

AUTOMATYCZNY SYSTEM ZDALNEGO NADZORU KARDIOLOGICZNEGO OPARTY NA PROFESJONALNYCH RELACJACH WŚRÓD LEKARZY

AUTOMATIC MONITORING SYSTEM FOR CARDIOLOGY BASED ON PROFESSIONAL RELATIONSHIPS OF HUMAN EXPERTS

PIOTR AUGUSTYNIAK

Katedra Automatyki Akademii Górniczo-Hutniczej, Kraków, august@agh.edu.pl

Streszczenie. Artykuł przedstawia projekt rozproszonego systemu monitorowania czynności serca pacjentów znajdujących się w nieograniczonej odległości od centrali diagnostycznej. Cechą charakterystyczną proponowanego rozwiązania jest optymalizacja użycia łączy bezprzewodowych poprzez adaptację częstotliwości połączeń z monitorami zdalnymi oraz selektywne i priorytetowe przesyłanie parametrów diagnostycznych. Dopasowanie parametrów połączenia do bieżącego stanu pacjenta, celu diagnostycznego oraz warunków technicznych dokonywane jest na podstawie rezultatów automatycznej analizy sygnału. Zastosowane metody adaptacji są wzorowane na utrwalonych w praktyce relacjach w środowisku kardiologicznym oraz uwzględniają standardy postępowania diagnostycznego opublikowane przez stowarzyszenia lekarskie.

Słowa kluczowe: telemedycyna, nadzór w miejscu zamieszkania, kardiologia

Abstract. This paper introduces a concept of a distributed system for heart activity with unconstrained distance between the patient and the supervising center. The proposed approach features an optimum use of wireless channels through the adaptation of connection frequency and through a selective and prioritized transmission of diagnostic data. Adaptation of connection parameters to the current patient status, diagnostic goals and technical conditions in the wireless network is based on the medical interpretation of the ECG performed automatically. Selected adaptation rules are justified by professional relations between human experts in cardiology well established in medical practice, and take account of medical standards promoted by international societies of cardiology.

Key words: telemedicine, home-care, cardiology

1. Wstęp

Dynamiczny rozwój środków łączności o zasięgu globalnym oraz zapotrzebowanie na nieprzerwany monitoring podstawowych funkcji życiowych ze strony starzejących się społeczeństw spowodowały w ostatnich latach wzrost zainteresowania teleradiologią ze strony naukowców oraz czołowych światowych producentów aparatury medycznej [2], [3], [5], [8]. Wzrost ten zmanifestował się już wdrożeniami kilku systemów nadzoru kardiologicznego i powstaniem ośrodków zdalnej analizy i archiwizacji danych medycznych, a także współpracujących służb interwencyjnych [6], [7], [9].

Analiza pracy tych systemów prowadzi do wniosku, że zarówno podział zadań pomiędzy zdalne urządzenia rejestrujące noszone przez pacjenta i serwer centrum diagnostycznego, jak i sposób transmisji realizowano, powielając rozwiązania typowe dla połączeń przewodowych. Charakterystycznymi wadami tych sieci są: sztywne przyporządkowanie procedur interpretacyjnych do jednego z urządzeń oraz

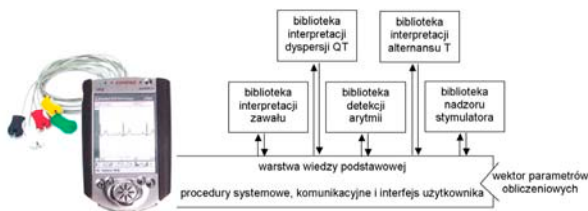
nieoptymalne wykorzystanie bezprzewodowego kanału transmisji danych.

Prace badawcze podjęte i przeprowadzone w Laboratorium Biocybernetyki miały za zadanie identyfikację potrzeb i technicznych możliwości realizacji adaptacji algorytmów interpretacji sygnału EKG oraz efektywnego formatu wymiany informacji o zróżnicowanym poziomie przetworzenia opartego na medycznie uzasadnionej hierarchii priorytetów. Podejmując powyższe prace, uwzględniono szereg uwarunkowań natury technicznej i medycznej:

- dążenie do maksymalnej autonomii urządzenia zdalnego,
- minimalizację strumienia informacji, a w konsekwencji kosztów eksploatacji połączenia bezprzewodowego,
- konieczność spełnienia standardów interpretacji obowiązujących w kardiologii,
- niezawodność informacji rozumiana jako minimalne opóźnienie i zarazem minimalne prawdopodobieństwo zniekształceń,
- umożliwienie wspomaganie automatyki interpretacji przez eksperta kardiologa.

