

Zastosowanie modułów XBee do monitorowania narażenia na hałas pracowników użytkujących nauszники przeciwhałasowe

Streszczenie. W artykule przedstawiono budowę systemu przeznaczonego do zdalnego monitorowania narażenia na hałas pracowników stosujących nauszники przeciwhałasowe, a tym samym zapewniającego nadzór nad ich prawidłowym użytkowaniem. Do transmisji danych o hałasie zastosowano w systemie sieć ZigBee zrealizowaną w oparciu o moduły XBee pracujące w paśmie 2,4 GHz. W artykule omówiono zadania i budowę poszczególnych elementów systemu.

Abstract. In the article structure of a system for remote monitoring exposure to noise of workers using earmuffs and in this way its proper use is described. In this system for wireless data transfer a ZigBee network is utilized. Technical realization of ZigBee network is based on XBee modules working in 2,4 GHz frequency band. In the article purposes and construction of system components are described. (**The use of XBee modules for monitoring exposure to noise of workers using earmuffs**).

Słowa kluczowe: ZigBee, XBee, hałas, nauszники przeciwhałasowe.

Keywords: ZigBee, XBee module, noise, earmuffs.

doi:10.12915/pe.2014.09.47

Wprowadzenie

Hałas [1, 2] jest najpowszechniej występującym czynnikiem szkodliwym środowiska pracy. Do ochrony przed hałasem w praktyce często stosowane są ochronniki słuchu, w tym nauszники przeciwhałasowe. Ochronniki słuchu muszą być stosowane, gdy narażenie indywidualne na hałas pracownika przekracza wartości dopuszczalne i narażenia tego nie da się ograniczyć innymi metodami. W takich przypadkach pracodawca ma obowiązek nadzorować prawidłowości ich stosowania [3].

Prowadzone dotychczas badania [4, 5, 6] pokazują, że tłumienie dźwięku nauszników przeciwhałasowych wyznaczane w warunkach rzeczywistych jest mniejsze niż wyznaczane w warunkach laboratoryjnych, co może być przyczyną narażenia pracownika na szkodliwy dla słuchu hałas. Obserwowane różnice spowodowane są głównie przez nieprawidłowe użytkowanie nauszników przeciwhałasowych. Istnieje zatem potrzeba zapewnienia lepszego nadzoru nad prawidłowym użytkowaniem nauszników przeciwhałasowych. Temu zadaniu ma służyć przedstawiony w dalszej części artykułu system do zdalnego monitorowania narażenia na hałas pracowników użytkujących nauszники przeciwhałasowe.

Koncepcja systemu [7] zakłada, że nauszники przeciwhałasowe wchodzące w skład systemu posiadają wbudowane układy pomiarowe połączone z modułami radiowymi i funkcjonujące jako urządzenia (węzły) końcowe sieci. Zadaniem urządzeń końcowych jest ciągły monitoring parametrów hałasu pod czasami nauszników przeciwhałasowych i przekazywanie danych o hałasie do centrali systemu poprzez sieć bezprzewodowej transmisji danych. Centrala systemu gromadzi i przetwarza dane pomiarowe przesłane z urządzeń końcowych generując dla osoby nadzorującej system komunikaty o ewentualnych nieprawidłowościach dotyczących narażenia na hałas pracowników i potrzebie podjęcia działań prewencyjnych. Umożliwia to nadzór nad prawidłowym użytkowaniem nauszników przeciwhałasowych.

Sieć bezprzewodowej transmisji danych zrealizowana w oparciu o moduły XBee

Ze względu na planowane zastosowanie sieć bezprzewodowej transmisji danych powinna zapewniać funkcjonowanie systemu w przedsiębiorstwach o różnej wielkości (w rozumieniu liczby pracowników jak i obszaru zakładu pracy). Jednocześnie niewielka ilość danych jakie będą przesyłane w systemie stawia niskie wymagania co do

przepustowości sieci. Z powyższych względów do bezprzewodowej transmisji danych wykorzystano sieć ZigBee [8], zrealizowaną z użyciem modułów Xbee firmy Digi International [9].

