

**Studia i Materiały
Informatyki Stosowanej**

Studia i Materiały Informatyki Stosowanej

Czasopismo młodych pracowników
naukowych, doktorantów i studentów

Tom 12, Nr 2, 2020

Bydgoszcz 2020

Studia i Materiały Informatyki Stosowanej
Czasopismo młodych pracowników naukowych, doktorantów
i studentów

© Copyright 2020 by Uniwersytet Kazimierza Wielkiego

Patronat naukowy:

Instytut Informatyki
Uniwersytet Kazimierza Wielkiego
ul. Chodkiewicza 30
85-064 Bydgoszcz
tel. (052) 325 76 11
e-mail: simis@ukw.edu.pl

ISSN 1689-6300

Projekt okładki: Łukasz Zawadzki (StudioStrzelec.pl)
DTP: Dawid Ewald

Wydawca:

Instytut Informatyki
Uniwersytet Kazimierza Wielkiego
Dyrektor:
dr hab. inż. Izabela Rojek, prof. uczelni
ul. Chodkiewicza 30
85-064 Bydgoszcz
tel. +48 52 325 76 11
email: izarojek@ukw.edu.pl

Kontakt:

dr inż. Jacek Czerniak, prof. uczelni
dr hab. inż. Marek Macko, prof. uczelni
Uniwersytet Kazimierza Wielkiego
ul. Chodkiewicza 30
85-064 Bydgoszcz
e-mail: jczerniak@ukw.edu.pl
mackomar@ukw.edu.pl

Druk (ze środków sponsora):
Oficyna Wydawnicza MW

Nakład 250 egz.

Bydgoszcz 2020

**Studies and Materials
in
Applied Computer
Science**

Journal of young researchers,
PhD students and students

Vol. 12, No.2, 2020

Bydgoszcz 2020

Studies and Materials in Applied Computer Science
Journal of young researchers, PhD students and students

© Copyright 2020 by Kazimierz Wielki University in Bydgoszcz

Scientific patronage:
Institute of Informatics
Kazimierz Wielki University
ul. Chodkiewicza 30
85-064 Bydgoszcz, Poland
tel. +48 52 325 76 11
e-mail: simis@ukw.edu.pl

ISSN 1689-6300

Cover designed by: Łukasz Zawadzki (StudioStrzelec.pl)
DTP by: Dawid Ewald

Publisher:

Institute of Informatics
Kazimierz Wielki University
Head:
Izabela Rojek, PhD DSc Eng Assoc. Prof.
ul. Chodkiewicza 30
85-064 Bydgoszcz, Poland
tel. + 48 52 325 76 11
e-mail: izarojek@ukw.edu.pl

Contact:

Jacek Czerniak, PhD. Eng. Assoc. Prof.
Marek Macko, PhD. DSc. Eng., Assoc Prof
Kazimierz Wielki University
ul. Chodkiewicza 30
85-064 Bydgoszcz, Poland
e-mail: jczerniak@ukw.edu.pl
mackomar@ukw.edu.pl

Printing (funded from non-profit programme):
Oficyna Wydawnicza MW

Edition of 250 copies

Bydgoszcz 2020

Studia i Materiały Informatyki Stosowanej

czasopismo młodych pracowników naukowych, doktorantów i studentów

patronat: Polskie Towarzystwo Informatyczne



Przewodniczący Rady Naukowej

prof. dr hab. inż. czł. rzec. PAN Janusz Aleksander Kacprzyk, IBS PAN

Redaktorzy Naczelni

dr inż. Jacek Czerniak, UKW
dr hab. inż. Marek Macko, prof. nadzw.

Redaktor Zarządzający

dr inż. Łukasz Apiecionek, UKW

Redaktor Statystyczny

dr Iwona Filipowicz, UKW

Komitet Redakcyjny

dr inż. Mariusz Dramski, AM
dr inż. Hubert Zarzycki, WWSIS
dr inż. Marcin Łukasiewicz, UTP
dr inż. Piotr Dziurzański, ZUT
dr inż. Tomasz Kałaczyński, UTP
dr hab. inż. Grzegorz Domek, prof. nadzw.
dr Piotr Prokopowicz, UKW

Redaktor Tematyczny (Informatyka)

prof. dr inż. Rafał A. Angryk, GSU

Redaktor Tematyczny (Mechatronika)

prof. dr.h.c.mult. Peter Kopacek, VUT

Redaktor Tematyczny (Metody numeryczne)

dr hab. Petro Filevych, LNUVB

Redaktor Językowy (j.polski)

dr Małgorzata Kempieńska, FRM

Redaktor Językowy (j.angielski)

Andrew Gill, Reed Elsevier, UK

Rada Naukowa

dr hab. Stanisław	Ambroszkiewicz	Instytut Podstaw Informatyki PAN
prof. dr inż. Rafał A.	Angryk	Georgia State University, USA
dr hab. Zenon	Biniek	Wyższa Szkoła Technologii Informatycznych
prof. dr hab. inż. Ryszard	Budziński	Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny
dr inż. Joanna	Chimiak-Opoka	University of Innsbruck, Austria
prof. dr hab. inż. Ryszard	Choraś	Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy
dr hab. Petro	Filevych	Lviv National University of Veterinary and Biotechnologies, Ukraina
prof. dr hab. inż. Piotr	Gajewski	Wojskowa Akademia Techniczna
dr inż. Marek	Holyński	Prezes Polskiego Towarzystwa Informatycznego
prof. dr hab. inż. czł. rzec. PAN Janusz	Kacprzyk	Instytut Badań Systemowych PAN
dr hab. inż. Andrzej	Kobyliński	Szkoła Główna Handlowa
prof. dr.h.c.mult. Peter	Kopacek	Vienna University of Technology, Austria
prof. dr hab. inż. czł. koresp. PAN Józef	Korbicz	Uniwersytet Zielonogórski
prof. dr hab. inż. Jacek	Koronacki	Instytut Podstaw Informatyki PAN
prof. dr hab. inż. Marek	Kurzyński	Politechnika Wroclawska
prof. dr hab. inż. Halina	Kwaśnicka	Politechnika Wroclawska
prof. dr Miroslaw	Majewski	New York Institute of Technology, United Arab Emirates
dr inż. Dariusz	Mikolajewski	Uniwersytet Kazimierza Wielkiego
prof. dr hab. Andrzej	Marciniak	Politechnika Poznańska
dr hab. Marcin	Paprzycki	Instytut Badań Systemowych PAN
prof. dr hab. inż. czł. PAN Witold	Pedrycz	University of Alberta, Canada
prof. dr hab. inż. Andrzej	Piegat	Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny
prof. dr hab. inż. Andrzej	Polański	Politechnika Śląska
prof. dr hab. inż. Orest	Popov	Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny
prof. dr inż. George	Przybył Einstein	College of Medicine, USAT Montserrat
dr hab. inż. prof. nadzw. Izabela	Rojek	Uniwersytet Kazimierza Wielkiego
prof. dr hab. inż. Danuta	Rutkowska	Politechnika Częstochowska
prof. dr hab. inż. czł. koresp. PAN Leszek	Rutkowski	Politechnika Częstochowska
prof. dr hab. inż. Milan	Sága	Žilinská Univerzita, Słowacja
prof. dr hab. inż. czł. rzec. PAN Roman	Słowiński	Instytut Badań Systemowych PAN, Politechnika Poznańska
prof. dr hab. inż. Włodzimierz	Sosnowski	Uniwersytet Kazimierza Wielkiego, IPPT PAN
prof. dr hab. inż. Andrzej	Stateczny	Akademia Morska w Szczecinie
dr hab. inż. Jan	Studziński	Instytut Badań Systemowych PAN
prof. dr hab. Tomasz	Szapiro	Szkoła Główna Handlowa
dr hab. Janusz	Szczepański	Uniwersytet Kazimierza Wielkiego, IPPT PAN
prof. dr hab. inż. czł. rzec. PAN Ryszard	Tadeusiewicz	Akademia Górniczo-Hutnicza
prof. zw. dr hab. inż. czł. rzec. PAN Jan	Węglarz	Instytut Chemii Bioorganicznej PAN, Politechnika Poznańska
prof. dr hab. inż. Sławomir	Wierchoń	Instytut Podstaw Informatyki PAN
prof. dr hab. inż. Antoni	Wiliński	Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny
dr hab. inż. Andrzej	Wiśniewski	Uniwersytet Przyrodniczo-Humanistyczny w Siedlcach
dr hab. inż. Ryszard	Wojtyna	Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy
prof. dr hab. Sławomir	Zadrożny	Instytut Badań Systemowych PAN
prof. dr. inż. Milan	Žmindák	Žilinská Univerzita, Słowacja
prof. dr hab. Zenon	Zwierzewicz	Akademia Morska w Szczecinie

SPIS TREŚCI

Od Redakcji	4
Wpływ parametrów algorytmu mrówkowego na efektywność połączeń w sieciach Beata Iżuk, Maciej Piechowiak	5
Monitoring urządzeń sieciowych i raportowanie poprzez aplikacje Spectrum oraz Performance Management firmy CA Technologies Ireneusz Bednorz	11
Programowana niania dla dziecka jako element Internetu Rzeczy Marta Kowalczyk, Dariusz Miko ajewski, Janusz ukowski	17
Fraktalna analiza chodu Dariusz Miko ajewski, Emilia Miko ajewska	24

OD REDAKCJI

Szanowni Czytelnicy,

W drugim tegorocznym numerze przedstawiamy Czytelnikom wyprawę w nadchodzącą dekadę nazywaną dekadą Internetu Rzeczy: od monitoringu urządzeń sieciowych za pomocą Spektrum oraz Performance Management poprzez zastosowania Internetu Rzeczy w codziennym życiu aż po złożone zastosowania inteligencji roju oraz analizy fraktalnej. Pokazuje to potencjał informatyki, która coraz bardziej przenika wszystkie obszary codziennego życia, stając się jego nieodłącznym, aczkolwiek często niedostrzeganym, elementem. Za tym postępem oraz podwyższaniem jakości życia społeczeństwa stoi wysiłek naukowców i specjalistów, których rola rośnie z dnia na dzień.

Redaktorzy Naczelni SiMIS,
dr inż. Jacek Czerniak,
dr hab. inż. Marek Macko, prof. nadzw.

WPŁYW PARAMETRÓW ALGORYTMU MRÓWKOWEGO NA EFEKTYWNOŚĆ POŁĄCZEŃ W SIECIACH

Beata Iżuk¹, Maciej Piechowiak²

¹ Uniwersytet Kazimierza Wielkiego, Dział Informatyzacji, Chodkiewicza 30, 85-064 Bydgoszcz

² Uniwersytet Kazimierza Wielkiego, Instytut Informatyki, Chodkiewicza 30, 85-064 Bydgoszcz

Streszczenie: W artykule zdefiniowano algorytm mrówkowy ACO, jego miejsce wśród dziedzin sztucznej inteligencji oraz przedstawiono jego przykładowy przebieg. Scharakteryzowano także parametry algorytmu mrówkowego i przeprowadzono testy zachowania mrówek w przykładowych grafach. W szczególności omówiono wpływ każdego parametru na sposób wyznaczania najkrótszych ścieżek w grafach o różnych rozmiarach. Badania symulacyjne przedstawiono dla czterech zestawów parametrów ACO.

Słowa kluczowe: algorytm mrówkowy, badania symulacyjne, najkrótsze ścieżki w grafie, optymalizacja sieci

The Impact of Ant Colony Optimization Parameters on The Connections Efficiency in Networks

Abstract: The article defines Ant Colony Optimization algorithm (ACO), its place among the fields of artificial intelligence and an example of its implementation was presented. The crucial parameters of the algorithm were also characterized and tests of ant behavior in sample graphs were carried out. In particular, the influence of each parameter on the method determining the shortest paths in graphs of various sizes was discussed. Simulation tests were presented for four sets of ACO parameters.

Key words: Ant Colony Optimization, computer simulations, shortest path in graph, network optimization

1. Wprowadzenie

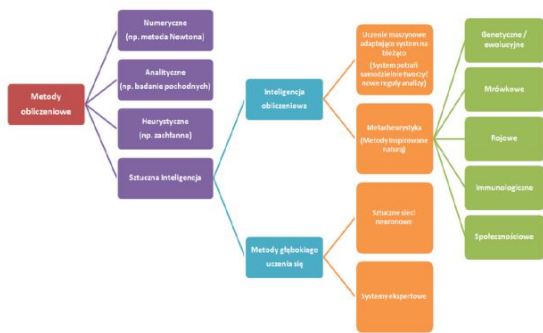
Dziedzinę zagadnień algorytmicznych zdominowały problemy NP-trudne, których dokładnego rozwiązania nie można otrzymać w czasie wielomianowym [1]. Wybierając kompromis pomiędzy czasem potrzebnym do rozwiązania problemu, a efektywnością uzyskanego wyniku, badaczom pozostają algorytmy, które w czasie wielomianowym zwracają wyniki nieoptymalne, lecz wciąż zadowalające.

Artykuł przedstawia wynik badania mającego na celu modelowanie zachowania kolonii mrówek podczas przeszukiwania grafów o różnej ilości węzłów.

