

Kesra Nermend

Instytut Informatyki w Zarządzaniu
Wydział Nauk Ekonomicznych i Zarządzania
Uniwersytet Szczeciński

Mariusz Borawski

Wydział Informatyki
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

ZASTOSOWANIE TECHNOLOGII MEMS W TELEMEDYCYNIE DO MONITOROWANIA CZYNNOŚCI ŻYCIOWYCH

1. Wprowadzenie

Na przełomie XX i XXI wieku można było zaobserwować gwałtowny rozwój w dziedzinie mechatroniki związany z miniaturyzacją nie tylko w elektronice, lecz także w mechanice. Miniaturowe urządzenia łączące elektronikę i mechanikę nazywane są MEMS (ang. *MicroElectroMechanical System*). Technologia MEMS jest uznawana za jedną z najbardziej obiecujących i rewolucyjnych technologii XXI wieku¹. Według D.W. Kensalla² MEMS oznacza seryjną produkcję miniaturowych urządzeń, które przekształcają parametry fizyczne na sygnały elektryczne lub sygnały elektryczne

¹ PRIME Faraday Partnership, *An Introduction to MEMS (Micro-electromechanical systems)*, raport instytutowy, PRIME Faraday Partnership, 2002.

² D.W. Kensall, *Microelectromechanical Systems in Japan*, http://www.wtec.org/loyola/mems/c1_s1.htm [dostęp 11.01.2011].

na parametry fizyczne. MEMS stosowane jako czujniki lub urządzenia wykonawcze podłączone do mikrokontrolerów znalazło zastosowanie w różnych dziedzinach życia, w tym również w służbie zdrowia do monitorowania procesów życiowych.

Miniaturyzacja czujników, wiążąca się ze znacznym obniżeniem kosztów produkcji wszelkich rodzajów urządzeń elektronicznych zawierających klasyczne czujniki, pozwoliła znaleźć dla nich wiele nowych zastosowań i rozszerzyła możliwości dotychczasowych. Biomedyczne zastosowanie tych czujników pozwoliło na obniżenie kosztów przy jednoczesnej poprawie opieki nad pacjentem. Biomedyczne zastosowanie czujników można podzielić na dwie kategorie – diagnostyczne i terapeutyczne³.

W niniejszym artykule wyszczególnione będzie to, jakie parametry życiowe człowieka można zarejestrować poprzez zastosowanie technologii mikroczujników. Przedstawione będzie również zastosowanie mikroczujników do zdalnego monitorowania pacjentów w systemie telemedycznym. Ponadto zostanie omówione pojęcie telemedycyny oraz obszary jej zastosowań, a następnie będą przytoczone dwa przykładowe rozwiązania problemu nieuciążliwego dla pacjenta zdalnego odczytu jego stanu. Zostanie zaprezentowanych także pięć przykładów eksperymentalnych systemów do zbierania i przechowywania informacji z mikroczujników.

2. Technologie pomiaru biopotencjału

W medycynie powszechnie wykorzystuje się elektrody pozwalające na odczytywanie sygnałów generowanych przez mięśnie lub komórki nerwowe. W przypadku takich pomiarów używa się zwykle sformułowania „pomiar biopotencjału”. Szczególnymi przypadkami pomiaru biopotencjału są: elektrokardiogram (EKG), elektroencefalogram (EEG), elektromiogram (EMG), elektrookulogram (EOG).

Elektrokardiogram (EKG) powstaje w wyniku zabiegu diagnostycznego mającego na celu rejestrację czynności mięśnia sercowego. Może być wykonywany bezpośrednio na sercu w czasie operacji. Jednak najczęściej wykonuje się go z powierzchni klatki piersiowej, umieszczając na niej dwanaście elektrod. Odczyt następuje w wyniku badania różnicy potencjałów między elektrodami. Odczytywane wartości amplitud różnicy sygnałów z elektrod są bardzo małe, co sprawia, że są podatne na wszelkiego rodzaju zniekształcenia wynikające: ze zmiany położenia elektrod umieszczonych na skórze względem serca na skutek skurczów i rozkurczów, z pracy innych mięśni oraz zakłóceń zewnętrznych. Powoduje to konieczność stosowania elektrod bardzo wysokiej jakości, wykonanych ze srebra pokrytego chlorkiem

³ MEMS: A Practical Guide to Design, Analysis, and Applications, red. J.G. Korvink, P. Oliver, William Andrew Inc., Norwich 2006.

srebra. Dodatkowo całe urządzenie pomiarowe powinno być izolowane elektrycznie i zabezpieczone przed wpływem innych urządzeń medycznych, a w szczególności przed wysokim napięciem generowanym przez defibrylator.