Każdy system adaptacyjny wymaga uważnego doboru reguł adaptacji, w systemie przeznaczonym do diagnostyki medycznej reguły te warunkują poprawne określenie stanu osoby badanej i właściwy dobór środków terapeutycznych. Wobec tak postawionych bardzo ostrych wymagań ciekawym rozwiązaniem wydaje się zaczerpięcie wzorca z utrwalonej praktyki medycznej i zbudowanie reguł adaptacji systemu w oparciu o model relacji pomiędzy kardiologami. Model ten jest uogólnieniem zaobserwowanych przepływów wiedzy i informacji pomiędzy kardiologami o różnym doświadczeniu. Pojęcia te, chociaż z informatycznego punktu widzenia zbliżone, będą używane w tej pracy dla określenia odpowiednio:

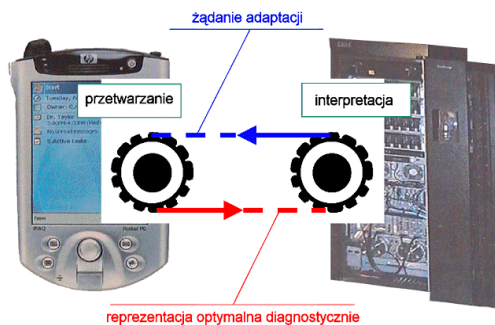
- **wiedza** – zasobu metod interpretacji sygnału i reguł ich przetwarzania w znaczeniu zbliżonym do *pojęcia algorytmu* (rys. 1)
- **informacja** – zasobu sygnałów i innych danych medycznych o różnym stopniu przetworzenia w znaczeniu zbliżonym do *pojęcia danych*.



Rys. 1. Schemat uaktualniania wiedzy rejestratora zdalnego

W zaproponowanym rozwiązaniu adaptacja elementów systemu (rys. 2) na wzór relacji pomiędzy kardiologami przebiega w trzech aspektach następujących:

- początkowa wiedza urządzenia i uzupełniania wiedzy w zależności od cech osobniczych pacjenta i bieżących potrzeb diagnostycznych,
- formatu raportowania w zakresie zawartości i priorytetów informacji przekazywanych do centrum nadzoru,
- częstotliwości raportowania i zasad inicjowania łączności przez oba urządzenia.



Rys. 2. Wymiana informacji pomiędzy serwerem i rejestratorem zdalnym

Inne ewentualnie możliwe wymiary adaptacji także były rozważane, ale ostatecznie nie zostały uwzględnione w raportowanym zakresie prac. W rozdziale drugim zostanie przedstawiona analiza relacji w każdym z wymienionych aspektów oraz ich analogia w rozproszonym zautomatyzowanym systemie nadzoru. Rozdział trzeci jest poświęcony przedstawieniu środków technicznych służących do realizacji adaptacji urządzeń w systemie, a zamykający rozdział czwarty zawiera dyskusję i wnioski końcowe.

2. Model przepływu wiedzy i informacji w elektrodagnostyce kardiologicznej

Rozdział ten przedstawia generalne wnioski z obserwacji relacji w środowiskach kardiologicznych i koncepcje analogii w systemie automatycznego nadzoru kardiologicznego.

2.1. Wiedza początkowa

Wiedza początkowa to zbiór metod interpretacji sygnału, jakie potrafi stosować początkujący kardiolog. Niezależnie, czy przykładem będzie absolwent medycyny, czy lekarz innej specjalności początkujący w kardiologii, wiedzę początkową charakteryzuje zdolność samodzielnej interpretacji najprostszyc patologii. W miarę wzrostu stopnia skomplikowania niepewność diagnozy powiększa się aż do osiągnięcia stanu, w którym konieczna jest pomoc bardziej doświadczonego specjalisty. Należy także zwrócić uwagę na dwie prawidłowości:

- liczba wiarygodnie interpretowanych jednostek chorobowych jest niewielka, ale dzięki skośnemu rozkładowi statystycznemu i poprawnemu doborowi przypadków podczas studiowania ilość elektrokardiogramów interpretowanych poprawnie stanowi znaczny odsetek zapisów,
- objętość informacyjna zapisu surowego jest największa, proces interpretacji prowadzi do zmniejszenia objętości rezultatu diagnostycznego.