2. Miejsce algorytmów mrówkowych wśród dziedzin sztucznej inteligencji

Ciężko znaleźć jasny i wyraźny, w dodatku utrwalony w świecie nauki podział metod obliczeniowych. Nadal odcina się grubą kreską inteligencję obliczeniową i sztuczną inteligencję, co nie jest jednoznacznie uzasadnione [2]. W dodatku pojęcie "inteligentne zachowanie" zawężane jest do ludzi, pomijając zwierzęta. Sztuczna inteligencja postrzegana jako działanie racjonalne obejmuje również zachowania zwierząt np. inteligencja stadna u wilków, ptaków, jak i owadów społecznych, które są uważane za ewolucyjną "kolebkę" społeczeństwa. Postępowanie zgodne z instynktem prowadzi do

osiągnięcia zamierzonego celu np. współpraca pomiędzy watahami wilków podczas polowania to nic innego jak przetwarzanie dostępnych informacji w oparciu o doświadczenia stada przekazywane wszystkim osobnikom (uczenie się młodszych osobników od bardziej doświadczonych) [3]. Starając się maksymalnie dostosować definicję "sztucznej inteligencji" do maszyn, można powiedzieć, że jest to "sprawność maszyny liczącej zdolnej odwzorować i imitować inteligentne zachowania możliwie dużej ilości inteligentnych osobników, współpracować z nimi, uczyć się oraz szukać zależności pomiędzy danymi" [4]. Odpowiedzią na potencjał natury rozumiany jako jej łatwość adaptacji i efektywność wprowadzanych przez nią zmian, stały się modele inspirowane biologią zgrupowane w pojęciu metaheurystyki. Jak sama nazwa wskazuje są to algorytmy wykraczające poza heurystyczne schematy, pozwalające rozwiązać dowolny problem, oferując własny uniwersalny schemat rozwiązania [5].



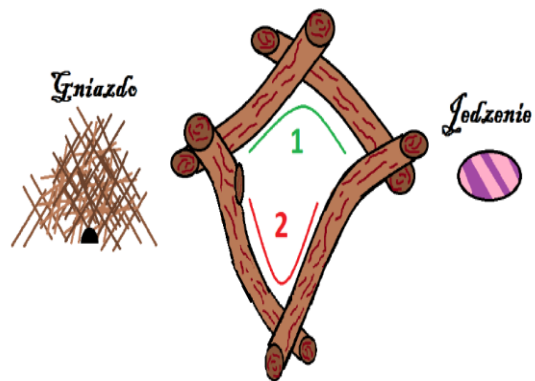
Rysunek 1. Podział dziedzin nauki zaliczanych do sztucznej inteligencji [7, 8, 9, 10].

3. Algorytm mrówkowy i jego pierwowzór

Algorytmy mrówkowe (ang. *Ant Colony Optimization*) czerpią swoją inspirację z entomologii, konkretnie myrmekologii zajmującej się badaniem zachowania mrówek [6]. Do świata maszyn przeniósł je Marco Dorigo, który za agentów przyjął sztuczne mrówki. Kluczowe dla przetrwania mrówek po wyruszeniu z mrowiska jest odnalezienie źródła pokarmu i przetransportowanie go z powrotem do mrowiska. Mrówka powinna stracić przy tym jak najmniej energii i wykonać cały proces w jak najkrótszym czasie. W wersji elektronicznej mrowisko przyjmujemy za punkt startu, a punkt stopu to źródło pokarmu. Poprzez ślad feromonu pozostawionego przez każdą mrówkę odbywa się wartościowanie krawędzi tworzących rozwiązanie problemu. Za przestrzeń rozwiązań przyjęto graf. Im miejsce w przestrzeni rozwiązań jest atrakcyjniejsze, tym wyższe stężenie feromonu będzie je cechować. Agent nie funkcjonuje w oderwaniu od czasu, gdyż feromon stopniowo odparowuje ze ścieżki i nieodnawiany w końcu zanika. W wyborze krawędzi nowy agent kieruje się

intensywnością zapachu pozostawionego feromonu oraz długością ścieżki [11].

Ilość pozostawionego przez mrówkę feromonu jest odwrotnie proporcjonalna do długości krawędzi, mierząc go w określonej jednostce czasu. Im trasa pokonana przez mrówkę jest dłuższa tym poziom jej feromonu spada i musi być częściej odświeżany, czego dowiódł eksperyment Jean-Louis'a Deneubourga zatytułowany "double bridge experiment". Polegał on na stworzeniu mrówkom dwóch ścieżek od mrowiska do pokarmu, z których jedna była dwukrotnie dłuższa od drugiej. W początkowej fazie eksperymentu owady były zainteresowane obiema drogami, jednak z czasem zainteresowanie to zaczęło maleć, aż w końcu ruch na dłuższej ścieżce zamarł. Innymi słowy krótszą krawędź pokonało więcej mrówek niż dłuższą, co pociągnęło za sobą częstsze odświeżanie feromonu na krótszej krawędzi i całkowite odparowanie go na dłuższej trasie. [12]

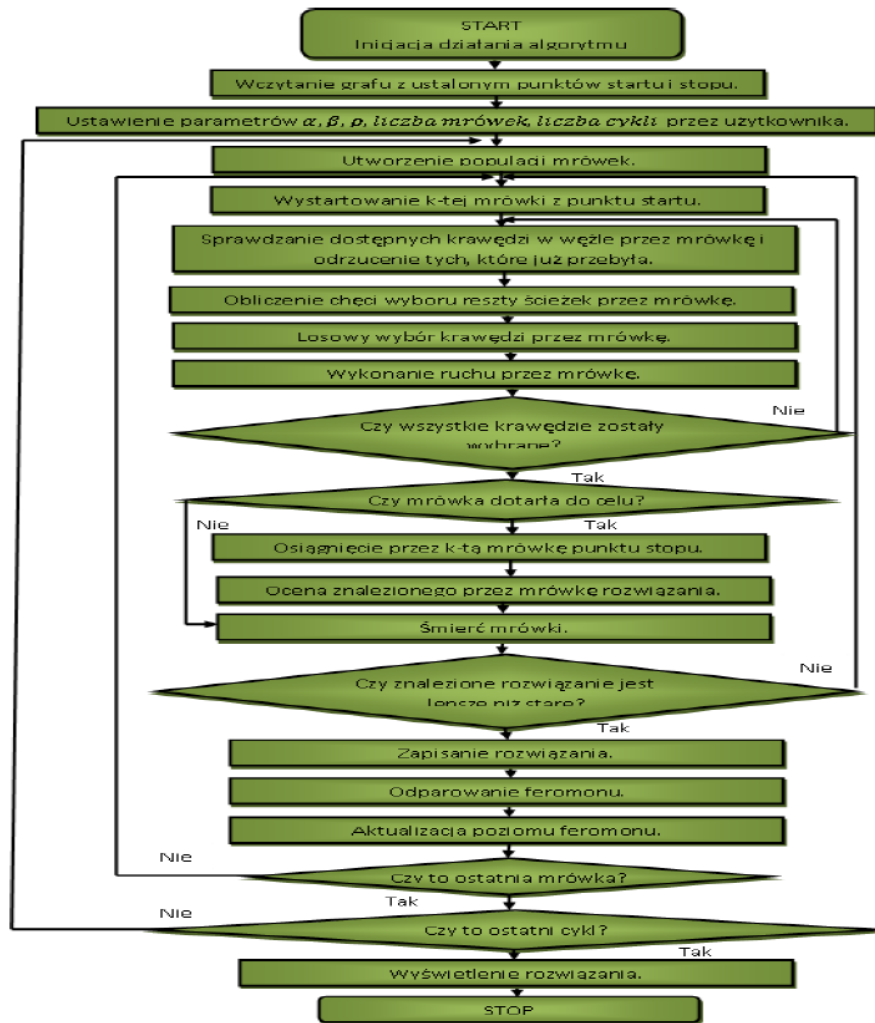


Rysunek 2. Eksperyment podwójnego mostu [12].

4. Algorytm mrówkowy i jego parametry

Istnieje wiele odmian algorytmów mrówkowych m.in.: AS (*Ant Systems*), EAS (*Elite Ant System*), ACS (*Ant Colony System*), MMAS (*Max-Min Ant System*), AS_{rank} (*Rank Based Ant System*). Każdy z nich posiada stałe elementy w postaci agentów (mrówek), krawędzi grafu, na których mrówki pozostawiają feromon, moment odświeżenia feromonu na ścieżce oraz moment jego

parowania, węzeł grafu, który stanowi miejsce podejmowania decyzji przez agenta [12, 13, 14, 16]. Za ogólny schemat działania ACO możemy przyjąć poniższy schemat (Rys. 3):



Rysunek 3. Schemat działania ACO [12, 15, 16, 17].

Parametry, które wyróżniają się w działaniu algorytmu mrówkowego można podzielić na dwie grupy – te którymi może zarządzać użytkownik algorytmu (modelować je) oraz te, które zależą od samego algorytmu (programisty) [12, 15]:

- τ ("tau") odzwierciedla proces pozostawiania śladu feromonu przez każdą mrówkę jaka przejdzie przez krawędź xy . Od tego jaką ilość feromonu mrówka pozostawi zależy będzie jak bardzo mrówka będzie skłonna wybierać krawędź xy (jest to zmienna zależna od mrówki).
- α ("alfa") to zmienna wpływająca na "chęć" mrówki, którą może zarządzać użytkownik. Należy do przedziału od zera (z zerem włącznie) do plus nieskończoności. Dzięki niej określamy jak bardzo sztuczna mrówka jest podatna na działanie feromonu (jak bardzo się go słucha przy wyborze drogi).
- η ("eta") jest tworem wprowadzonym przez danego twórcę algorytmu, odzwierciedla ona heurystykę na podstawie której już na początku

mrówka dostaje informacje na temat ścieżki. Może być to np. odwrotność długości krawędzi. Jest zmienną zależną od grafu. Natomiast użytkownik może sterować tym parametrem przez parametr β .

- β ("beta") to zmienna należąca do przedziału od 1 (z jedynką włącznie do plus nieskończoności). Dzięki niej użytkownik wpływa na parametr η .
- ρ ("rho") to zmienna dobierana zazwyczaj przez użytkownika algorytmu. Odpowiada za współczynnik parowania feromonu. Zawiera się w przedziale od zera do jeden. Przyjmuje się, że 1 oznacza całkowite odparowanie feromonu a 0 przeciwnie - feromon nie odparowuje.

Jest to związane ze wzorem wyboru trasy przez mrówkę znajdującą się na węzle grafu oraz współczynnika parowania feromonu.

$$p_{xy} = \frac{(\tau_{xy}^\alpha)(\eta_{xy}^\beta)}{\sum (\tau_{xy}^\alpha)(\eta_{xy}^\beta)}$$

τ – ilość feromonu na ścieżce xy (jego intensywność)
 η – atrakcyjność ścieżki xy ($1/d_{xy}$ gdzie d_{xy} oznacza dystans)
 α – parametr do kontroli wpływu "tau"
 β – parametr do kontroli wpływu "ety"

Rysunek 4. Wzór przedstawiający wybór trasy przez mrówkę [12].

5. Strojenie parametrów ACO

W poprzednim rozdziale przedstawiono parametry, które użytkownik może dowolnie ustawiać: α , β , ρ , liczba iteracji algorytmu oraz liczba mrówek.

Z czego pierwsze trzy parametry mają kluczowy wpływ dla powodzenia przeszukiwania przestrzeni rozwiązań. Zarówno α jak i β należą do zbioru dodatnich liczb rzeczywistych nie posiadających górnej granicy, natomiast dla ρ górną granicą jest 1.

Zadaniem mrówki jest uzyskanie jak najkrótszej drogi do celu. Podczas eksperymentu zaobserwowano, że najkorzystniejsza droga znaleziona przez mrówki mieści się w przedziale „małych” wartości parametrów α oraz β , stąd pominięto zakres „dużych” wielkości wspomnianych parametrów. Zawężono tym samym zakres przedziałów w następujący sposób: od 1,0 do 5,0 dla β i od 0,1 do 5,0 dla α , oraz dla ρ od 0,1 do 0,9.

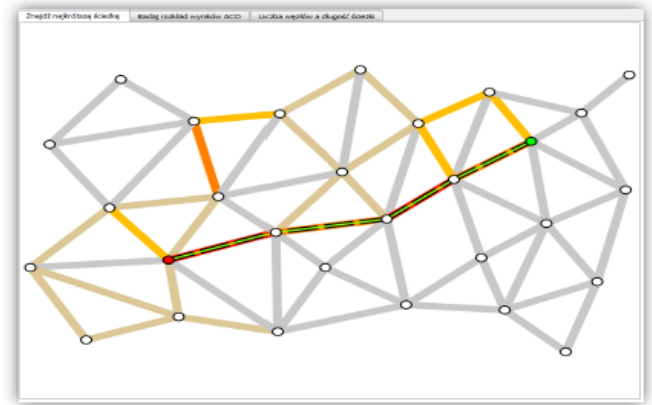
Następnie wytypowano cztery zestawy kombinacji powyższych parametrów:

TESTOWY ZESTAW PARAMETRÓW DLA ACO				
Parametry	Zestaw 1	Zestaw 2	Zestaw 3	Zestaw 4
Alfa	0,1	1,6	5,0	1,8
Beta	1,6	1,0	5,0	1,6
Ro	0,9	0,5	0,1	0,4
Iteracje	10	10	10	10
Ilość mrówek	½ węzłów	½ węzłów	½ węzłów	½ węzłów

Rysunek 5. Wartości testowanych parametrów ACO

Mrówki oddziałują na siebie wzajemnie za sprawą feromonu komunikując reszcie stopień atrakcyjności danej krawędzi. Intensywność zapachu feromonu pozostawionego przez agentów odzwierciedla wzrostowa gradacja koloru żółtego przez pomarańczowy, aż do czerwonego (najintensywniejszy).