Elektroencefalogram (EEG) powstaje w wyniku badania bioelektrycznej czynności mózgu. Międzynarodowa Federacja Neurofizjologii Klinicznej zaleca stosowanie 19 elektrod umieszczonych na powierzchni skóry czaszki. Elektrody są pozłacane. Pomiar następuje poprzez badanie różnicy napięć na elektrodach. Problemy z zakłóceniami są podobne jak w przypadku EKG. Podczas operacji mózgu elektrody umieszcza się bezpośrednio w korze mózgowej. Badanie takie nosi nazwę elektrokortykografii (ECoG). Sygnały EEG są trudne do interpretacji ze względu na to, że są wynikiem nałożenia na siebie sygnałów generowanych przez różne partie mózgu. Analiza EEG może jednak ujawnić zmiany w mózgu w następstwie jego przejścia w różne fazy snu, znieczulenia bądź uszkodzenia.

Elektromiogram (EMG) jest zapisem czynności elektrycznej mięśni i nerwów obwodowych. Wspomaga rozpoznawanie chorób obwodowego układu nerwowego oraz mięśni. Elektrody mogą być wykonane z pozłacanego srebra lub chlorku srebra, jednak możliwe jest także wykorzystanie elektrod ze stali nierdzewnej. Umieszcza się je zwykle w pobliżu badanych mięśni lub grup mięśni. Wpływ zakłóceń na przebieg pomiaru jest tu znacznie mniejszy ze względu na wyższe rejestrowane częstotliwości. Mniej problematyczne jest także wykorzystanie elektrod inwazyjnych wbijanych bezpośrednio w pobliże badanych włókien mięśniowych.

Elektrookulogram (EOG) jest zapisem potencjałów generowanych w wyniku ruchu gałek ocznych. Wykonuje się go z wykorzystaniem elektrod umieszczonych po obu stronach oczu lub poniżej i powyżej gałki ocznej. Różnica potencjału wskazuje na położenie gałki ocznej. Rejestrowany sygnał ma bardzo niskie napięcie i niewielką częstotliwość. Jest podatny na zakłócenia zewnętrzne, dlatego może być silnie zniekształcony. Wymaga stosowania dobrych jakościowo elektrod i silnego wzmacniacza. Często stosuje się specjalny żel pod elektrody.

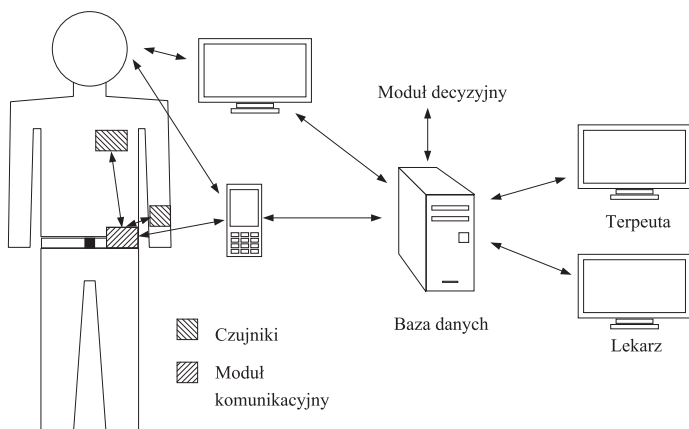
Dzięki rozwojowi technologii mikroczujników można mierzyć biopotencjały w różnych warunkach nie tylko w specjalistycznych punktach medycznych, co może być pomocne w zdalnym nadzorze pacjenta.

