



PORTFOLIO: Systemy inteligentne w aparaturze medycznej

Autor: Piotr Augustyniak

Urząd Marszałkowski Województwa Małopolskiego Departament Polityki Regionalnej ul. Wielicka 72 30-552 Kraków
tel.: 12 29 90 675 fax: 12 29 90 726 www.spin.malopolska.pl spin@umwm.pl



Projekt współfinansowany ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

1. Wstęp

Urządzenia towarzyszące lekarzowi w świadczeniu usług medycznych (podzielonych zgrubnie na diagnostyczne, terapeutyczne i protetyczne), obecne od zarania medycyny są przedmiotem nieustannego rozwoju. Z jednej strony odpowiadają one coraz dalej idącym i coraz ostrzej stawianym wymaganiom rozwijającej się medycyny, z drugiej, dając lekarzowi nowe narzędzia poznania i oddziaływania wydatnie wspierają jej rozwój. Aparatura przeznaczona do użytku klinicznego przez personel medyczny będzie stale rozwijana i prawdopodobnie będzie coraz lepszym narzędziem w rękach medyków służącym pacjentowi.

Odrębną gałęzią rozwojową są urządzenia powszechnego użytku, a więc niemające ustawowego statusu wyrobu medycznego, przeznaczone do wspierania zdrowotności. Jest to zakres działań podejmowanych przez same zainteresowane osoby lub ich najbliższe rodziny, zmierzających do edukacji zdrowotnej, prewencji zdrowia i wspomaganie samodzielności osób w podeszłym wieku. Ta gałąź ma szczególne perspektywy rozwoju uwarunkowane coraz wyższą świadomością zdrowotną w społeczeństwie, coraz lepszą dbałością o szeroko rozumianą higienę i coraz wyższą średnią długości życia. Odbiorcy urządzeń tego rodzaju to już nie pojedynczy pacjenci wykorzystujący aparat przez czas choroby (lub tylko np. zabiegu), ale odbiorcy masowi motywowani celem poprawy jakości życia.

Nowy kierunek rozwojowy urządzeń medycznych i prozdrowotnych został zapoczątkowany wraz z użyciem oprogramowania. Urządzenia te zostały wyposażone w automatykę wyręczającą lekarza w czynnościach powtarzalnych (np. pomiarowych), przekształconą następnie w inteligencję ułatwiającą podejmowanie decyzji klinicznych lub dostosowywanie aparatu do nowych potrzeb (np. wieku osoby badanej). Postęp ten ma miejsce równocześnie z rozwojem infrastruktury telekomunikacji cyfrowej umożliwiając udzielanie usług medycznych na odległość, zwane dziś telemedycyną. Również konfigurację niektórych urządzeń medycznych można przeprowadzać zdalnie, najlepszym przykładem jest rodzina kardiostymulatorów implantowanych Biotronik, których zmiana programu działania odbywa się bez wizyty pacjenta w placówce medycznej, a nawet bez jego wiedzy.

Inteligentne urządzenie medyczne jest zatem skomplikowanym systemem teleinformatycznym, którego zakres funkcjonalności może być zdefiniowany zdalnie przez operatora posługującego się rezultatami medycznymi lub automatycznie. W podejściu tym innowacyjny jest sposób wykorzystania danych medycznych nie tylko w celu oceny dobrostanu osoby badanej, ale także do sterowania konfiguracją urządzenia dedykowanego pacjentowi. Inteligentne systemy medyczne mogą być także wykorzystywane do wspomaganie człowieka poprzez adekwatne kształtowanie środowiska jego życia (ang. *ambient assisted living*). Systemy takie są obecnie opracowywane i prototypowane w wielu ośrodkach naukowych, wchodzą także w skład oferty badawczej i wdrożeniowej Katedry Automatyki i Inżynierii Biomedycznej AGH. Przykłady konkretnych rozwiązań są podane w kolejnych rozdziałach.

2. Elektronika w aparaturze medycznej

We wczesnych urządzeniach medycznych rozwiązania elektroniczne służyły przede wszystkim wspomaganie pomiarów diagnostycznych. Za historyczne kamienie milowe uważa się wynalezienie

lampy rentgenowskiej (1895) i pomiar elektrokardiogramu galwanometrem strunowym (1903). Pomimo doskonalenia techniki i metodologii, pomiary parametrów i ich interpretacja w aparaturze diagnostycznej oraz ustawienia parametrów terapii należały do personelu medycznego. Istnieje jednak silna potrzeba zautomatyzowania tych czynności i wśród pierwszych cywilnych zastosowań komputerów pojawiają się programy diagnostyczne (np. System Hanowerski do EKG z 1967 roku). Wreszcie, skonstruowanie mikroprocesora w latach 70-tych XX wieku i jego upowszechnienie dekadę później umożliwiło konstruowanie aparatury medycznej wyposażonej w oprogramowanie wspomagające. Dziś trudno byłoby wskazać elektroniczny aparat medyczny pozbawiony oprogramowania.

Rola oprogramowania w elektronicznej aparaturze medycznej jest statyczna. Zestaw procedur jest przeznaczony do realizacji jednego celu przewidzianego przez producenta i niezmienny przez cały czas trwania fazy użytkowania wyrobu. Odstępstwem od tej reguły są uaktualnienia oprogramowania przeprowadzane przez wielu producentów w ramach utrzymania ruchu (ang. *maintenance*), ale są one wynikiem poprawek błędów w oprogramowaniu i nie mają na celu rozszerzenia jego funkcjonalności. Poprawki oprogramowania są przeważnie implementowane w nowo produkowanych aparatach, a ich zastosowanie w urządzeniach będących już w eksploatacji jest opcjonalne i często odpłatne.

