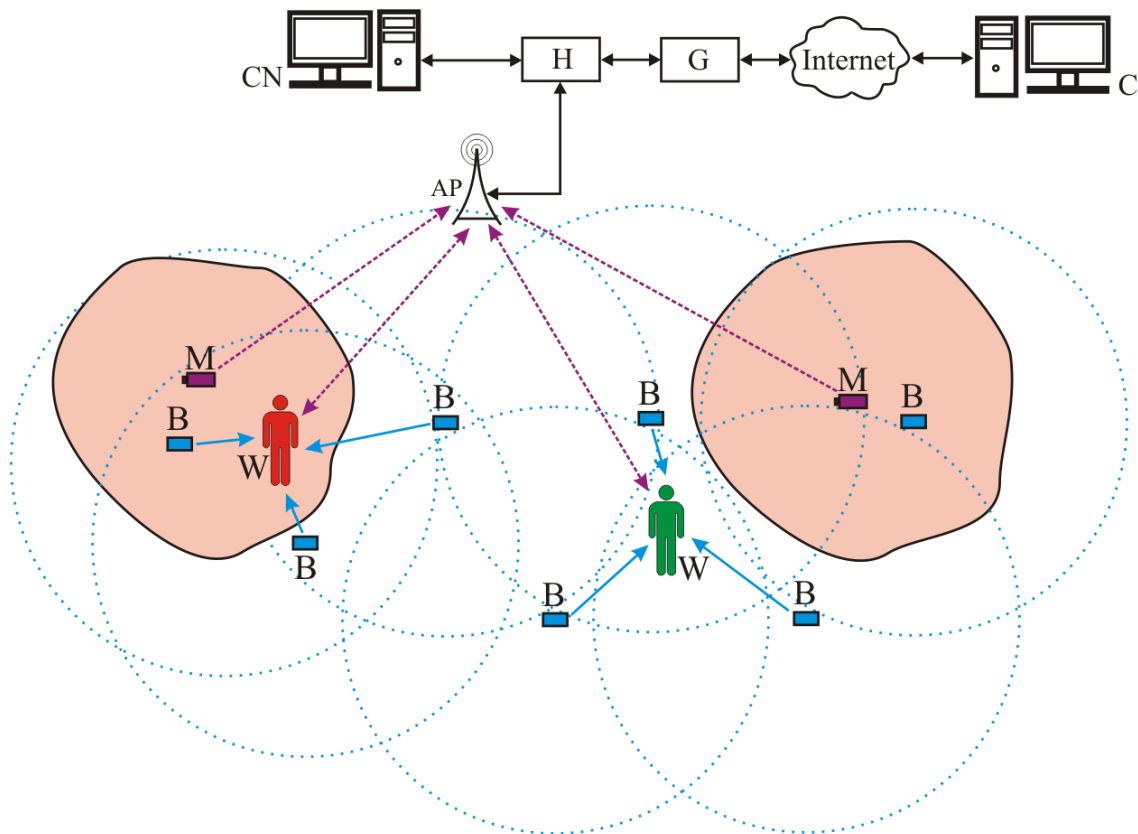


Czynniki szkodliwe dla zdrowia pracowników występują powszechnie w środowisku pracy. W Polsce, w warunkach zagrożenia różnego rodzaju czynnikami środowiska pracy, w 2018 r. pracowało prawie 460 tys. osób, z tego w warunkach zagrożenia hałasem 187 tys. osób. Szkodliwość dla zdrowia danego czynnika fizycznego, chemicznego czy pyłowego zależy w znacznym stopniu od wartości natężeń i stężeń tych czynników w środowisku pracy. Na mocy obowiązujących przepisów prawa pracodawcy są zobowiązani do dokonywania pomiarów czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy oraz ograniczania narażenia pracowników na te czynniki do poziomów nieprzekraczających wartości dopuszczalnych. Stężenie lub natężenie czynników szkodliwych może również ulegać zmianie np. w wyniku zmian parametrów procesu pracy czy też w wyniku zużywania się maszyn i narzędzi, powodując zwiększone zagrożenia dla pracowników. W takich przypadkach pracownicy mogą być narażeni na działanie czynnika szkodliwego środowiska pracy przekraczającego wartości najwyższego dopuszczalnego natężenia (NDN). Wykrycie zagrożenia oraz szybka i skuteczna reakcja mająca na celu ograniczenie jego wpływu na zdrowie pracownika są w takich przypadkach możliwe przy zastosowaniu ciągłego monitoringu parametrów środowiska pracy.