Dla zasilanego z baterii urządzenia przenośnego o niewielkiej mocy obliczeniowej z powyższych obserwacji wynikają następujące priorytety dotyczące podstawowej biblioteki procedur interpretacyjnych:

- implementacja procedur, których użycie jest najbardziej prawdopodobne z punktu widzenia spodziewanych patologii,
- implementacja procedur, których działanie redukuje objętość strumienia danych w sposób najbardziej znaczący.

2.2. Uaktualnianie wiedzy

Uaktualnianie wiedzy to długotrwały proces obejmujący praktycznie całą karierę zawodową kardiologa. Proces ten jest związany z niewielkim prawdopodobieństwem napotkania rzadkich przypadków, stałym postępem nauk medycznych oraz z analizą dalszej historii pacjentów uprzednio diagnozowanych. Źródłami dodatkowych umiejętności interpretacyjnych są przeważnie:

- materiały publikowane,
- konsultacje ze specjalistami o większym doświadczeniu, wśród nich szczególne znaczenie ma konsultacja przypadków uznanych początkowo za zbyt trudne, w wyniku której podobne przypadki w przyszłości będą mogły być analizowane samodzielnie.

Uaktualnianie wiedzy, czyli biblioteki procedur interpretacji sygnału, jest bardzo istotną cechą przenośnego urządzenia, w którym ze względów technicznych lub ekonomicznych zaimplementowano jedynie podstawowy podzbiór funkcji. Dzięki uaktualnianiu możliwa jest adaptacja funkcjonalna urządzenia z uwzględnieniem cech osobniczych pacjenta, jego stopnia zagrożenia, a także bieżącego celu diagnostycznego. W rozproszonym systemie automatycznej interpretacji

przewidziano dwa mechanizmy uaktualniania wiedzy rejestratora zdalnego przez serwer centralny:

- uaktualnianie narzucone, inicjowane w przypadku zmiany celu diagnostycznego albo pojawienia się podejrzanych lub sprzecznych raportów i oparte na centralnym rejestrze możliwości funkcjonalnych rejestratorów współpracujących w sieci,
- uaktualnianie na żądanie, inicjowane w przypadku istotnej liczby zapisów raportowanych jako nierozwiązane przez rejestrator zdalny, jeżeli procedura prowadząca do ich rozwiązania jest wykonalna w urządzeniu przenośnym, a koszt uaktualnienia jest niższy niż koszt nadsyłania raportów zawierających sygnał surowy.

Uaktualnianie wiedzy ma dodatkowe zalety wdrożeniowe: przy masowej produkcji gwarantującej niższy koszt pozwala osiągnąć funkcjonalność urządzenia dedykowanego dla określonej osoby, dla określonego zadania, a także urządzenia o przeznaczeniu zmiennym w kontekście historii rezultatów diagnostycznych.

2.3. Częstotliwość raportowania

W codziennej praktyce lekarskiej częstotliwość diagnozowania i raportowania jest zmienna i uzależniona od historii rezultatów diagnostycznych pacjenta. Sytuacje fizjologiczne wpływają na wydłużenie okresu raportowania, a sytuacje patologiczne powodują jego skrócenie aż do ciągłego raportowania na bieżąco.

W automatycznym systemie nadzoru kardiologicznego zastosowano trzy sposoby inicjowania badania, co wpływa bezpośrednio na częstotliwość raportowania:

- badanie planowe, inicjowane przez serwer centralny, wykonywane w interwałach czasu o długości uzależnionej od rezultatów otrzymanych w wyniku interpretacji poprzednich zapisów,
- badanie interwencyjne, inicjowane przez rejestrator zdalny na podstawie przekroczenia zakresu tolerancji parametrów diagnostycznych nadzorowanych w sposób ciągły,
- badanie na żądanie, inicjowane przez pacjenta w sytuacjach złego samopoczucia; dzięki pętli rejestrującej sygnał możliwe jest odtworzenie fragmentu zapisu bezpośrednio poprzedzającego epizod.