Poprawki oprogramowania wbudowanego (ang. *firmware*) będącego częścią aparatu medycznego są niekiedy wymuszone przez zmianę reguł interpretacji lub procedur medycznych. Medycyna, której wykonywanie wspomaga aparatura jest żywą nauką eksperymentalną i niekiedy prowadzone prace badawcze prowadzą do zmian reguł obowiązujących w praktyce klinicznej. Przykładem może być zmiana definicji lokalizacji zawatu serca w połowie dekady 2000, która prowadziła do porzucenia opisu bazującego na strukturach anatomicznych serca na rzecz opisu fizjologicznego związanego z ukrwieniem serca przez poszczególne duże tętnice wieńcowe. Zmiana ta wymusiła zmianę oprogramowania interpretacyjnego elektrokardiografów.

Zasadniczą wadą oprogramowania statycznego jest stosowanie jednakowych reguł pracy aparatu medycznego dla wszystkich pacjentów i brak możliwości dostosowania ich do cech osobniczych. Cechy te nie zawsze są wyrażane ilościowo, zatem nie zawsze możliwe jest sparametryzowanie danych sterujących aparatem. Rezultatem oprogramowania statycznego jest przeprowadzenie procedury medycznej (diagnostycznej lub terapeutycznej) w sposób standardowy, lecz jednak nie optymalny dla pacjenta. Ograniczenie tej niedogodności było możliwe dzięki wprowadzeniu procedur autoreferencyjnych (w których poprzednie rezultaty pacjenta stanowią wartości odniesienia dla pomiarów bieżących) oraz dzięki konfiguracji oprogramowania wbudowanego aparatury medycznej.

3. Konfiguracja parametrów i funkcjonalności

Większość systemów oprogramowania wspierającego funkcjonowanie aparatury medycznej posługuje się parametrami pełniącymi rozmaite funkcje. Najczęściej spotykane to:

- wartości sterujące przebiegiem programu,
- wartości współczynników opisujących sensory pomiarowe (np. skale amplitudy i czasu) i mechanizmy wykonawcze,
- wartości graniczne parametrów.

Urząd Marszałkowski Województwa Małopolskiego Departament Polityki Regionalnej ul. Wielicka 72 30-552 Kraków
tel.: 12 29 90 675 fax: 12 29 90 726 www.spin.malopolska.pl spin@umwm.pl

Zmiana zestawu parametrów oprogramowania statycznego (tj. przechowywanego w pamięci nieulotnej do odczytu) jest najprostszym (i tak naprawdę jedynym wdrożonym klinicznie) sposobem konfigurowania aparatury medycznej.

Poprzez zmianę parametrów można dostosować aparat diagnostyczny lub terapeutyczny do potrzeb konkretnego pacjenta. Zazwyczaj wartości graniczne parametrów ustalane są automatycznie na podstawie opisującego pacjenta parametru o zdefiniowanym znaczeniu medycznym (np. wieku), z wykorzystaniem formuł lub stałych tablic. Przykładowo, dla osoby w wieku W (w latach) maksymalna częstość akcji serca w próbie wysiłkowej HR_{max} wynosi: $220 - W$. Zmiana wartości parametrów może być wykonywana wielokrotnie np. w celu dostosowania aparatu do kolejnych obsługiwanych pacjentów.

Poprzez zmianę parametrów sterujących przebiegiem programu można dostosowywać aparat medyczny do funkcjonalności jakie ma oferować użytkownikowi. Opcja ta jest bardzo wygodna, lecz rzadko wykorzystywana przez producentów. Umożliwia ona zaprojektowanie, zaimplementowanie i przetestowanie oprogramowania tylko w jednej wersji - wyposażonej we wszystkie przewidywane opcje, a następnie poprzez blokowanie oferowania i możliwości uruchamiania wybranych funkcji uzyskiwać oprogramowanie uboższe, a zatem i ograniczoną funkcjonalność urządzenia (np. przeznaczonego dla innej grupy klientów). Dodatkowa zajętość pamięci programu przez nieaktywny kod nie ma zwykle znaczenia, gdyż jest on przechowywany w pamięci stałej (np. *flash*). Oprogramowanie okrojone funkcjonalnie za pomocą parametrów sterujących programem umożliwia zwykle łatwe rozszerzenie funkcjonalności (ang. *upgrade*), ale nie unowocześnienie urządzenia (gdyż kod wykonywalny znajduje się w pamięci programu od momentu produkcji, ale jest nieaktywny). W niektórych aparatach zmiana zakresu funkcjonalności jest możliwa do wykonania przez użytkownika i polega na wpisaniu zakupionego kodu serwisowego na klawiaturze urządzenia.

Odminnym sposobem konfiguracji funkcjonalności urządzenia jest dynamiczna konfiguracja oprogramowania, w której wybrany moduł programu jest zastępowany przez inny moduł. W tym przypadku możliwe jest zarówno dołączanie modułów nowszych (ang. *update*, np. poprawionych) o niezmienionej funkcjonalności, jak i modułów rozszerzających (ang. *upgrade*) o rozszerzonej funkcjonalności. Istotną cechą tej formy konfiguracji jest konieczność pobrania pliku z kodem wykonywalnym od producenta albo bezpośrednio przez urządzenie, które jest konfigurowane, albo za pośrednictwem komputera, koniecznego tylko na czas wykonania czynności serwisowych. Urządzenia, których oprogramowanie jest przeznaczone do uaktualniania w ten sposób zwykle są wyposażone w moduły obsługujące uaktualnianie pamięci, dlatego w większości przypadków proces ten może być przeprowadzony przez użytkownika samodzielnie.