3. Systemy monitorujące czynności życiowe w telemedycynie

Postęp w dziedzinie mikroczujników zwiększył możliwości telemedycyny, pozwalającej na świadczenie usług medycznych na odległość. Głównym problemem w telemedycynie jest zdalna rejestracja parametrów życiowych diagnozowanych pacjentów. Urządzenia rejestrujące są sprzęgane z systemem informatycznym, który zarządza

przepływem danych oraz odpowiada za ich przechowywanie. Systemy informatyczne stosowane w telemedycynie można podzielić na⁴:

- systemy wspomagające lekarza podczas diagnozowania i leczenia,
- systemy umożliwiające zdalną opiekę nad pacjentami,
- systemy umożliwiające wykorzystanie w czasie rzeczywistym zdalnej pomocy specjalistów podczas zabiegów medycznych,
- systemy wspomagające badania nad nowymi chorobami.
- systemy prewencyjne.



Rysunek 1. Elementy systemu zdalnego monitorowania pacjenta

Źródło: H.J. Hermens, M.M.R. Vollenbroek-Hutten, *Towards remote monitoring and remotely supervised training*, „Journal of Electromyography and Kinesiology” 2008, no. 18, s. 908–919.

Rysunek 1 przedstawia główne bloki wykorzystywanego w telemedycynie systemu monitorowania pacjenta. Dane o stanie pacjenta są rejestrowane przez zespół czujników, które można podzielić na trzy kategorie: czujniki, które pacjent ma stale przy sobie, czujniki przypinane okresowo i czujniki niekontaktujące się z ciałem pacjenta. Najbardziej pożądane jest umieszczanie czujników stale przymocowanych do ciała pacjenta, które w każdej chwili rejestrują dane o jego stanie. Mogą one być jednak uciążliwe dla pacjenta, a przy dłuższym używaniu powodować podrażnienia miejsc, do których są przymocowane. Dlatego takie rozwiązania stosuje się głównie w przypadkach bezpośredniego zagrożenia życia pacjenta. Kiedy życie pacjenta nie jest w sposób bezpośredni zagrożone stosuje się czujniki, które pacjent przypina okresowo na krótki czas w celu kontroli swojego stanu. Pewnym rozwiązaniem tego problemu jest wykorzystywanie czujników, które nie

⁴ P. Białoń, E. Klimasara, *Nowe paradygmaty przetwarzania danych w sieciach inteligencji otoczenia dużej skali. Monitorowanie osób starszych i projekt EDFAS*, Warszawa, grudzień 2008.

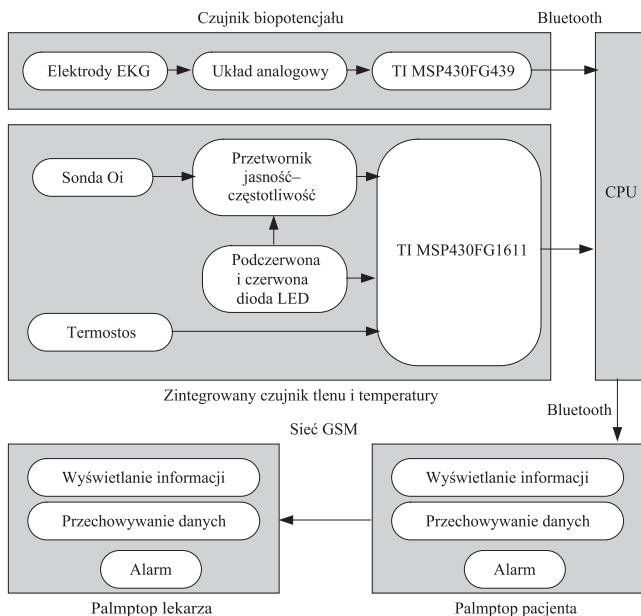
mają bezpośredniego kontaktu z ciałem pacjenta. Posiadają one jednak ograniczone możliwości pomiarowe.

