

INFRASTRUKTURA SYSTEMU DO MONITOROWANIA AKTYWNOŚCI OSÓB STARSZYCH INFRASTRUCTURE OF THE ELDERLY ACTIVITY MONITORING SYSTEM

Wojciech Hrycenko¹; Michał Twarowski²; Vitomir Djaja-Joško³

¹ Politechnika Warszawska, Warszawa, Wojciech.Hrycenko.stud@pw.edu.pl

² Politechnika Warszawska, Warszawa, Michal.Twarowski3.stud@pw.edu.pl

³ Politechnika Warszawska, Warszawa, Vitomir.Djaja-Josko@pw.edu.pl

Streszczenie: Według badań, wśród starszych osób coraz częściej obserwowany jest spadek motywacji do podejmowania działań i pogorszenie zdrowia. Potencjalnym sposobem na zwiększenia ich jakości życia jest rozwijanie systemów ICT, działających zgodnie z paradygmatami Positive Health i Healthy Aging. Taki system jest opracowywany w ramach projektu CAREUP. Jednym z jego zadań ma być monitorowanie aktywności osób starszych z wykorzystaniem zestawu czujników środowiskowych oraz urządzeń noszonych (etykiet). Centralną częścią systemu jest infrastruktura złożona z węzłów odbierających dane od czujników i etykiet oraz bramki przekazującej dane do chmury (lub serwera) z wykorzystaniem łącza LTE-M. W referacie przedstawiono architekturę systemu i opisano sterowniki węzłów oraz bramki gromadzącej i przetwarzającej dane.

Abstract: According to the recent research, an increasing decline in the motivation to take actions and health deterioration is observed among seniors. One of the possible ways of improving the seniors' quality of life is utilization of the ICT-based assisting-systems working in line with the Positive Health and Healthy Aging paradigms. Such system is developed within the CAREUP project. One of its main goals is activity monitoring of the seniors using the set of the environmental sensors and wearables (tags). Core part of the system is its infrastructure that consist of the anchor nodes responsible for the reception of the data sent by the sensors and tags and the gateway relaying the data to the cloud (or server) using the LTE-M link. In the paper system's architecture is presented together with the description of the anchors and the gateway.

Słowa kluczowe: BLE, LTE-M, monitorowanie aktywności

Keywords: activity monitoring, BLE, LTE-M.

1. WSTĘP

Żyjemy w starzejącym się społeczeństwie. Według szacunków w Europie w 2060 roku osoby w wieku powyżej 65 lat będą stanowiły ok. 28% całej populacji [5]. Postępy, jakie czyni współczesna medycyna sprawiają, że ludzie żyją dłużej. Niestety nie zawsze wiąże się to z zachowaniem pełni zdrowia, czy całkowitej samodzielności. Wiele z tych osób może cierpieć na różnego rodzaju choroby i wymagać opieki. W większości przypadków (ok. 80%) taką opiekę zapewniają rodzina, przyjaciele bądź pracownicy sektora opieki zdrowotnej [15]. Widać więc, że konieczne jest opracowywanie systemów zapewniających wsparcie tym osobom. W literaturze można znaleźć różne przykłady takich systemów. Warto wśród

nich wyróżnić system NITICS [2], będący platformą integrującą systemy automatyki domowej, system lokalizacyjny oraz interfejsy do powiadamiania opiekunów.

Niemniej jednak, nawet osobom starszym nietkniętym żadnymi dolegliwościami powinna być dostarczona opieka, w ramach której można wyróżnić dwa podstawowe cele:

- zapewnienie poczucia bezpieczeństwa poprzez monitorowanie aktywności i stanu zdrowia osoby objętej opieką, aby móc na bieżąco wykrywać sytuacje potencjalnie zagrażające życiu (np. upadek),
- długofalowe analizowanie danych dotyczących aktywności i danych medycznych (np. ciśnienia krwi, wagi, poziomu cukru) w celu wczesnego wykrywania ewentualnych zmian chorobowych.

