

Alina MOMOT

Politechnika Śląska, Instytut Informatyki

Michał MOMOT, Roman SEREDYŃSKI

Instytut Techniki i Aparatury Medycznej ITAM

SYMULACJA DZIAŁANIA SYSTEMU WIELOAGENTOWEGO DLA DETEKCJI PUNKTÓW CHARAKTERYSTYCZNYCH W SYGNAŁACH BIOMEDYCZNYCH

Streszczenie. Artykuł opisuje system wieloagentowy, którego przeznaczeniem jest wykrywanie punktów charakterystycznych w sygnałach biomedycznych. W systemie tym istnieje wiele agentów dysponujących lokalnymi bazami wiedzy, których parametry są aktualizowane w procesie komunikacji z pojedynczym agentem nadzorującym. Artykuł przedstawia również wirtualne środowisko, służące do symulacji działania zaprojektowanego systemu.

Słowa kluczowe: system wieloagentowy, inteligencja zbiorowa, sygnały biomedyczne

SIMULATION OF MULTIAGENT SYSTEM FOR DETECTION CHARACTERISTIC POINTS IN BIOMEDICAL SIGNALS

Summary. The article describes a multi-agent system for the purpose of detecting the characteristic points in biomedical signals. In this system, there are many agents with their local knowledge bases, whose parameters are updated in the communication process with a single supervisory agent. The article also presents the virtual environment designed to simulate the work of the proposed system.

Keywords: multi-agent system, collective intelligence, biomedical signals

1. Wprowadzenie

Realizacja codziennych zadań placówek medycznych może być usprawniona dzięki wykorzystaniu nowoczesnych technologii teleinformatycznych. Nieodłącznym elementem

procesu diagnostyczno-terapeutycznego jest wymiana informacji między jednostkami opieki medycznej na różnych poziomach referencyjnych, między innymi dotyczy to przesyłania i przetwarzania sygnałów biomedycznych [7]. Prowadzone są również prace dotyczące systemów telemedycznych, w których oprogramowanie działające w środowisku rozproszonym składa się z modułów programowych, dynamicznie modyfikowanych w trakcie ich działania [1]. Projektowanie i formalny opis działania systemów wieloagentowych, realizujących zadania telemedycyny, nie jest zagadnieniem nowym, przykład takiego opisu stanowi m.in. praca [3], gdzie autorzy skupiają się na formalnym opisie języka służącego do modelowania systemów wieloagentowych.

W 1996 r. Franklin i Graesser podjęli próbę zdefiniowania pojęcia agenta: autonomicznym agentem jest system, który znajduje się w konkretnym środowisku i jest jego częścią, oddziałuje na nie i działa w nim zgodnie ze swoim własnym programem [2]. Zatem opis autonomicznego agenta powinien obejmować środowisko jego działania, jego właściwości, możliwości działania oraz wybraną architekturę.

System wieloagentowy (ang. *multi-agent system, MAS*) składa się z wielu agentów, które współdziałając ze sobą realizują określone zadania. Agenci ci rozproszeni są w pewnym środowisku, działając na różnych komputerach. Podstawowe własności systemów wieloagentowych obejmują [5]:

- każdy agent dysponuje niekompletną informacją i ma ograniczone możliwości,
- system kontrolujący jest rozproszony,
- dane są zdecentralizowane,
- obliczenia są asynchroniczne.

Systemy wieloagentowe, jako systemy rozproszone umożliwiają zwiększenie szybkości realizowanego zadania, jak również poprawiają niezawodność systemu, gdyż nawet awaria pojedynczego agenta nie powoduje zawieszenia realizacji procesu obliczeniowego. Systemy takie różnią się ze względu na użycie różnych rodzajów agentów, jak również ze względu na różne interakcje zachodzące między nimi oraz ze względu na środowisko, w którym działają. Istnieje wiele przemysłowych i komercyjnych zastosowań dla systemów wieloagentowych, takich, jak np.: rynki elektroniczne, systemy transportowe, monitorowanie ruchu w czasie rzeczywistym lub automatyczne uzgadnianie spotkań, gdzie agenci w imieniu pewnych podmiotów nadrzędnych ustalają szczegóły tych spotkań [4, 18]. Interesująca koncepcja współpracy agentów opisana jest w pracy [13], gdzie dokonywana jest analiza danych za pomocą systemu wieloagentowego, realizowana poprzez współpracę dysponujących indywidualnymi zestawami danych agentów, która jest rozumiana jako wymiana rezultatów ich działań. Podobna koncepcja, tym razem bazująca na hierarchicznym modelu systemu wieloagentowego, opisana jest w pracy [9]. Typowe własności agentów, metody i architektury są zawarte w pra-

cy [17], która opisuje historię i bieżący stan wiedzy, dotyczący różnorodnych systemów wieloagentowych.