Dane rejestrowane przez czujniki są przesyłane do modułu komunikacyjnego. Jako moduł komunikacyjny bardzo często wykorzystywane są palmtopy, ze względu na ich niewielkie rozmiary. Czujniki razem z modułem komunikacyjnym tworzą sieć BAN (ang. *Body Area Network*). Pojęcie to zostało wprowadzone przez firmę IBM. Istnieje kilka metod pozwalających utworzyć BAN. Najprostszą jest zastosowanie połączenia przewodowego pomiędzy czujnikami a modułem komunikacyjnym, przy czym każdy czujnik ma osobne niezależne połączenie. Moduł komunikacyjny wysyła dane transmisją bezprzewodową z wykorzystaniem np. technologii *Bluetooth*. Bardziej zaawansowanym podejściem jest zastosowanie centralnej magistrali przesyłania danych, do której podłączane są wszystkie czujniki. Najnowszym rozwiązaniem jest stosowanie połączeń bezprzewodowych pomiędzy czujnikami a modułem komunikacyjnym. Jest to szczególnie istotne w przypadku czujników umieszczonych z dala od modułu komunikacyjnego (głowa, ręka). Do transmisji używa się technologii *Bluetooth*. Posiada ona jednak zbyt wysoki pobór mocy przy transmisji, dlatego być może będzie ona zastępowana przez technologię *ZigBee*, która ma, co prawda, niższą prędkość przesyłania danych, ale za to charakteryzuje się mniejszym poborem energii.

Dane rejestrowane przez czujniki są przesyłane do modułu komunikacyjnego, który może się łączyć z domowym komputerem. Domowy komputer wpięty do Internetu jest pośrednikiem pozwalającym przesłać dane do centralnej bazy danych jednostki prowadzącej nadzór pacjenta. Ostatnio coraz większe znaczenie ma transmisja poprzez sieć telefonii komórkowej. Pozwala ona na większą mobilność pacjenta. W tym przypadku moduł komunikacyjny może być telefonem komórkowym lub palmtopem wyposażonym w modem GSM. Telefon lub palmtop mają zainstalowane specjalne oprogramowanie pozwalające na transmisję danych do centralnej bazy danych. W centralnej bazie danych są składowane wszystkie informacje o monitorowanych pacjentach. Do informacji tych mają dostęp wszyscy lekarze i terapeuci nadzorujący pacjenta. Mogą oni na bieżąco sprawdzać stan pacjenta oraz związane z nim dane historyczne. Ich zalecenia są przekazywane do bazy danych, skąd dalej są przesyłane do pacjenta poprzez Internet lub sieć telefonii komórkowej. Dodatkowo z bazą danych jest związany moduł decyzyjny, którego zadaniem jest natychmiastowe informowanie lekarzy o sytuacjach krytycznych.

Wygodnym i nieuciążliwym dla pacjenta rozwiązaniem jest stosowanie czujników zaszytych w odzież, które nie wymagają od pacjenta specjalnych czynności w celu ich zamontowania. Pomiarów sygnałów biopola wymagają jednak odpowiedniego projektowania odzieży, tak aby możliwe przemieszczenia elektrod były jak najmniejsze. Przy projektowaniu odzieży należy też zwrócić uwagę na różną budowę sylwetki ludzkiej, co jest dość trudne do uwzględnienia. Przykład czujników zaszytych w koszulę można znaleźć w pracy *Memswaer-biomonitoring system for remote vital*

*signs monitoring*⁵. System został nazwany MEMSWear. Początkowo MEMSWear był wyposażony tylko w czujniki położenia i przyspieszenia⁶. Później został rozbudowany o możliwość pomiaru czynników fizjologicznych: EKG, zawartości tlenu we krwi, ciśnienia krwi i temperatury ciała (rysunek 2). Dane są zbierane z modułu procesora z wykorzystaniem *Bluetooth*, następnie również przez *Bluetooth* są wysyłane do palmtopa z modemem GSM. Palmtop przez sieć telefonii komórkowej może łączyć się z palmtopem lekarza. Przy normalnej pracy systemu informacje są tylko rejestrowane. Przesyłanie danych do lekarza następuje tylko w przypadku wykrycia sytuacji anormalnej.