Bardzo nieliczne urządzenia medyczne są wyposażone w rekonfigurowalne układy elektroniczne (cyfrowe lub analogowe), które oferują możliwość zmiany architektury układu elektronicznego lub podstawowych jego funkcji (np. wzmocnienia). Przed rozpoczęciem pracy urządzenia procedura konfiguracyjna ładuje projekt konfiguracji zasobów w postaci pliku binarnego do układu reprogramowalnego, co skutkuje połączeniem jego zasobów (bloków funkcjonalnych) w sposób określony przez projektanta. Połączenia te, a więc i funkcje układu elektronicznego są zapominane po wyłączeniu zasilania, a więc mogą być zmieniane każdorazowo przy włączaniu urządzenia, albo na żądanie w trakcie jego pracy.

4. Inteligentne systemy telemedyczne

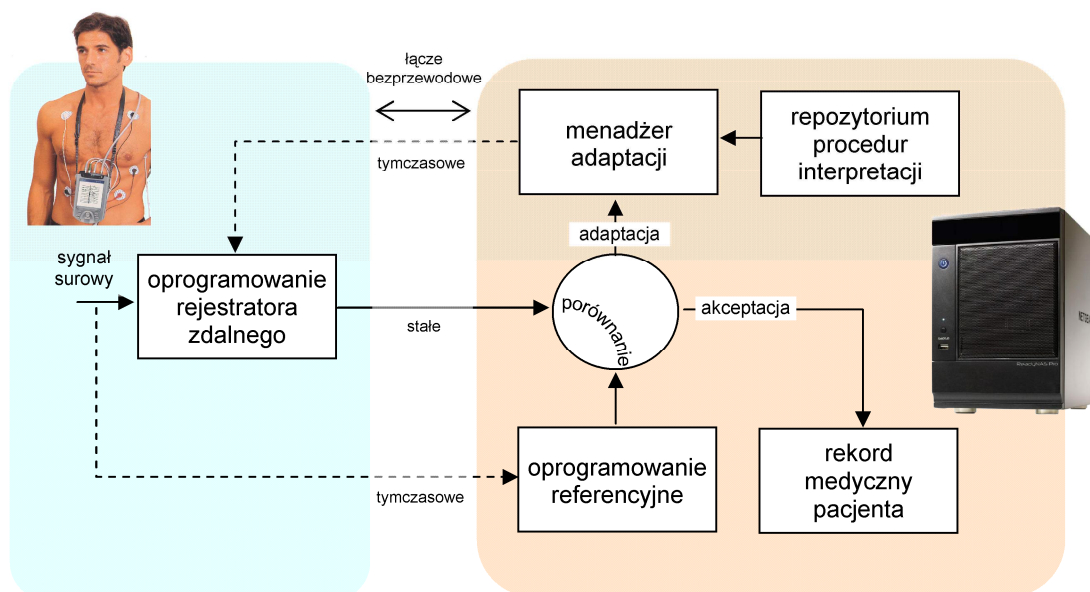
Rozszerzeniem koncepcji urządzeń reprogramowalnych, których parametry, funkcjonalność oraz architektura mogą być uaktualniane, są urządzenia **inteligentne**. Podczas, gdy w urządzeniach reprogramowalnych decyzja o zmianie konfiguracji jest podejmowana przez operatora (najczęściej lekarza) na podstawie parametrów fizjologicznych opisujących pacjenta, w urządzeniach inteligentnych informacje medyczne są automatycznie transformowane i wykorzystywane do optymalizacji konfiguracji urządzenia. Reguły interpretacji parametrów medycznych na potrzeby rekonfiguracji urządzenia są formułowane i nadzorowane przez człowieka (analogicznie jak reguły systemu ekspertowego), ale w konkretnej sytuacji zmiany stanu pacjenta i opisujących go parametrów medycznych system inteligentny dopasuje zestaw pomiarowy (np. konfigurację sensorów) lub wykonawczy, albo oprogramowanie w sposób zapewniający optymalne działanie w zmienionych warunkach. Przykładowe systemy inteligentne zostaną skrótowo opisane w kolejnych podrozdziałach.

4.1. Inteligentny rejestrator kardiologiczny

Inteligentny rejestrator kardiologiczny jest rodzajem przenośnego diagnostycznego aparatu EKG [1-3]. Pobiera on sygnał z powierzchni ciała za pomocą elektrod, wykonuje automatyczną analizę sygnału i transmituje rezultaty diagnostyczne cyfrowym łączem bezprzewodowym GPRS. To samo łącze zostało wykorzystane do kontroli poprawności działania aparatu oraz zdalnego uaktualniania jego oprogramowania interpretacyjnego [4-5].

Zasadniczym celem automatycznej modyfikacji oprogramowania wbudowanego rejestratora jest optymalizacja jego funkcjonalności w określonych warunkach (cechy pacjenta i cel diagnostyczny). Stosując klasyczne pojęcie optymalizacji należy zatem odpowiednio wybrać reprezentację błędu dostosowania urządzenia do potrzeb w postaci zestawu mierzalnych parametrów. Funkcja błędu jest następnie użyta jako argument wejściowy procedury zarządzania oprogramowaniem rejestratora i na jej podstawie zostanie wygenerowana decyzja o uaktualnieniu. Po uaktualnieniu konieczne jest sprawdzenie, czy zmodyfikowane oprogramowanie urządzenia przenośnego lepiej spełnia oczekiwania diagnostyczne, co jest reprezentowane przez zmniejszenie wartości funkcji błędu. Znaki wartości i pochodnej funkcji błędu są więc reprezentacją poprawności podejmowanych decyzji i analogicznie do typowego sprzężenia zwrotnego w wyniku modyfikacji oprogramowania zdalnego oczekiwana jest zbieżność wartości funkcji błędu do zera (rys. 1).