W kwestii systemów przeznaczonych do monitorowania aktywności osób starszych można wyróżnić trzy podstawowe kategorie systemów:

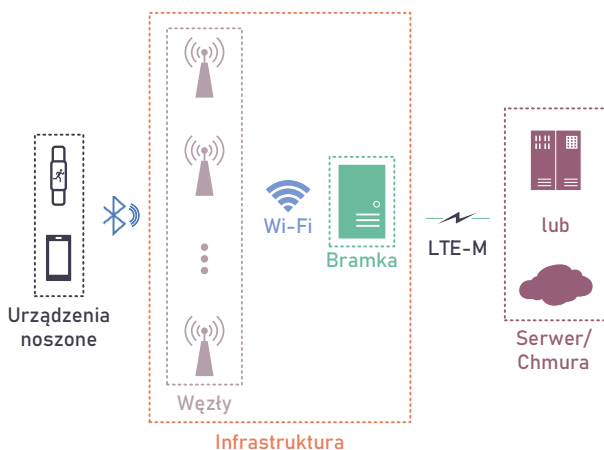
- wizyjne, których działanie oparte jest na kamerach [6], co może wzbudzać wątpliwości w kwestii prywatności oraz budzić pytania natury etycznej,
- oparte na czujnikach instalowanych w domach, przykładowo czujnikach zbliżeniowych czy podczerwieni lub elementach automatyki domowej (np. czujnikach otwierania drzwi) [3], co nie zawsze może zapewniać pożądaną dokładność,
- oparte na czujnikach noszonych przez osoby starsze [14], co zapewnia dużą dokładność, ale nie zawsze może być komfortowe, szczególnie przy długotrwałym użytkowaniu.

W niniejszym referacie skupiono się na koncepcji infrastruktury systemu do monitorowania aktywności starszych osób z wykorzystaniem urządzeń noszonych (np. inteligentnych opasek) wyposażonych w czujniki inercyjne.

Struktura referatu jest następująca. W rozdziale drugim przedstawiono ogólną architekturę omawianego systemu. W rozdziałach trzecim i czwartym opisano odpowiednio sterowniki węzłów oraz bramki. Natomiast referat podsumowano w rozdziale piątym.

2. OGÓLNA ARCHITEKTURA SYSTEMU

Na rys. 1 przedstawiono ogólną architekturę systemu do monitorowania aktywności osób starszych.



Rys. 1 Ogólna architektura systemu do monitorowania aktywności

System składa się z trzech podsystemów – urządzeń noszonych przez osoby starsze (np. inteligentnych opasek lub etykiet), infrastruktury, której zadaniem jest odbieranie danych od urządzeń noszonych (interfejs BLE), ich wstępne przetwarzanie oraz przekazywanie do chmury lub serwera (interfejs LTE-M) na których zaimplementowana jest cała logika sterująca pracą systemu, analizująca na bieżąco dane, podejmująca na ich podstawie pewne decyzje oraz dostarczająca informacje do ewentualnych interfejsów użytkownika.

Infrastruktura składa się z węzłów oraz bramki. Węzły powinny być wyposażone w interfejsy radiowe (BLE i Wi-Fi), umożliwiające komunikację zarówno z etykietami, jak i z bramką, natomiast bramka powinna być wyposażona w modem komórkowy (LTE-M) umożliwiający przesyłanie danych do serwera lub chmury.

Taka architektura umożliwia elastyczny, dostosowany do potrzeb danej instalacji systemu, dobór liczby węzłów, z zachowaniem jednej bramki agregującej pochodzące z nich dane (w tym celu wykorzystano interfejs Wi-Fi), dokonującej wstępnych obliczeń i analizy danych i przesyłającej je za pomocą łącza LTE-M do serwera bądź chmury (co uniezależnia instalację systemu od innych interfejsów komunikacyjnych dostępnych w domu osoby starszej). Z kolei interfejs BLE między urządzeniami noszonymi a węzłami gwarantuje stabilność i energooszczędną pracę.

Takie podejście jest innowacyjne względem innych rozwiązań, np. systemu NITICS [2] czy niektórych komercyjnych systemów, przykładowo [8] (opaska noszona przez osobą starszą, parowana ze smartfonem).