Rysunek 2. Schemat blokowy MEMSWear

Źródło: F.E.H. Tay, D.G. Guoa, L. Xua, M.N. Nyan, K.L. Yapa, *Memsweat-biomonitoring system for remote vital signs monitoring*, „Journal of the Franklin Institute” 2009, no. 346 (6), August, s. 531–542.

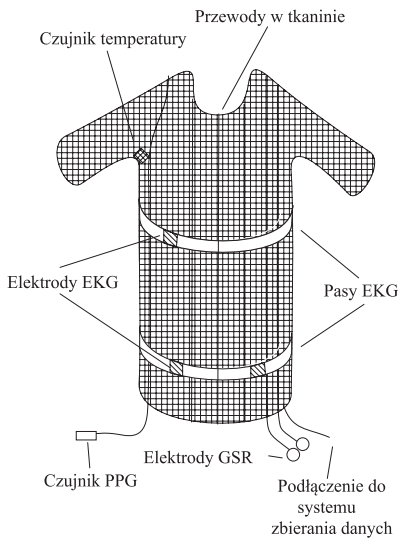
Innym przykładem umieszczenia czujników w ubraniu jest kamizelka *Smart Vest* zaproponowana w pracy *Smart vest: Wearable multi-parameter remote physiological monitoring system*⁷. Kamizelka jest zintegrowana z czujnikami do monitorowania

⁵ E.H. Tay, D.G. Guoa, L. Xua, M.N. Nyan, K.L. Yapa, *Memsweat-biomonitoring system for remote vital signs monitoring*, „Journal of the Franklin Institute” 2009, no. 346 (6), August, s. 531–542.

⁶ F.E.H. Tay, M.N. Nyan, T.H. Koh, K.H.W. Seah, Y.Y. Sitoh, *Smart shirt that can call for help after a fall*, „International Journal of Software Engineering and Knowledge Engineering” 2005, no. 15 (2), s. 183–188.

⁷ P.S. Pandian, K. Mohanavelu, K.P. Safeer, T.M. Kotresh, D.T. Shakunthala, P. Gopal, V.C. Padaki, *Smart vest: Wearable multi-parameter remote physiological monitoring system*, „Medical Engineering & Physics” 2008, no. 30, s. 466–477.

parametrów fizjologicznych oraz sprzętu do zbierania, przetwarzania i transmisji danych. Kamizelka wyposażona jest w moduł GPS, są w niej rejestrowane sygnały EKG bez używania żelu, fotople-tyzmografia (PPG), mierzona jest temperatura ciała, ciśnienie krwi, częstość akcji serca oraz galwaniczna reakcja skóry. Kamizelka jest wykonana z mieszanki bawełny i lycry. W kamizelkę wszyte są przewody łączące czujniki o oporności $0,3\Omega/m$, grubości $0,19\text{ mm}$, wytrzymałości na rozciąganie $0\text{ }30\text{ N/mm}^2$ i odporności na temperatury w zakresie od -65 do $+150\text{ }^\circ\text{C}$ (rysunek 3).



Rysunek 3. Kamizelka Smart Vest

Źródło: P.S. Pandian, K. Mohanavelu, K.P. Safeer, T.M. Kotresh, D.T. Shakunthala, P. Gopal, V.C. Padaki, *Smart vest: Wearable multi-parameter remote physiological monitoring system*, „Medical Engineering & Physics” 2008, no. 30, s. 466–477.

Tabela 1 zawiera informacje dotyczące specyfikacji czujników. Do rejestracji sygnału EKG użyto elektrod z gumy silikonowej wypełnionej czystym srebrem zamiast klasycznie stosowanych elektrod Ag-Al. Trzy elektrody zostały umieszczone na dwóch pasach wszytych w kamizelkę. Jako czujnika temperatury użyto termistora PT100 wszytego w kamizelkę pod pachą. Czujnik PPG jest wyposażony w źródło światła o długości 630 nm i umiejscawia się go na palcu lub uchu osoby badanej. Galwaniczna reakcja skóry jest mierzona za pomocą suchej elektrody Ag-AgCl o wielkości 1 cm^2 umieszczonej na dłoni. Czujniki podłączone są do modułu zbierania i transmisji sygnałów, który umieszczony jest na pasku i podłączony przewodem do kamizelki. Całość zasilana jest napięciem $7,4\text{ V}$ z akumulatora litowo-jonowego o pojemności $1,8\text{ Ah}$. W pełni naładowany akumulator wystarcza na $4,5\text{ h}$ nieprzerwanej pracy.