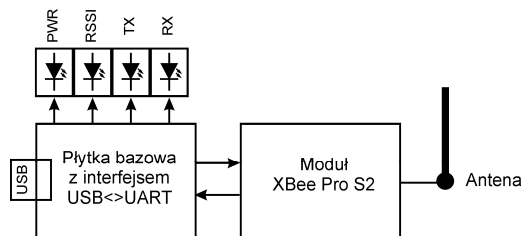
Moduły XBee są gotowymi do użycia, w pełni funkcjonalnymi modemami radiowymi mogącymi, w zależności od zastosowanego oprogramowania pełnić funkcję koordynatora, routera lub węzła końcowego sieci ZigBee. Ich niewątpliwą zaletą jest pełna integracja w obrębie jednego modułu wszystkich elementów niezbędnych do autonomicznego funkcjonowania jako urządzenie ZigBee, w tym mikrokontrolera, oprogramowania i obwodów antenowych. Zmiana funkcji urządzenia jest realizowana poprzez jego zaprogramowanie. Oprogramowanie odpowiadające za realizację wybranej funkcji dostarczane jest przez producenta modułów. Do programowania modułów XBee wykorzystywany jest program X-CTU, umożliwiający jednocześnie odpowiednie skonfigurowanie tego oprogramowania (np. wprowadzenie identyfikatora sieci, w której moduł będzie funkcjonował). Po zaprogramowaniu i podłączeniu do sieci moduł jest gotowy do pracy. Ze względu na swoją kompletność i gotowość do użycia urządzenia XBee mogą być w łatwy sposób zastosowane do tworzenia w pełni funkcjonalnych sieci bezprzewodowej transmisji danych [10].

Firma Digi oferuje wiele modeli modułów XBee różniących się funkcjonalnością, pasmem częstotliwości w którym realizowana jest transmisja, mocą wyjściową nadajnika, czy też rodzajem zastosowanej anteny. W prezentowanym rozwiązaniu zastosowano moduły XBee (moc wyjściowa 1mW) i XBee-PRO (moc wyjściowa 10mW), pracujące w paśmie 2,4 GHz. Oba rodzaje modułów należą do tzw. „Serii 2” umożliwiającej realizację sieci hierarchicznych. Moduły XBee z anteną drutową wykorzystano w węzłach końcowych sieci, natomiast moduły XBee-PRO posiadające złącze antenowe U-FL wykorzystano do wykonania koordynatora sieci natomiast posiadające złącze RP-SMA do wykonania routerów. Każdy z modułów XBee posiada 20 wyprowadzeń, pełniących m.in. funkcje:

- zacisków zasilania modułu (napięcie zasilania w zakresie 2,8 – 3,4V),
- wejścia i wyjścia układu szeregowej transmisji danych,
- wejść lub wyjść cyfrowych (8 wejść/wyjść, 1 wejście),
- wejść analogowych (6 wejść o rozdzielczości 10 bitów i częstotliwość próbkowania do 1 kHz).

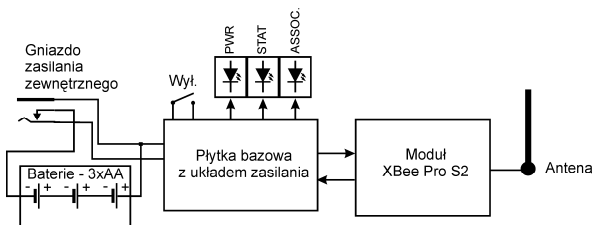
Zastosowane moduły XBee nie umożliwiają realizacji kodu oprogramowania użytkownika. Z punktu widzenia urządzeń zewnętrznych, pełnią rolę interfejsu zapewniającego szeregową transmisję danych między dwoma urządzeniami poprzez sieć ZigBee. Moduły XBee mogą również pełnić rolę aktywną, tzn. odczytywać z określonej częstotliwością i transmitować dane (sygnały) podawane na jego wejścia cyfrowe lub analogowe lub też ustawiać swoje wyjścia cyfrowe zgodnie z otrzymanymi danymi programującymi. Mimo wymienionych ograniczeń, liczba funkcji jakie może pełnić moduł XBee jest jednak wystarczająca do zastosowania go w systemie do zdalnego monitorowania narażenia na hałas użytkowników nauszników przeciwhałasowych.