Systemy wieloagentowe są często bardzo złożone i trudno formalnie zweryfikować ich własności. Dlatego też jedną z wiarygodnych metod dokładnego przeanalizowania ich własności jest symulacja. W ostatnich czasach powstało wiele narzędzi wspomagających projektowanie i symulację systemów wieloagentowych. Kilka, najczęściej stosowanych narzędzi opisano w pracy [16]. Jednak trzeba pamiętać, że usytuowanie agenta w konkretnym środowisku wymusza również modelowanie tego środowiska podczas symulacji, a nawet zdarza się, że środowisko agenta jest główną częścią symulacji, określającą sposób postrzegania oraz oddziaływania agenta. Na przykład, zagadnienia projektowania i symulacji działania systemów czasu rzeczywistego, w szczególności systemów telemedycznych, wymagają opracowywania specjalistycznych narzędzi, których przykłady zostały opisane w pracach [14 i 15]. W pracach tych zostały również przedstawione autorskie rozwiązania, wspomagające projektowanie i symulację takich systemów, w szczególności obejmujące zagadnienia składowania wyników symulacji w odpowiedniej bazie danych.

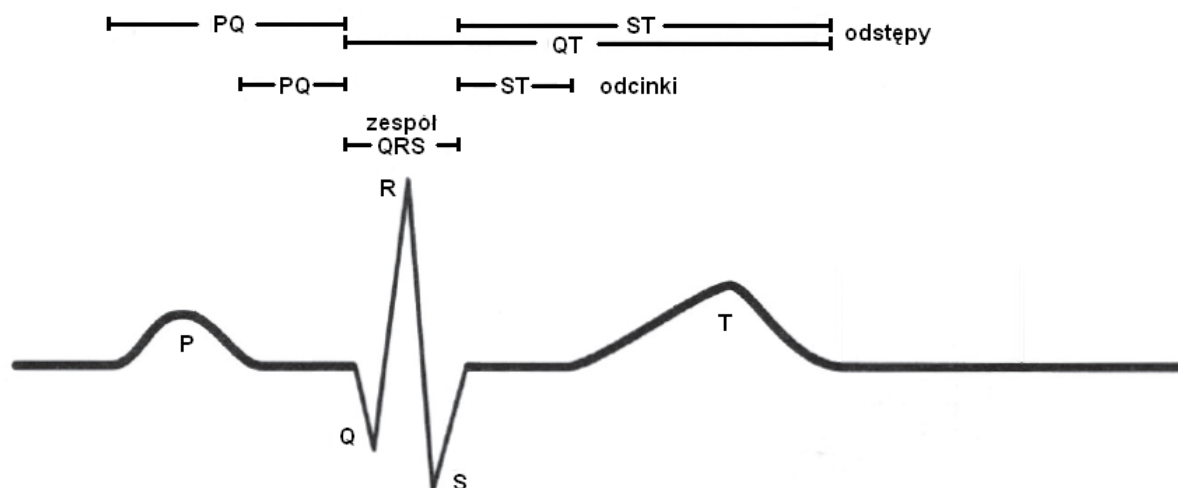
Poniżej opisany jest przykład systemu wieloagentowego, którego przeznaczeniem jest wykrywanie punktów charakterystycznych w sygnałach biomedycznych. W systemie tym pracuje wiele agentów, z których każdy dysponuje swoją lokalną bazą wiedzy. Bazy wiedzy są tworzone i aktualizowane w wyniku działania agentów, które realizują algorytmy detekcji punktów charakterystycznych. Algorytmy te są opisywane poprzez adaptacyjnie dobierane parametry. Reguły doboru tych parametrów są nadzorowane przez pojedynczego, wyróżnionego agenta, zwanego agentem nadzorującym, dysponującego globalną bazą wiedzy. Symulacja działania zaprojektowanego systemu odbywa się w wirtualnym środowisku, gdzie dokonywane są eksperymenty numeryczne, których wyniki opisane są w dalszej części artykułu.

2. Algorytm detekcji punktów charakterystycznych

Jednym z podstawowych sygnałów biomedycznych jest sygnał elektrokardiograficzny. Elektrodiagnostyka pracy serca jest wykorzystywana do wykonywania metodami nieinwazyjnymi badań, takich jak badania elektrokardiograficzne spoczynkowe lub wysiłkowe, jak również długoczasowe rejestracje metodą Holtera. Celem tych badań jest pomoc lekarzom w diagnostyce chorób serca. Na wykresie EKG można wyróżnić następujące elementy (patrz rys. 1), które poddawane są analizie [6]:

- linię izoelektryczną, czyli linię poziomą rejestrowaną w czasie, gdy w sercu nie stwierdza się żadnych pobudzeń; wyznaczana jest na ogół według odcinka PQ i stanowi punkt odniesienia dla innych zmian;

- załamki, czyli wychylenia od linii izoelektrycznej (załamek nazywa się dodatnim, gdy wychylony jest w górę lub ujemnym, gdy wychylony jest w dół); w sygnale fizjologicznym można wyróżnić co najmniej: załamek P, zespół QRS, załamek T;
- odcinki, czyli czasy trwania linii izoelektrycznej pomiędzy załamkami; analizie poddaje się między innymi: odcinek PQ, odcinek ST;
- odstępy, określające łączny czas trwania odcinków i sąsiadującego z nimi załamka, w zapisie EKG można wyróżnić co najmniej: odstęp PQ, odstęp ST, odstęp QT.