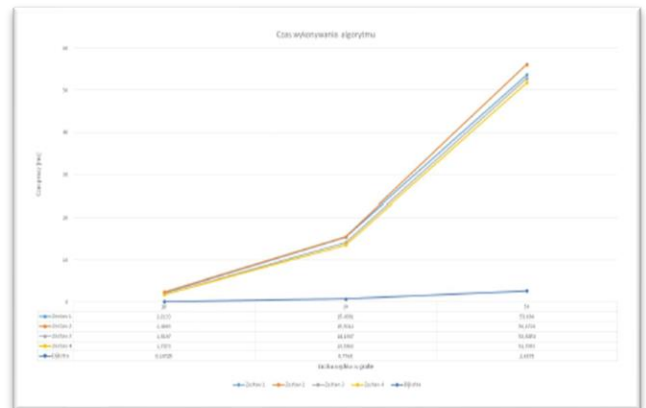
Grafy z kolei tworzyły kolejno grupy węzłów po 10 węzłów (15 krawędzi) – sieci małe, 30 węzłów (50 krawędzi) – sieci średnie i 50 węzłów (90 krawędzi) – sieci duże. Miały za zadanie imitować prawdziwą sieć urządzeń dystrybucyjnych. Punkty (miejsca znajdowania się urządzenia) i połączenia między nimi były generowane losowo, przestrzegając zasadę, iż każdy punkt musi stanowić część przynajmniej jednej krawędzi (dopuszczano grafy otwarte).



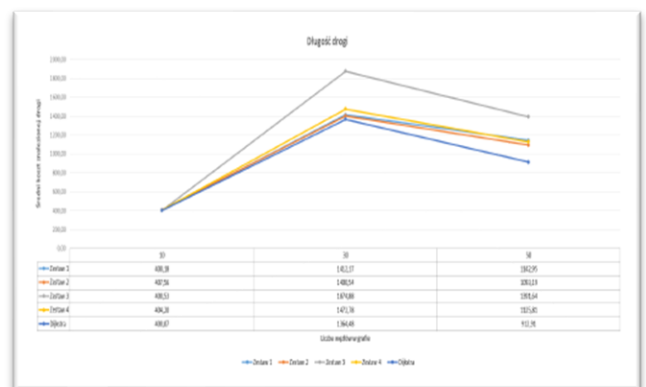
Rysunek 6. Rozkład poziomy feromonu (odcienie czerwieni) oraz najkrótsza ścieżka znaleziona przez ACO (czarna przerywana kreska, start - zielony punkt, stop czerwony punkt)

6. Efektywność algorytmu ACO

Efektywność algorytmu wyznaczały dwie wartości: czas działania algorytmu zakończony sukcesem (czas) oraz długość znalezionej najlepszej rozwiązania (droga).



Rysunek 7. Porównanie wyników parametrów ACO i algorytmu Dijkstry dla kosztów czasu

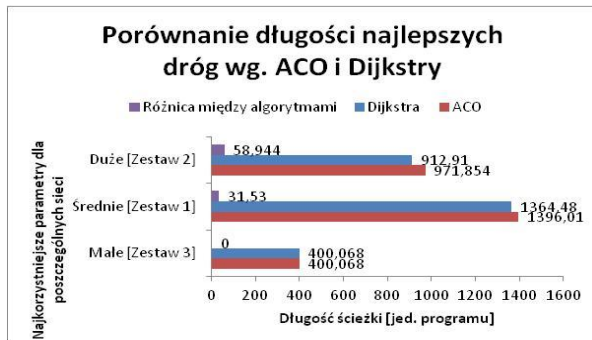


Rysunek 8. Porównanie wyników parametrów ACO i algorytmu Dijkstry dla kosztów drogi

Za wartość referencyjną dla ACO został przyjęty algorytm Dijkstry – powszechnie wykorzystywany w protokołach routingu, m. in. w sieciach komputerowych (protokół trasowania stanu łącza) [18].

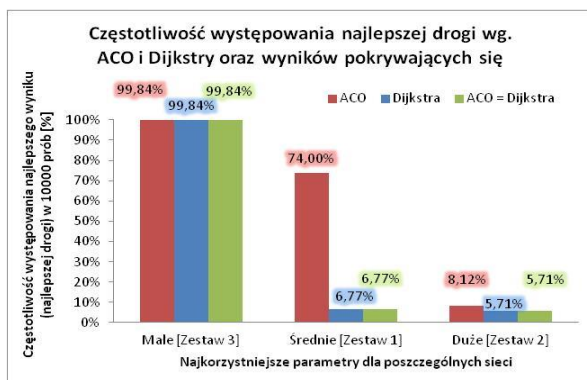
Z powyższych wykresów nie trudno zauważyć, że dla każdego z grafów można wyróżnić jeden zestaw ustawień, w którym wyniki były najkorzystniejsze.

Na Rys. 9. Przedstawiono porównanie długości faktycznej najkrótszej ścieżki (algorytm Dijkstry) oraz najkrótszej ścieżki wybranej przez ACO w poszczególnych grafach dla najkorzystniejszych parametrów.



Rysunek 9. Porównanie najkrótszych dróg wyznaczonych przez ACO i algorytm Dijkstry.

Ciekawie prezentuje się też częstotliwość wystąpienia najkorzystniejszych dróg w 10000 prób.



Rysunek 10. Porównanie ilości wystąpień najkrótszej ścieżki wskazanej przez ACO oraz algorytm Dijkstry dla 10000 prób. Przez wyniki pokrywające się należy rozumieć taką samą liczbę najkrótszych ścieżek wyznaczonych zarówno przez ACO, jak i algorytm Dijkstry.

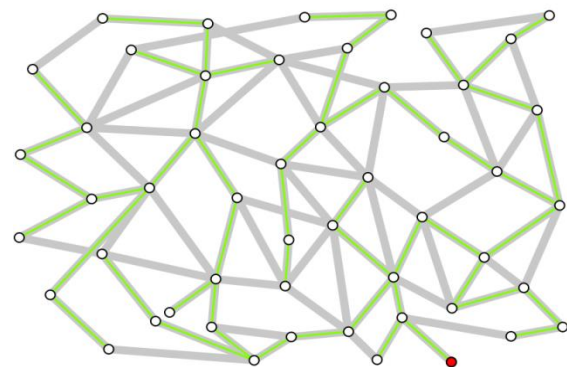
7. Plusy i minusy

Na korzyść algorytmu mrówkowego zdecydowanie przemawia jego elastyczna konfiguracja. Z dużym prawdopodobieństwem można stwierdzić, że ilość mrówek w postaci 1/2 ilości wierzchołków to ilość nadmiarowa i można tę liczbę zmniejszać nawet do 1/3, co z kolei skróci czas wykonania algorytmu mrówkowego. Badania symulacyjne wykazują jednocześnie, że ilość mrówek poniżej 1/4 zdaje się być daleko niewystarczającą.

Z kolei Algorytm Dijkstry zwiększa swój koszt pracy wraz z zwiększającą się liczbą węzłów grafu, jest tym samym bardziej stabilny i przewidywalny, jednak w przypadku badania wielu ścieżek jednocześnie (tworzenie drzewa rozpinającego) koszt uzyskany dla

jednej ścieżki wzrasta znacząco i powoduje obciążenie maszyny tymi samymi obliczeniami wykonywanymi kilkukrotnie w tym samym czasie. Wprowadzając element dynamicznego odczytu i zapisu zgromadzonych wcześniej obliczeń dodamy do Dijkstry "wąskie gardło" algorytmu ACO, co może drastycznie obniżyć jego wydajność.

Z drzewami rozpinającymi dobrze radzi sobie algorytm mrówkowy, ponieważ opiera się na losowej eksploracji przestrzeni grafu. W sensownym zakresie czasu potrafi rozwiązać problem optymalizacyjny na dużym obszarze dzieląc się zdobytymi informacjami z resztą agentów.



Rysunek. 12 Drzewo rozpinające zbudowane (ACO)

8. Podsumowanie

Algorytm Dijkstry osiągał zdecydowanie lepsze wyniki niż algorytm ACO biorąc pod uwagę czas wykonania, jednak nie jest to już tak oczywiste dla kosztów znalezionej drogi. Wyniki uzyskane przez ACO jako najlepsze niewiele odbiegają od najlepszego rozwiązania.

Kluczowe dla ACO są parametry, których dobór dla każdego rozpatrywanego problemu jest niezwykle trudny. W trakcie prowadzonych badań można dojść do wniosku, że dla małych grafów parametr β ma mniejsze wartości w stosunku do α , z kolei im problem jest reprezentowany za pomocą złożonego grafu o większej liczbie węzłów tym parametr α zyskuje na znaczeniu. Parametr ρ odpowiada za konsekwencje wyborów mrówek względem kolonii, ustawiając go na wysokie parowanie skróceniu ulega czas dostępny na odnalezienie feromonu przez mrówki, odwrotnie – jest on wydłużany.

Dla małych grafów, które posiadają zdecydowanie zróżnicowane krawędzie sprawdza się dominujący parametr β (od 1,6 do 5,0) i wysoki stopień parowania - ρ od 0,8 do 0,9. Natomiast duże oraz średnie grafy osiągają lepsze wyniki dla dominującego parametru α (od 1,6 do 1,8) i parametru β od 1,00 do 1,6. Z kolei w dużych grafach powinien występować niski stopień parowania ρ (od 0,5 do 0,4).

Reasumując, algorytmy mrówkowe mają większe szanse zastosowania w obrębie robotyki, niż sieci

komputerowych. Wiąże się to przede wszystkim z faktem, że czas rozpropagowania informacji o sieci przez wielu agentów jest zbyt długi, przy czym nie stanowi to problemu przy eksploracji nowych przestrzeni. Celem w sieciach jest przede wszystkim jak najniższy czas dostarczenia wiadomości, stąd lepszym rozwiązaniem wydają się algorytm Dijkstry. W drugim przypadku celem samym w sobie jest zbadanie nowej przestrzeni, którą można później

dostosować. ACO w połączeniu z bardziej zaawansowaną formą sztucznej inteligencji i inteligencji obliczeniowej np. głębokie sieci neuronowe ma szansę dobrze sprawdzić się w przypadku awarii sieci. Dzięki optymalizacji kolonii mrówek można w rozsądnym czasie zbadać spektrum wielu parametrów i wzajemne zależności między nimi.

Literatura

- [1] Szawdyński, P. (2005-2019). *problem NP-trudny - Znalezenie rozwiązania problemu nie jest możliwe ze złożonością obliczeniową wielomianową. (pojęcie)*. Pobrano z lokalizacji Serwis programistyczny C/C++: <http://cpp0x.pl/dokumentacja/problem-NP-Trudny/1219>
- [2] Duch, W. (2006, 03 14). *Dokąd zmierza inteligencja obliczeniowa?* Pobrano z lokalizacji Katedra Informatyki Stosowanej, Uniwersytet Mikołaja Kopernika: <https://fizyka.umk.pl/publications/kmk/03-CI-przyszlosc.pdf>
- [3] Dul, F. (2014). *POLITECHNIKA WARSZAWSKA WYDZIAŁ MECHANICZNY ENERGETYKI I LOTNICTWA*. Pobrano z lokalizacji WPROWADZENIE DO SZTUCZNEJ INTELIGENCJI NS 586: <https://docplayer.pl/15447888-Wprowadzenie-do-sztucznej-inteligencji.html>
- [4] Horzyk, A. (2013/2014). *Akademia Górniczo-Hutnicza Wydział Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej*. Pobrano z lokalizacji METODY ROZWIĄZYWANIA PROBLEMÓW ORAZ MODELOWANIE WIEDZY I INTELIGENCJI W INFORMATYCE: <http://home.agh.edu.pl/~horzyk/lectures/wdi/WDI-WiedzaInteligencja.pdf>
- [5] Wikipedia. (2020, 1 2). *Metaheuristic*. Pobrano z lokalizacji Wikipedia, the free encyclopedia: <https://en.wikipedia.org/wiki/Metaheuristic>
- [6] Sołtys, K. (2008, 05). *Mrówki, czyli piękno metaheurystyk*. Pobrano z lokalizacji [deltami.edu.pl: http://www.deltami.edu.pl/temat/matematyka/zastosowania/2010/12/16/Mrowki_czyli_piekno_metaheuryst/](http://www.deltami.edu.pl/temat/matematyka/zastosowania/2010/12/16/Mrowki_czyli_piekno_metaheuryst/)
- [7] Wikipedia. (2018, 6 23). *Obliczenia inteligentne*. Pobrano z lokalizacji Wikipedia, the free encyclopedia: https://pl.wikipedia.org/wiki/Obliczenia_inteligentne
- [8] Globema. (2017, 06 19). *KONFERENCJA 2017: SZTUCZNA INTELIGENCJA W PRAKTYCZNYCH ZASTOSOWANIACH*. Pobrano z lokalizacji Globema: <https://www.globema.pl/konferencja-globemy-2017-sztuczna-inteligencja-w-praktycznych-zastosowaniach/>
- [9] Oracle. (brak daty). *Sztuczna inteligencja (SI) od Oracle — czym jest sztuczna inteligencja?* Pobrano z lokalizacji Czym jest sztuczna inteligencja?: <https://www.oracle.com/pl/artificial-intelligence/what-is-artificial-intelligence.html>
- [10] Globema. (2017, 06 19). *KONFERENCJA 2017: SZTUCZNA INTELIGENCJA W PRAKTYCZNYCH ZASTOSOWANIACH*. Pobrano z lokalizacji Globema: <https://www.globema.pl/konferencja-globemy-2017-sztuczna-inteligencja-w-praktycznych-zastosowaniach/>
- [11] Flasiński, M. (2011). *Wstęp do sztucznej inteligencji*. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN.
- [12] Dorigo, M., Birattari, M. i Stützle, T. (2006, 09). *IEEE COMPUTATIONAL INTELLIGENCE MAGAZIN*. Pobrano z lokalizacji Ant Colony Optimization – Artificial Ants as a Computational Intelligence Technique: <https://courses.cs.ut.ee/all/MTAT.03.238/2011K/uploads/Main/04129846.pdf>
- [13] Bullnheimer, B., F.Hartl, R. i Strauß, C. (1997, 06). *A New Rank Based Version of the Ant System - A Computational*

Study. Pobrano z lokalizacji Wirtchaftsuniversitat Wien: <https://epub.wu.ac.at/616/1/document.pdf>

[14] Karmakar, R. B., Mitra, R. B., Dey, A. B., Chakraborty, V. B. i Nayak, A. B. (2016). *Solving TSP Using Improved Elitist - Ant System Based on Improved Pheromone - Strategy and Dynamic Candidate List*. Pobrano z lokalizacji MAYFEB Journal of Electrical and Computer Engineering Vol 2 - Pages 8-15:

<http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:Gg0YaTyQ0awJ:www.mayfeb.com/OJS/index.php/CON/article/download/543/221+%&cd=6&hl=pl&ct=clnk&gl=pl&client=firefox-b-d>

[15] Boryczka, U. (2006). *Algorytmy optymalizacji mrowiskowej*. Katowice: Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego.