Na rysunku 1 przedstawiono schemat blokowy koordynatora sieci ZigBee zrealizowanego w oparciu o moduł XBee-PRO. Połączenie koordynatora sieci ZigBee z komputerem stanowiącym centralę systemu wymagało zastosowania interfejsu USB<->UART umożliwiającego komunikację obu urządzeń. Zastosowana płytka interfejsu stanowi jednocześnie płytkę bazową dla modułu XBee. Z punktu widzenia systemu komputerowego koordynator sieci widziany jest jako port szeregowy (COM), poprzez który pobierane są dane o hałasie. Układy elektroniczne koordynatora zasilane są bezpośrednio z portu USB.



Rys.1. Schemat blokowy koordynatora sieci ZigBee zrealizowanego w oparciu o moduł XBee.

Na rysunku 2 przedstawiono schemat blokowy routera sieci ZigBee zrealizowanego w oparciu o moduł XBee-PRO.



Rys.2. Schemat blokowy routera sieci ZigBee zrealizowanego w oparciu o moduł XBee.

W konstrukcji routera zastosowano płytkę bazową dla modułu XBee, zawierającą układ zasilania ze stabilizatorem napięcia o napięciu wyjściowym 3V oraz przyłącza diod LED sygnalizujących działanie routera. W opracowanej konstrukcji przewidziano możliwość zasilania baterijnego jak i możliwość zasilania z zewnętrznego zasilacza napięcia stałego 5V. Po wpięciu modułu XBee do płytki bazowej i podłączeniu anteny zewnętrznej do modułu XBee router jest gotowy do pracy.

Budowa urządzenia końcowego sieci

Układy elektroniczne tworzące urządzenie końcowe sieci, składające się z kompletu układów pomiarowych i modułu radiowego XBee zgodnie z koncepcją systemu wbudowane są w czasie nausznika przeciwhałasowego. Obecnie na rynku dostępnych jest wiele rodzajów nauszników przeciwhałasowych z wbudowanymi układami elektronicznymi m.in. z aktywną redukcją hałasu [11], z

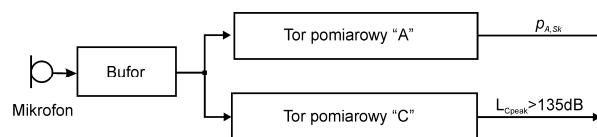
regulowanym tłumieniem, z komunikacją radiową (radiotelefonem), z radioodbiornikami i odtwarzaczami muzycznymi. Nie istnieją zatem formalne ani techniczne przeszkody do opracowania nauszników przeciwhałasowych z wbudowanymi układami do pomiarów hałasu pod czasami tych nauszników.

Układy pomiarowe zastosowane w nausznikach powinny umożliwiać wyznaczenie wartości wielkości charakteryzujących hałas w środowisku pracy [1] lub co najmniej wskazywać na wystąpienia przekroczenia ich wartości dopuszczalnych. Wielkościami tymi są:

- poziom ekspozycji na hałas odniesiony do 8-godzinnego dobowego wymiaru czasu pracy, $L_{EX,8h}$, (wartość dopuszczalna 85 dB), lub odpowiadająca mu dzienna ekspozycja na hałas, $E_{A,Td}$, (wartość dopuszczalna $3,64 \cdot 10^3 \text{ Pa}^2 \cdot \text{s}$),
- maksymalny poziom dźwięku A, L_{Amax} (wartość dopuszczalna 115 dB),
- szczytowy poziom dźwięku C, L_{Cpeak} (wartość dopuszczalna 135 dB).

Konstrukcja układu pomiarowego stanowi kompromis pomiędzy ilością i dokładnością przetwarzanych danych pomiarowych a jego zapotrzebowaniem na energię elektryczną oraz kosztami wytworzenia i eksploatacji, mającymi decydujące znaczenie dla upowszechnienia proponowanego rozwiązania. Przyjęto zatem, że układy pomiarowe zostaną zrealizowane w technice analogowej, a ich sygnały wyjściowe będą niosły informację o wartości skutecznej ciśnienia akustycznego skorygowanego charakterystyką częstotliwościową A oraz informację o wystąpieniu przekroczenia wartości dopuszczalnej szczytowego poziomu dźwięku C. Znajomość wartości skutecznej ciśnienia akustycznego skorygowanego charakterystyką częstotliwościową A jest niezbędna do wyznaczenia na drodze obliczeniowej: dziennej ekspozycji na hałas, poziomu ekspozycji na hałas odniesionego do 8-godzinnego dnia pracy oraz maksymalnego poziomu dźwięku A.