Rys. 1. Schemat charakterystycznych parametrów pojedynczego cyklu sygnału EKG

Fig. 1. Scheme of characteristic parameters of single ECG signal cycle

Detekcja punktów charakterystycznych sygnału EKG (początków i końców załamków, szczytu R itp.) stanowi integralną część niemal każdego systemu komputerowej analizy EKG. Jedną z najprostszych metod detekcji punktów charakterystycznych jest metoda bezpośrednio oparta na definicji medycznej. W analizowanym sygnale poszukiwany jest punkt, w którym następuje „pierwsze odejście sygnału od linii izoelektrycznej”. Moment ten jest wykrywany w miejscu przecięcia przez sygnał progu, wyznaczonego na podstawie pierwiastka wartości średniokwadratowej z ustalonej liczby różnic próbek sygnału tuż przed domniemanym końcem zespołu QRS. Jako początek zespołu przyjmuje się próbkę sygnału najbardziej zbliżoną do miejsca przecięcia progu.

Często wykorzystuje się również metody detekcji punktów charakterystycznych, bazujące na wykorzystaniu pierwszej i drugiej pochodnej analizowanego sygnału [12]. Wyznaczanie tych pochodnych dokonywane jest na ogół w sposób numeryczny. Możliwe jest zastosowanie tu interpolacji wielomianowej, gdzie pochodna wielomianu interpolacyjnego jest przybliżeniem pochodnej rozpatrywanego sygnału EKG. Podejście takie opisane jest w pracy [10].

W wielu medycznych systemach monitorujących konieczne jest wyznaczanie częstości akcji serca. Dokonuje się tego najczęściej za pomocą wyznaczania odstępów między kolejnymi ewolucjami sygnału EKG, bazując na odstępach między kolejnymi punktami synchro-

nizacji (punktami centrującymi, ang. *fiducial points*) zespołów QRS, którymi są najczęściej maksima załamka R. W tym celu można zdefiniować funkcję detekcyjną następującym wzorem:

$$d(t) = a_1 |s'(t)| + a_2 |s''(t)|, \quad (1)$$

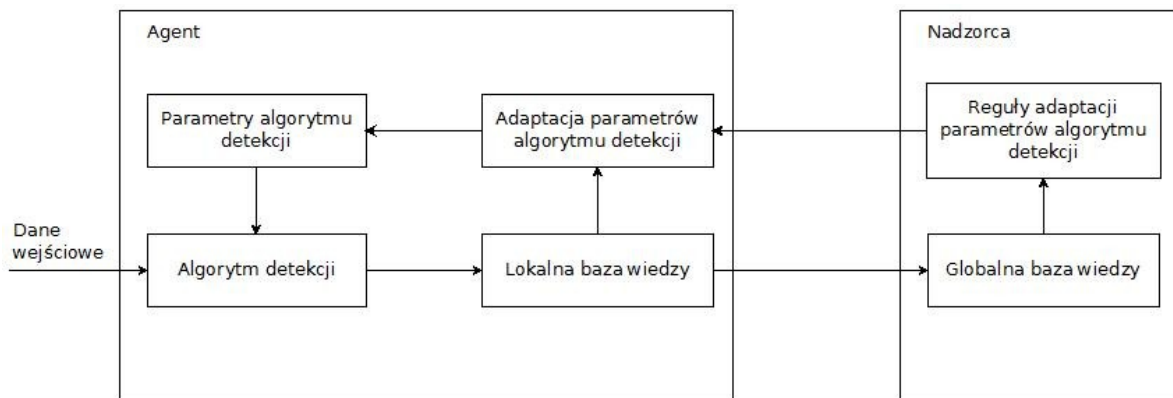
gdzie: $s(t)$ jest wejściowym sygnałem EKG, natomiast a_1 i a_2 są dodatnimi wagami. Taka kombinacja liniowa wartości bezwzględnych pochodnych pierwszej i drugiej uwzględnia zarówno szybkość narastania lub opadania sygnału (pierwsza pochodna), jak i zmianę zbocza sygnału z rosnącego na malejące lub odwrotnie (druga pochodna). Z jej określenia wynika, że punkt centrujący zespołu QRS stanowi maksimum lokalne funkcji detekcyjnej. Zatem poszukiwanie punktów centrujących można sprowadzić do znajdowania lokalnych maksimów funkcji detekcyjnej, w których jej wartość przekracza ustalony próg θ . Niestety nie jest możliwe jednoznaczne określenie wartości tego progu dla wszystkich przebiegów sygnału EKG (nawet dla ustalonej osoby), dlatego też wartość tę najczęściej wyznacza się w sposób adaptacyjny. Jako wartość początkową można przyjąć średnią arytmetyczną z maksimów lokalnych funkcji $d(t)$ na określonym przedziale, np. kilkanaście sekund. Po wykryciu kolejnego punktu centrującego w chwili t_k , parametr θ jest uaktualniany według następującego wzoru:

$$\theta_{new} = \alpha d(t_k) + (1 - \alpha)\theta_{old}, \quad (2)$$

gdzie α jest pewnym parametrem metody, przyjmującym wartości z przedziału $(0, 1)$. Zatem im większa wartość parametru α , tym większy wpływ na wybór nowego progu θ_{new} ma wartość funkcji detekcyjnej w ostatnio wykrytym punkcie centrującym, a mniejszy wpływ ma poprzednia wartość progu θ_{old} .

3. Architektura systemu wieloagentowego

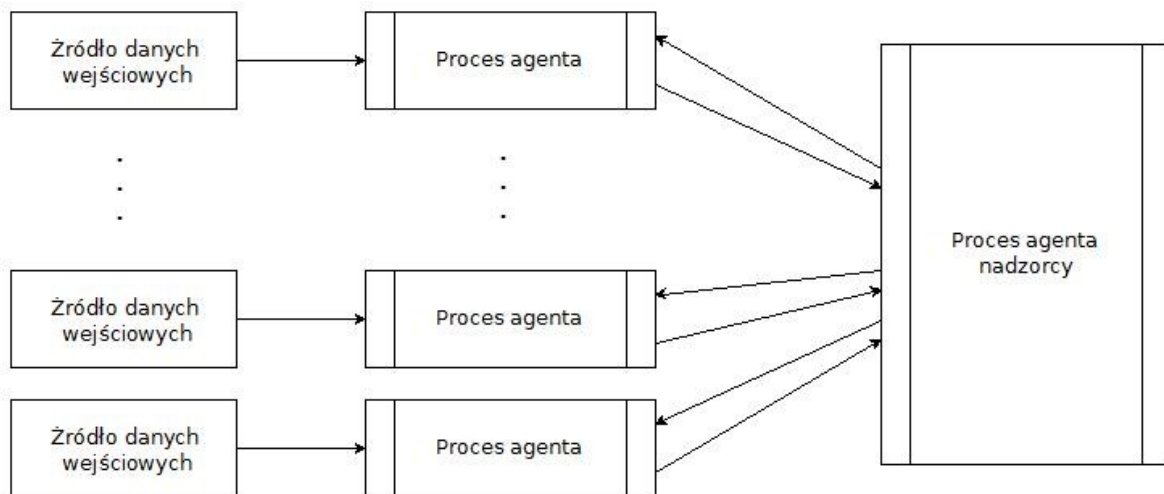
W proponowanym systemie wieloagentowym można wyróżnić agenty realizujące opisany w poprzedniej sekcji algorytm detekcji punktu centrującego zespołu QRS, które adaptacyjnie aktualizują parametr θ bazując na swoich lokalnych bazach wiedzy, posługując się ustaloną wartością parametru α . Bazy te zawierają, oprócz wartości parametru α oraz bieżącej wartości progu θ , również wartości odstępów pomiędzy kolejnymi punktami centrującymi zespołów QRS. Dodatkowo, w systemie działa również agent nadzorujący ich pracę, dysponujący globalną bazą wiedzy, który komunikując się z pozostałymi agentami decyduje o wartościach parametrów α poszczególnych agentów, jak jest to przedstawione na rys. 2.



Rys. 2. Schemat komunikacji agenta z nadzorcą

Fig. 2. Scheme of communication between agent and supervisor

Globalna baza wiedzy, którą dysponuje agent nadzorujący powstaje w wyniku gromadzenia informacji od poszczególnych agentów na temat ich bieżących wartości parametrów α oraz wartości odstępów pomiędzy kolejnymi punktami centrującymi zespołów QRS, wykrytymi przez poszczególne agenty. Na podstawie tej globalnej bazy nadzorca wysyła polecenia modyfikacji parametru α do poszczególnych agentów, jak zaznaczono to na rys. 3.



