



Zastosowania sieci sensorowej do badania parametrów życiowych człowieka

RAFAŁ NOGŁY¹, MARIAN WNUK

¹Wojskowa Akademia Techniczna, Szkoła Doktorska, ul. gen. S. Kaliskiego 2B,
00-908 Warszawa, rafal.nogly@wat.edu.pl

Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Elektroniki, ul. gen. S. Kaliskiego 2,
00-908 Warszawa, marian.wnuk@wat.edu.pl

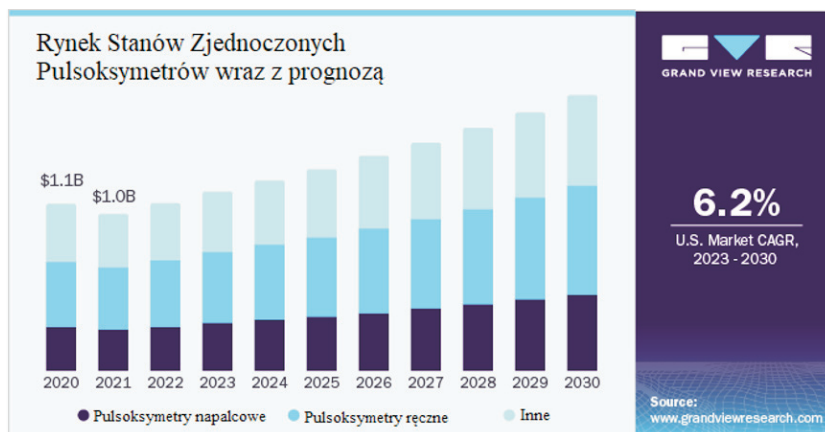
Streszczenie. Artykuł koncentruje się na dostępnych urządzeniach wykorzystywanych w sieciach sensorowych do badania parametrów życiowych człowieka, a także wiedzy dotyczącej sensorów i ich wrażliwości na zakłócenia elektromagnetyczne. Przedstawiono podstawowe pojęcia opisujące badaną problematykę, które pozwalają na jej zrozumienie. Dodatkowo wskazano na wymagania dotyczące implementacji sieci sensorowej według wymagań służb. Pozwoli to na zobrazowanie problematyki dotyczącej opracowania uniwersalnej sieci sensorowej podwyższającej bezpieczeństwo żołnierza na polu walki. Należy mieć również na uwadze, że przy docelowej implementacji konieczne będzie przeprowadzenie dodatkowych badań w utrudnionych warunkach ze względu na promieniowanie elektromagnetyczne.

Słowa kluczowe: sieć sensorowa, sensory, parametry życiowe, promieniowanie elektromagnetyczne, zakłócenia elektromagnetyczne.