Obecnie przenośne urządzenia diagnostyczne są często konstruowane jako miniaturowe wersje ich pełnowymiarowych odpowiedników stacjonarnych i wyposażane w analogiczne oprogramowanie. Choć postęp w zakresie regenerowalnych źródeł zasilania jest znaczący, w przypadku urządzenia przenośnego warto optymalizować oprogramowanie urządzenia przenośnego, aby uniknąć wykonywania skomplikowanych algorytmów wymagających znacznej energii, których rezultaty w większości są mało interesujące lub nawet nieistotne dla użytkownika. Proponowane rozwiązanie polega na wydłużeniu czasu autonomicznej pracy poprzez uproszczenie lub całkowitą eliminację zbędnych obliczeń wykonywanych w systemie wbudowanym. Istotne zagadnienie stanowi właściwa identyfikacja funkcjonalności urządzenia, które z punktu widzenia potrzeb użytkownika powinny być obsługiwane z większą lub mniejszą dokładnością, albo pominięte.



Rysunek 1. Schemat blokowy automatycznej zdalnej adaptacji oprogramowania urządzenia przenośnego na przykładzie elektrokardiografu telemetrycznego.

W cyklu rozwojowym oprogramowania, zwłaszcza procedur wykorzystujących dane heurystyczne, np. automatycznej interpretacji elektrokardiogramu, wczesne projekty prowadzą do uzyskania algorytmów prostych, o małych wymaganiach sprzętowych ale też niezbyt dokładnych. Dopiero w następnych etapach cyklu, gdy mankamenty prostych procedur są znane, lub gdy wymagania dokładności zostały podwyższone (zaostrenie norm lub działalność konkurencji rynkowej), zostają zaprojektowane algorytmy bardziej wyrafinowane, których rezultaty są bardziej wiarygodne. Niestety, zwykle charakteryzują się one także wyższą złożonością obliczeniową i zwiększonym zapotrzebowaniem na zasoby. Wśród producentów oprogramowania prowadzących własne prace rozwojowe prawidłowością jest jednak posiadanie kilku wersji ważniejszych procedur, których zbiór można uporządkować w monotoniczną zależność jakości i wymagań. Zbiór taki często jest wykorzystywany do oprogramowania aplikacji wbudowanych produktów w różnych wersjach cenowych i funkcjonalnych, co wzbogaca ofertę rynkową. Umożliwia także wzbogacenie funkcjonalności w późniejszym terminie przez proste uaktualnienie oprogramowania, w przypadku gdy po początkowym okresie użytkowania okaże się ona niewystarczająca.

Oprogramowanie autoadaptacyjne dla inteligentnego rejestratora kardiologicznego dokonuje dopasowania funkcjonalności urządzenia do cech pacjenta i celu diagnostycznego na bieżąco za pomocą dynamicznej wymiany bibliotek procedur interpretacji. Wymaga to okresowego monitorowania i ilościowej oceny stopnia spełnienia potrzeb poprzez wyliczenie funkcji błędu. W zakresie funkcjonalności określonej w danych warunkach jako podstawowa, oprogramowanie będzie używać bibliotek procedur najwyższej jakości, w zakresie funkcjonalności dodatkowej - bibliotek procedur uproszczonych, natomiast procedury obsługujące funkcje zbędne z punktu widzenia użytkownika mogą zostać pominięte. Takie przyporządkowanie otwiera możliwość oszczędności

energii bez pogorszenia jakości przetwarzania oraz zwolnienie zasobów sprzętowych, które mogą zostać wykorzystane do dalszego podwyższenia tej jakości.

W zależności od ograniczeń sprzętowych inteligentny rejestrator kardiologiczny może realizować jedną z trzech strategii wymiany oprogramowania:

1. Przełączanie funkcjonalności oprogramowania, stosowane w przypadku platformy sprzętowej o ograniczonej ilości cykli zapisu do pamięci programu. Zaletą tej strategii jest natomiast niewielka objętość danych wymagana do przesłania z serwera nadzorującego do urządzenia przenośnego.
2. Wykonywanie kodu maszynowego z pamięci operacyjnej, która jest współdzielona przez dane i procedury wykonywalne. Zaletami takiego rozwiązania jest możliwość użycia procedur o znacznej objętości kodu, a także uaktualniania ich z serwera w czasie pracy rejestratora.
3. Wymiana bibliotek dołączanych dynamicznie – w systemach bez ograniczeń zapisu pamięci programu biblioteki procedur mogą być dołączane dynamicznie bez konieczności umieszczania kodu maszynowego w pamięci operacyjnej. Rozwiązanie takie pozwala na przechowywanie w pamięci programu tylko aktualnie wykorzystywanych procedur, a w pamięci operacyjnej tylko aktualnie zadeklarowanych zmiennych, a więc w danej pojemności zasobów pozwala osiągnąć najlepszą jakość przetwarzania. W tym przypadku konieczne jest przesyłanie łączem cyfrowym kodu wykonywalnego procedur zamieniających o nieco większej objętości.