Monitoring parametrów środowiska pracy, jak również działania związane z zapobieganiem narażeniu pracowników na czynniki szkodliwe, mogą być realizowane w oparciu o znajdujące coraz szersze zastosowania bezprzewodowe sieci sensorowe (ang. *Wireless Sensor Network*, WSN). Bezprzewodową sieć sensorową można zdefiniować jako grupę sensorów oraz układów (urządzeń) wykonawczych wraz z infrastrukturą do komunikacji bezprzewodowej, przeznaczonych do monitorowania i sterowania stanem układów fizycznych lub środowiska w różnych lokalizacjach, tworzących sieć przez którą przekazywane są dane i polecenia sterujące. Urządzenia należące do takiej sieci mogą komunikować się ze sobą bezpośrednio z wykorzystaniem Internetu, tworząc tzw. Internet rzeczy (ang. *Internet of Things*, IoT).

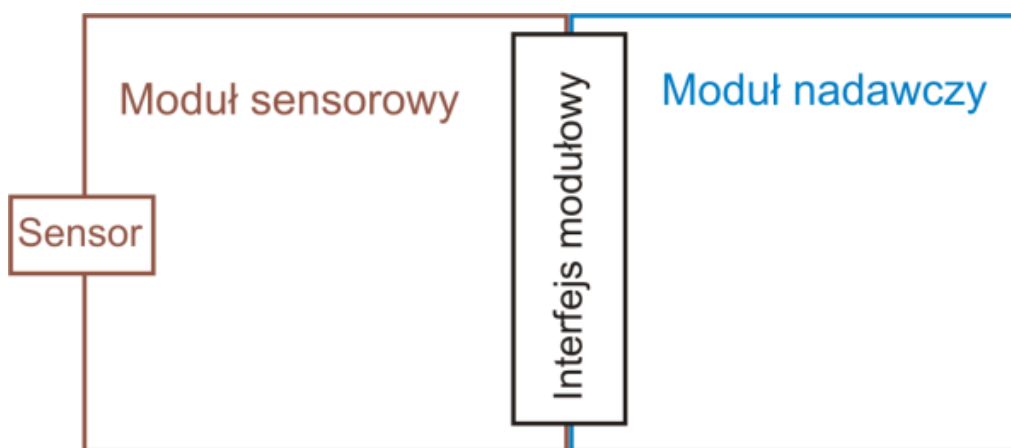
Rozwiązanie techniczne opracowane w ramach realizacji zadania 2.G.05 jest systemem do monitorowania zagrożeń związanych z czynnikami szkodliwymi w środowisku pracy i ostrzegania pracowników o tych zagrożeniach. Podstawowy schemat systemu przedstawiono na rys. 1. W skład systemu wchodzi następujące elementy: układy pomiarowe czynników szkodliwych, urządzenia nasobne noszone przez pracowników, nadajniki radiowe Bluetooth LE, czyli tzw. beacons, oraz komputer będący centralą systemu. Elementy te komunikują się ze sobą z wykorzystaniem dwóch standardów transmisji bezprzewodowej: Wi-Fi oraz Bluetooth LE. Tworzą tym samym bezprzewodową sieć sensorową obejmującą swoim zasięgiem przedsiębiorstwo, w którym monitorowane są warunki pracy.

Układy pomiarowe umożliwiają monitoring środowiska pracy, mierząc stężenia i natężenia czynników szkodliwych. Wyniki pomiarów przekazywane są poprzez sieć Wi-Fi do centrali systemu, która przetwarza te dane i określa strefy zagrożenia (czyli strefy, w których występuje wysokie stężenie lub natężenie czynnika szkodliwego). Każdy z pracowników wyposażony jest w urządzenie nasobne. Urządzenie to odbiera sygnały z rozmieszczonych w przedsiębiorstwie nadajników Bluetooth LE i przekazuje je do centrali. Na tej podstawie centrala określa położenie pracownika i, jeśli znajduje się on w strefie zagrożenia, wysyła mu odpowiednie ostrzeżenie.