Schemat blokowy układu pomiarowego urządzenia końcowego pokazano na rysunku 3. Sygnał z mikrofonu pomiarowego (wkładka mikrofonowa elektretowa) po przejściu przez bufor trafia do dwóch torów pomiarowych.



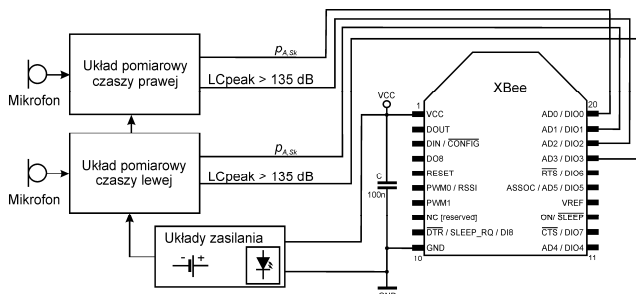
Rys.3. Schemat blokowy układu pomiarowego.

Zadaniem pierwszego toru, nazywanego dalej torem A, jest uzyskanie na wyjściu sygnału odpowiadającego wartości skutecznej ciśnienia akustycznego skorygowanego charakterystyką częstotliwościową A, $p_{A,Sk}$. Tor ten zawiera w swojej strukturze filtr korekcyjny o charakterystyce odpowiadającej charakterystyce częstotliwościowej A [1] oraz przetwornik wartości skutecznej. Przetwornik wartości skutecznej zbudowano w oparciu o układ LTC1966, będący scalonym przetwornikiem True RMS. Jest to układ, który może być zasilany napięciem niesymetrycznym w zakresie od 2,7 do 5,5 V i charakteryzujący się dużą dokładnością dla sygnałów o częstotliwościach takich jak sygnały przetwarzane w ekspozymetrze (błąd w granicach 0,1% dla sygnałów o częstotliwości do 2 kHz i 1% dla sygnałów o częstotliwości do 20kHz).

Zadaniem drugiego toru, nazywanego dalej torem C, jest uzyskanie na wyjściu sygnału informującego o przekroczeniu przez hałas wartości dopuszczalnej szczytowego poziomu dźwięku C. Tor ten zawiera w swojej

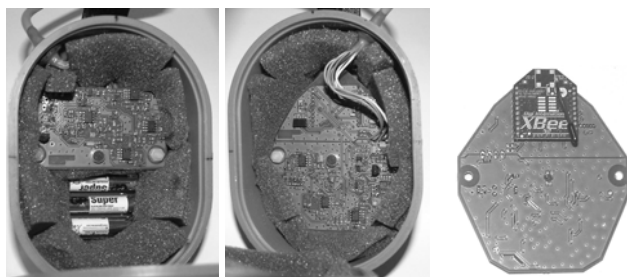
strukturze filtr korekcyjny o charakterystyce odpowiadającej charakterystyce częstotliwościowej C [1] oraz przetwornik wartości szczytowej. Sygnał wyjściowy z przetwornika wartości szczytowej porównywany jest (z wykorzystaniem komparatora) z napięciem odniesienia odpowiadającemu 135 dB szczytowego poziomu dźwięku C. Przekroczenie przez sygnał akustyczny wartości dopuszczalnej szczytowego poziomu dźwięku C następuje zazwyczaj w bardzo krótkich odcinkach czasu. Biorąc pod uwagę przedstawione dalej szczegóły techniczne realizacji urządzenia końcowego, może to być czas zbyt krótki do prawidłowego zarejestrowania przekroczenia. Z tego względu sygnał z komparatora podawany jest na wejście przetwornika monostabilnego, zbudowanego w oparciu o dwie bramki logiczne NAND i pozwalającego zapamiętać wystąpienie przekroczenia na dłuższy, zadany wartościami elementów RC okres czasu.