Liczba węzłów stosowanych w systemie zależy przede wszystkim od rozmiaru obsługiwanego obszaru i jego specyfiki i nie można jej określić w sposób ogólny. Jednakże, można się pokusić o wstępne szacowanie, że dla przeciętnego mieszkania nie przekroczy ona liczby kilku sztuk.

3. STEROWNIK WĘZŁA SYSTEMU

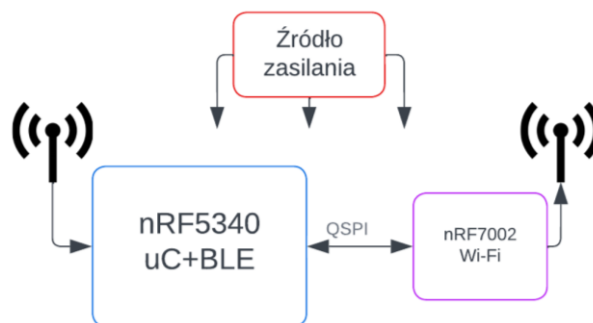
3.1. Ogólne założenia sterownika węzła

W systemie do monitorowania aktywności osób starszych bardzo ważną rolę odgrywa węzeł, który pośredniczy między jednostkowymi urządzeniami końcowymi, a zbiorczym urządzeniem bramki. Jego zadaniem jest zbieranie danych w formie pakietowej, rozgłaszanych protokołem BLE przez urządzenia pomiarowe (etykiety) oraz wysyłanie ich w odpowiedniej formie do węzła bramki za pomocą protokołu Wi-Fi.

Urządzenie węzła musi sprostać ściśle określonym wymaganiom czasowym podczas odbierania i analizy pakietów BLE. Potrzebny jest wówczas system czasu rzeczywistego, który obsługując mikrokontroler pozwoli na określenie ściśle ograniczonego czasu trwania procedury przetwarzania.

3.2. Schemat blokowy sterownika węzła

Na rys. 2 przedstawiono schemat węzła w postaci diagramu blokowego. Infrastruktura składa się z modułów radiowych (wraz z antenami), modułów przetwarzających dane (nRF5340 obsługującego BLE oraz kontrolera Wi-Fi nRF7002) oraz sekcji zasilania.



Rys. 2. Schemat blokowy modułu węzła

3.3. Opis modułów sterownika węzła

Moduł nRF5340 jest wielordzeniowym SoC (ang. System on Chip) zapewniającym nadzwyczajnie niski pobór prądu na poziomie 21,5mA w trybie pełnego obciążenia [10] oraz implementującym interfejsy bezprzewodowe. Jest to pierwszy tego typu układ zawierający jednocześnie dwa rdzenie Arm Cortex – M33 zdefiniowane jako: rdzeń sieciowy (Network Core) i rdzeń aplikacyjny (Application Core) [8]. Rdzeń sieciowy pozwala na integrację zasobów sieciowych – protokołu BLE wraz ze stosem i obsługą części radiowej, natomiast rdzeń aplikacyjny umożliwia równoczesne wykonywanie zadań zdefiniowanej aplikacji.

Moduł nRF7002 jest układem scalonym, który wdraża Wi-Fi 6 generacji w rozwiązaniach wymagających pracy w ograniczonym zakresie mocy. Implementuje on warstwę fizyczną (PHY) oraz warstwę kontroli dostępu do medium (MAC). Dzięki ograniczeniu do dwóch najniższych warstw protokołów modelu OSI, moduł ten jest wyjątkowo szybki i energooszczędny. Maksymalna szybkość transmisji jaką pozwala osiągnąć nRF7002 to 86 Mbps w warstwie fizycznej, która jednak jest ograniczona przepustowością interfejsu QSPI do 56 Mbps. Urządzenie pobiera maksymalnie 260 mA prądu podczas

nadawania sygnałów w paśmie 5 GHz z maksymalną mocą [11][12].