[16] http://people.idsia.ch/%7Eluca/ij_23-alife99.pdf

[17] Jakubowska, A. i Piechocka, K. (2015). *W POSZUKIWANIU OPTYMALNEJ TRASY – WYBRANE ALGORYTMY W ZASTOSOWANIU DO PROBLEMU KOMIWOJAŻERA*. Pobrano z lokalizacji JOURNAL OF TRANSLOGISTICS:

<http://translogistics.pl/files/jtl/2015/R1.pdf>

[18] Graziani, R. i Johnson, R. (2008). *Akademia sieci Cisco, CCNA Exploration, Semestr 2, Protokoły i koncepcje routingu*. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN.

Monitoring urządzeń sieciowych i raportowanie poprzez aplikacje Spektrum oraz Performance Management firmy CA Technologies

Ireneusz Bednorz

Institut Informatyki, Uniwersytet Kazimierza Wielkiego w Bydgoszczy

Streszczenie: Artykuł opisuje podstawowe zagadnienia sieciowe, modele warstwowe, protokoły internetowe, główne komponenty oraz integracje między aplikacjami Spektrum oraz Performance Management firmy CA. Głównym celem badania było ukazanie mechanizmu, w jaki sposób Spektrum monitoruje konkretne zdarzenie zwiększenia zużycia pamięci RAM na urządzeniu Router 1, a następnie stworzenie raportu w aplikacji Performance Management w celu ukazania tego zdarzenia na wykresie. Skupiłem się na ukazaniu jak ważny jest monitoring urządzeń sieciowych w obecnym świecie informatyki, aby móc w porę rozwiązać zdarzenie, które potencjalnie może wskazywać usterkę na urządzeniu i przeciwdziałać występowaniu takich problemów w przyszłości.

Słowa kluczowe: aplikacja mobilna, niania elektroniczna, IoT.

Abstract: The article describes basic network issues, layered models, Internet protocols, main components and integrations between Spektrum and Performance Management applications of CA. The main aim of the study was to show how Spektrum monitors a specific event of increased RAM consumption on Router 1 device, and then to create a report in the Performance Management application to show this event on a graph. I focused on showing how important it is to monitor network devices in the current IT world in order to be able to solve in time an event that potentially indicates a malfunction on the device and counteract the occurrence of such problems in the future.

Key words: mobile application, electronic nanny, IoT.

1. Wprowadzenie

Monitoringiem w IT nazywa się proces gromadzenia danych na temat działającego sprzętu i oprogramowania, aby zapewnić, że wszystko działa zgodnie z oczekiwaniami. Rozwój monitoringu nastąpił w wyniku ogromnego zapotrzebowania na środowisko, w którym jesteśmy w stanie zarządzać ogromną ilością urządzeń sieciowych z jednego komputera centralnego. Daje to możliwość regularnego wykonywania pomiarów na urządzeniach całą dobę, niezależnie od lokalizacji. Możemy odciążać nasz zespół IT dostosowując aplikacje monitorujące względem naszych potrzeb i stosując automatyzację, aby informowały nas o tym, co jest najważniejsze. Jeżeli nie chcemy, aby urządzenia się przegrzały. W aplikacji ustawiamy alarmy, i to na wielu stopniach. Dzięki temu nie musimy się martwić o spalone komponenty. Zdarzenia mogą być dostarczane na wiele sposobów np. e-mail czy też SMS, co pozwala na natychmiastowe działanie. Ulepszenia w monitoringu sieciowym są proste do wykonania, ale niekoniecznie tanie. Obecnie większość urządzeń jest wykonana modułarnie, dając możliwość dodawania nowych komponentów na

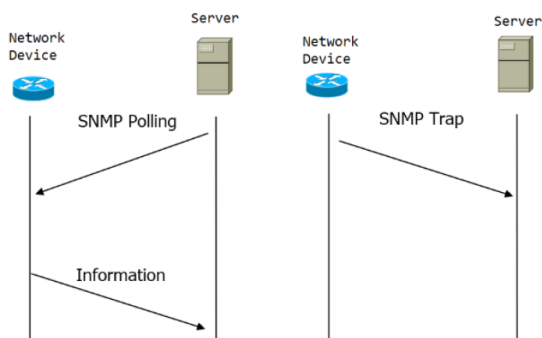
bieżąco. Kluczowym aspektem monitorowania urządzeń jest możliwość wykrycia usterki, zanim wyrządzi ona ogromne szkody i koszty dla firmy. Jest to najważniejszy cel monitoringu w informatyce. CA Technologies stworzyła rozwiązania pomagające w monitoringu sieciowym takie jak Spektrum i Performance Management. CA Technologies, obecnie zwana Broadcom Inc. jest globalnym liderem technologicznym w dziedzinie infrastruktury, opartych na rozwiązaniach inżynierskich i współpracy, bazując na zaawansowanych mechanizmach technicznych od AT&T/Bell Labs, Lucent i Hewlett-Packard/Agilent. Broadcom koncentruje się na technologiach, znajdujących się na całym świecie. Dzięki połączeniu liderów branży Avago Technologies, LSI, Broadcom Corporation, Brocade i CA Technologies, firma jest w stanie iść dalej naprzód, gdzie przyszłość stoi otworem. Broadcom Inc. łączy w sobie ogromną ilość rozwiązań, czy to inżynierskich, czy też bazujących na oprogramowaniu dla infrastruktury półprzewodnikowej, daje to możliwości budowania i dalszego rozwoju firm klienckich.

Alternatyw dla wspomnianych wcześniej aplikacji jest wiele: Nagios, SolarWinds czy Intermapper to tylko kilka możliwych. Jednak są to już dosyć przestarzałe rozwiązania. Dla urządzeń sieciowych Spectrum i Performance Management [1, 2] wydają się lepszym rozwiązaniem gdyż mają większe możliwości konfiguracyjne otrzymywanych powiadomień i ich częstotliwości. Można dodawać szczegółowe informacje na temat każdego urządzenia lub typu alarmu, aby rozwiązanie problemu przebiegało jeszcze łatwiej i szybciej. Nie wymagają dodatkowych urządzeń monitorujących działania aplikacji. Topologia urządzeń zapewnia ogólny przegląd architektury sieci. Wykrywanie urządzeń jest proste i bezpieczne dzięki zastosowaniu odpowiednich protokołów.

2. Protokół konfiguracyjno-sterujący Simple Network Management Protocol

SNMP to zbiór protokołów sieciowych, działających w warstwie aplikacji modelu ISO/OSI działający na portach 161/162, które wykorzystuje się do sterowania i konfiguracji urządzeń sieciowych, takich jak routery, switchy, komputery, czy centrale telefoniczne. Wszystko funkcjonuje za pośrednictwem sieci IP. Port 161 jest odpowiedzialny za wysyłanie i odbieranie żądań, natomiast 162 za przechwytywanie komunikatów. SNMP posiada komunikat zwany pułapką (ang. trap), można ją utożsamić jako alarm, który będzie monitorować pewną wartość, a gdy wartość monitorowana przekroczy zdefiniowany uprzednio próg, np. użycie pamięci RAM, agent bezzwłocznie powiadomi o tym fakcie zarządcę. Ideą tego działania jest zbieranie informacji z kilku/kilkunastu urządzeń sieciowych jednocześnie, oraz monitorowanie każdej własności urządzenia: liczby użytkowników online, ilość wolnego miejsca na dyskach, obciążenie pamięci, zużycie procesora, temperatury.

SNMP Poll jest drugim sposobem zbierania danych z urządzeń sieciowych. W przeciwieństwie do pułapek gdy urządzenie sieciowe tj. router lub switch posiadają informacje po prostu ją przesyłają nie czekając na zapytanie serwera. Poll działa, gdy serwer żąda informacji, a urządzenia sieciowe muszą się podporządkować i ją dostarczyć (rys. 1).



Rysunek. 1. Różnica między trap a poll.

Może to być ustawione czasowo, np. co dziesięć minut wykonaj SNMP Poll do urządzenia serwerowego, odsyłając aktualny pomiar temperatury otoczenia jak i urządzenia badanego, jego obciążenie procesora i pamięci RAM, a te wartości dalej zostaną sprawdzone czy nie przekraczają zakresów bezpieczeństwa.

Wyróżnia się 3 wersje protokołu SNMP:

- SNMPv1 - pierwsza wersja protokołu, opublikowana w 1988 roku w dokumencie RFC 1067, jest najstarsza wersja protokołu, prosta do konfiguracji, lecz jednocześnie najbardziej niebezpieczna przez używane tzw. „communities”, czyli nieszyfrowanych haseł, umożliwiających zarządzanie urządzeniem,
- SNMPv2 i jego podwersja SNMPv2c - eksperymentalna wersja protokołu SNMP, opublikowana w dokumencie RFC 1901. Jego atutem względem wersji pierwszej były: poprawiona obsługa błędów, poprawione komendy SET, komenda Inform: w przeciwieństwie do “trap”, które są po prostu wysyłane do zarządcy, Inform muszą mieć pozytywna wiadomość zwrotna, a jeśli zarządca nie odpowie na Inform, SNOP wyśle ponownie Inform,
- SNMPv3 - trzecia i zarazem ostatnia wersja protokołu, która umożliwiła uwierzytelnianie i szyfrowanie komunikacji.

3. Spectrum

Aplikacja Spectrum firmy CA służy głównie do monitorowania w czasie rzeczywistym urządzeń sieciowych, zbierania danych z elementów sieciowych, aktualizowanie statusu urządzeń oraz generowanie alarmów poprzez otrzymane z nich trapy, jeśli zostały one certyfikowane wcześniej w Event Configuratorze.

Proces Monitorowania urządzeń oraz generowania alarmów aplikacji Spectrum firmy CA odbywa się w następujących krokach:

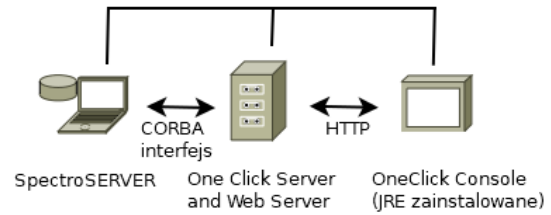
- zbieranie danych zawartych w niej elementów sieciowych równocześnie w bazie danych aktualizując ich status,
- generowanie alarmu z otrzymanej pułapki, który był wcześniej certyfikowany w aplikacji,
- informacje z wygenerowanego alarmu przesyłane są do SANM (ang. Spectrum Alarm Notification Manager), który przy wykorzystaniu polis ustala do jakiej aplikacji przetwarzającej alarmy będzie on przesyłany dalej, jeśli spełni on wymogi zdefiniowane w filtrach.

Sercem aplikacji jest komponent zwany SpectroSERVER. Jest on jednocześnie serwerem bazodanowym przechowującym informacje o

procesach zachodzących w aplikacji - silnikiem, który modeluje urządzenia sieciowe oraz menedżerem urządzeń. To dzięki niemu zapewniany jest proces generowania alarmów z wcześniej certyfikowanych wydarzeń (ang. events), czyli główny proces Spectrum. Baza danych SpectroSERVERa znajduje się w katalogu /opt/SS oraz zawarte są w niej następujące informacje: po pierwsze spis modeli wykrytych przez SpectroSERVERa serwera, do których należą;

- informacje na temat modeli oraz relacji zachodzących między nimi potrzebnych do graficznej reprezentacji topologii sieci, w których te urządzenia się znajdują;
- logi z procesami o obecnie generowanych się alarmach, jeśli nastąpi brak komunikacji z Archive Managerem, który jest odpowiedzialny za ich nadzorowanie.

Drugim najważniejszym komponentem jest Archive Manager. Jest on odpowiedzialny za otrzymywanie alarmów oraz dane statystyczne, które otrzymuje od SpectroSERVERa. Dane te ulegają kompresji i przechowywane są w bazie danych DDM (ang. Distributed Data Manager) - jest to druga najważniejsza baza danych. SpectroSERVER, gdy nie może nawiązać komunikacji z Archive Managerem przejmuje część jego funkcji i zaczyna przechowywać wszelkie dane na temat alarmów w swojej bazie danych. Po nastąpieniu ponownego połączenia z Archive Managerem, SpectroSERVER wysyła wszelkie zgromadzone dane do Archive Managera. W katalogu /opt/Spectrum/.vnmrc można określić, ile informacji na temat urządzeń ma przechować baza danych SpectroSERVERa podczas braku połączenia z Archive Managerem. Natomiast to, jak długo dane historyczne będą przechowywane znajdziemy w pliku konfiguracyjnym opt/Spectrum/SS/DDM/.configr. Trzecim, ostatnim najważniejszym komponentem jest graficzny interfejs użytkowników aplikacji Spectrum firmy CA nosi on nazwę OneClick. Jest on napisany za pomocą Javy. Korzysta on z dwóch komponentów umożliwiających zdalny dostęp użytkownikom aplikacji JNLP (ang. Java Network Launch Protocol) oraz JWSA (ang. Java Web Start Application). Komunikacja OneClick'a z siecią następuje przy użyciu portu 80 dla systemów Windows lub portu 8080 dla systemów Linux. Poniższy rysunek przedstawia połączenie między SpectroSERVERem przy użyciu interfejsu CORBA wraz z serwerem OneClick'a oraz jego konsolą" (rys. 2).