Rys. 3. Schemat działania systemu wieloagentowego

Fig. 3. Scheme of working the multi-agent system

Modyfikacja ta dokonuje się na podstawie następującego wzoru:

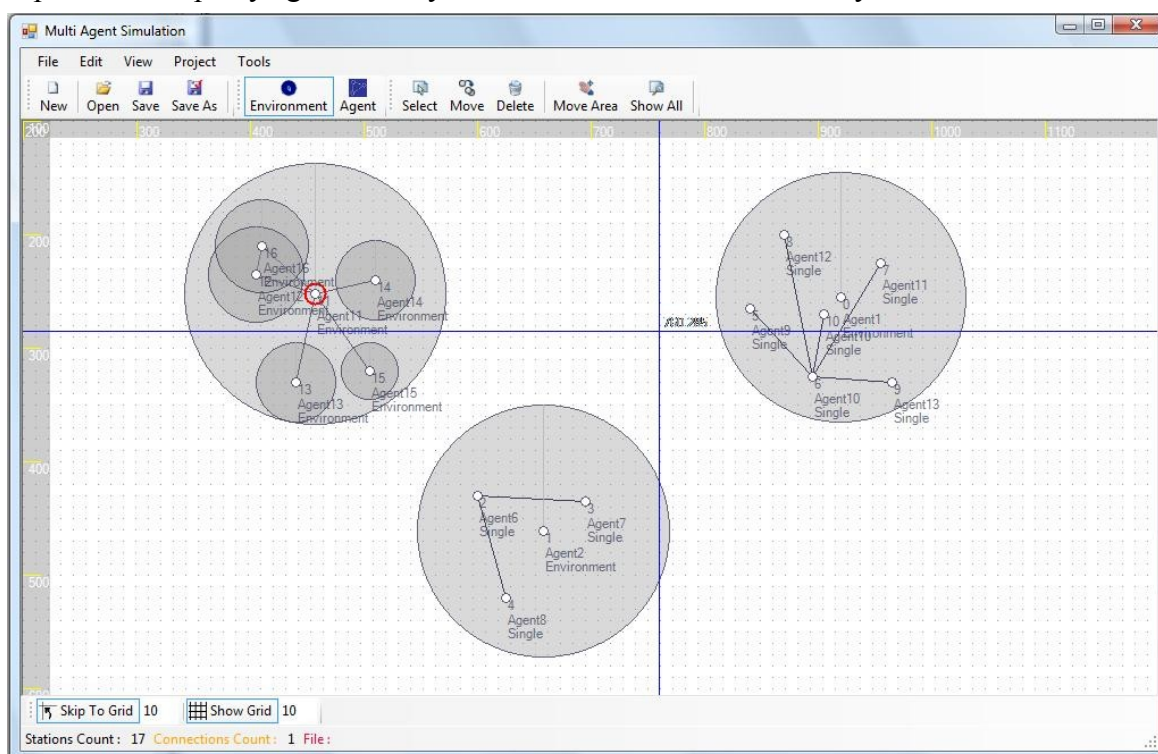
$$\alpha_i = \exp\left(-\beta \frac{\sigma_i}{\sigma}\right), \quad (3)$$

gdzie: i oznacza indeks agenta, σ_i jest próbkowym odchyleniem standardowym odstępów pomiędzy punktami centrującymi zespołów QRS w bazie wiedzy i -tego agenta, natomiast σ jest próbkowym odchyleniem standardowym odstępów pomiędzy punktami centrującymi zespołów QRS w globalnej bazie wiedzy. Można zauważyć, że w przypadku, gdy odchylenie σ_i jest relatywnie (względem odchylenia σ) małe, parametr α_i przyjmuje wartości bliskie 1,

czyli większy wpływ na wybór progu θ ma wartość funkcji detekcyjnej w ostatnio wykrytym punkcie centrującym (patrz wzór (2)). Uwzględnienie we wzorze dodatniego parametru β może modyfikować szybkość zmian parametru α_i – im większa wartość parametru β , tym większa wrażliwość parametru α_i na zmiany próbkowych odchyleń standardowych.