Rys. 1. Schemat podstawowej struktury systemu (M – układ pomiarowy, W – pracownik z urządzeniem nasobnym, B – beacon, AP – punkt dostępowy sieci Wi-Fi, H – koncentrator sieciowy, G – brama sieciowa, CN – centrala systemu (komputer), C – komputer, niebieskie strzałki – połączenia Bluetooth LE, fioletowe strzałki – połączenia Wi-Fi, czarne strzałki – połączenia Ethernetowe, różowe obszary – strefy zagrożenia, okręgi z niebieską linią kropkowaną – zasięg transmisji radiowej beaconów)

Głównym założeniem przy opracowywaniu systemu była jego uniwersalność przejawiająca się możliwością monitorowania różnego rodzaju czynników szkodliwych środowiska pracy. Z tego względu przyjęto, że układy pomiarowe będą miały budowę modułową. Każdy z nich składa się z modułu nadawczego i modułu sensorowego połączonych ze sobą interfejsem modułowym (rys. 2.). Moduł nadawczy zawiera wszystkie elementy wspólne dla każdego układu pomiarowego, tzn. układy zasilania, mikrokontroler oraz moduł radiowy do transmisji danych. Moduł sensorowy zawiera sensor (np. mikrofon w przypadku pomiarów hałasu) i układy wstępnego przetwarzania sygnału pomiarowego. Interfejs modułowy zapewnia mechaniczne i elektryczne połączenie modułów tworzące układ pomiarowy. Interfejs ten został tak zaprojektowany, że moduł nadawczy sam rozpoznaje: jakiego rodzaju układ sensorowy ma dołączony i – dzięki temu – jakiego rodzaju informacje otrzymuje z modułu sensorowego i jak ma je przetwarzać.



Rys. 2. Schemat układu pomiarowego

Na rys. 3. przedstawiono wygląd modułu komunikacyjnego i szczegóły jego konstrukcji wewnętrznej. W konstrukcji modułu zastosowano mikrokontroler STM32L476, który przetwarza dane pomiarowe i zarządza pracą modułu. Zastosowanym modułem radiowym do komunikacji bezprzewodowej w standardzie Wi-Fi jest układ ESP-WROOM-32.



Rys. 3. Moduł nadawczy i jego konstrukcja

System wykorzystuje dwa rodzaje modułów sensorowych: do pomiarów hałasu oraz pomiarów drgań mechanicznych w środowisku pracy. Na rys. 4. przedstawiono opracowany moduł sensorowy hałasu. Zawiera on mikrofon oraz analogowy układ elektroniczny przetwarzania sygnału pomiarowego. Po połączeniu z modułem nadawczym tworzy on układ pomiarowy hałasu (rys. 4. na dole). Na rys. 5. przedstawiono wykonany w ramach realizacji zadania układ pomiarowy drgań mechanicznych. W celu łatwiejszej identyfikacji w konstrukcji modułów sensorowych wykorzystano kod barwny, tzn. moduły sensorowe hałasu mają barwę żółtą, a moduły sensorowe drgań – pomarańczową.



Rys. 4. Moduł sensorowy hałasu (u góry: M – mikrofon) oraz układ pomiarowy hałasu (na dole)



Rys. 5. Układ pomiarowy drgań zawierający moduł sensorowy drgań (w kolorze pomarańczowym)

Beacony systemu, czyli nadajniki radiowe Bluetooth LE, skonstruowano w oparciu o układy nadajników iNode Beacon, dla których opracowano układy zasilające umożliwiające długotrwałą pracę nadajnika przy maksymalnej częstotliwości i mocy nadawanych komunikatów radiowych. Większa liczba nadajników umożliwia zwiększenie ich zagęszczenia powierzchniowego w prowadzonych badaniach lub pokrycia większego obszaru ich zasięgiem. Wykonane w ramach realizacji zadania nadajniki przedstawiono na rys. 6. Zadaniem beaconów jest stałe rozgłaszanie krótkich komunikatów radiowych. Beacony rozmieszcza się równomiernie na obszarze przedsiębiorstwa, a współrzędne ich położenia są zapamiętywane w centrali systemu.