Zmienność częstotliwości raportowania ma decydujący wpływ na użycie cyfrowego kanału transmisyjnego, a zatem jest podstawowym sposobem redukcji kosztów eksploatacyjnych. Czynnikiem ten to także narzędzie preselekcji danych, umożliwiające redukcję ilości komunikatów o poprawnej pracy serca, a jednocześnie utrzymanie stałej gotowości diagnostycznej w przypadkach nagłych.

2.4. Raportowanie sytuacji typowej

Wiedza i umiejętności interpretacji zapisu EKG, jakimi dysponuje kardiolog, są kształtowane przez jego doświadczenie i częstotliwość napotykania przypadków poszczególnych patologii. Zatem w sposób naturalny przypadki, z którymi kardiolog styka się najczęściej, są przez niego interpretowane z największą poprawnością. Zjawisko specjalizacji przypomina pętlę dodatniego sprzężenia zwrotnego, gdyż z jednej strony statystyczny rozkład przypadków kształtuje wiedzę kardiologa, a z drugiej pacjenci z podejrzeniami określonych przypadków

kierowani są do specjalistów, którzy najbardziej poprawnie te przypadki interpretują.

Zgodnie z przyjętymi założeniami odnośnie maksymalizacji prawdopodobieństwa wystąpienia przypadków interpretowanych poprawnie przez funkcje wchodzące w skład wiedzy podstawowej rejestratora zdalnego – sytuacja typowa jest przetwarzana autonomicznie. W konsekwencji raport sytuacji typowej zawiera informacje dotyczące podstawowych parametrów diagnostycznych (m.in. rytmu serca) w postaci bezwzględnej albo przyrostowo w odniesieniu do poprzedniego raportu. Priorytet pakietów raportu sytuacji typowej w sieci telekomunikacyjnej może być ustawiony jako normalny albo zmniejszony adaptacyjnie w zależności od średniego opóźnienia pakietów. Opóźnienia raportu sytuacji typowej sięgające nawet do 30% okresu raportowania mogą być tolerowane.

Dzięki adaptacyjności funkcjonalnej rejestratora sytuacja typowa nie jest ograniczona do przypadków fizjologicznie prawidłowych (np. rytmu zatokowego miarowego). Niektóre patologie, o ile ich charakter jest utrwalony (np. migotanie przedsionków), również mogą zostać zdefiniowane jako typowe, podlegać autonomicznej interpretacji i generować skróconą formę raportu. Jeżeli sytuacje uznane jako typowe nie mogą być poprawnie zinterpretowane przez procedury wchodzące w zakres wiedzy podstawowej, to ich zdefiniowanie wymaga uprzedniego uzupełnienia wiedzy rejestratora zdalnego. Ograniczeniem zakresu definicji sytuacji typowej jest moc obliczeniowa rejestratora zdalnego, niewystarczająca do poprawnej interpretacji niektórych trudniejszych zapisów.

2.5. Raportowanie sytuacji nieoczekiwanej

Wobec znacznej zmienności osobniczej oraz różnorodności patologii występowanie sytuacji nieoczekiwanych, trudnych do poprawnej interpretacji jest cechą zawodu lekarskiego [4]. Rozwiązaniem wykształconym w praktyce przez lata historii medycyny jest zróżnicowana specjalizacja poszczególnych osób:

- lekarzy pierwszego kontaktu dysponujących szerokim zakresem (w znaczeniu różnorodności przypadków) stosunkowo płytkiej wiedzy (w znaczeniu zdolności interpretacji przypadków bardzo skomplikowanych),
- lekarzy specjalistów, których zakres wiedzy jest wąski, ale głęboki, co oznacza, że potrafią zinterpretować prawie każdy dowolnie trudny przypadek patologii, ale w zakresie ograniczonym do jednego narządu.

Drugim elementem wykształconym w historii medycyny są relacje lekarzy o zróżnicowanym stopniu specjalizacji:

- wymiana informacji prowadzi do interpretacji przez specjalistę przypadków przekraczających zakres wiedzy lekarza pierwszego kontaktu,
- uaktualnianie wiedzy prowadzi do pogłębienia jej zakresu przez lekarza pierwszego kontaktu i powiększa stopień jego samodzielności, przynajmniej w zakresie kolejnych podobnych przypadków.