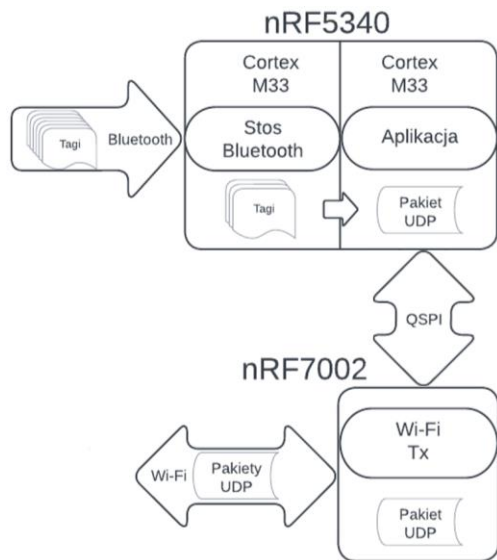
3.4. Wyzwania stawiane sterownikowi bramki

Dodatkową wartością wydaje się być potencjał wielordzeniowości, jaki zapewnia układ nRF5340. Jednoczesne przetwarzanie odebranych pakietów oraz nadawanie i odbieranie w dwóch różnych protokołach wymaga dużej złożoności obliczeniowej, czemu sprostać jest w stanie opisany SoC.

Na tym etapie nie ustalono jeszcze struktur danych przesyłanych w systemie, natomiast przyjęto założenie, że może być wiele urządzeń noszonych i wiele węzłów, co może generować znaczne ilości danych.

3.5. Schemat działania sterownika węzła

Podstawowym elementem węzła jest SoC nRF5340, obsługujący protokół BLE w ramach jednego z dwóch rdzeni Cortex M33. Drugi rdzeń nRF5340 umożliwia implementację dowolnej aplikacji działającej równolegle ze stosem BLE [9], która w tym przypadku ma za zadanie przetworzyć pakiety odebrane w interfejsie BLE oraz stworzyć z nich zbiorczy pakiet UDP, który zostanie wysłany do bramki systemu, za pomocą protokołu Wi-Fi. Na rys. 3 jest przedstawiony schemat działania węzła.



Rys. 3 Schemat blokowy działania urządzenia

4. STEROWNIK BRAMKI SYSTEMU

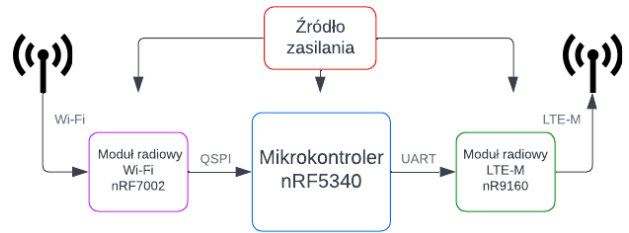
4.1. Ogólne założenia sterownika bramki

Równie ważna dla opisywanego systemu monitorowania aktywności osób starszych jest bramka (sterownik) systemu pośrednicząca w komunikacji pomiędzy sterownikiem węzła systemu a serwerem (bądź chmurą). Opisywana bramka ma za zadanie w pierwszej kolejności odbierać dane od sterownika węzła z wykorzystaniem interfejsu radiowego Wi-Fi. Następnie ma ona realizować wstępne przetwarzanie a także analizę danych z węzła systemu, przechowywanie ich na wypadek problemów z dalszym przesyłaniem oraz agregację pakietów. Ostatnim zadaniem bramki jest przesyłanie przetworzonych pakietów do serwera bądź chmury z wykorzystaniem sieci komórkowej.

W związku z postawionymi wymaganiami bramka musi w tym samym czasie komunikować się wykorzystując dwa typy interfejsów radiowych oraz przechowywać i przetwarzać przekazywane dane. Determinuje to wykorzystanie wydajnego mikrokontrolera i oprogramowanie go z wykorzystaniem systemu czasu rzeczywistego.

4.2. Schemat blokowy sterownika bramki

Na rys. 4 przedstawiono schemat blokowy sterownika bramki. Jego podstawowymi elementami są: moduły radiowe Wi-Fi – nRF7002 [11][12] i LTE-M – nRF9160 [13] oraz układ sterujący ich pracą oraz przetwarzający dane – mikrokontroler nRF5340 [9][10].