Tabela 1. Dane techniczne czujników kamizelki Smart Vest

Parametr mierzony	Czujnik	Zakres parametrów
Elektrokardiogram (EKG)	Wykonany z gumy silikonowej wypełnionej czystym srebrem	Częstotliwość: 0,5Hz–100Hz, amplituda: 0,25–1mV
Fotopletyzmozografia (PPG)	Czerwone światło 630 nm	Częstotliwość: 0,5Hz–20Hz
Ciśnienie krwi	Na podstawie analizy EKG i EKG	Skurczowe: 50–300 mmHg, rozkurczowe: 40–140mmHg
Temperatura ciała	Termistor (PT100), rozdzielczość 0,39 /oC	0–40 °C
Galwaniczna reakcja skóry	Elektrody Ag-AgCl	0–100K
Częstość akcji serca	Na podstawie analizy EKG	40–250 uderzeń na minutę

Źródło: P.S. Pandian, K. Mohanavelu, K.P. Safeer, T.M. Kotresh, D.T. Shakunthala, P. Gopal, V.C. Padaki, *Smart vest: Wearable multi-parameter remote physiological monitoring system*, „Medical Engineering & Physics” 2008, no. 30, s. 466–477.

Systemy monitorujące czynności życiowe nie są dedykowane tylko dla osób chorych. Mogą być wykorzystywane do monitorowania stanu zdrowia osób starszych, osób wykonujących ciężką pracę fizyczną czy też ćwiczących w celu poprawienia swojej kondycji fizycznej. Systemy wykorzystywane do tych celów mierzą aktywność życia codziennego (ang. *Activity of Daily Living* – ADL). Jednym z głównych elementów tego typu systemów, rzadko wykorzystywanych w systemach przeznaczonych dla osób chorych, są akcelerometry. Akcelerometry mierzą przyspieszenie ruchu ciała lub jego części (głowy, rąk, nóg). Pozwalają na określenie aktywności fizycznej człowieka. W przypadku sportowców są podstawą do określenia najbardziej efektywnych ruchów, pozwalających na zużycie jak najmniejszej energii albo na osiągnięcie jak najlepszego efektu. Dane z akcelerometrów pozwalają na określenie rodzaju ruchu. W pracy *Mobile health monitoring system based on activity recognition using accelerometer*⁸ wykorzystano transformatę Fouriera do klasyfikowania ruchów na podstawie danych z akcelerometru. W przypadku ludzi starszych akcelerometry mogą być wykorzystywane do wykrycia upadków potencjalnie bardzo dla nich niebezpiecznych. System taki, wykorzystujący 10 akcelerometrów, zaprezentowano w pracy *Wearable device for real-time monitoring of human falls*⁹. System ten na podstawie wzajemnych relacji pomiędzy danymi z różnych akcelerometrów potrafi rozróżnić upadek od położenia się na podłodze, klęknienia itp.

⁸ Y.J. Hong, I.J. Kim, S.C. Ahn, H.G. Kim, *Mobile health monitoring system based on activity recognition using accelerometer*, „Simulation Modelling Practice and Theory” 2010, no. 18, s. 446–455.

⁹ Ch.S. Lin, H.Ch. Hsu, Y.L. Lay, Ch.Ch. Chiu, Ch.S. Chao, *Wearable device for real-time monitoring of human falls*, „Measurement” 2007, no. 40, s. 831–840.