Trudno się oprzeć wrażeniu, że przedstawione wymiary wiedzy lekarskiej: szerokość i głębokość są wzajemnie prostopadłe, a wyznaczony przez zakres wiedzy prostokąt ma powierzchnię proporcjonalną do zdolności i doświadczenia, a proporcje boków mogą być określone niemal dowolnie [10]. Analogiczne rozważanie, dotyczące automatycznego systemu interpretacyjnego, prowadzi do wniosku, że ograniczeniem

powierzchni prostokąta wiedzy rejestratora zdalnego są jego zasoby: moc obliczeniowa, wielkość pamięci i maksymalny czas pracy z autonomicznym źródłem zasilania.

Każda sytuacja nieoczekiwana potencjalnie jest manifestacją patologicznej pracy serca, dodatkowo jej interpretacja wykracza poza możliwości interpretacyjne zakresu wiedzy, jaki w chwili jej wystąpienia posiada rejestrator zdalny. W konsekwencji sytuacja nietypowa nie może być poprawnie zinterpretowana w sposób autonomiczny. Poprawna pełna interpretacja wymaga przesłania sygnału surowego lub częściowo przetworzonego (meta dane) do serwera centrali nadzorującej, dysponującego większą wiedzą, większą mocą obliczeniową i wyposażonego w opcję nadzoru ze strony eksperta kardiologa. Niestety, strumień informacji o niższym stopniu przetworzenia ma znacząco większą objętość, w porównaniu z raportem sytuacji typowej.

Prawidłowy dobór zakresu wiedzy rejestratora zdalnego gwarantuje niską częstotliwość sytuacji nieoczekiwanych. Dodatkowo w procesie uzupełniania wiedzy program interpretacyjny rejestratora adaptuje się do specyfiki pacjenta, co dalej zmniejsza ilość takich sytuacji. Ze względu na znaczenie medyczne i potencjalną konieczność interwencji pakiety raportu sytuacji nieoczekiwanej muszą mieć wysoki priorytet w sieci telekomunikacyjnej. Tolerancja opóźnień w stosunku do czasu rzeczywistego rejestracji nie powinna przekraczać wartości typowo tolerowanych w elektrokardiografach stacjonarnych, czyli 1-2 sekund.

3. Rozwiązania techniczne

Dyskusja nad zjawiskami i relacjami obserwowanymi w środowisku kardiologów i ich analogii w automatycznym systemie nadzoru kardiologicznego doprowadziła do zaprojektowania prototypu. Rozdział ten jest poświęcony opisowi podstawowych rozwiązań technicznych zastosowanych do zrealizowania głównych funkcji systemu.

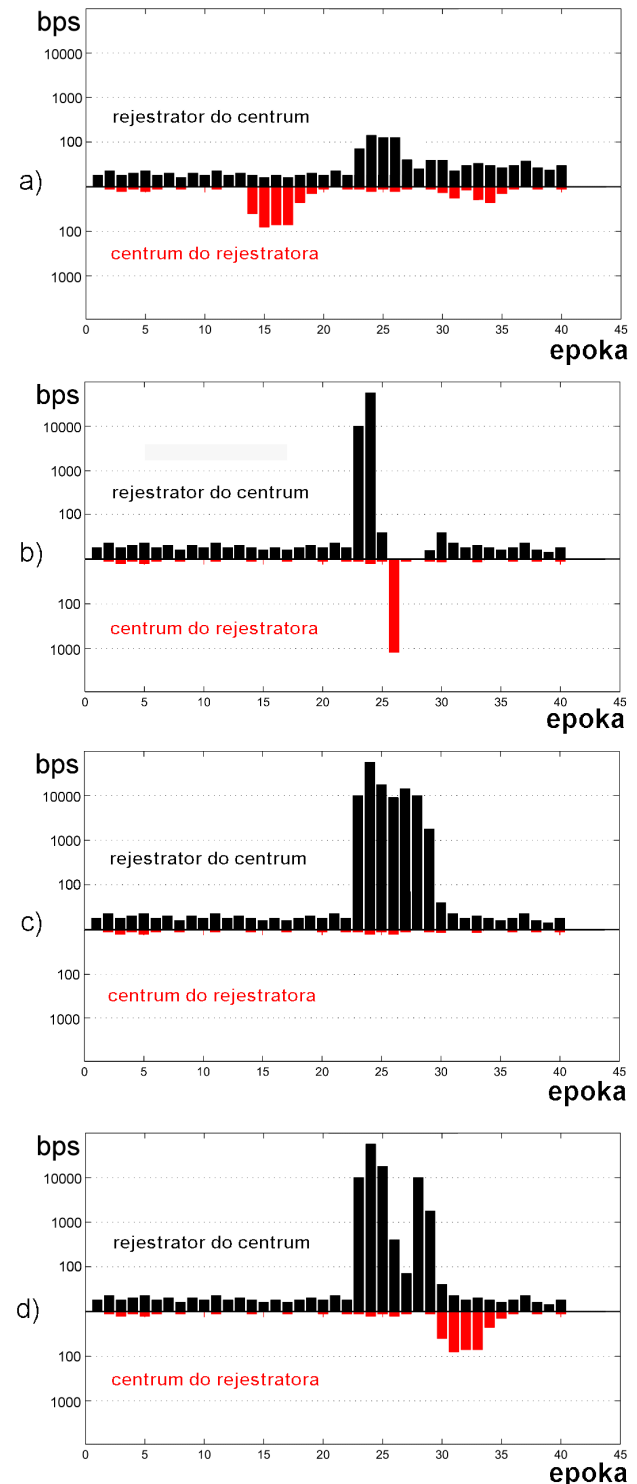
3.1. Uaktualnianie oprogramowania i modyfikacja jego działania