Rys. 6. Beacon i jego konstrukcja wewnętrzna

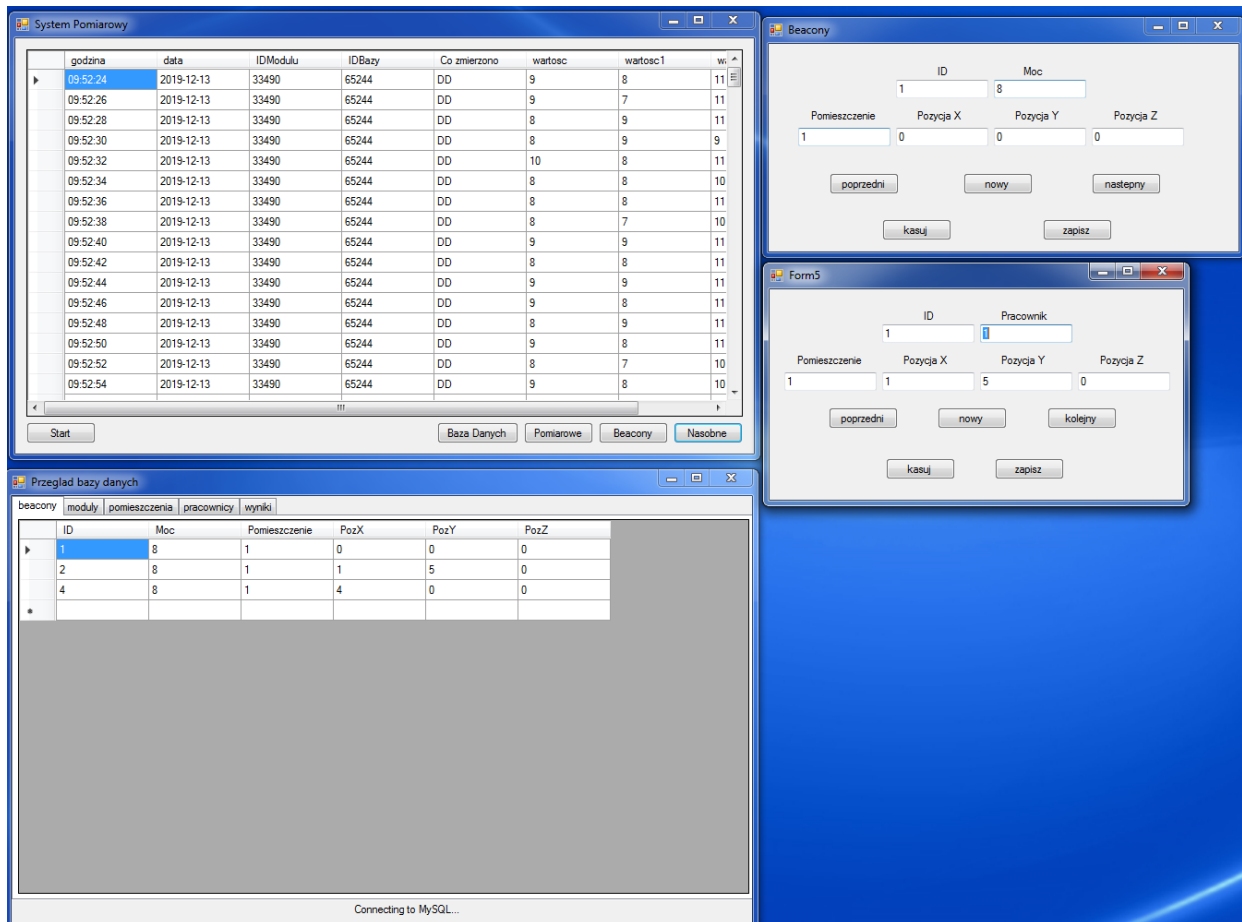
Urządzenie nasobne systemu przypomina swoim kształtem zegarek i jest przeznaczone do noszenia przez pracownika na przedramieniu. Urządzenie nasobne funkcjonujące w sieci sensorowej ma za zadanie zarówno ostrzegać użytkującego je pracownika przed występującymi zagrożeniami, jak i dostarczać dane niezbędne do lokalizacji położenia pracownika względem stref zagrożenia. Urządzenie nasobne zbudowano w oparciu o dwusystemowy (tzn. mogący działać zarówno w standardzie Wi-Fi, jak i Bluetooth LE) moduł radiowy ESP-WROOM-32. Integruje on w sobie dwurdzeniowy mikroprocesor, pamięć ROM i RAM, elementy toru radiowego realizujące warstwę fizyczną komunikacji, obsługę stosów programowych protokołów Wi-Fi i Bluetooth oraz układy peryferyjne w postaci różnego rodzaju portów komunikacyjnych czy przetworników A/C i C/A. Dla urządzenia nasobnego zaprojektowano i wykonano obudowę umożliwiającą zamocowanie urządzenia na przedramieniu pracownika z wykorzystaniem paska zegarkowego (rys. 7.).