Obecnie dominującym problemem związanym z monitorowaniem parametrów życiowych jest zdalne monitorowanie pacjentów. Do najważniejszych projektów badawczych w tym zakresie można zaliczyć:

- **MOBIHEALTH**¹⁰ – projekt mający na celu zdalne monitorowanie przewlekle chorych pacjentów, pomoc i monitorowanie w warunkach opieki domowej, pomoc w sytuacji wypadków i katastrof, monitorowanie stanu fizycznego w sporcie, zarządzanie badan klinicznych. Projekt bazuje na infrastrukturze GPRS/UMTS. Czujniki są połączone z siecią bezprzewodową, przez którą są przesyłane rejestrowane parametry wraz z sygnałem audio i wideo.
- **IBM Personal Care Connect**¹¹ – pilotażowy system IBM przeznaczony do zdalnego monitorowania pacjentów. System zakłada maksymalne wykorzystanie istniejących technologii. Czujniki są podłączone poprzez *Bluetooth* z hubem PCC. Hub PCC może być dowolnym urządzeniem z wirtualną maszyną Javy, na której można zainstalować oprogramowanie komunikacyjne. Może to być np. telefon komórkowy, który poprzez sieć komórkową łączy się z Internetem i przekazuje dane do serwera PCC z zainstalowanym oprogramowaniem monitorującym. IBM PCC z założenia ma być rozwiązaniem uniwersalnym, możliwym do stosowania w dowolnej sieci telefonii komórkowej.
- **AlarmNET**¹² – system przeznaczony do nadzorowania osób chorych na serce przebywających w mieszkaniu. Integruje sensory umieszczone na ciele pacjenta i w mieszkaniu poprzez sieć bezprzewodową. Komputer umieszczony w mieszkaniu zbiera wszystkie informacje, integruje i gromadzi w bazie danych oraz przesyła do osób nadzorujących. Pozwala to na szybką reakcję w przypadku sytuacji awaryjnych.
- **AmericanTeleCare**¹³ – system pozwalający na przekazywanie do centrów medycznych standardowymi liniami telefonicznymi informacji o stanie pacjentów w podeszłym wieku oraz przewlekle chorych. Pozwala na redukcję kosztów leczenia dzięki krótszemu pobytowi pacjentów w szpitalu.
- **Projekt EDFAS** – ocena stanu funkcjonalnego starszej i niepełnosprawnej populacji w systemie z rozproszoną inteligencją (ang. *Functional state evaluation system with distributed intellect for elderly and disabled population*)¹⁴. Projekt polsko-litewsko-niemiecki, którego celem jest opracowanie systemu monitorowania akcji serca i zdolności poruszania się osób starszych i niepełnosprawnych.

¹⁰ European Commission, *MobiHealth*, <http://www.mobihealth.org/> [dostęp 24.01.2011].

¹¹ M. Blount, V.M. Batra, A.N. Capella, M.R. Ebling, W.F. Jerome, S.M. Martin, M. Nidd, M.R. Niemi, S.P. Wright, *Remote health-care monitoring using personal care connect*, „IBM Systems Journal” 2007, no. 46 (1).

¹² University of Virginia, *AlarmNet*, <http://www.cs.virginia.edu/wsn/medical/> [dostęp 11.01.2011].

¹³ American TeleCare, Inc. *AmericanTeleCare*, <http://www.americantelecare.com/> [dostęp 24.01.2011].

¹⁴ International Eureka project, *EDFAS – Functional state evaluation system with distributed intellect for elderly and disabled population*, <http://edfas.itl.waw.pl/edfas> [dostęp 24.01.2011].

Przeznaczony jest do domów opieki i hospicjów. Z założenia ma dać możliwość monitorowania wielu osób jednocześnie. System ma za zadanie gromadzić, przetwarzać i wysyłać dane do ośrodka pomocy medycznej.

Z liczby realizowanych na świecie projektów badawczych dotyczących monitorowania czynności życiowych można wnioskować, iż problem ten jest ważny i należy się nim zajmować.

Podsumowanie

Zastosowanie technologii MEMS umożliwia mało uciążliwe zbieranie informacji o pacjencie. Zebrane dane mogą być transmitowane nawet na duże odległości, składowane i przekazywane do lekarza nadzorującego pacjenta. Pozwala to na obniżenia kosztów leczenia poprzez możliwość nadzorowania stanu pacjenta w jego domu lub innym wybranym przez niego miejscu pobytu. Jest to szczególnie istotne w przypadku osób starszych i niepełnosprawnych, których przewożenie do szpitala na badania często wymaga wykorzystania karettek pogotowia jako środka transportu.