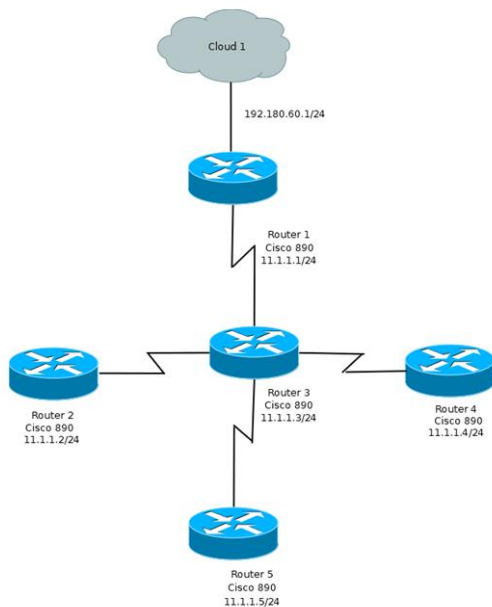
Rysunek 2. Połączenie między SpectroSERVERem przy użyciu interfejsu CORBA wraz z serwerem OneClick oraz jego konsolą

Środowisko, na którym pracowałem, zostało stworzone przy użyciu programu firmy Vmware o nazwie Vmware Workstation Player w wersji 15.0.2 (rys. 3).

Procesor	4 Rdzeniowy
Pamięć RAM	6 GB
System Operacyjny	RedHat 7.0 w wersji 64 bitowej
Graficzny Interfejs użytkownika	Motif (32-bit)
Dysk Twardy	200 GB
Paczki	W wersji 64 bitowej : elfutils-libelf, libaio, ncurses, ncurses-libs, xterm, ksh, xorg-x11-fonts-misc W wersji 32 bitowej oraz 64 bitowej : motif, glibc, nss-softokn-freebl, libICE, libSM, libX11, libXext, libXft, libXmu, libXp, libXrender, libXt, fontconfig, freetype, libjpeg-turbo, libpng, libuuid, libxcb, libXau, expat, zlib, libstdc++, libgcc, libXi, libXtst
Komponenty Java	W 64 bitowej wersji : Java 8.0 Java 2 Run-time Environment (JRE) wersja 1.8.0_31 JCEUnlimited Strength Files wersja 1.8.0_31 ¹³

Rysunek 3. Parametry wykorzystanej maszyny wirtualnej

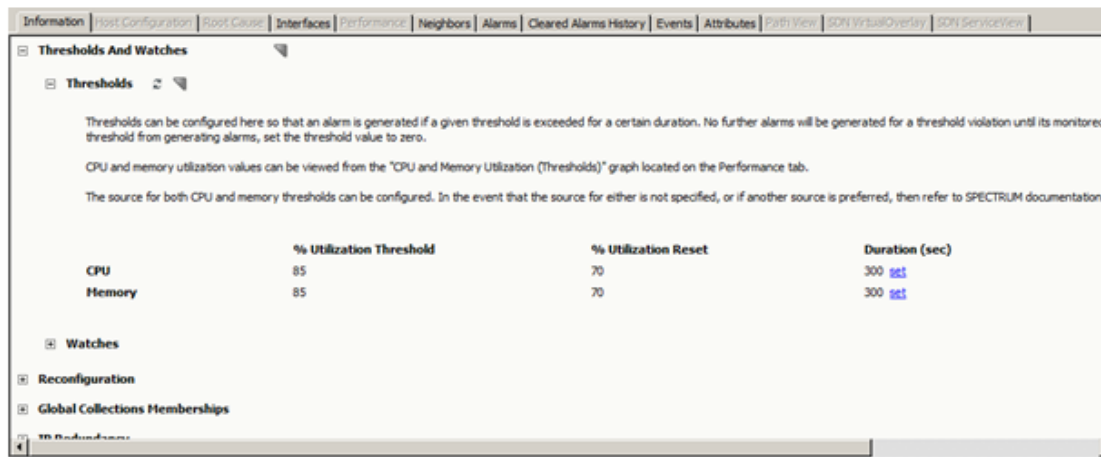
Użyta sieć składa się z 5 routerów, z których interfejs maszyny wirtualnej (Cloud 1) jest połączony z jednym z routerów (Router 1), któremu zapewnia ona monitoring poprzez oprogramowanie Spectrum oraz PM firmy CA, reszta urządzeń będzie przedstawiona w oprogramowaniu jako Cloud (rys. 4).



Rysunek 4. Topologia sieci

4. Generowanie alarmu na użycie pamięci RAM na urządzeniu Router 1

Aplikacja Spectrum firmy CA umożliwia także generowanie alarmów poprzez polling urządzeń sieciowych przy użyciu protokołu SNMP. Jedną z wielkości, jakie możemy w ten sposób monitorować, jest użycie pamięci RAM (ang. Random Access Memory) monitorowanego urządzenia. W zakładce information urządzenia Router 1 przechodząc do opcji Thresholds And Watches widnieją ustawienia generowania alarmu na podstawie zdefiniowanych opcji (rys. 5).



Rysunek 4. Zakładka Thresholds and Watches urządzenia Router 1

Najważniejszą wartością w zakładce Thresholds and Watches jest Utilization Treshold, który odpowiada procentowej wartości, po której przekroczeniu zostanie wygenerowany event na urządzeniu. Utilization Reset odpowiada za usunięcie alarmu, jeśli wartość spadnie poniżej ustalonej wielkości. Duration to czas podany w sekundach, przez który musi się utrzymać event, aby powstał z niego alarm.

Na urządzeniu Router 1 zostało sztucznie podniesione użycie pamięci RAM w celu wygenerowania alarmu. Użycie pamięci RAM urządzenia Router 1 wyświetlane jest za pomocą komendy show processes memory (rys. 6).

```
Router 1#show processes memory
Total: 5611448, Used: 5330875, Free: 280573
PID TTY Allocated Freed Holding Getbufs Retbufs Process
0 0 199592 1236 220 0 0 *Init*
0 0 400 76928 400 0 0 *Sched*
0 0 5431176 140052 140760 349760 0 *Dead*
1 0 256 256 1724 0 0 Load Meter
2 0 264 0 5032 0 0 Exec
3 0 0 0 2724 0 0 Check heaps
4 0 97932 0 2852 32760 0 Pool Manager
5 0 256 256 2724 0 0 Timers
6 0 92 0 2816 0 0 CKBus hot stall
7 0 0 0 2724 0 0 IPC Zone Manager
8 0 0 0 2724 0 0 IPC Realm Manager
9 0 0 0 2724 0 0 IPC Seat Manager
10 0 892 476 3256 0 0 ARP Input
11 0 92 0 2816 0 0 SERIAL_A'detect
12 0 216 0 2940 0 0 Microcode Loader
13 0 0 0 2724 0 0 RPSS watchdog
14 0 15659136 15658584 3276 0 0 Env Mon
...
77 0 116 0 2844 0 0 IPX-IGMP Hello
2307224 Total
```

Rysunek 6. Użycie pamięci RAM przez urządzenie Router 1

Powstały ze zdarzenia alarm widnieje w polu Alarm History (rys. 7).

Created On	Created On	Status	Event	Created By
			Label of Threshold Violation: (1) Router Serial: 386-22-2013-0-14-30-AM-0812 (2) Router ID: 273720-227976-733967 (3) Event Group: Violation (4) Event ID: 10000 (5) Severity: Error	
May 21, 2018 10:10:18 AM CST			Alarm Details: (1) Alarm ID: 733967 (2) Alarm Subname: ThresholdViolationMemoryUtilization-100% for 5 min (3) Alarm Duration: 300	jabuch

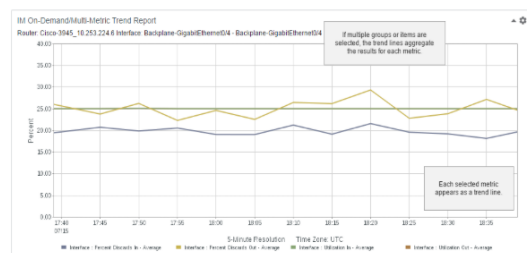
Rysunek 7. Alarm powstały ze zdarzenia odnośnie przekroczenia dopuszczalnego poziomu zużycia pamięci RAM przez urządzenie Router 1

5. Opis CA Performance Management

CA Performance Management to narzędzie, które monitoruje, przechowuje, analizuje i wyświetla ogromną ilość informacji w celu zapewnienia jakości usług w obrębie dużej, złożonej oraz wielopoziomowej infrastruktury sieciowej. Rozwiązanie to pomaga największym sieciom skutecznie kontrolować jakość oferowanych usług, a jednocześnie obniżając koszty monitorowania urządzeń. Dostawcy usług telekomunikacyjnych mogą używać tej aplikacji do poprawy monitorowania sieci i dostarczania usług generujących przychody, takich jak 4G LTE, Voice over LTE i inne. Performance Management wykorzystuje rozszerzalną architekturę wielu serwerów do obsługi monitorowania największych sieci. Gromadzi dane dotyczące wydajności i integruje się z innymi źródłami danych.

6. Raportowanie w CA Performance Management

Jednym z wielu mechanizmów, które udostępnia nam Performance Management jest raportowanie. Raporty te są bardzo przydatne dla klientów, mogą oni dzięki nim sporządzać sprawozdania i monitorować, czy z ich urządzeniem nie działo się nic złego, oraz zapobiegać na przyszłość powstałym anomalom. Raporty na zadanie pobierają zbiory danych z określonych zestawów elementów lub grup bez tworzenia pulpitów. Można dodać raporty na zadanie do stron kontekstowych grup i urządzeń. W zależności od tego, jaki raport chcemy stworzyć musimy przejść do konkretnych zakładki. Raport na zadanie tworzymy w zakładce Reports - On-Demand Report Templates, gdzie możemy stworzyć nowy szablon albo skorzystać z już istniejących. Wymagane dane do stworzenia szablonu to: tytuł, nazwa, typ szablonu, częstotliwość próbkowania oraz urządzenie bądź wcześniej stworzona grupę, które chcemy monitorować biorąc pod uwagę, jakie dane chcemy uzyskać. To, jakie dane możemy uzyskać, jest zależne od rodzaju monitorowanego urządzenia bądź interfejsu.



Rysunek 8. Przykładowy wykres z strony CA przedstawiający jeden wykres z wieloma danymi.

Dzięki raportowaniu możemy sprawdzić interesujące nas zdarzenia. Alarm, który powstał na urządzeniu Router 1 informuje nas o przekroczeniu progu użycia pamięci RAM. Aby stworzyć dla klienta taki raport (rys. 9), który pokaże mu, że zdarzenie miało miejsce, używamy wcześniej wspomnianych już narzędzi. Takie raporty są z reguły przygotowywane wcześniej. Są odpowiednio zaplanowane jako codzienne, tygodniowe bądź comiesięczne wysłanie do klienta. Przygotowany tu raport jest z konkretnego dnia, aby pokazać, że problem zaistniał i aplikacja go zaobserwowała.



Rysunek 9. Raport pokazujący przekroczenie dopuszczalnego progu zużycia RAM na urządzeniu

6. Podsumowanie

Dwie aplikacje Spectrum oraz mechanizm raportowania w Performance Management są tylko częścią możliwości, jakie oferują te aplikacje. Podstawowe działanie dwóch aplikacji, Spectrum oraz Performance Management pokazują jak łatwo zautomatyzować monitoring na urządzeniach oraz jak szybko można uzyskać wszelkie informacje na temat działania urządzenia. Dzięki tak szybkiemu wykrywaniu błędów w działaniu urządzeń oraz możliwości przeglądania raportów, jest możliwe zapobieganie poważniejszym problemom

technicznym, które mogą spowodować zatrzymanie świadczonych usług, co może przełożyć się na ogromne straty dla firm. Alarmowanie w aplikacji Spectrum pozwala na szybka reakcje oraz na zminimalizowanie krytycznych w skutkach awarii urządzeń. Poprzez wykrycie konkretnego problemu na urządzeniach można od razu przystąpić do naprawy zaistniałej usterki. Mechanizm raportowania w Performance Management pozwala na dostarczanie informacji dla użytkowników środowiska, w którym znajdują się monitorowane

urządzenia. Następuje to w sposób zaplanowany za pomocą generowania raportów dziennych, tygodniowych czy miesięcznych. Dają one możliwość przeanalizowania statystyk i tego co działo się na urządzeniu z dużą dokładnością w czasie, nawet gdy zdarzenie miało miejsce w przeszłości. Umożliwia to zapobieganie przeciążeniom w planowanych operacjach bądź po prostu dają informacje, że infrastruktura jest za słaba i trzeba ją rozbudować, aby działała sprawnie.

Bibliografia

1. C. Technologies, "Spectrum," online: <https://techdocs.broadcom.com/us/product-content/recommended-reading/product-documentation/spectrum-900-documentation.html>.
2. C. Technologies, "Ca performance management," online: <https://techdocs.broadcom.com/content/broadcom/techdocs/us/en/ca-enterprise-software/it-operations-management/performance-management/3-7.html>.