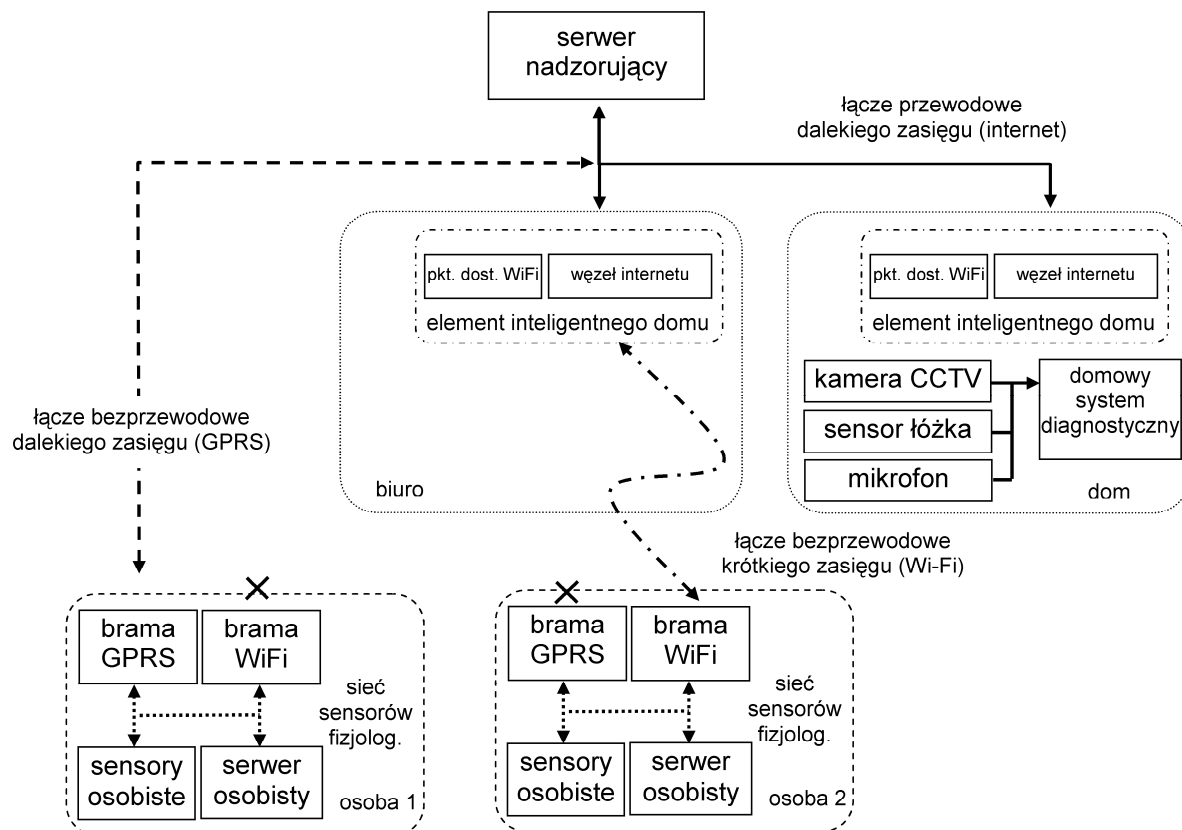
W opisywanym projekcie wykorzystano specyfikację medycznej istotności parametrów diagnostycznych EKG w kontekście dwunastu najczęstszych patologii [6-7]. Ponieważ stan pacjenta może być opisany na podstawie wartości parametrów diagnostycznych z medycznie akceptowaną dokładnością, możliwe jest automatyczne wyznaczenie funkcji błędu na podstawie odchyłek poszczególnych parametrów.

4.2. Inteligentny system nadzorowania osób

Nadzór prowadzony z użyciem inteligentnych sensorów zawierających wbudowane oprogramowanie właściwe do ekstrakcji poszukiwanych cech jest obecnie rozpowszechniony w systemach bezpieczeństwa banków, lotnisk i podobnych przestrzeni publicznych. Wymiana oprogramowania i dołączenie dodatkowych sensorów generujących opis obserwowanej osoby w oparciu o parametry diagnostyczne pozwalają na dostosowanie systemu do nadzoru osób niepełnosprawnych, starszych lub chorych mieszkających samotnie (ang. *assisted living*) [8]. Systemy takie są obecnie stosowane w niektórych szpitalach, hospicjach i domach spokojnej starości ułatwiając pracę personelu poprzez automatyczną analizę zachowań osób i detekcję sytuacji potencjalnie niebezpiecznych. Najczęściej podawanym przykładem jest detekcja upadku. Powszechnie obecnie przenoszenie usług medycznych (diagnostyki i terapii) do domu pacjenta pociągnie za sobą także instalacje systemów nadzorujących w domach osób objętych nadzorem.

Opisywane tu inteligentne systemy nadzoru osób są określane jako hybrydowe, gdyż składają się zarówno z części osobistej (zrealizowanej zwykle jako autonomiczna sieć sensorów, ang. *body sensor network*) towarzyszącej osobie podczas poruszania się, jak i z części stacjonarnej (stanowiącej element infrastruktury budynku domu lub biura, albo pojazdu). Ciekawym wyzwaniem jest zagadnienie automatycznej identyfikacji osoby nadzorowanej i współpraca obu podsystemów z

wykorzystaniem alternatywnych kanałów łączności bezprzewodowej. Podczas pobytu osoby nadzorowanej w pomieszczeniu jej sieć sensorów komunikuje się z centrum nadzorującym za pośrednictwem części stacjonarnej z wykorzystaniem szerokopasmowego łącza o krótkim zasięgu (np. Wi-Fi). Podczas przemieszczania się osoba nadzorowana wychodzi z zasięgu infrastruktury stacjonarnej i jej stan może być monitorowany w ograniczonym zakresie za pośrednictwem kanału o dalekim zasięgu (np. GPRS) i niższej przepustowości (rys. 2).