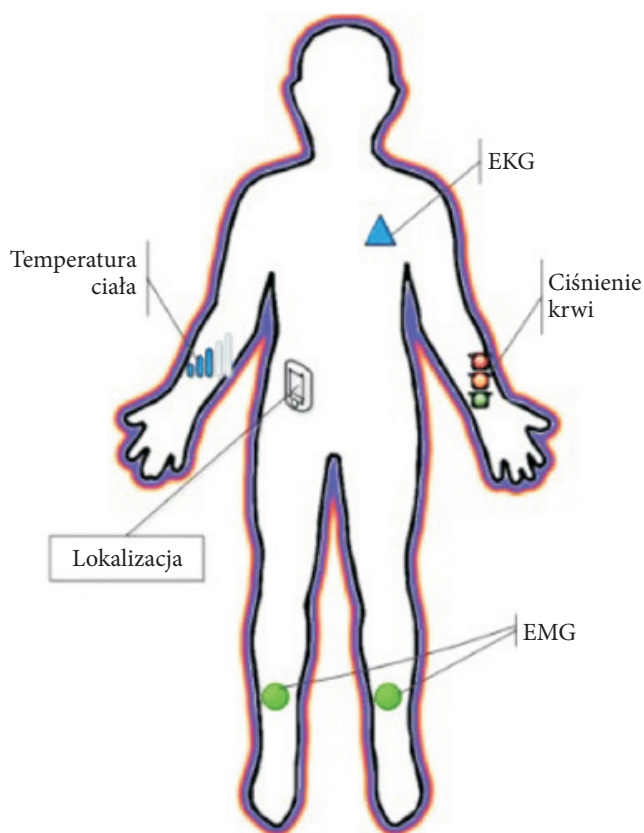
DOI: 10.5604/01.3001.0053.8574

1. Wprowadzenie

Od kilku lat można zauważyć wzrost zainteresowania monitorowaniem własnego zdrowia. Jednym z czynników, który miał na to wpływ, był wybuch pandemii. Zaczęto stale monitorować swoje czynności życiowe, aby móc zapobiegać chorobom i ich późniejszym powikłaniom. Aktualny stan technologiczny pozwala na użycie wielu przyrządów pomiarowych umożliwiających stałe monitorowanie własnych parametrów życiowych, poczynając od prostych pomiarów takich jak temperatura, przez ciśnienie tętnicze krwi, a także pomiar czynności serca (EKG — elektrokardiografia).



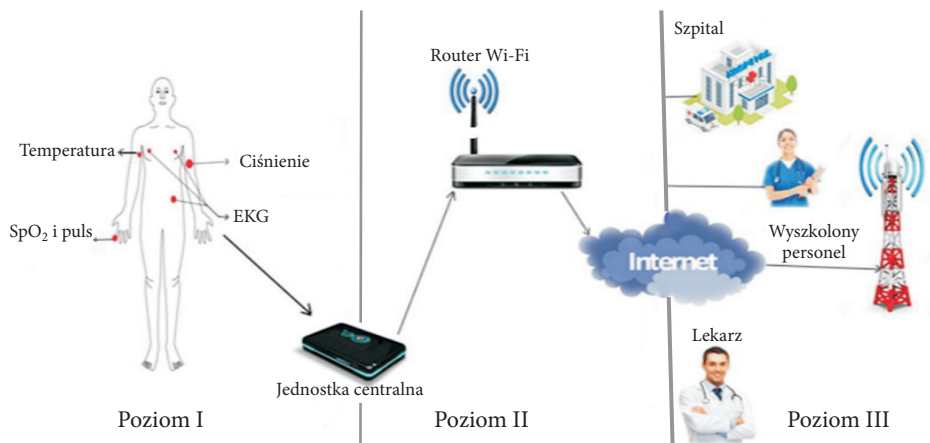
Rys. 1. Rynek sprzedaży pulsoksymetrów w Stanach Zjednoczonych wraz z prognozą [1]



Rys. 2. Przykładowa sieć sensorowa do badania parametrów życiowych człowieka

Rozwój technologii pozwala na produkowanie niskim nakładem finansowym sensorów (urządzeń pomiarowych), które są małe oraz energooszczędne, a przy tym dostarczają wiele funkcjonalności. Największą wartość mają w przypadku korzystania z nich podczas pracy w trudnych warunkach, np. na polu walki. Postęp technologii umożliwił również grupowanie takich sensorów w sieci sensorowe [2], [3]. Dzięki grupowaniu użytkownik jest w stanie w jednym miejscu gromadzić informacje, analizować zebrane dane, czego często same sensory nie umożliwiają, a także przesyłać zebrane informacje kanałem komunikacyjnym.

Urządzeniem grupującym sensory jest jednostka centralna. Należy jednak pamiętać, że sieć sensorowa może mieć większy zakres pokrycia niż jeden człowiek. Na przykład może składać się z kilkudziesięciu sensorów zgrupowanych przez kilka jednostek centralnych, a następnie wszystko zostaje zgrupowane do jednej stacji bazowej. Rysunek 3 przedstawia przykładowy schemat sieci sensorowej.



Rys. 3. Przykładowy schemat sieci sensorowej

Zaproponowany schemat składa się z trzech poziomów. Poziom pierwszy to sensory pomiarowe odpowiedzialne za pomiar parametrów życiowych. Za komunikację pomiędzy poziomem pierwszym i drugim odpowiada jednostka centralna. Może to być specjalne urządzenie lub np. telefon komórkowy. Poziom drugi odpowiada za grupowanie jednostek centralnych. Może się to dziać w obrębie jednej sieci bezprzewodowej (Wi-Fi) lub przewodowo (LAN). Trzeci poziom to stacje bazowe. Odpowiadają one za analizowanie zebranych danych z poszczególnych sensorów oraz za podejmowanie decyzji w przypadku wykrycia anomalii. Przykładowo za komunikację między poziomem drugim, a trzecim może odpowiadać sieć Internet. Warto mieć na uwadze, że jednostka centralna również może analizować dane z sensorów w podstawowym zakresie i odpowiednio wcześniej alarmować użytkownika o wykrytych problemach.