Uaktualnianie i modyfikacja oprogramowania interpretacyjnego są głównymi metodami adaptacji rejestratora zdalnego do cech osobniczych pacjenta oraz potrzeb diagnostycznych.

Modyfikacja oprogramowania interpretującego polega na zdalnej zmianie wartości parametrów obliczeniowych (wartości progowe, współczynniki itp.) w dowolnym momencie. Zestaw funkcji wchodzący w skład wiedzy podstawowej rejestratora zawiera 73 parametry obliczeniowe, a dodatkowe biblioteki dołączane w miarę potrzeby powiększają tę liczbę do 168. Dokonywanie zmian jest inicjowane przez serwer nadzorujący na podstawie rezultatów diagnostycznych, wykrytych błędów interpretacji i informacji o aktualnych wartościach parametrów, jaką serwer otrzymuje od rejestratora zdalnego.

Uaktualnianie oprogramowania jest metodą uaktualniania wiedzy rejestratora poprzez wyposażenie go w dodatkowe procedury interpretacyjne w zależności od potrzeb i wcześniejszej historii pacjenta. Uaktualnianie oprogramowania wykorzystuje mechanizm dynamicznie dołączanych bibliotek, które w postaci plików binarnych przesyłane są z serwera

nadzorującego do pamięci rejestratora. Ten proces także oparty jest na rezultatach diagnostycznych pacjenta, informacji o aktualnej wiedzy rejestratora oraz analizie sytuacji nieoczekiwanych (rys. 3).

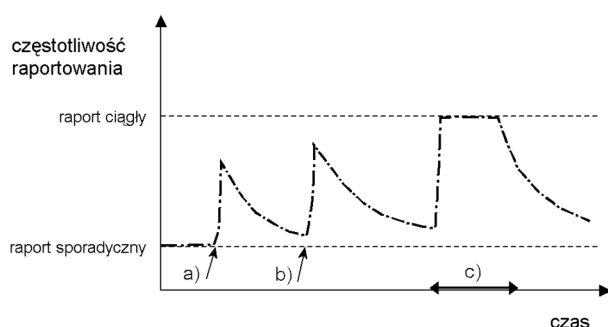


Rys. 3. Przykłady przepływu informacji pomiędzy serwerem centrum diagnostycznego a rejestratorem zdalnym: a) zmiana celu diagnostycznego, b) modyfikacja parametrów obliczeniowych, c) raportowanie sytuacji nieoczekiwanej, d) sytuacja nieoczekiwana i uaktualnienie wiedzy rejestratora

3.2. Sterowanie częstotliwością raportowania

Sterowanie częstotliwością raportowania odbywa się niezależnie w rejestratorze i serwerze nadzorującym (rys. 4). W przypadkach typowych rejestrator pracuje autonomicznie i przesyła raporty z częstotliwością wyliczoną przez siebie na podstawie rezultatów diagnostycznych. Okres raportowania jest także częścią składową raportu, a zatem w sytuacji braku raportu w określonym czasie serwer nadzorujący może zażądać raportu natychmiastowego. Podobne rozwiązanie przyjęto dla obsługi sytuacji nietypowych, interpretowanych przez serwer. W tym przypadku rejestrator zdalny nie może wyliczyć okresu raportowania i przejmuje wartość narzuconą przez serwer.