Rysunek 2. Schemat blokowy przykładowego hybrydowego systemu nadzorowania.

Systemy nadzorujące zastosowane do nadzoru zachowania i zdrowia osób posiadają szereg interesujących własności:

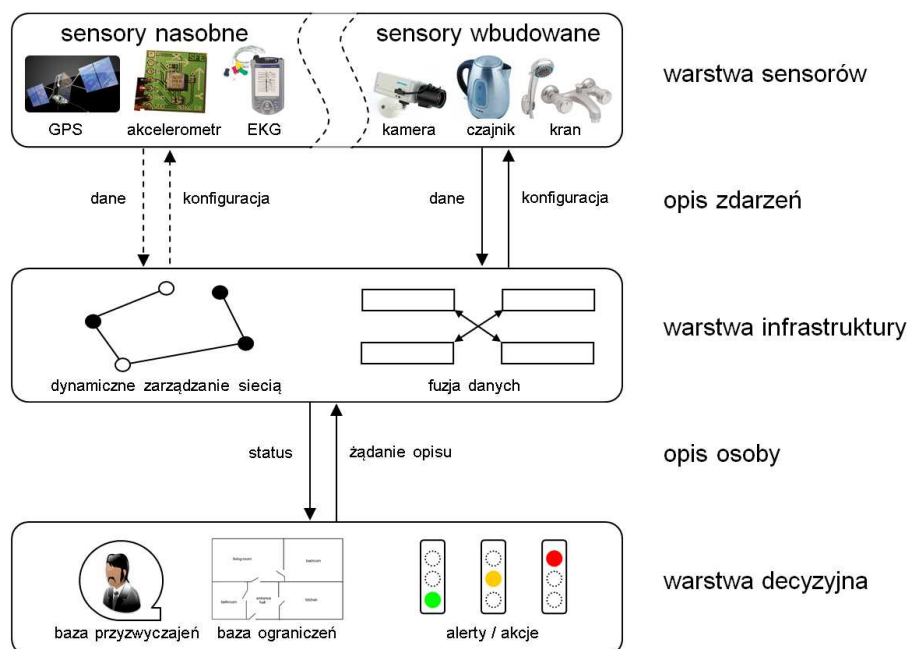
- mogą być indywidualnie programowane dla każdej nadzorowanej osoby (zgodnie z założeniami medycyny spersonalizowanej),
- zapamiętują zachowania typowe dla nadzorowanych osób (wzorce behawioralne) i na podstawie odstępstw mogą identyfikować sytuacje potencjalnie niebezpieczne,
- wykorzystują indywidualne własności pomieszczeń w celu identyfikacji i klasyfikacji akcji,
- mogą zostać zaprojektowane do identyfikacji określonych gestów jako poleceń wydawanych przez nadzorowaną osobę otoczeniu (zgodnie z paradygmatem *universal design*).

Ostatnia z wymienionych własności powoduje, że systemy te nazywane bywają nadzorująco-sterującymi i zaliczane do grupy alternatywnych interfejsów człowiek-komputer [9] i kształtowania

środowiska życia zgodnie z uwarunkowaniami fizjologicznymi osoby zmiennymi np. na skutek starzenia (por. pkt. 5).

Hybrydowy system nadzorowania osób umożliwia automatyczny wybór optymalnego kanału transmisyjnego, a w przypadku ograniczeń przepustowości – wybór danych uaktualnianych na bieżąco i buforowanych do przesłania później. Nazwanie tego systemu „inteligentnym” jest jednak daleko bardziej uzasadnione przez dynamiczną konfigurację sieci sensorów, multimodalną akwizycję danych oraz równoczesną obsługę osobniczo-zależnych reguł detekcji. Spełnienie tych warunków jest możliwe dzięki elastycznemu projektowi architektury systemu. Zastosowano w nim programowalne sensory i reguły wymiany informacji, adaptacyjną detekcję czynności nadzorowanej osoby oraz inteligentną klasyfikację zdarzeń i przyporządkowanie ich do funkcji nadzorowania zdrowia lub sterowania otoczeniem. System został zaprojektowany jako warstwowy, co umożliwia odrębną adaptację poszczególnych sensorów, wykorzystywanej sieci sensorycznej oraz modułów decyzyjnych. Projekt zawiera trzy warstwy, wyodrębnione zgodnie z przepływem informacji (rys. 3):

- warstwę wejściową złożoną z programowalnych sensorów dostarczających kontekstowej informacji semantycznego opisu osoby nadzorowanej,
- warstwę infrastruktury, która zarządza wyborem architektury sieci i interpretuje czynności wykonywane przez osobę nadzorowaną na podstawie opisu semantycznego dostarczanego przez sensory,
- warstwę decyzyjną, która stosuje reguły związane z osobą nadzorowaną (np. przyzwyczajenia) oraz reguły związane z otoczeniem (np. przeznaczenie pomieszczeń) do identyfikacji zdarzeń niepożądanych i niebezpiecznych oraz uruchamiania mechanizmów reakcji.