Programowana niania dla dziecka jako element Internetu Rzeczy

Marta Kowalczyk¹, Dariusz Mikołajewski¹, Janusz Łukowski²

¹ Instytut Informatyki, Uniwersytet Kazimierza Wielkiego w Bydgoszczy, ² Wydział Mechatroniki, Uniwersytet Kazimierza Wielkiego w Bydgoszczy

Streszczenie: Celem pracy było stworzenie aplikacji mobilnej współpracującej z Raspberry Pi. Ma ona ułatwić opiekę nad dzieckiem, poprzez podgląd kamery i powiadomienia w razie hałasu w pokoju dziecka. Aplikacja mobilna została wykonana w środowisku Android Studio. System opiera się o bezprzewodową komunikację Wi-Fi, co pozwala na dostęp do danych z urządzenia w całym obszarze działania sieci lokalnej. Dane z urządzenia oraz baza użytkowników są przechowywane na serwerze Apache w bazie danych MySQL. Wykorzystano czujnik temperatury wilgotności, który pozwala na monitorowanie warunków panujących w pokoju dziecka oraz rozwój i integrację w świecie Internetu Rzeczy (ang. Interneto of Things - IoT).

Słowa kluczowe: aplikacja mobilna, niania elektroniczna, IoT.

Abstract: The aim of the work was to create a mobile application cooperating with Raspberry Pi. It is supposed to facilitate childcare by viewing the camera and notifying in case of noise in the children's room. The mobile application was made in the Android Studio environment. The system is based on wireless Wi-Fi communication, which allows you to access data from the device in the whole area of operation of the local network. Data from the device and the user database are stored on the Apache server in the MySQL database. A temperature and humidity sensor has been used, which allows to monitor conditions in the child's room and to develop and integrate in the world of the Internet of Things (IoT).

Key words: mobile application, electronic nanny, IoT.

1. Wprowadzenie

Urządzenia Internetu Rzeczy są obecnie używane w wielu dziedzinach życia, między innymi w logistyce, obronności, przemyśle chemicznym, energetyce oraz transporcie. Są również wykorzystywane przy tworzeniu systemów inteligentnych domów [1-5].

Niemowlęta potrzebują stałej opieki osoby dorosłej. Obserwowanie ich jest obowiązkiem opiekuna, który stosunkowo często musi wchodzić do pokoju dziecka, by sprawdzić, czy przypadkiem się przebudziło albo czy nie jest mu zbyt zimno. Przerwanie wykonywanej czynności, czasami całkowicie niepotrzebnie oraz możliwość przebudzenia dziecka przy wchodzeniu do pokoju są problematyczne.

Na początku elektroniczne nianie były urządzeniami przekazującymi tylko głos z nadajnika w pokoju dziecka na odbiornik znajdujący się u rodzica. Połączenie to było realizowane radiowo i miało niewielki zasięg. Popularność, jaką zyskały elektroniczne nianie pozwoliła ten rynek bardzo rozwinąć. Dzięki temu mamy teraz nianie, które udostępniają wiele innych możliwości poza słuchaniem dziecka.

Nowe wersje elektronicznych nian pozwalają coraz lepiej obserwować dziecko i jego otoczenie dzięki

czujnikom, kamerom, mikrofonom, monitorom oddechu. Te ostatnie przydają się głównie w pierwszych miesiącach życia dziecka, kiedy występuje niebezpieczeństwo tak zwanej śmierci łóżeczkowej.

Biorąc pod uwagę wszystkie wymienione cechy elektronicznych nian nie można im odmówić przydatności w życiu codziennym z dzieckiem. Pozwalają kontrolować stan dziecka z daleka, co jest bardzo pomocne przy wcześniakach, kiedy mamy duży dom albo kiedy zapraszamy gości, a chcemy, by dziecko spokojnie spało w pokoju obok.

Pojawia się jednak jeden bardzo ważny problem: zagrożenia związane z podłączaniem wielu tego typu urządzeń do sieci. Do 2022 roku do sieci będzie podłączone 28,5 mld urządzeń, co może zwiększyć ilość ataków za pomocą botnetów oraz ataków blokujących dostęp do urządzeń. Należy zatem podjąć działania pozwalające lepiej magazynować i chronić dane, w tym dotyczące bezpieczeństwa dzieci. Elektroniczne nianie są coraz częściej podłączane na serwery internetowe, na które mogą uzyskać dostęp niepożądane osoby, a w konsekwencji podglądać dziecko. Na rynku występowały przypadki urządzeń bez

odpowiednich zabezpieczeń, które padły ofiarą ataków hakerów. Istotne jest, aby wszelkie treści przekazywane do Internetu zabezpieczać odpowiednim szyfrowaniem, które nawet jeśli nie uniemożliwi, to bardzo utrudni dostęp do danych. Większość elektronicznych niani jest dwoma urządzeniami komunikującymi się ze sobą, rzadziej jest to nadajnik i aplikacja na urządzenie mobilne bądź komputer. Mogą przekazywać, zależnie od modelu, obrazy, dźwięk- w jedną, albo w dwie strony, grać melodyjki albo też wskazywać temperaturę w pokoju dziecka. Tego typu funkcjonalność można zaobserwować na przykład w nianiach:

- VTECH BM1000 – najprostsza niania opierająca się tylko na rejestracji dźwięku z nadajnika i przekazanie go do odbiornika,
- VTECH BM4200 – rozbudowana o kamerkę i czujnik temperatury niania, mogąca grać kołysanki,
- Motorola MBP35XLC – kamera tego urządzenia działa również w ciemności, dzięki podczerwieni, zapewnia dwukierunkową komunikację głosową.

Przykładem rozwiązania dla starszych dzieci jest aplikacja Odinga, którą możemy zainstalować na swoim smartfonie. Pozwala ona na zajęcie dziecka, podczas gdy musimy się zająć innymi czynnościami. W tym celu udostępnia wybrane przez nas aplikacje i analizuje aktywność dziecka, aby dostosować rekomendacje aplikacji odpowiadające jego potrzebom.

Celem artykułu jest opracowania efektywnej kosztowo elektronicznej niani oraz udoskonalenie jej w taki sposób, by każdy mógł określić funkcje, jakie chce by posiadała. Dawałoby to opcje: ograniczenia się do podstawowej (najtańszej) wersji albo rozbudowanie jej o dodatkowe elementy, czy też po prostu lepsze jakościowo, jak np. kamera o wyższej rozdzielczości lub czulszy mikrofon, a nawet monitor oddechu dziecka.

2. Omówienie wykorzystanych technologii

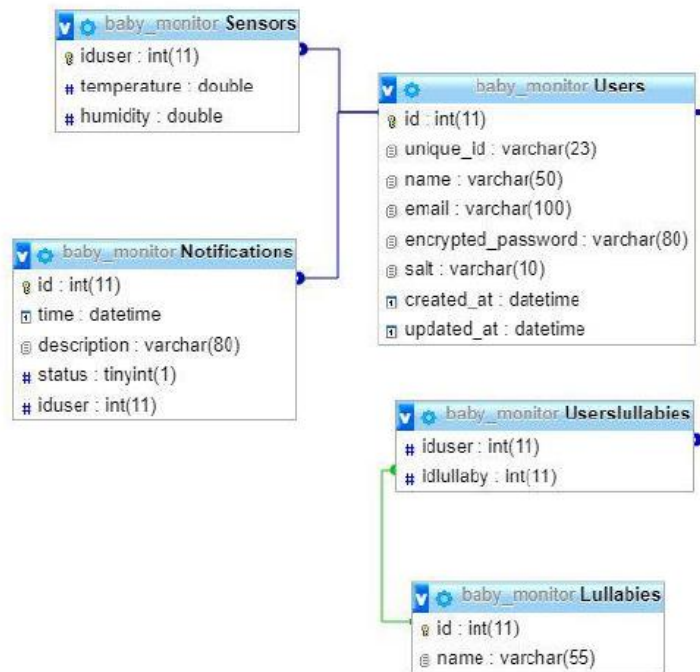
Do implementacji aplikacji mobilnej oraz wykonania urządzenia elektronicznego opartego na minikomputerze Raspberry Pi zastosowano:

- Raspberry Pi 3B, która w porównaniu z poprzednimi cechuje się lepszym procesorem, większą ilością pamięci RAM oraz możliwością podłączenia do sieci WIFI,
- Bash to powłoka systemów UNIX napisana do GNU - kontroli zadań oraz napisania skryptów obsługujących pracę kamery i czujników,
- PHP - do opracowania skryptów rejestracji i logowania na serwer,

- MySQL - do przechowywania danych użytkowników, umożliwiając rejestrację i logowanie [6],
- PhpMyAdmin - do zarządzania bazami danych MySQL - pozwala na dodawanie/ usuwanie baz danych oraz ich modyfikację, udostępnia możliwość realizacji zapytań do baz danych przez graficzny interfejs,
- Android Studio - narzędzia GUI, które upraszczają tworzenie ekranów oraz narzędzia pozwalające na testowanie aplikacji,
- Java - do programowania aplikacji na system Android,
- JSON - do przesyłania danych pomiędzy aplikacją a serwerem,
- JSh - napisana w języku Java implementacja SSH2 - do stworzenia połączenia pomiędzy aplikacją mobilną a Raspberry Pi,
- głośniki firmy Esperanza, zasilane złączem USB 5V, a wejście dźwięku obsługujące przez port Jack,
- mikrofon USB, które nie wymaga dodatkowych sterowników do obsługi,
- DHT11 - czujnik temperatury i wilgotności,
- Raspberry Pi Camera 2.1 - kamera kompatybilna z Raspberry Pi - do przesyłania obrazu z Raspberry Pi na serwer. Posiada matrycę o rozdzielczości 8Mpx, może wykonywać zdjęcia w jakości 3280 x 2464 px, używana w projekcie z rozdzielczością 640 x 480 px,
- Git – system kontroli wersji - do przywracania poprzedniego stanu aplikacji w momencie popełnienia błędu,
- Apache - wydajny i bezpieczny serwer, który będzie mógł zapewnić usługi HTTP odpowiadające aktualnym standardom.
- Android 6.0 i 7.0,
- Raspbian Buster 4.19,
- Postman,
- PuTTY.

3. Działanie prototypu

Po uruchomieniu urządzenia służącego za nianię można przejść do uruchomienia aplikacji na smartfonie. Aplikacja instalowana jest przez program Android Studio, ponieważ nie została udostępniona do pobrania w sklepie Google Play. Po zainstalowaniu należy kliknąć w ikonę aplikacji, co przeniesie użytkownika do ekranu logowania.



Rysunek 3. Model relacyjny

Po włączeniu aplikacji użytkownik jest przenoszony na ekran logowania. Aby się zarejestrować, należy przejść na odpowiedni ekran, naciskając przycisk „REGISTER” na ekranie logowania. W tym ekranie użytkownik wpisuje swoje dane, które zostaną zapisane w bazie danych. Potwierdza je naciskając przycisk „REGISTER”. Po udanej rejestracji, potwierdzonej stosownym komunikatem, następuje przeniesienie do ekranu logowania, gdzie używając uprzednio wprowadzonych danych można się zalogować do systemu. Jeśli użytkownik jest zarejestrowany, a wszedł w ekran rejestracji, może się przenieść do ekranu logowania naciskając przycisk „Already registered! Login me”. Po udanym zalogowaniu użytkownik przenoszony jest na ekran główny aplikacji.

Ekran główny jest podstawowym ekranem aplikacji, do którego użytkownik zostaje przeniesiony od razu po zalogowaniu oraz każdorazowo przy uruchamianiu aplikacji, kiedy jest zalogowany, także po kliknięciu w wyskakujące powiadomienie. Na ekranie głównym użytkownik może obserwować zmiany temperatury i wilgotności w pokoju dziecka. Ma możliwość przeniesienia się do ekranów wyboru i zagrania kołysanki przez kliknięcie przycisku „PLAY LULLABY”, widoku kamery, do którego można przejść klikając przycisk „VIEW CAMERA”, a także wylogowania się z aplikacji przyciskiem „LOGOUT”.

Podgląd kamery to ekran, na którym wyświetlany jest widok z kamery urządzenia służącego za

nianię. Aby wyjść z tego ekranu należy nacisnąć przycisk „cofnij” z przycisków wbudowanych na smartfonie. Przeniesie to użytkownika z powrotem do ekranu głównego.

Kamera znajdująca się przy urządzeniu uruchamiana jest przy włączeniu tego ekranu i jednocześnie z nim wyłączana. Serwer udostępnia możliwość podłączenia się do podglądu z kamery maksymalnie trzech osób.

Ekran wyboru i grania kołysanki to ekran, na którym możemy korzystając z rozwijanej listy wybrać kołysankę do odegrania przez urządzenie służące za nianię, a następnie naciskając przycisk „play” odegrać ją. Urządzenie nie ma możliwości zatrzymania kołysanki i ponownego odtworzenia od tego samego miejsca. Aby zatrzymać kołysankę należy nacisnąć przycisk „stop”, który spowoduje zatrzymanie odgrywania kołysanki. Przy ponownym naciśnięciu przycisku „play” kołysanka zostanie odegrana od początku.