4. Eksperymenty numeryczne

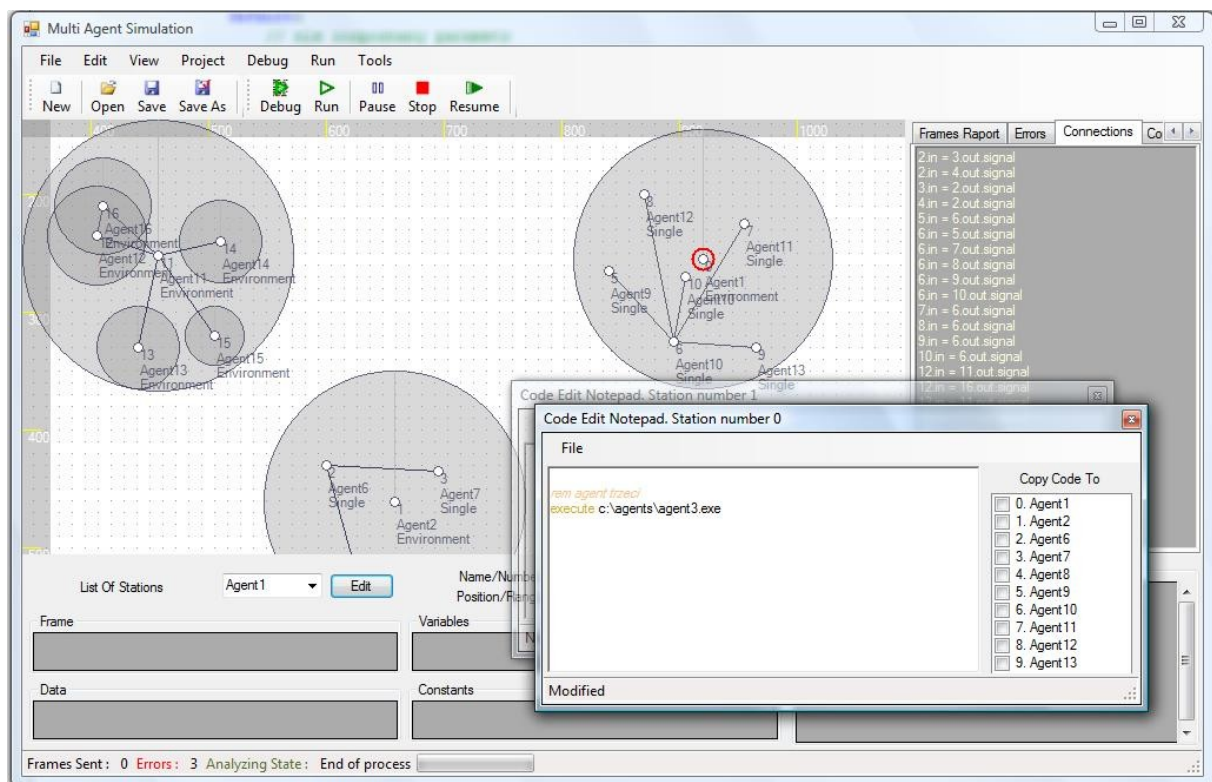
Projektowanie agenta polega na opracowaniu i implementacji agenta w pewnym środowisku programistycznym. Dla celów wykonania eksperymentów numerycznych, polegających na symulacji pracy opisanego uprzednio systemu wieloagentowego, przygotowano specjalizowane oprogramowanie symulacyjne, którego główny ekran jest przedstawiony na rys. 4. Program został zaimplementowany w języku programowania C#, w środowisku Visual Studio. Agent jest reprezentowany w formie pliku wykonywalnego i uruchamiany w ramach tego oprogramowania. Wizualnie poszczególne węzły wirtualnej sieci symbolizują środowisko pracy agentów, a sam agent jest widziany jako element zbiorowości, działający zgodnie z protokołem współdziałania. Oprogramowanie stanowi warstwę interfejsu odpowiedzialną za przekazywanie danych i komunikatów pomiędzy agentami oraz umożliwia przechowywanie parametrów pracy agentów i wyników ich działania w bazie danych.



Rys. 4. Widok środowiska działania systemu wieloagentowego
Fig. 4. View of environment of working the multi-agent system

W ramach etapu edycji możliwe jest graficzne dodawanie nowego agenta, określając zasięg działania jego środowiska poprzez odpowiedni dobór średnicy okręgu (zakłada się, że agenci będą mogli wzajemnie komunikować się jedynie w wybranym zasięgu). W ten sposób powstaje graf połączeń wirtualnej sieci, potencjalnie złożonej z wielu, niezależnie działających środowisk. Naniesione graficznie punkty reprezentujące agenty można zaznaczać, zmieniać ich pozycję lub usuwać. Przykład widoku, w którym ustalane są parametry pracy agenta widoczny jest na rys. 5. Utworzenie nowego procesu agenta następuje poprzez wywołanie funkcji `execute (path [, max_live_time_in_ms])`. Uruchomiony agent działa autonomicznie wykonując przypisane zadania w środowisku komunikując się z innymi agentami. Agenci mogą zostać powołani do:

- wykonania zadania jeden raz,
- cyklicznego wykonywania zadania,
- wykonywania zadań w określonych punktach czasowych.