Rys. 4. Schemat blokowy modułu bramki

4.3. Opis modułów sterownika bramki

Moduł SIP (ang. System in Package) nRF9160 to moduł komunikacyjny firmy Nordic Semiconductor, zaprojektowany z myślą o zastosowaniach w dziedzinie Internetu Rzeczy (IoT) [4]. Moduł ten oparty jest na układzie, który łączy w sobie procesor ARM Cortex-M33 z rdzeniem ARMv8-M i moduł komunikacyjny LTE-M/NB-IoT zgodny z normami 3GPP LTE wersja 13 Cat-M1 i Cat-NB1 oraz 3GPP LTE wersja 14 Cat-NB1 i Cat-NB2 [7].

Zestaw urządzeń peryferyjnych oferuje różnorodne funkcje analogowe i cyfrowe, umożliwiające jednoczesną implementację szerokiej gamy aplikacji komórkowych IoT.

Modem LTE integruje bardzo elastyczny układ radiowy, który sprzętowo obsługuje zakres częstotliwości od 700 do 2200 MHz (poprzez pojedyncze złącze antenowe) oraz procesor pasma podstawowego, obsługujący warstwy L1-L3 protokołów LTE Cat-M1/NB1/NB2 oraz górne warstwy protokołu IP oferujące interfejs API dla aplikacji. Modem może być obsługiwany przez oprogramowanie Nordic Semiconductor, umożliwiające min. sterownie przy pomocy komend AT.

Moduły nRF7002 i nRF5340 zostały opisane bardziej szczegółowo sekcji 3.3.

4.4. Wyzwania stawiane sterownikowi bramki

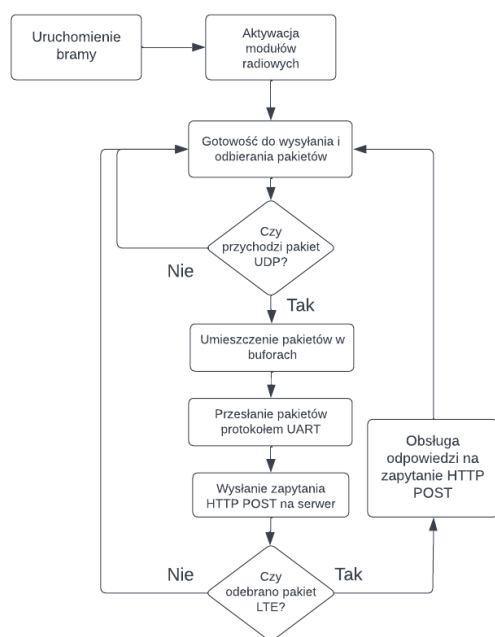
W kontekście zastosowania wymienionych modułów w sterowniku bramki systemu należy podkreślić ich cechy spójne ze stawianymi założeniami.

Moduły nRF7002 i nRF9160 implementują najnowsze standardy Wi-Fi 6 i LTE-M dzięki czemu zapewniają wysoką przepustowość łącza i perspektywę długoterminowej kompatybilności. Chociaż istnieje potencjalna możliwość wdrożenia technologii 5G, obecna powszechność i dostępność sieci LTE-M sprawia, że moduły te są preferowanym wyborem.

4.5. Schemat działania sterownika bramki

Na rys. 5 przedstawiono schemat działania bramki od momentu jej uruchomienia.

W pierwszej kolejności po uruchomieniu sterownika bramki inicjalizowany jest moduł LTE w nRF9160. Po kilkunastu sekundach i nawiązaniu połączenia LTE urządzenie jest gotowe do działania. Węzły wysyłają pakiet UDP na adres IP modułu Wi-Fi nRF7002, będącego częścią bramki. W ramach modułu nRF7002 są one odbierane i selekcjonowane, a następnie przekazywane do mikrokontrolera nRF5340. Realizuje on wstępne przetworzenie i agregację pakietów. Części pakietów z danymi do wysłania są przekazywane do struktury komendy AT, mającej wysłać zapytanie http POST na serwer. Utworzone w ten sposób wiadomości są umieszczane w buforach, które są wysyłane z wykorzystaniem protokołu UART do nRF9160, gdzie następuje realizacja komend AT i wysłanie zapytania.