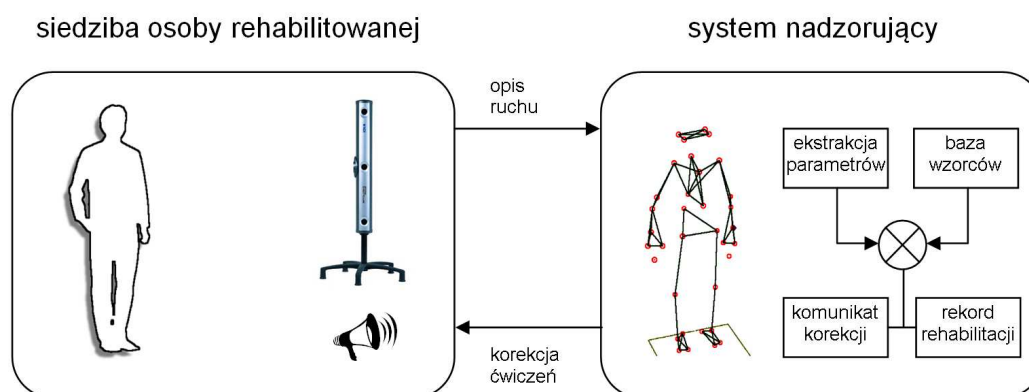


Rysunek 3. Warstwowa architektura inteligentnego systemu nadzorowania osób

4.3. Inteligentny system rehabilitacji ruchowej

W ramach rehabilitacji prozdrowotnej (kinezyterapii) ćwiczenia prowadzone są zwykle pod bezpośrednim nadzorem instruktora w placówce medycznej. Zwykle pojedynczy rehabilitant nadzoruje kilka jednocześnie ćwiczących osób, a bezpośredni kontakt wymaga: niezwłocznej reakcji rehabilitanta na zdarzenia związane z ćwiczeniem, oraz zorganizowania pobytu wszystkich osób w jednym miejscu i czasie. Inteligentny system rehabilitacji ruchowej jest rozwiązaniem telemedycznym, pozwalającym na zdalne, automatyczne nadzorowanie prostych ćwiczeń profilaktycznych, terapeutycznych lub usprawniających w domu pacjenta.

System taki wykorzystuje popularne urządzenie do śledzenia ruchu (np. Kinect) w celu zdalnego automatycznego nadzorowania ćwiczeń usprawniających. W fazie uczenia ćwiczenia wykonywane są pod kontrolą systemu wizyjnego lub pod bezpośrednią kontrolą rehabilitanta z jednoczesną rejestracją ruchu szkieletu będącego uproszczonym schematem kinematycznym osoby ćwiczącej. Ocena ćwiczenia przez rehabilitanta jest rejestrowana, a jego komentarze głosowe są przyporządkowywane automatycznie do zdarzeń zdefiniowanych jako odstępstwa od schematu wykonania ćwiczenia. W fazie nadzorowania nadzór wizualny jest wyłączony, urządzenie do śledzenia ruchu przesyła parametry szkieletu (trajektorie ruchu punktów) do serwera. Odpowiada on za automatyczne wykrycie uchybienia i komunikację z osobą ćwiczącą. Zapis szkieletu jest rejestrowany umożliwiając rehabilitantowi bezpośrednie śledzenie i późniejszą analizę wykonania ćwiczenia (rys. 4). Podczas tych czynności komentarze rehabilitanta mogą zostać zarejestrowane i uzupełnić zestaw komunikatów głosowych towarzyszących zdarzeniom.



Rysunek 4. Inteligentny system nadzorujący rehabilitację ruchową (faza nadzorowania)

W odróżnieniu od nadzorowania bezpośredniego, inteligentny system rehabilitacji ruchowej może:

- wykorzystywać dane z sensorów dodatkowych (żyroskopów, akcelerometrów, pulsometru),
- nadzorować bardzo wiele osób ćwiczących równocześnie, zwracając uwagę rehabilitanta na szczególne odstępstwa, lub osoby szczególnie często odstępujące od reguły ćwiczenia,
- nadzorować jednocześnie osoby wykonujące zindywidualizowany harmonogram ćwiczeń, jak też zupełnie różne ćwiczenia,
- monitorować i archiwizować aktywność osób ćwiczących oraz rehabilitanta.

Urząd Marszałkowski Województwa Małopolskiego Departament Polityki Regionalnej ul. Wielicka 72 30-552 Kraków
tel.: 12 29 90 675 fax: 12 29 90 726 www.spin.malopolska.pl spin@umwm.pl

System rehabilitacji wykorzystuje pętlę sprzężenia zwrotnego realizowaną przez dwukierunkową komunikację cyfrową. W kierunku od systemu do osoby ćwiczącej jest to numer komunikatu generowanego na poziomie słownym przez urządzenie nadzorujące w domu pacjenta, a w kierunku odwrotnym – jest to strumień danych opisujących trajektorie zbioru punktów. Zaproponowany system komunikacji jest kompromisem pomiędzy dokładnością śledzenia wykonywania ćwiczeń, a zachowaniem poufności i eliminacją transmisji danych wrażliwych.

5. Fizjologicznie dopasowane środowisko życia

Podane przykłady inteligentnych systemów telemedycznych dotyczyły zdalnego pomiaru rozmaitych parametrów życiowych i użycia ich jako argumentów sterowania: optymalizacją oprogramowania kardiologicznego, architekturą sieci i sensorów nadzorujących oraz wykonaniem ćwiczenia kinezyterapeutycznego. W każdym z przykładów wykorzystano sterowanie zdalne generowane automatycznie przez serwer nadzorujący, na którym zaimplementowano reguły zaprojektowane przez operatora. Nadzorowanie kompleksowe (multimodalne i z otwartą listą prawdopodobnych czynności) umożliwia także łączną interpretację zachowań celowych, odruchów i parametrów fizjologicznych jako sygnałów sterujących otoczeniem. Jest to w ograniczonym zakresie zrealizowane przez urządzenia domowego użytku przystosowane do sterowania gestami. Obecnie dostępnych komercyjnie urządzeń nie można jednak nazwać inteligentnymi, ponieważ nie są przystosowane do uczenia się zachowań osoby je obsługującej. Odwrócenie tej roli okazuje się bardzo perspektywiczne w kontekście społeczeństwa starzejącego się.