Rys. 5. Ustalanie parametrów dla agentów
Fig. 5. Setting of agents parameters

W opisanym środowisku przeprowadzono wiele eksperymentów numerycznych, polegających na symulacji pracy systemu wieloagentowego, którego przeznaczeniem jest wykrywanie centrujących punktów zespołów QRS w sygnałach EKG, podawanych jako dane wejściowe. Wejściowe sygnały EKG pochodziły z bazy danych MIT-BIH [8, 11]. Wybrano 25 przebiegów sygnału, z których każdy był podawany na wejście innego agenta. Czas trwania poje-

dynczego przebiegu sygnału EKG wynosił 30 minut. Agent nadzorujący co minutę komunikował się z każdym z agentów wykrywających punkty centrujące, aby móc potencjalnie zmodyfikować wartości ich parametrów α . Modyfikacje te uwzględniały próbkowe odchylenia standardowe odstępów pomiędzy punktami centrującymi zespołów QRS w bazie wiedzy i -tego agenta oraz globalnej bazy wiedzy, obliczane z okresu 5 minut poprzedzających chwilę komunikacji (patrz wzór (3)). Na podstawie wstępnych eksperymentów ustalono wartości parametrów funkcji detekcyjnej $a_1 = 2$ i $a_2 = 1$ (patrz wzór (1)).

Dla opisanych wcześniej parametrów eksperyment był powtarzany dla zmieniających się wartości parametru β (patrz wzór (3)). Wyniki tych eksperymentów, dla kilku wybranych wartości parametru β , przedstawia tabela 1, w której σ oznacza wartość próbkowego odchylenia standardowego odstępów pomiędzy punktami centrującymi zespołów QRS w globalnej bazie wiedzy agenta nadzorującego, po zakończeniu eksperymentu; Se oznacza czułość (ang. *sensitivity*), PPV – wartość predykcyjną dodatnią (ang. *positive predictive value*), czyli:

$$Se = \frac{TP}{TP + FN} \quad PPV = \frac{TP}{TP + FP}, \quad (4)$$

gdzie: TP oznacza liczbę zespołów QRS poprawnie wykrytych, FN – liczbę zespołów QRS niewykrytych, a FP – liczbę błędnie wykrytych zespołów QRS; $RMSE$ oznacza pierwiastek błędu średniokwadratowego pomiędzy położeniami punktów centrujących zespołów QRS wykrytych a wartościami referencyjnymi zawartymi w bazie danych MIT-BIH.

Tabela 1

Wyniki przeprowadzonych eksperymentów numerycznych

Wartości parametru β	σ [ms]	Se [%]	PPV [%]	$RMSE$ [ms]
0,2	54,2	76,3	69,3	13,2
0,5	32,3	88,7	91,0	8,3
1,0	33,0	88,3	92,1	7,9
1,5	39,2	89,0	90,4	8,9
2,0	48,0	80,4	70,9	15,0

5. Wnioski

Opracowane oprogramowanie pozwala na symulację i analizę rozproszonego systemu wieloagentowego, scentralizowane na jednej maszynie przed przeniesieniem jego działania do rzeczywistego środowiska. Przedstawiono tu symulację oraz ocenę jakości działania prostego systemu wieloagentowego, realizującego zadania detekcji punktów charakterystycznych w sygnale elektrokardiograficznym, na przykładzie detekcji punktów centrujących zespołów QRS. Algorytm detekcji zaimplementowany dla systemu wieloagentowego wykorzystuje inteligencję rozproszoną, reprezentowaną przez lokalne bazy wiedzy poszczególnych agentów

oraz globalną bazę wiedzy agenta nadzorującego. Eksperymenty numeryczne przeprowadzono dla wybranych wartości parametru β kontrolującego regułę adaptacji parametrów pracy agentów. Wyniki eksperymentów sugerują stabilne i powtarzalne działanie algorytmu dla wartości tego parametru w przedziale (0,5; 1,5).

Planowane jest kontynuowanie prac w kierunku implementacji i badania innych algorytmów detekcji zjawisk czasowych w środowisku wieloagentowym, w szczególności bardziej rozbudowanych algorytmów detekcji punktów charakterystycznych. Ponadto, zostaną przeprowadzone eksperymenty symulacyjne, mające na celu między innymi empiryczną ocenę istotnych wskaźników wydajności systemu, jakimi są: czasy aktywności agentów oraz czas dostarczenia odpowiedzi przez agenta.