Rys. 5 Schemat blokowy działania urządzenia

5. PODSUMOWANIE

W pracy przedstawiono ogólną architekturę systemu do monitorowania aktywności osób starszych. Centralną częścią takiego systemu jest jego infrastruktura złożona z węzłów odbierających dane od etykiet oraz bramki będącej stykiem między węzłami, a serwerem, bądź chmurą. Sterowniki węzłów oraz bramki powinny umożliwić wstępne przetwarzanie danych. Opracowana architektura i wykorzystanie najnowszych standardów powinny zapewnić elastyczność konfiguracji systemu i niezawodność jego działania.

Przedstawione sterowniki węzłów oraz bramki wyposażone są w najnowsze interfejsy radiowe Wi-Fi 6 i LTE-M oraz dwurdzeniowe mikrokontrolery mogące sprostać wszystkim stawianym im wymaganiom.

W referacie przedstawiono wyniki prac realizowanych w ramach projektu finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju w ramach programu AAL Call 2021 nr umowy AAL/AALCall2021/52/CAREUP/2022 [1].

LITERATURA

- [1] Active and Assisted Living Programme; CAREUP Project Description, dostęp 6.05.2023 <http://www.aal-europe.eu/projects/careup/>
- [2] Active and Assisted Living Programme; NITICS Project Description, dostęp 6.05.2023, <https://www.aal-europe.eu/projects/nitics/>
- [3] Akl, Ahmad, Babak Taati, i Alex Mihailidis. „Autonomous Unobtrusive Detection of Mild Cognitive Impairment in Older Adults”. IEEE Transactions on Biomedical Engineering. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), maj 2015. <https://doi.org/10.1109/tbme.2015.2389149>.
- [4] Vishnubhatla, Arvind. 2020. “Cellular IOT Using nRF9160kit”. International Journal of Online and Biomedical Engineering (iJOE) 16 (15):pp. 34-44. <https://doi.org/10.3991/ijoe.v16i15.18987>
- [5] European Commission. The 2015 Ageing Report—Economic and Budgetary Projections for the 28 EU Member States (2013–2060); European Economy 3|2015; Directorate-General for Economic and Financial Affairs, Publications Office of the European Union: Brussels, Belgium, 2015.
- [6] Chen, Datong, Ashok J. Bharucha, i Howard D. Wactlar. „Intelligent Video Monitoring to Improve Safety of Older Persons”. 2007 29th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. IEEE, sierpień 2007. <https://doi.org/10.1109/iembs.2007.4353163>.
- [7] Gabelle, Florian. “Narrowband-IOT power saving modes – A comprehensive study”. Praca inżynierska. Oulu: Information Technology, Oulu University of Applied Sciences, 2021
- [8] Opaska dla seniora, dostęp 20.06.2023, <https://opaskadlaseniora.pl/>
- [9] nRF5340 – Nordic Semiconductor, dostęp 6.05.2023, <https://www.nordicsemi.com/Products/nRF5340>
- [10] nRF5340 – Nordic Semiconductor Product Specification, dostęp 6.05.2023, https://infocenter.nordicsemi.com/pdf/nRF5340_PS_v1.3.pdf
- [11] nRF7002 – Nordic Semiconductor, 6.05.2023, <https://www.nordicsemi.com/Products/nRF7002>
- [12] nRF7002 – Nordic Semiconductor Product Specification, 6.05.2023, https://infocenter.nordicsemi.com/pdf/nRF7002_PS_v1.0.pdf
- [13] nRF9160 – Nordic Semiconductor, dostęp 6.05.2023 <https://www.nordicsemi.com/products/nrf9160>
- [14] Vuong, N. K., S. Chan, C. T. Lau, S. Y. W. Chan, P. L. K. Yap, i A. S. H. Chen. „Preliminary Results of Using Inertial Sensors to Detect Dementia- Related Wandering Patterns”. 2015 37th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC). IEEE, sierpień 2015. <https://doi.org/10.1109/embc.2015.7319197>.
- [15] Strategy 2014–2020 for the Active and Assisted Living Programme, AAL, dostęp 6.05.2023, http://www.aal-europe.eu/wp-content/uploads/2015/11/20151001-AAL-Strategy_Final.pdf