Schemat blokowy gotowego urządzenia końcowego ze sposobem podłączenia układów pomiarowych do modułu XBee przedstawiono na rysunku 4.



Rys.4. Schemat blokowy urządzenia końcowego z modułem XBee.

Wyjścia torów pomiarowych podłączone są do wejść A0-A3 przetwornika analogowo-cyfrowego modułu XBee. Dotyczy to, zarówno sygnałów informujących o wartości skutecznej ciśnienia akustycznego skorygowanego charakterystyką częstotliwościową A, jak i o przekroczeniu wartości dopuszczalnej szczytowego poziomu dźwięku C. Fizycznie układ zrealizowano na dwóch płytkach drukowanych (rysunek 5). Płytkę umieszczoną w czaszy prawej modelowego słuchawki zawiera jeden układ pomiarowy oraz moduł XBee, natomiast płytkę umieszczoną w czaszy lewej zawiera drugi układ pomiarowy. W czaszy lewej umieszczono również ogniwa zasilające.



Rys.5. Czasze modelowego ochronnika słuchu z zamontowanymi płytkami drukowanymi urządzenia końcowego (po lewej) oraz widok z dołu płytki z zamontowanym modułem XBee (po prawej).

Do zasilania urządzenia końcowego zastosowano trzy, połączone szeregowo ogniwa AAA lub AAAA, których napięcie jest stabilizowane do wartości 3V. Takie rozwiązanie pozwala na maksymalne wykorzystanie energii elektrycznej zgromadzonej w bateriach (przy uwzględnieniu stopniowego spadku napięcia na ogniwach w miarę zużycia energii elektrycznej) lub zastosowanie w układzie zasilania akumulatorów.

Na zakres dynamiki przetwarzanych w urządzeniu końcowym sygnałów wpływ mają z jednej strony zastosowane napięcia zasilania oraz maksymalna wartość napięcia wejściowego dla przetwornika A/C modułu XBee, wynosząca 1,2V a z drugiej szumy własne układu i niedokładność przetwarzania przetwornika True RMS. Zakładając, że maksymalna wartość poziomu dźwięku A, przetwarzanego w układzie wynosi 115 dB (przy wyższych poziomach narażenia na hałas praca jest niedopuszczalna) dolny zakres przetwarzania otrzymamy dla poziomu ok. 75 dB. Zakres ten można uznać za dostateczny do przybliżonej oceny narażenia na hałas pracownika stosującego słuchawki przeciwhałasowe.

Moduł XBee urządzenia końcowego w określonych interwałach czasu T_i próbkuje sygnały podawane na wejścia przetwornika analogowo-cyfrowego i przesyła ich wartość do centrali systemu. Na podstawie przesłanej wartości skutecznej ciśnienia akustycznego skorygowanego charakterystyką częstotliwościową A, w centrali systemu wyznaczana jest maksymalna wartość poziomu dźwięku A oraz wartość ekspozycji na hałas.

Okres czasu T_i pomiędzy kolejnymi pomiarami decyduje o ilości przesyłanych w ciągu dnia do centrali systemu danych oraz o zużyciu energii elektrycznej. W chwili uruchomienia nadajnika modułu XBee pobór prądu może dochodzić do 40 mA. Wprawdzie czas włączenia nadajnika jest bardzo krótki, jednak ma on duże znaczenie dla bilansu zużycia energii elektrycznej. Dla okresu pomiędzy kolejnymi pomiarami wynoszącego 10 s, średni pobór prądu przez układ wynosił 12 mA, podczas gdy średni pobór prądu bez włączonego nadajnika wynosił 6 mA. Wydłużanie czasu pomiędzy kolejnymi pomiarami zmniejsza wprawdzie zużycie energii elektrycznej, może jednak prowadzić do znaczących błędów pomiarowych, wynikających z możliwych szybkich zmian poziomu ciśnienia akustycznego hałasu w odstępach pomiędzy kolejnymi pomiarami. Z tego względu korzystne jest wykonywanie pomiarów w jak najmniejszych odstępach czasowych, np. jednosekundowych lub krótszych.