Rys. 7. Urządzenie nasobne

Lokalizacja pracownika dokonywana jest na podstawie algorytmu, który za pomocą wartości RSSI (ang. *Received Signal Strength Indicator* – wskaźnik mocy odbieranego sygnału) odpowiadającej danemu beaconowi oblicza prawdopodobieństwo położenia pracownika w dyskretnych punktach w przestrzeni. Prawdopodobieństwo jest liczone dla trzech beaconów z najwyższym poziomem sygnału RSSI i mnożone w każdym punkcie przestrzeni. Następnie znajdowane są punkty przestrzeni z najwyższymi wartościami i na podstawie średniej obliczany jest jeden punkt, przyjmowany jako lokalizacja użytkownika.

Centrala sieci sensorowej jest komputerem, w którym są gromadzone i przetwarzane dane pomiarowe i dotyczące położenia pracowników, generowane przez sieć sensorową. Komunikacja pomiędzy elementami sieci a jej centralą została zrealizowana z wykorzystaniem protokołu internetowego (IP) w warstwie sieciowej oraz protokołu UDP (ang. *User Datagram Protocol* – protokół pakietów użytkownika) w warstwie transportowej modelu OSI (ang. *ISO Open Systems Interconnection Reference Model* – model odniesienia łączenia systemów otwartych). Sieć sensorowa ma zatem architekturę zgodną z modelem TCP/IP (ang. *Transmission Control Protocol/Internet Protocol* – zbiór protokołów służących do transmisji danych przez sieci komputerowe). W obrębie łącza bezprzewodowego przesyłanie pakietów danych z urządzeń pomiarowych oraz pakietów danych z/do urządzeń nasobnych odbywa się z wykorzystaniem standardu komunikacji bezprzewodowej Wi-Fi. Na komputerze stanowiącym centralę sieci utworzono bazę danych pomiarowych. Baza danych została oparta na systemie zarządzania MySQL. Narzędziem do administracji bazy danych jest phpMyAdmin, aplikacja oparta na silniku php i działająca w przeglądarce internetowej. Oba systemy są udostępnione na licencji GPL (ang. *General Public License* – licencja wolnego i otwartego oprogramowania). Na potrzeby systemu opracowano aplikację przetwarzającą dane pomiarowe przy użyciu środowiska Visual Studio Community. Zaimplementowano graficzny interfejs użytkownika wspomagający pracę z aplikacją i umożliwiający ręczne wprowadzanie najważniejszych informacji do bazy danych. Aplikacja w głównym oknie wyświetla wyniki pomiarów. Używając przycisków poniżej tabeli, można przeglądać zawartość bazy danych, wprowadzać zmiany dotyczące beaconów, urządzeń pomiarowych i nasobnych. Przykładowe okna aplikacji umożliwiające przeglądanie wyników zgromadzonych w bazie danych oraz wprowadzenie danych na temat beaconów i pracowników przedstawiono na rys. 8.



Rys. 8. Przykładowe okna aplikacji serwera

Centrala systemu wyznacza, w oparciu o informacje o mocach sygnałów odbieranych z beaconów, aktualne położenie pracownika użytkującego urządzenie nasobne. Jeżeli znajduje się on w strefie zagrożenia, centrala wysyła do urządzenia nasobnego informacje o aktualnym zagrożeniu, które wyświetlane są na wyświetlaczu urządzenia nasobnego. Na podstawie tych informacji urządzenie nasobne generuje również sygnały ostrzegające pracownika. W wyniku przeprowadzonych badań wykazano prawidłowe działanie opracowanych rozwiązań modelowych i sieci sensorowej, a także możliwość jej zastosowania w warunkach przemysłowych.