BIBLIOGRAFIA

1. Augustyniak P.: Discrete Nonlinear Control of the Diagnostic Quality in Distributed Telemedical Systems. *Advances in Soft Computing*, Vol. 69, 2010, s. 355÷366.
2. Franklin S., Graesser A.: Is it an Agent, or just a Program?: A Taxonomy for Autonomous Agents. *LNCS*, Vol. 1193, 1996, s. 21÷35.
3. Gruera P., Hilaire V., Koukama A., Cetnarowicz K.: A formal framework for multi-agent systems analysis and design. *Expert Systems with Applications*, Vol. 23, No. 4, 2002, s. 349÷355.
4. Jain L. C., Chen Z., Ichalkaranje N.(eds): *Intelligent agents and their applications*. Physica-Verlag, Heidelberg 2002.
5. Jennings N. R., Sycara K., Wooldridge M.: A roadmap of agent research and development. *Journal of Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, Vol. 1, 1998, s. 7÷38.
6. Klinge R.: *The electrocardiogram*, Thieme Medical Publishers, New York 1988.
7. Korsakas S., Vainoras A. i in.: Functional state evaluation system with distributed intellect for elderly and disabled population. *Proceedings of Conference Biomedical Engineering*, Kaunas, 2010, s. 30÷36.
8. Mark R., Moody G.: *MIT-BIH Arrhythmia Database Directory*. MIT, Cambridge, MA, 1988.
9. Momot A., Małysiak-Mrozek B. i in.: Improving Performance of Protein Structure Similarity Searching by Distributing Computations in Hierarchical Multi-Agent System. *LNAI*, Vol. 6421, 2010, s. 320÷329.
10. Momot M., Momot A., Gacek A.: Granular Representation of Biomedical Signals Using Numerical Differentiation Methods. *Journal of Medical Informatics and Technologies*, Vol. 16, 2010, s. 43÷49.

11. Moody G. B., Mark R. G.: The MIT-BIH arrhythmia database on CD-ROM and software for use with it. Proceedings of Conference Computers in Cardiology, San Diego, CA 1990, s. 185÷188.
12. Pan J., Tompkins W. J.: A Real-Time QRS Detection Algorithm, IEEE Trans. Biomed. Eng., Vol. 32, No. 3, 1985, s. 230÷236.
13. Pedrycz W., Rai P.: A Multifaceted Perspective at Data Analysis: A Study in Collaborative Intelligent Agents. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics, Vol. 38, No. 4, 2008, s. 1062÷1072.
14. Seredyński R., Momot M., Momot A.: System do projektowania protokołów sieci bezprzewodowych oraz ich symulacji. Studia Informatica, Vol. 31, No. 2B(90), 2010, s. 147÷158.
15. Seredyński R., Momot M., Momot A.: Wspomaganie projektowania transmisji bezprzewodowej dla medycznych systemów czasu. Materiały konferencyjne XVI Krajowej Konferencji Naukowej Biocybernetyka i Inżynieria Biomedyczna, 2010, s. 216÷217.
16. Theodoropoulos G. K., Minson R., Ewald R., Lees M.: Simulation Engines for Multi-Agent Systems. [in:] Uhrmacher A., Weyns D. (eds.): Multi-agent systems: simulation and applications. CRC Press, Boca Raton 2009, s. 77÷105.
17. Tolk A., Uhrmacher A. M.: Agents: Agenthood, Agent Architectures, and Agent Taxonomies. [in:] Yilmaz L. et al. (eds.): Agent-Directed Simulation and Systems Engineering. Wiley-VCH, Weinheim 2009, s. 75÷109.
18. Weiss G. (eds.): Multiagent Systems: A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence. MIT Press, Cambridge 1999.

Recenzenci: Dr hab. inż. Zygmunt Mazur, prof. Pol. Wrocławskiej
Prof. dr hab. inż. Henryk Rybiński

Wpłynęło do Redakcji 31 stycznia 2011 r.

Abstract

Daily tasks of medical facilities can be improved through modern communication technologies. Diagnostic and therapeutic process requires the exchange of information between different medical units, as well as transmission and processing of biomedical signals. Multi-agent systems as distributed systems allow increasing the speed of executed tasks, as well as improve system reliability. However, multi-agent systems are often very complex and diffi-

cult to formally verify their properties and therefore one of the reliable methods for detailed analysis of their properties is simulation.

The article describes a multi-agent system for the purpose of detecting the characteristic points in biomedical signals. In this system, there are many agents with their local knowledge bases, whose parameters are updated in the communication process with a single supervisory agent. The article also presents the virtual environment designed to simulate the work of the proposed system.

One of the basic biomedical signals is electrocardiographic signal. Detection of ECG characteristic points (beginnings and ends of the wave, the peak R, etc.) is an integral part of almost every system of computer analysis of ECG. In the proposed multi-agent system, agents perform task of detection of the QRS complex fiducial point. In numerical experiments ECG signals were taken from MIT-BIH database.

Adresy

Alina MOMOT: Politechnika Śląska, Instytut Informatyki, ul. Akademicka 16,
44-101 Gliwice, Polska, alina.momot@polsl.pl.

Michał MOMOT: Instytut Techniki i Aparatury Medycznej, ul. Roosevelta 118,
41-800 Zabrze, Polska, michal.momot@itam.zabrze.pl.

Roman SEREDYŃSKI: Instytut Techniki i Aparatury Medycznej, ul. Roosevelta 118,
41-800 Zabrze, Polska, roman.seredynski@itam.zabrze.pl.