2. Sensory pomiarowe

Najistotniejszymi elementami sieci sensorowej są jednak same sensory. W zależności od mierzonego parametru bazują one na różnych sposobach pomiarowych oraz innym przetwarzaniu mierzonego sygnału. Jakość pomiaru zależy od sprzętu wykonującego pomiar, a także warunków, w jakich został on przeprowadzony. Sensory mierzące parametry życiowe człowieka to tzw. sensory fizjologiczne, pozwalają one na mierzenie takich wartości jak ciśnienie tętnicze krwi, temperatura ciała, saturacja, a także praca serca (EKG — elektrokardiografia), mózgu (EEG — elektroencefalografia) czy mięśni (EMG — elektromiografia) [4].

2.1. EKG

Badanie EKG polega na pomiarze aktywności serca przez umieszczenie elektrod na ciele pacjenta. Elektrody podłączone są do rejestratora, który monitoruje pracę serca. Pomiar może być przeprowadzany zarówno w spoczynku, jak i podczas wysiłku, umożliwia to ciągłe monitorowanie pacjenta, nie wpływając na wykonywane przez niego czynności. Za pomocą badania EKG możliwe jest zidentyfikowanie zaburzeń pracy serca, a wczesne ich wykrycie może uratować życie. Aktualny stan technologiczny pozwala na pomiar czynności serca za pomocą małego urządzenia umieszczonego na ciele pacjenta.



Rys. 4. Przenośny monitor EKG [5]

Pomiar w przypadku elektrokardiogramów polega na monitorowaniu aktywności elektrycznej serca przez powtarzające się cykle [6]. Podczas pomiaru tworzy się elektrokardiogram będący wykresem zależności napięcia od czasu czynności elektrycznej serca. Zmiany na wykresie wynikają z depolaryzacji mięśnia sercowego, która następuje podczas pracy serca (bicie serca). W przypadku nieprawidłowo funkcjonującego serca na wykresie widoczne są zmiany. Istnieje wiele znanych zaburzeń pracy serca, które łatwo zgrupować do nieprawidłowości.



Rys. 5. Przykładowy elektrokardiogram [7]

2.2. Ciśnienie tętnicze

Ciśnienie tętnicze krwi to jeden z najczęściej mierzonych parametrów życiowych człowieka. Jest to siła krążącej krwi napierającej na ściany tętnic. Określa się je za pomocą dwóch pomiarów: skurczowego (w momencie bicia serca, gdy ciśnienie jest najwyższe) oraz rozkurczowego (między uderzeniami serca). Możemy wyróżnić dwa problemy wynikające z nieprawidłowego ciśnienia: hipotensja oraz hipertensja [9], [10]. Hipotensja to zbyt niskie ciśnienie tętnicze krwi, co oznacza spadek ciśnienia skurczowego poniżej 100 mm Hg lub rozkurczowego poniżej 60 mm Hg. Objawy towarzyszące hipotensji to: zawroty głowy, poczucie osłabienia czy nastroje depresyjne. Sytuacja, w której ciśnienie tętnicze jest zbyt wysokie, nazywana jest hipertensją. Nadciśnienie tętnicze to główny czynnik powodujący przedwczesne zgony. Nadciśnienie możemy stwierdzić, gdy podczas dwóch pomiarów w danym odstępie czasowym ciśnienie skurczowe jest powyżej 140 mm Hg, a ciśnienie rozkurczowe powyżej 90 mm Hg. Nielezione nadciśnienie tętnicze może wiązać się z licznymi powikłaniami takimi jak uszkodzenie nerek, układu krążenia czy też układu nerwowego.



Rys. 6. Przykładowy ciśnieniomierz [11]