Innym zastosowaniem może być wykorzystanie telemedycyny w zawodach, z których uprawianiem wiąże się niebezpieczeństwo dla życia. Przykładem mogą być osoby pełniące służbę w straży pożarnej, policji, wojsku, pracujące przy naprawie sieci energetycznych itp. W przypadku wymienionych zawodów mogą zaistnieć sytuacje, w których życie pracowników będzie zagrożone. Sytuacje takie można wykryć poprzez ciągłe monitorowanie ich czynności życiowych.

Literatura

1. American TeleCare, Inc. *AmericanTeleCare*, <http://www.americantelecare.com/> [dostęp 24.01.2011].
2. Białoń P., Klimasara E., *Nowe paradygmaty przetwarzania danych w sieciach inteligencji otoczenia dużej skali. Monitorowanie osób starszych i projekt EDFAS*, Warszawa, grudzień 2008.
3. Blount M., Batra V.M., Capella A.N., Ebling M.R., Jerome W.F., Martin S.M., Nidd M., Niemi M.R., Wright S.P., *Remote health-care monitoring using personal care connect*, „IBM Systems Journal” 2007, no. 46 (1).
4. European Commission, *MobiHealth*, <http://www.mobihealth.org/> [dostęp 24.01.2011].
5. Hermens H.J., Vollenbroek-Hutten M.M.R., *Towards remote monitoring and remotely supervised training*, „Journal of Electromyography and Kinesiology” 2008, no. 18.

6. Hong Y.J., Kim I.J., Ahn S.C., Kim H.G., *Mobile health monitoring system based on activity recognition using accelerometer*, „Simulation Modelling Practice and Theory” 2010, no. 18.
7. International Eureka project, *EDFAS – Functional state evaluation system with distributed intellect for elderly and disabled population*, <http://edfas.itl.waw.pl/edfas> [dostęp 24.01.2011].
8. Kensall D.W., *Microelectromechanical Systems in Japan*, http://www.wtec.org/loyola/mems/c1_s1.htm [dostęp 11.01.2011].
9. *MEMS: A Practical Guide to Design, Analysis, and Applications*, red. J.G. Korvink, P. Oliver, William Andrew Inc., Norwich 2006.
10. Lin Ch.S., Hsu H.Ch., Lay Y.L., Chiu Ch.Ch., Chao Ch.S., *Wearable device for real-time monitoring of human falls*, „Measurement”, 2007, no. 40.
11. Pandian P.S., Mohanavelu K., Safeer K.P., Kotresh T.M., Shakunthala D.T., Gopal P., Padaki V.C., *Smart vest: Wearable multi-parameter remote physiological monitoring system*, „Medical Engineering & Physics” 2008, no. 30.
12. PRIME Faraday Partnership, *An Introduction to MEMS (Micro-electromechanical systems)*, raport instytutowy, PRIME Faraday Partnership, 2002.
13. Tay F.E.H., Guoa D.G., Xua L., Nyan M.N., Yapa K.L., *Memsweat-biomonitoring system for remote vital signs monitoring*, „Journal of the Franklin Institute” 2009, no. 346 (6), August.
14. Tay F.E.H., Nyan M.N., Koh T.H., Seah K.H.W., Sitoh Y.Y., *Smart shirt that can call for help after a fall*, „International Journal of Software Engineering and Knowledge Engineering” 2005, no. 15 (2).
15. University of Virginia, *AlarmNet*, <http://www.cs.virginia.edu/wsn/medical/> [dostęp 11.01.2011].

Summary

Application of MEMS technology in telemedicine for monitoring vital functions

The article presents the possibility of MEMS technology use in telemedicine for monitoring of vital functions. In the article there are also described example solutions in which the micro sensors were placed on the clothes of monitored persons. Moreover there are shown research projects, which goal was remote monitoring of vital functions.