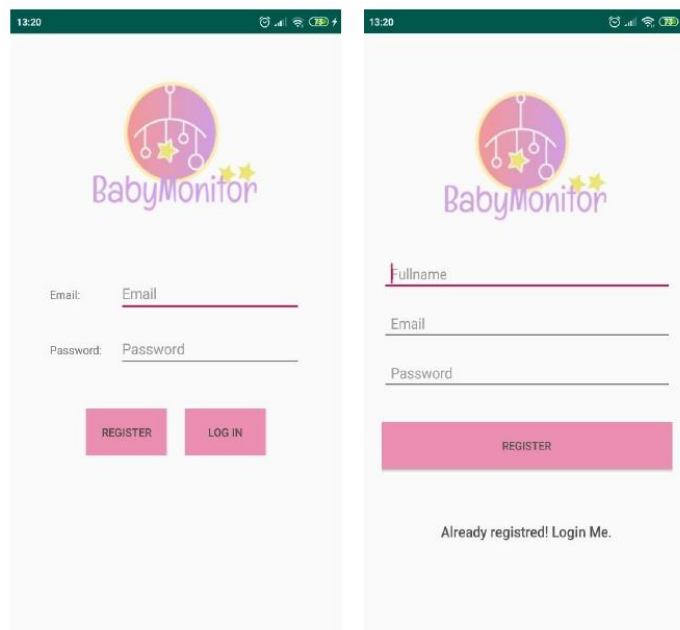
W aplikacji zaprogramowano funkcję wysyłającą powiadomienia push przy wykryciu określonego poziomu głośności w pokoju dziecka. Powiadomienia te są wysyłane, kiedy aplikacja jest włączona na ekranie oraz kiedy działa w tle. Kliknięcie powiadomienia powoduje przeniesienie użytkownika na ekran główny aplikacji.

3. Procedury testowe

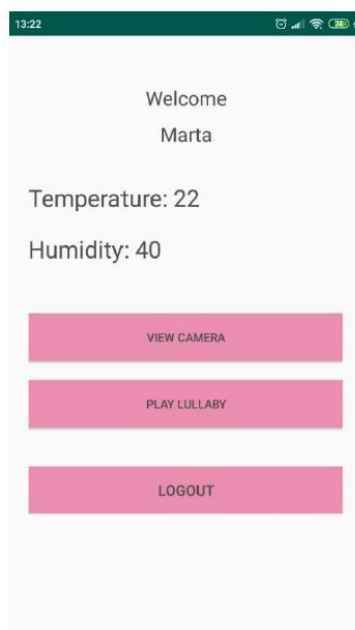
Testowanie aplikacji mobilnej odbywało się na trzech różnych urządzeniach. Testowanie urządzenia służącego za nianię odbywało się

w warunkach domowych, przy nagraniach płaczu dziecka dostępnych w Internecie - przy jego różnych poziomach głośności. W aplikacji mobilnej oceniano, jak wygląda na poszczególnych urządzeniach, ponieważ niezależnie od urządzenia, jakie będzie miał użytkownik, aplikacja powinna dawać dostęp do wszystkich swoich funkcji i wyglądać przy tym podobnie. Wygląd aplikacji oceniano nie tylko na fizycznych urządzeniach, ale także na udostępnianym przez program Android Studio emulatorze. Przy urządzeniu będącym

nadajnikiem oceniano czy prawidłowo odczytuje temperaturę i wilgotność, w porównaniu z termometrem i higrometrem, sprawdzano czy kamera prawidłowo i bez zakłóceń przekazuje obraz, czy nie rozłącza się z siecią Wi-Fi, czy i jak szybko przekazuje powiadomienia o płaczu dziecka oraz czy dłuższe działanie nie powoduje zbytniego nagrzania urządzenia. Testowano również połączenie nadajnika z różnymi odbiornikami osobno oraz jednocześnie.



Rysunek 4. Ekran logowania i rejestracji



Rysunek 5. Ekran główny

4. Wyniki testów

Prototyp przeszedł pomyślnie wszystkie testy. Wyniki testowania aplikacji na różnych urządzeniach pozwalają stwierdzić poprawność i płynność działania aplikacji mobilnej. Wygląd aplikacji nie różni się znacząco na różnych urządzeniach, na każdym z nich są dostępne wszystkie funkcjonalności. Testy urządzenia służącego za elektroniczną nianię przebiegły pomyślnie. Temperatura odczytywana przez czujnik DHT11 nie różniła się o więcej niż 0,5°C. Wilgotność mierzona tym czujnikiem nie różniła się o więcej niż 2%. Obraz z kamery przekazywany był prawidłowo w czasie rzeczywistym, bez opóźnień. Połączenie nie było przerywane. Powiadomienia przekazywane były prawidłowo z niewielkim opóźnieniem w stosunku do włączenia nagrania płaczu dziecka. Kołysanki odtwarzano bez problemu. Wszystkie kołysanki grały z odpowiednią głośnością bez zakłóceń. Urządzenie przy długim działaniu nie wykazywało skłonności do nagrzewania się do zbyt wysokiej temperatury. Podłączenie różnych odbiorników działało bez zarzutu. Do widoku z kamery mogły być podłączone jednocześnie trzy urządzenia, co jest zgodne z przyjętymi założeniami pracy.

5. Dyskusja

Podstawowe rodzaje przewagi konkurencyjnej opisywanego prototypu to przewaga cenowa, jakościowa i informacyjna:

Przewaga jakościowa:

- trwałość produktu,
- łatwość obsługi,
- ulepszanie funkcjonalności,
- możliwość wymiany części,

Przewaga cenowa:

- niższe koszty,
- dostosowanie kosztu przez obniżenie jakości,

Przewaga informacyjna:

- dostosowanie do potrzeb użytkowników,
- minimalizacja kosztów przez obserwowanie rynku.

Przez konieczność ograniczenia kosztów badań nie można było sprawdzić mikrofonu ani kamery o wyższych parametrach, co pozwoliłoby na sprawdzenie możliwości rozbudowy urządzenia. Z tego samego względu ograniczono badania do jednego urządzenia służącego za nianię.

Posiadając aktualną wiedzę wybrano by czulszy mikrofon, który pozwoliłby na lepsze odbieranie sygnałów z otoczenia i otworzyłoby możliwości w zakresie informatyki afektywnej. Zdecydowano by się również na umieszczenie serwera w Internecie zamiast na Raspberry Pi, co pozwoliłoby na globalny dostęp do urządzenia. Zwiększyłoby to zgodność systemu ze standardami rynku IoT.

Prototyp przedstawiony w niniejszej pracy jest dostosowany do rozbudowy. Dzięki zastosowaniu minikomputera Raspberry Pi można dołączyć do niego niemal każdy rodzaj czujników potrzebnych do monitorowania dziecka. Jako dalszy rozwój tego systemu przewiduje się dołączenie do niego monitora oddechu dziecka. Przewiduje się również możliwość dołączenia opaski na głowę, która dzięki sensorom mogłaby odczytywać sygnał EEG. Sygnał ten powinien być mierzony w szczególności przy występowaniu epilepsji. Ważne jest również lepsze zabezpieczenie danych przechowywanych na urządzeniu oraz usprawnienie działania aplikacji. Do systemu przewiduje się również dołączenie skryptów i czujników umożliwiających wykorzystanie informatyki afektywnej, która pozwoli na rozpoznanie i interpretację czy dziecko płacze czy się śmieje. Wykrywanie emocji z głosu może być przydatne do diagnozy i leczenia pacjentów ze schizofrenią, udarem albo niepełnosprawnością intelektualną. Szczególnie przy pacjentach porozumiewających się niewerbalnie, w tym także dzieciach.

Kolejną rzeczą wartą uwagi jest fakt, że dane w urządzeniach IoT są najczęściej dostępne globalnie. Przedstawiony system warto rozbudować o możliwość przesyłu danych do chmury. Takie rozwiązanie można zaimplementować przez stworzenie systemu ekspertowego, który wykrywałby nieprawidłowości na podstawie danych wprowadzanych przez opiekuna dziecka o m.in. żywieniu i czasie snu dziecka [7-10].

Wszystkie wymienione cechy pozwolą na lepsze dostosowanie elektronicznej niani do potrzeb opiekunów oraz usprawnią i ułatwią opiekę nad dzieckiem.

6. Wnioski

Opracowano urządzenie, które pozwala monitorować otoczenie dzięki urządzeniu opartemu o minikomputer Raspberry Pi oraz aplikację mobilną. Wykazano możliwość połączenia platformy android z Raspberry Pi w celu komunikacji przez sieć Wi-Fi. Do aplikacji można się zarejestrować i zalogować, korzystając z bazy danych dostępnej na serwerze Apache2. Udało się stworzyć urządzenie o konkurencyjnej cenie. Dzięki konstrukcji systemu w przedstawiony sposób istnieje możliwość rozbudowy urządzenia i zaimplementowania w aplikacji funkcji, które pozwolą na obsługę większej ilości urządzeń peryferyjnych. Problemu nie stanowi także podłączenie lepszej jakości urządzeń. Opracowano aplikację mobilną, komunikującą się z Raspberry Pi, działającą na smartfonie tak, jak większość odbiorników do elektronicznych nian dostępnych na rynku. Pozwoliło to wyeliminować urządzenie odbiornika, jego funkcje w pełni przejęła aplikacja

mobilna. Użytkownik nie ma potrzeby nosić

dodatkowego urządzenia.

Bibliografia

1. Guinard D. D., Trifa V. M. Internet Rzeczy Budowa sieci z wykorzystaniem technologii webowych i Raspberry Pi. Helion, Gliwice 2017.
2. Lanzola G., Losiouk E., Del Favero S., Facchinetti A., Galderisi A., Quaglini S., Magni L., Cobelli C. Remote blood glucose monitoring in mHealth scenarios: a review., *Sensors (Basel)*. 2016; 16(12):1983.
3. Grabowski K, Rynkiewicz A, Lassalle A, Baron-Cohen S, Schuller B, Cummins N, Baird A, Podgórska-Bednarz J, Pieniążek A, Łucka I. Emotional expression in psychiatric conditions: New technology for clinicians, *Psychiatry Clin Neurosci*. 2019; 73(2):50-62.
4. Lin S. K., Wang L. C., Lin C. Y., Chiueh H. An Ultra-low power smart headband for real-time epileptic seizure detection. *IEEE J Transl Eng Health Med*. 2018; 6:2700410.
5. Singh H., Yadav G., Mallaiiah R., Joshi P., Joshi V., Kaur R., Bansal S. iNICU - Integrated Neonatal Care Unit: capturing neonatal journey in an intelligent data way. *J Med Syst*. 2017; 41(8):132.
6. Rojek-Mikołajczak I., Bazy danych kurs podstawowy dla inżynierów informatyki, Wydawnictwo Akademii Bydgoskiej im. Kazimierza Wielkiego w Bydgoszczy, Bydgoszcz 2004.
7. Mikołajewska E., Mikołajewski D. Integrated IT environment for people with disabilities: a new concept. *Central European Journal of Medicine* 2014; 9(1):177-182.
8. Mikołajewska E., Mikołajewski D. Neurorehabilitacja XXI wieku: Techniki teleinformatyczne. Impuls, Kraków 2011.
9. Mikołajewska E., Mikołajewski D. Attempts of integration of solutions for disabled people. *J Health Sci* 2011; 1(3):127-136.
10. Marechal C., Mikołajewski D., Tyburek K., Prokopowicz P., Bougueroua L., Ancourt C., Wegrzyn-Wolska K. Survey on AI-based multimodal methods for emotion Detection. *High-Performance Modelling and Simulation for Big Data Applications* 2019, pp. 307-324.

Fraktalna analiza chodu

Dariusz Mikołajewski ¹, Emilia Mikołajewska ²

¹ Instytut Informatyki, Uniwersytet Kazimierza Wielkiego w Bydgoszczy, ² Katedra Fizjoterapii, Wydział Nauk o Zdrowiu, Collegium Medium im. Ludwika Rydygiera w Bydgoszczy, Uniwersytet Mikołaj Kopernika w Toruniu

Streszczenie

Chód stanowi jedną z najbardziej złożonych i najczęściej wykonywanych czynności wykonywanych przez człowieka. Pomimo postępu technologicznego w przypadku diagnostyki i oceny funkcji chodu nie ma jednego, uniwersalnego narzędzia. Rozwiązania oparte na inteligencji obliczeniowej mogą uzupełniać tradycyjne metody klinicznej analizy chodu. W artykule przedstawiono rozwijaną przez autorów metodę fraktalnej analizy chodu.

Słowa kluczowe: modele obliczeniowe, kliniczna analiza chodu, jakość życia związana ze zdrowiem, HRQoL

Abstrakt

Walking is one of the most complex and most frequently performed human activities. Despite technological progress, there is no single, universal tool for the diagnosis and evaluation of gait functions. Solutions based on computational intelligence can complement traditional methods of clinical analysis of gait. The article presents the method of fractal analysis of gait developed by the authors.

Keywords: computational models, clinical gait analysis, health-related quality of life, HRQoL

1. Wprowadzenie

Chód stanowi jedną z najbardziej złożonych czynności, wykonywanych przez człowieka, jest też jedną z najczęściej wykonywanych zajmując u przeciętnego człowieka ok. 10% czasu dnia [1]. Dobry diagnosta podczas obserwacji jest w stanie dostrzec patologiczne zmiany w chodzie pacjentów oraz wykorzystać je jako element wniosku klinicznego, jednak wymaga to wiedzy i doświadczenia, ponadto taki sposób oceny chodu jest trudny do przekazania innej osobie i standaryzacji. Z ww. względów istnieje zapotrzebowanie na obiektywne, obliczeniowe metody diagnostyki chodu. Wprowadzenie podejścia obliczeniowego w analizie chodu ułatwia fakt, że prawidłowa (fizjologiczna) lokomocja człowieka jest stereotypowa. Oznacza to, że istnieje globalny wzorzec chodu, a zakres odchylenia od niego jest na tyle wąski, że można ustalić dopuszczalny zakres odchylenia od niego dla całej populacji [2]. Ponadto na podstawie wartości odchylenia od ww. globalnego wzorca chodu u konkretnego pacjenta można wnioskować o zdrowiu lub patologicznych zmianach wzorca chodu spowodowanych schorzeniem lub urazem.