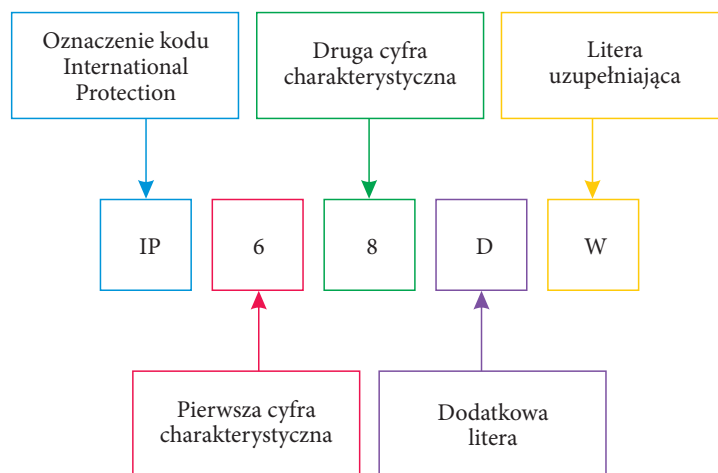
Na rysunku 6 znajduje się przykładowy ciśnieniomierz z funkcją mierzenia pulsu. Oznaczenie SYS wyraża wartość ciśnienia skurczowego (ang. *Systolic*), zaś DIA — ciśnienia rozkurczowego (ang. *Diastolic*), *Pulse* oznacza liczbę uderzeń serca na minutę. Obecnie technologia pozwala na używanie ciśnieniomierza podczas wykonywania normalnych czynności życiowych, trzeba jednak mieć na uwadze, że podczas pomiaru należy ograniczyć ruch ze względu na możliwość zaburzenia pomiaru.

3. Zagrożenia na polu walki

Wraz z możliwościami użycia sieci sensorowej przez żołnierzy w trakcie wykonywania czynności służbowych pojawiają się wątpliwości dotyczące zagrożeń mogących mieć wpływ na sensory pomiarowe. Zagrożenia te mogą wpłynąć na poprawność wyników, ale również na uszkodzenie sprzętu pomiarowego, co w konsekwencji może być nieopłacalne. Podczas doboru sensorów pomiarowych należy wziąć pod uwagę zagrożenia wynikające z kilku źródeł wymienionych niżej.

3.1. Wpływ atmosfery

W przypadku odporności na zagrożenia atmosferyczne należy zwrócić szczególną uwagę na międzynarodowe oznaczenie stopnia ochrony (ang. *Ingress Protection*) [12]. Stopień ochrony jest międzynarodowym standardem (IEC 60529) określającym stopień ochrony lub szczelności obudowy urządzenia elektrycznego przed ingerencją ciał stałych, wody i pyłu, a także przed niezamierzonym dotknięciem urządzeń znajdujących się w obudowie.



Rys. 7. Oznaczenie stopnia ochrony IP [13]

W przypadku większości urządzeń do pomiarów parametrów życiowych człowieka producenci nie dostarczają informacji o stopniu odporności ze względu na to, że urządzenia te nie są przeznaczone do pracy w otwartym terenie. Dopiero producenci smartwatchy i smartbandów z wybranymi funkcjonalnościami dotyczącymi mierzenia parametrów życiowych przekazują informacje o odporności IP68, czyli odporności na pył oraz na zanurzenia w wodzie powyżej 1 m od spodu.

3.2. Zagrożenia mechaniczne

W przypadku wymienionych w artykule pomiarów największy wpływ mechaniczny dotyczy pomiaru ciśnienia tętniczego krwi. Pomiar ciśnienia musi zostać przeprowadzony w możliwie niezakłócony sposób. Konsekwencje niestosowania tego wymogu będą się wiązały ze skrajnie nieprawidłowym wynikiem. W przypadku sieci sensorowej używanej przez żołnierza może to doprowadzić do błędnych rozkazów. Należy zatem oprócz samych pomiarów parametrów życiowych sprawdzać, w jakim aktualnie stanie przebywa pacjent. Do takich celów można używać np. akcelerometru bądź żyroskopu, który zmierzy położenie pacjenta i przy tym określi, czy jest on w ruchu lub spoczynku. Dodatkowym zagrożeniem mechanicznym jest również możliwość uszkodzenia sprzętu. O ile sprzęt w warunkach domowych nie musi charakteryzować się wysoką odpornością na uszkodzenia mechaniczne, tak sprzęt używany przez żołnierza musi być odporny w pewnym stopniu na uszkodzenia ze względu na charakter pracy. Odporność mechaniczną określa europejska norma EN 62262, gdzie opisane są wymagania, jakie muszą być spełnione przez urządzenie w zakresie odporności na uderzenia.