Centrala systemu

Centrala systemu jest komputerem, do którego poprzez port USB dołączony jest koordynator sieci ZigBee. Oprogramowanie centrali, zrealizowane w języku JAVA, i współpracuje z oprogramowaniem bazodanowym MySQL. Informacje na temat słuchawek przeciwhałasowych funkcjonujących w systemie i ich użytkowników oraz informacje na temat narażenia na hałas gromadzone są w odpowiednich tabelach bazy danych. Oprogramowanie centrali umożliwia wprowadzanie nowych oraz edytowanie istniejących informacji o słuchawkach i użytkownikach, podgląd (na bieżąco) informacji o narażeniu na hałas danego pracownika, oraz przeglądanie danych o narażeniu z poprzednich sesji pomiarowych.

Podsumowanie

W artykule przedstawiono przykład realizacji systemu do zdalnego monitorowania narażenia na hałas pracowników używających słuchawki przeciwhałasowe, działającego w oparciu o moduły XBee. System taki może być zastosowany do nadzoru prawidłowego użytkowania słuchawek przeciwhałasowych przyczyniając się do ograniczania narażenia pracowników na ponadnormatywny hałas. Może być również zastosowany w szkoleniach dotyczących użytkowania słuchawek przeciwhałasowych. Zastosowanie w prezentowanym rozwiązaniu modułów XBee pozwoliło w szybki i skuteczny sposób zrealizować funkcjonalny model systemu. Z drugiej jednak strony brak możliwości wykonywania kodu programu użytkownika w

urządzeniach końcowych, realizującego operacje arytmetyczne na próbkach mierzonych sygnałów powoduje pewne ograniczenia w funkcjonalności systemu i wpływa na jego dokładność.

Publikacja opracowana na podstawie wyników II etapu programu wieloletniego pn. „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, finansowanego w latach 2011-2013 w zakresie zadań służb państwowych przez Ministerstwo Pracy i Polityki Społecznej. Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy-Państwowy Instytut Badawczy.

LITERATURA

- [1] Engel Z., Koradecka D., Augustyńska D., P. Kowalski, Morzyński L., Żera J.: *Zagrożenia wibroakustyczne*, [w:] Koradecka D. (red.): *Bezpieczeństwo i higiena pracy*, CiOP-PIB, Warszawa 2008.
- [2] Augustyńska D., Pleban D., Radosz J., *Zagrożenia hałasem na stanowiskach pracy w Polsce i innych państwach Unii Europejskiej*, *Medycyna Pracy*, 63 (2012), nr.6, 689 – 700.
- [3] Rozporządzenie Ministra Gospodarki i Pracy z dnia 5 sierpnia 2005 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy pracach związanych z narażeniem na hałas lub drgania mechaniczne, DzU nr 157, poz.1318.
- [4] Kozłowski E., Kotarbińska E., Lipowczan A., *Real world efficiency of ear-muffs: measurements at noisy work-stands*. Proc. of. Inter-Noise 2004, 22 – 25 sierpnia 2004, Praga, Czechy.
- [5] Canetto P., *Hearing Protectors: Topicality and Research Needs*; *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics (JOSE)*, 2009; 15(2), 141-153
- [6] Kotarbińska E., Kozłowski E., *Measurement of Effective Noise Exposure of Workers Wearing Ear-Muffs*, *JOSE*, 2009; 15(2), 193-200
- [7] Morzyński L., *Koncepcja systemu zdalnego nadzoru użytkownika nauszników przeciwhałasowych*, *Praca i Zdrowie*, 3, 2013 str. 31 – 33.
- [8] ZigBee Alliance <http://www.zigbee.org>
- [9] Digi International <http://www.digi.com/>
- [10] Borowik B., Kurytnik I. P., *Measuring vibration parameters with ZigBee Sensor Network in Aspects of Driver Safety*, *Przedłód Elektrotechniczny*, 2a, 2013, str. 98 – 100.
- [11] Pawełczyk M., *Analogue active noise control*, *Applied Acoustics*, tom 63, nr 11, 2002, str. 1193 – 1213.

Autor: dr inż. Leszek Morzyński, Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Czerniakowska 16, 00-701 Warszawa, E-mail: lmorzyns@ciop.pl.