Wraz z postępującymi procesami starzenia następuje osobniczo zmienna degradacja sprawności fizycznej i intelektualnej. Urządzenia inteligentne (nie tylko o przeznaczeniu ściśle medycznym) w otoczeniu osoby starszej mieszkającej samotnie mogą wytworzyć środowisko sprzyjające pełnej aktywności dzięki dostosowaniu się do aktualnych możliwości i ograniczeń właściciela. Temat ten jest już podjęty w krajach wysoko rozwiniętych, gdzie w siedzibach pacjentów (domach lub hospicjach) wprowadzono eksperymentalne urządzenia, najczęściej mające postać sprzętu domowego użytku lub zabawek, których rolą jest identyfikacja zachowań i stymulacja użytkowników. Urządzenia takie są wyposażone w cyfrowe łącze bezprzewodowe oraz detektor stanu i detektor osoby obsługującej. Na podstawie raportów archiwizowanych przez serwer możliwe jest stwierdzenie wystąpienia zdarzeń potencjalnie niebezpiecznych spowodowanych przez zachowanie osoby nadzorowanej, unikanie tych stanów i wnioskowanie o jej sprawności. Informacje dostarczane przez detektor stanu są zależne od rodzaju urządzenia: czajnik elektryczny, żelazko, kran, fotel, łóżko itp.

Przypisanie każdej nadzorowanej osobie atrybutów określających jej sprawność w poszczególnych sytuacjach codziennego życia i ciągłe monitorowanie tych atrybutów ma dwie zasadnicze korzyści:

- atrybuty mogą zostać przeniesione na inne urządzenia (przykładowy scenariusz: w gospodarstwie domowym żelazko obsługują dwie osoby, a których jedna kilkakrotnie zostawiła odkręcony kran – system powoduje automatyczne wyłączenie żelazka po oddaleniu się od niego tej osoby) oraz
- atrybuty mogą być przeniesione do innych środowisk, w których dana osoba zostanie zidentyfikowana (przykładowy scenariusz: osoba, która kilkakrotnie włączyła pusty czajnik

wybiera się z wizytą do znajomych i urządzenia w ich gospodarstwie przystosowują się do jej niesprawności).

Opisane przykłady inteligentnego dopasowania środowiska życia dla osoby starszej mieszkającej samotnie łączą cechy opisanych wcześniej inteligentnych systemów aparatury medycznej oraz inteligentnego domu. Jest to połączenie paradygmatów Internetu rzeczy (ang. *Internet of things*) i pomyślnego starzenia (ang. *aging in place*), a ich innowacyjną cechą jest łączne wykorzystanie informacji medycznych i behawioralnych do sterowania. Systemy takie mogą być budowane w oparciu o już istniejące technologie pomiarowe (sensory), telekomunikacyjne i informatyczne. Każdy z projektów ogranicza do minimum transmisję danych wrażliwych i zapewnia dowolność użycia systemów kryptograficznych, jeśli okażą się niezbędne.

Bibliografia

- [1] Fayn J. et al., Towards New Integrated Information and Communication Infrastructures in E-Health. Examples from Cardiology, *Computers in Cardiology*, vol. 30, pp.113–116, 2003
- [2] Pinna G. D. et al., Home Telemonitoring of Chronic Heart Failure Patients: Novel System Architecture of the Home or Hospital in Heart Failure Study, *Computers in Cardiology*, vol. 30, pp. 105-108, 2003.
- [3] Paoletti M., Marchesi C. Low computational cost algorithms for portable ECG monitoring units. *IFMBE Proc. Medicon 2004*, paper 231
- [4] Augustyniak P., Content-Adaptive Signal and Data in Pervasive Cardiac Monitoring, *Computers in Cardiology*, vol. 32, pp. 825-828, 2005
- [5] Augustyniak P., Tadeusiewicz R. Modeling of ECG Interpretation Methods Sharing Based on Human Experts Relations, *Proceedings of the 28th IEEE EMBS Annual International Conference New York City, USA*, str. 4663-4669, Aug 30-Sept 3, 2006
- [6] Augustyniak P., Tadeusiewicz R. Assessment of electrocardiogram visual interpretation strategy based on scanpath analysis *Physiological Measurement* vol. 27, pp. 597-608, 2006.
- [7] Piotr Augustyniak, Ranking of ECG diagnostic parameters based on objective evaluation of human-system interaction, *Experimental & Clinical Cardiology*, 2014 vol. 20 iss. 7, str. 1199–1207.
- [8] Augustyniak P., Compound Personal and Residential Infrastructure for Ubiquitous Health Supervision [w:] Hippe Z.S, Kulikowski J.L., Mroczek T. (Eds.) *Human-Computer Systems Interaction. Backgrounds and Applications 2*, Springer-Verlag Co., *Advances in Soft Computing*. str. 523–538
- [9] Augustyniak P., Smoleń M., Mikrut Z., Kańtoch E, Seamless tracing of human behavior using complementary wearable and house-embedded sensors, *Sensors* 2014 vol. 14 iss. 5, pp. 7831–7856.
- [10] Augustyniak P. Layered design of an assisted living system for disabled [w:] Ewa Piętka, Jacek Kawa (eds.) *Information Technologies in Biomedicine* Berlin ; Heidelberg : Springer-Verlag, cop. 2012. pp. 498–509