TABELA 1

Klasyfikacja odporności na uderzenia IK (ang. *Impact Protection*)

Poziom klasyfikacji IK	Siła uderzenia	Przykład
00	brak ochrony i odporności na uderzenia	brak ochrony przed uderzeniami
01	odporność na uderzenia o energii 0,15 J	uderzenie lekkim młotkiem
02	odporność na uderzenia o energii 0,20 J	
03	odporność na uderzenia o energii 0,35 J	
04	odporność na uderzenia o energii 0,50 J	
05	odporność na uderzenia o energii 0,70 J	
06	odporność na uderzenia o energii 1 J	uderzenie młotkiem o masie 0,5 kg z wysokości 20 cm
07	odporność na uderzenia o energii 2 J	uderzenie młotkiem o masie 0,5 kg z wysokości 40 cm
08	odporność na uderzenia o energii 5 J	uderzenie młotkiem o masie 1,7 kg z wysokości 29,5 cm
09	odporność na uderzenia o energii 10 J	uderzenie młotkiem o masie 5 kg z wysokości 20 cm
10	odporność na uderzenia o energii 20 J	uderzenie młotkiem o masie 5 kg z wysokości 40 cm

3.3. Zagrożenie elektromagnetyczne

Ostatnim typem zagrożeń są zagrożenia elektromagnetyczne, wpływają one bezpośrednio na prawidłowość wyników, nie tylko ze względu na możliwość wykonania błędnego pomiaru, lecz także na możliwość błędu podczas przesyłania informacji. W przypadku zakłóceń komunikacyjnych błąd taki jest stosunkowo łatwy do wykrycia przez zastosowanie sum kontrolnych, natomiast sam pomiar może wskazać zaburzenia. Część producentów urządzeń medycznych całkowicie zabrania używania telefonów komórkowych w celu uniknięcia nieprawidłowych wyników ze względu na zakłócenia elektromagnetyczne (EMI — ang. *Electromagnetic Interference*) [15]. W badaniu przeprowadzonym w 2009 roku podczas EKG obok pacjenta podłączono do ładowarki telefon komórkowy w celu zbadania wpływu na wynik [16]. Jak opisują autorzy, badanie wskazało tachykardię, czyli częstoskurcz serca. Badanie powtórzono bez telefonu komórkowego w pobliżu, co unormowało wynik do prawidłowych wartości. Ze względu na rozwój technologii producenci sprzętu

medycznego dostarczają informacje dotyczące odporności urządzeń na EMI. Na przykład producent ciśnieniomierzy oraz elektrokardiografów OMRON dostarcza szczegółową specyfikację odporności na sygnały różnej częstotliwości [17]. W celu użycia sensorów pomiarowych przez żołnierza należałoby przeprowadzić badania dotyczące odporności poszczególnych urządzeń na EMI z uwzględnieniem miejsc narażonych na podwyższone promieniowanie elektromagnetyczne. Takie badania mogą zostać przeprowadzone tylko w specjalistycznym laboratorium HPEM (*High Power Electromagnetic* — promieniowanie elektromagnetyczne o wielkiej mocy).

4. Podsumowanie

Sieć sensorowa do badania parametrów życiowych człowieka to rozwiązanie pozwalające na podwyższenie bezpieczeństwa zarówno zwykłego obywatela, jak i ludzi narażonych na większe zagrożenia. Należy jednak pamiętać, że ze względu na specyfikę pracy opracowywana sieć sensorowa musi być dostosowana do potrzeb wynikających z obowiązków służbowych.

Źródło finansowania pracy — Uczelniany Grant Badawczy (UGB) NR 22-738/2022.

Artykuł wpłynął do redakcji 30.05.2023. Zatwierdzono do publikacji 12.06.2023.

Rafał Nogły <https://orcid.org/0000-0002-2831-0372>

Marian Wnuk <https://orcid.org/0000-0003-4576-4023>

LITERATURA

- [1] Rynek pulsoksymetrów. *Pulse Oximeter Market Size, Share & Trends Analysis Report by Product Type (Fingertip Pulse Oximeters, Handheld Pulse Oximeters, by Type, by Age Group, by Technology, by End-use, by Region, And Segment Forecast, 2021-2030*, <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/pulse-oximeter-market> [dostęp: 1.05.2023].
- [2] CHONG, CH.-Y., KUMAR S., *Sensor Networks: Evolution, opportunities, and challenges*, Proceedings of the IEEE, 91, 8, 2003, 1247-1256, <http://dx.doi.org/10.1109/JPROC.2003.814918>.
- [3] PREMARATNE K., ZHANG J., DOGRUEL M., *Location Information-Aided Task-Oriented Self-Organization of Ad-Hoc Sensor Systems*, IEEE Sensors Journal, 4, 1, 2004, 85-95, <http://dx.doi.org/10.1109/JSEN.2003.822213>.
- [4] HANSON M.A., POWELL H.C. JR., BARTH A.T., RINGGENBERG K., CALHOUN B.H., AYLOR J.H., LACH J., *Body Area Sensor Networks: Challenges and Opportunities*, Computer, 42, 1, 2009, 58-65, <http://dx.doi.org/10.1109/MC.2009.5>.
- [5] Wellue Duoek™ Portable ECG Monitor, <https://getwellue.com/products/duoek-hand-held-wearable-ekg-tracker> [dostęp: 1.05.2023].
- [6] BUNCE N.H., RAY R., PATEL H., 30. *Cardiology*, [in:] A. Feather, D. Randall, M. Waterhouse (eds.), Kumar and Clark's Clinical Medicine (10th ed.), Elsevier, 2020, 1033-1038.