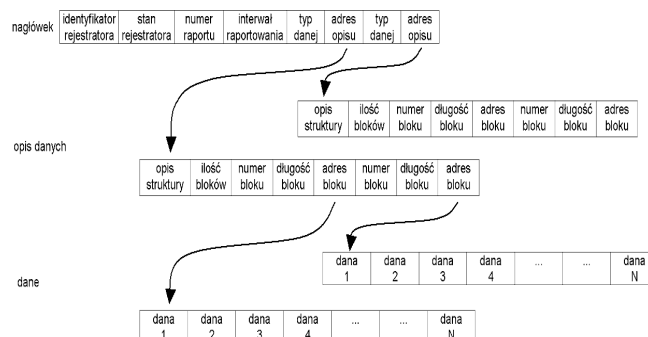
W przypadku raportowania ciągłego przyjęto odmienne rozwiązanie sterowania raportem, nadzorowane wyłącznie ze strony serwera. W tym trybie pracy rejestrator wykonuje tylko podstawowe analizy (m.in. analizę rytmu) w czasie rzeczywistym, albo nie wykonuje żadnych obliczeń interpretacyjnych i przesyła sygnał surowy. Czas trwania raportu ciągłego jest ograniczony przez możliwości obliczeniowe serwera wykonującego prawie wszystkie czynności związane z interpretacją i na podstawie rezultatów decyduje o przejściu w tryb monitorowania ciągłego.



Rys. 4. Przykłady modyfikacji częstotliwości raportowania, a) i b) sytuacje patologiczne zinterpretowane przez rejestrator zdalny, c) sytuacja niespodziewana wymagająca ciągłego raportowania, o zakończeniu decyduje serwer

3.3. Adaptacyjny format danych

Dane (informacje medyczne) podczas interpretacji zapisu EKG istnieją w postaci sygnału, rezultatów diagnostycznych i rezultatów pośrednich (meta dane). Rozproszona architektura oprogramowania interpretacyjnego z adaptacyjnym podziałem ról wymaga przesyłania informacji o zróżnicowanym stopniu przetworzenia [1]. Zadanie to najłatwiej zrealizować, stosując adaptacyjny format danych złożony z niewielkiej objętościowo obowiązkowej części nagłówkowej i zróżnicowanych objętościowo opcjonalnych kontenerów informacyjnych (rys. 5). W części obowiązkowej przesyłane są symbole typu i rozmiaru danych zawartych w poszczególnych kontenerach, a ponadto długość okresu raportowania, identyfikator i podstawowe informacje statusowe rejestratora. Rozszerzone informacje statusowe (np. współrzędne geograficzne położenia, historia obciążenia procesora i poboru energii) mogą się znaleźć w opcjonalnym kontenerze statusowym. Odrębny kontener przewidziano także do komunikacji z pacjentem i może on przechowywać informacje tekstowe, graficzne (np. zdjęcie) lub dźwiękowe.



Rys. 5. Schemat adaptacyjnego formatu raportu

Biorąc pod uwagę założenie optymalnego wykorzystania kanału telekomunikacyjnego, należy zauważyć, że znaczne rozbudowanie formatu raportu łatwo spowoduje wypełnienie całego pasma oferowanego przez kanał (np. GPRS – 56kb/s), ograniczając dostępną częstotliwość raportowania i uniemożliwiając raportowanie ciągłe. Tak więc rozbudowując format danych o kolejne typy kontenerów (zwłaszcza multimedialnych, o dużej objętości), należy zadbać o ograniczenia częstotliwości ich użycia.

4. Dyskusja i wnioski

Projekt rozproszonego systemu nadzoru kardiologicznego jest inspirowany niedoskonałościami dostrzeżonymi w sieciach nadzoru wdrożonych we wczesnych latach XXI wieku. Przetwarzanie i wymiana informacji w tych sieciach odbywa się w sposób jednorodny, co wyklucza adaptację algorytmu interpretacji do pacjenta, a także optymalne użycie kosztownych połączeń. Dodatkowym wyzwaniem była generalizacja i próba przeniesienia na sieć urządzeń telemedycznych relacji i ról wypracowanych wśród kardiologów w długiej historii medycyny.