- [7] DIKS F., *EKG spoczynkowe (Elektrokardiogram)*, Asnyka 78D. Gabinet lekarskie, <https://asnyka78d.pl/ekg-spoczynkowe-elektrokardiogram/> [dostęp: 1.05.2023].
- [8] MAGDER S., *The meaning of blood pressure*, *Critical Care*, 22, 257, 2018, <https://doi.org/10.1186/s13054-018-2171-1> [dostęp: 2.05.2023].
- [9] *Hipotensja*, Portal fizjoterapeuty, <https://fizjoterapeuty.pl/schorzenia/hipotensja.html> [dostęp: 2.05.2023].
- [10] TYKARSKI A., NARKIEWICZ K., GACIONG Z., JANUSZEWICZ A., LITWIN M., KOSTKA-JEZIORNY K., *Zasady postępowania w nadciśnieniu tętniczym*, *Nadciśnienie Tętnicze w Praktyce*, 1, 1, 2015, s. 1-70.
- [11] *Wireless Upper Arm Blood Pressure Monitor*, Omron, <https://omronhealthcare.com/products/5-series-wireless-upper-arm-blood-pressure-monitor-bp7250/> [dostęp: 2.05.2023].
- [12] *IP Ratings*, International Electrotechnical Commission, <https://www.iec.ch/ip-ratings> [dostęp: 2.05.2023].
- [13] WROCHNA P., *Stopień ochrony IP*, *Poradnik inżyniera*, 4.02.2022, <https://poradnikinzyniera.pl/stopien-ochrony-ip/> [dostęp: 2.05.2023].
- [14] *Co to jest IK i jakie są klasy ochrony mechanicznej?*, blog Eura Tech., 20.08.2018, <https://www.eura-tech.eu/blog/co-to-jest-ik-i-jakie-sa-klasy-ochrony-mechanicznej/> [dostęp: 2.05.2023].
- [15] BARANCHUK A., KANG J., SHAW C., CAMPBELL D., RIBAS S., HOPMAN W.M., ALANAZI H., REDFEARN D.P., SIMPSON C.S., *Electromagnetic interference of communication devices on ECG machines*, *Clin. Cardiol.*, 32, 10, 2009, 588-592, <http://dx.doi.org/10.1002/clc.20459>.
- [16] ALIYEV F., TÜRKOĞLU C., ÇELIKER C., UZUNHASAN I., *Electromagnetic interference with electrocardiogram recording of exercise test equipment*, *Turk. Kardiyol. Dern. Arş. – Arch. Turk. Soc. Cardiol.*, 38, 5, 2010, 352-354.
- [17] *OMRON Battery-operated Blood Pressure Monitor + EKG Information for Accompanying Documents in the Scope of IEC60601-1-2:2014*, https://omronhealthcare.com/wp-content/uploads/4602713-7A-EMC-BatteryBPMEKG_E08.pdf [dostęp: 2.05.2023].

R. NOGŁY, M. WNUK

Applications of the sensor network to examine human vital signs

Abstract. The article deals with the currently available devices used in sensor networks to examine human vital signs and the available knowledge about sensors and their sensitivity to electromagnetic interference. The article contains the basic concepts describing the studied issues that allow us to understand the being researched scientific field. In addition, it contains requirements for the implementation of the sensor network for the requirements of the services. This will allow you to illustrate the issues related to the development of a universal sensor network that increases the security of a soldier on the battlefield. It should also be borne in mind that with the final implementation it will also be necessary to carry out additional tests in difficult environments due to electromagnetic radiation.

Keywords: sensor network, sensors, vital signs, electromagnetic radiation, electromagnetic interference.

DOI: 10.5604/01.3001.0053.8574