W początkowym okresie prac projektowych wyłączono niektóre zagadnienia do odrębnego opracowania:

- współpraca serwera nadzorującego z kardiologiem – ekspertem,
- wielowartościowa ocena ryzyka niepoprawnej diagnozy przez rejestrator zdalny,
- oszacowanie zapasu mocy obliczeniowej rejestratora zdalnego przy podejmowaniu decyzji o uaktualnieniu jego wiedzy.

Niektóre inne zagadnienia rozwiązano w sposób uproszczony, zapewniając ograniczoną funkcjonalność sieci. Zagadnienia te wytyczają jednocześnie kierunek prac badawczych w najbliższej przyszłości:

- określanie interwału raportowania na podstawie historii rezultatów diagnostycznych,
- współpraca i wzajemna kompatybilność procedur interpretacyjnych zaimplementowanych w rejestratorze zdalnym i w serwerze,
- automatyczne poszukiwanie przez rejestrator zdalny optymalnego kanału komunikacji.

Obecny stan zaawansowania testów prototypowej wersji zdalnego rejestratora interpretującego i serwera nadzorującego pozwalają stwierdzić, że:

- automatyczny podział ról przy interpretacji zapisu EKG powoduje nieznaczny przyrost objętości przesyłanych

danych w porównaniu do interpretacji tego sygnału przez rejestrator zdalny,

- ograniczenie mocy obliczeniowej ze strony rejestratora zdalnego nieznacznie obniża możliwości i wiarygodność diagnozy, głównie za przyczyną opóźnień,
- w przypadkach wątpliwych możliwa jest weryfikacja diagnozy poprzez powtórny analizę przesłanego na żądanie sygnału EKG przez serwer nadzorujący lub eksperta – kardiologa.

Opisywany system nadzoru kardiologicznego jest obecnie testowany w wersji prototypowej, ale można już jednoznacznie stwierdzić, że interpretacja zapisu EKG w sposób adaptacyjny w systemie rozproszonym łączy najistotniejsze zalety i wyklucza podstawowe mankamenty dotychczas wdrożonych sieci telediagnostycznych.

Podziękowania

Badania naukowe sfinansowane przez Komitet Badań Naukowych w latach 2004-2007 ramach grantu 3T11E 00127.

Literatura cytowana

1. Augustyniak P.: Optimizing the machine description of electrocardiogram, *Journal of Medical Informatics and Technology* vol. 8, pp. MM-41-MM48, 2004.
2. Boussejot R. et al.: Telemetric ECG Diagnosis Follow-Up, *Computers in Cardiology*, 30, pp. 121-124, 2003.
3. Chiarugi F. et al.: Real-time Cardiac Monitoring over a Regional Health Network: Preliminary Results from Initial Field Testing, *Computers in Cardiology*, 29, pp. 347-350, 2002.
4. Chiarugi F. et al.: Continuous ECG Monitoring in the Management of Pre-Hospital Health Emergencies, *Computers in Cardiology*, 30, pp. 205-208, 2003.
5. Gouaux F. et al.: Ambient Intelligence and Pervasive Systems for the Monitoring of Citizens at Cardiac Risk: New Solutions from the EPI-MEDICS Project' *Computers in Cardiology*, 29, pp. 289-292, 2002.
6. Khoór S. et al.: Internet-Based, GPRS, Long-Term ECG Monitoring and Non-Linear Heart-Rate Analysis for Cardiovascular Telemedicine Management, *Computers in Cardiology*, 30, pp. 209-212, 2003.
7. Maglaveras N. et al.: Using Contact Centers in Telemanagement and Home Care of Congestive Heart Failure Patients: The CHS Experience, *Computers in Cardiology*, 29, pp. 281-284, 2002.
8. Nelwan S. P., van Dam T. B., Klootwijk P., Meil S. H.: Ubiquitous Mobile Access to Real-time Patient Monitoring Data, *Computers in Cardiology*, 29, pp. 557-560, 2002.
9. Pinna GD. et al.: Home Telemonitoring of Chronic Heart Failure Patients: Novel System Architecture of the Home or Hospital in Heart Failure Study, *Computers in Cardiology* 30, pp. 105-108, 2003.
10. Tadeusiewicz R.: Automatic Understanding of Signals. In: Kłopotek M. A., Wierchoń S. T., Trojanowski K. (Eds.): *Intelligent Information Processing and Web Mining*. Springer, pp. 577-590, 2004.