W przypadku diagnostyki i oceny funkcji chodu nie ma jednego, uniwersalnego narzędzia. Stosuje się tanie, proste w użyciu, mało czasochłonne, dokładne, wiarygodne, powtarzalne oraz niezależne od pacjenta i terapeuty miary chodu, które są możliwe do wykorzystania w codziennej praktyce klinicznej. Stare rozwiązania w miarę

możliwości są udoskonalane, jednak dynamicznie rozwija się obszar rozwiązań technicznych wspomagających diagnostykę funkcji chodu. Pomimo postępu w tym obszarze:

- brak jest metod uniwersalnych,
- metody proste i szybkie nie są dokładne,
- metody dokładne i powtarzalne są czasochłonne, kosztowne i wymagają skomplikowanych procedur oraz wyposażenie techniczne [1, 3].

Rozwiązania oparte na inteligencji obliczeniowej (ang. computational intelligence, CI) mogą uzupełniać lub nawet zastępować tradycyjne metody klinicznej analizy chodu, szczególnie gdy dane pomiarowe:

- trzeba wyodrębnić z normalnej aktywności pacjenta,
- są niekompletne,
- są obciążone błędami,
- nie umożliwiają budowy modelu matematycznego i trzeba je analizować w inny sposób,
- trzeba pozyskać szybko z dużej próby pacjentów,
- trzeba pozyskać tanio.

Jednak jak pokazano w [1] minimalny zestaw parametrów odzwierciedlających z wystarczającą dokładnością kliniczną zmianę u pacjentów po udarze obejmuje:

- wymiar fraktalny – miarę nierównomierności chodu,

- parametr rozmyty – zagregowaną (całościową) ocenę funkcji chodu [1, 4].

Celem dalszym naszych badań jest rozbudowa rodziny parametrów fraktalnych chodu w kierunku samodzielnego narzędzia badawczego.

Celem niniejszej pracy jest przeanalizowanie sposobu wyliczania fraktalnych miar chodu oraz ich użyteczności w codziennej praktyce klinicznej.

2. Metodologia

Twórca geometrii fraktalnej Benoi B. Mandelbrot analizował cykliczne zmiany poziomu wody Nilu wykazujące potęgową zależność skalowania dla kilku rzędów powiększenia [5]. Pozwala to na analizę szeregów czasowych (w tym aperiodycznych w krótkiej skali czasowej, o dużym odchyleniu standardowym) przy użyciu wykładników skalujących:

- fraktalnych – przy jednym czynniku skalującym,
- multifraktalnych – przy wielu czynnikach skalujących [6-11].

W przypadku chodu długie szeregi czasowe (odzwierciedlające rytm kolejnych kroków, również z podziałem na stronę lewą i prawą) odzwierciedlają stan układu ruchu badanego pacjenta. Oprócz możliwości obiektywnego opisu funkcji chodu pozwala to na prognozowanie w obszarze zachowania się tej funkcji w przypadku zewnętrznych ingerencji np. technikami terapeutycznymi. Z praktycznego punktu widzenia analiza fraktalna chodu stosowana jest do określania nieregularności chodu (np. wskutek osłabienia jednej strony, męczliwości) poprzez odzwierciedlanie korelacji przestrzennych (długość kroku) lub czasowych (rytm cyklu kroku) dla zdefiniowanych skal na płaszczyźnie dwuwymiarowej (wymiar fraktalny przyjmuje wartość z zakresu 1-2). W szerszym zakresie może być stosowana do analizy nierównomierności rytmu przemieszczanie się poszczególnych punktów charakterystycznych kończyn dolnych: lewej i prawej (po kilka punktów na kończynę), w przestrzeni dwuwymiarowej lub trójwymiarowej (w tym jednocześnie położenia na płaszczyźnie oraz w czasie). Dobór układu współrzędnych – w tym położenie punktu (0,0) - zależy od przyjętej metody analizy. Może znajdować się np. w dolnym lewym rogu lub na środku analizowanej płaszczyzny.

W badaniu analizowane są szeregi czasowe, generowane z filmów powstałych podczas nagrywania 10 m testu chodu. Do generacji szeregów czasowych wykorzystywane jest oprogramowanie Open Source *Tracker Video Analysis and Modelling Tool* w wersji 5.1.5. pod

MS Windows ¹. Wygenerowane szeregi czasowe są eksportowane do programu Matlab umożliwiającego analizę fraktalną i multifraktalną szeregów czasowych.

Badając daną strukturę fraktalną przy jej opisie posługiwaliśmy się wymiarem fraktalnym D (z ang. *Dimension*). Relację między czynnikiem skalującym, wymiarem przestrzennym rozpatrywanego obiektu, a liczbą otrzymanych elementów opisuje wzór:

$$a = \frac{1}{s^D} \quad (1)$$

$$D = \frac{\log a}{\log \frac{1}{s}} \quad (2)$$

gdzie:

a – liczba elementów otrzymanych w wyniku wykonania operacji skalowania obiektu,

D – wymiar samopodobieństwa (ang. *self-similarity dimension*),

s – czynnik skalujący.

Wymiar fraktalny pokazuje, jaki jest poziom złożoności struktury/sygnału. Dla chodu jest to liczba z zakresu 1-2, przy czym 1 oznacza przebieg idealnie gładki (wszystkie kroki o jednakowym czasie trwania), a 2 oznacza maksymalne zróżnicowanie czasu trwania kolejnych kroków.

Ponadto określano parametry dynamiki chaotycznej: wykładnik Hursta i jego zmienność w czasie, widmo multifraktalne oraz dystrybucję prawdopodobieństwa w celu oceny przewidywalności wartości tak opisanego systemu złożonego (tj. możliwości predykcji wyników samoleczenia oraz samoleczenia wspieranego terapią). Wykładnik Hursta *H* jest określony wzorem:

$$SD = a^H \quad (3)$$

gdzie:

SD – odchylenie standardowe,

a – długość szeregu czasowego.

Przyjmuje on wartości z przedziału (0, 1). Interpretacja wartości *H*:

- *H* w zakresie 0-0,5 – szereg czasowy o dużej zmienności, o częstych zmianach kierunku trendów krótkoterminowych,
- *H*=0,5 – charakter losowy, jednakowe prawdopodobieństwo zmiany oraz utrzymania trendu,
- *H* w zakresie 0,5-1 – uporządkowany przebieg, o większym prawdopodobieństwie utrzymania obecnego trendu.

¹ <https://www.compadre.org/osp/items/detail.cfm?ID=7365> - data dostępu 20.04.2020 r.

3. Wyniki

Do badań wykorzystano zgromadzone w archiwum zapisy chodu osób zdrowych oraz po udarze (sposób doboru: *convenience sample*). Podjęta próba ustalenia normy dla osób zdrowych potwierdziła wyniki poprzednich badań (tabela 1) i pacjentów po udarze (tabela 2). Podjęta próba ustalenia normy dla osób zdrowych (dla $n=30$) potwierdziła wyniki poprzednich badań [1].

Tabela 1. Wyniki badań grupy osób zdrowych ($n=30$)

Wartość	Wymiar fraktalny [1]	Wymiar fraktalny (badanie obecne)	Wykładnik Hursta
Średnia	1,13	1,14	0,2
SD	0,04	0,05	0,04
Min	1,04	1,03	0,1
Q1	1,09	1,07	0,15
Mediana	1,12	1,11	0,2
Q3	1,15	1,14	0,25
Max	1,2	1,18	0,32

Do porównań z grupami pacjentów przyjęto gdzie przyjęto wartość maksymalną (1,2).

Tabela 2. Wyniki badań grupy pacjentów po udarze ($n=30$)

Wartość	Wymiar fraktalny [1]	Wymiar fraktalny (badanie obecne)	Wykładnik Hursta
Średnia	1,38	1,39	0,3
SD	0,32	0,31	0,06
Min	1,07	1,11	0,14
Q1	1,22	1,25	0,22
Mediana	1,35	1,37	0,29
Q3	1,42	1,43	0,35
Max	1,57	1,52	0,39

Zaobserwowano wyższe (tj. gorsze) wartości parametrów oraz większą zmienność parametrów fraktalnych chodu w grupie pacjentów po udarze. Wykładnik Hursta wskazuje, że są to szeregi czasowe o dużej zmienności, o częstych zmianach kierunku trendów krótkoterminowych, co dobrze wróży podatności na wpływ terapii (możliwe odwrócenie trendu).

4. Dyskusja

Ww. wyniki będą analizowane, a metoda będzie rozwijana w kolejnych pracach. W ramach rozwoju metody proponuje się opracować tabelę kierunków trendu i wartości wykładnika Hursta oraz badać zmienność współczynnika Hursta w miarę postępów terapii, np. metodą odtrendowanej średniej kroczącej.

Do rozpowszechnienia proponowanej metodyki badawczej, po potwierdzeniu jej czułości i powtarzalności planuje się, wykorzystanie aplikacji mobilnych. Już obecnie zwiększają one możliwości i bezpieczeństwo osób uprawiających sport (np. biegaczy, rowerzystów), a rozwiązania takie jak smartbandy, smarwatche czy czujniki oddechu łatwo zintegrować z aplikacjami telemedycznymi, również wyposażonymi w czujniki noszone (ang. *wearable sensors*), przetwarzającymi danych w czasie rzeczywistym. Ważnym elementem jest pełna cyfryzacja oraz celowe i planowane wykorzystanie danych już zgromadzonych. Stąd planowana integracja pomiarów z wykorzystaniem parametrów oraz klasyfikacji i predykcji za pomocą sztucznych sieci neuronowych.

4.1. Dotychczasowe badania nad analizą chodu z wykorzystaniem parametrów fraktalnych

Badania własne nad metodyką i narzędziami do stosunkowo prostej, szybkiej i taniej klinicznej analizy chodu z wykorzystaniem parametrów fraktalnych należą do pierwszych prób w tym obszarze. Ze względu na silną interdyscyplinarność badania te są prowadzone we współpracy Katedry Fizjoterapii CM UMK w Bydgoszczy z Instytutem Informatyki Uniwersytetu Kazimierza Wielkiego w Bydgoszczy. Wykorzystano przy tym dotychczasowe publikacje dotyczące wykorzystania parametrów fraktalnych do analizy zmian EEG pod wpływem różnych zachowań, w tym chodu [12] oraz elektromiografii powierzchniowej (ang. *surface electromyogram* - sEMG) [13]. Ripoli i wsp. zaproponował algorytm obliczający wartość liczby z zakresu 1-2 odzwierciedlającej geometrię sygnału będącego odpowiednikiem wzorca chodu człowieka po terenie płaskim, pod górę oraz po schodach [14].

4.2. Dotychczasowe badania nad analizą chodu z wykorzystaniem sztucznych sieci neuronowych

Klasyfikacja chodu na prawidłowy i patologiczny bezpośrednio w oparciu o przykłady chodu, a nie na podstawie zbudowanego wcześniej modelu chodu jest już realizowana przez sztuczne sieci neuronowe [15-20], z dokładnością od 75-80% [21] do niemal stuprocentowej, przy identyfikacji czynników ryzyka oraz błędów pomiarowych [22, 23]. ANN są w stanie dokonać zautomatyzowanej oceny jakościowej, a nie tylko ilościowej chodu dzięki porównaniu przestrzenno-czasowych wzorców chodu (postaci krzywych) oraz wyodrębnionego przez sieć poprawnego przebiegu cyklu chodu [24]. Dotyczy to zarówno analizy chodu w schorzeniach pacjentów podłożu neurologicznym (np. u pacjentów niedowładem

połowiczym po udarze) [25], jak i po złamaniach [26]. Kluczowe stają się badania nad ANN oceniającymi postępy w rehabilitacji funkcji chodu w terapii personalizowanej (ang. *patient-tailored therapy*) czy z użyciem robotów rehabilitacyjnych [27, 28]. Badania w tym zakresie prowadzono również w Polsce u pacjentów po udarze [1, 29-31] oraz w grupie pacjentów z chorobą Parkinsona [32].

Rzeczywisty potencjał klasyfikacji chodu za pomocą ANN pozostaje nie w pełni wykorzystany, szczególnie przy braku systemów ekspertowych dedykowanych analizie ruchu u sportowców [33]. Kolejne dziesięciolecie to przewidywany okres dominacji sieci sensorycznych i systemów wieloagentowych oraz Internetu Rzeczy i teledycyny/telerehabilitacji w praktyce klinicznej. Pojawia się coraz więcej rozwiązań tego typu, dostarczających danych do analizy sztucznym sieciom neuronowym i innym rozwiązaniom z obszaru inteligencji obliczeniowej [34, 35]. Sztuczne sieci neuronowe mogą być wspomagane metodą wektorów nośnych (ang. *support vector machine* - SVM) [36-38], wykorzystuje się również głębokie sieci neuronowe dokonujące złożonej dekompozycji cech oraz odnajdowanie ukrytych współzależności.

5. Wnioski

Wyłaniające się możliwości fraktalnej analizy chodu w połączeniu z istniejącymi już elektronicznymi kartotekami pacjentów z nagraniami chodu mogą przyczynić się do zwiększenia wiedzy oraz poprawienia efektywności diagnostyki, terapii i opieki w grupie pacjentów, jak również monitorowania osób zdrowych, w tym rozwoju dzieci i treningu sportowego [39]. Dzięki rozwojowi IoT może to przełożyć się na efektywne działania profilaktyczne, również podczas normalnej aktywności, tj. bliżej analizy chodu w środowisku naturalnym pacjentów, a nie w warunkach laboratoryjnych [39, 40].

Literatura

- Mikołajewska E. Nowe markery chodu w klinicznej analizie chodu w grupie pacjentów po udarze mózgu usprawnianych metodą NDT-Bobath. Wydawnictwo CM UMK, Bydgoszcz 2017.
- Zembaty A. Kinezyterapia. Kasper, Kraków 2003.
- Mikołajewska E. Obiektywizacja wyników rehabilitacji – próba ujęcia kompleksowego. Nowiny Lekarskie, 2011; 80(4):305-311.
- Prokopowicz P., Mikołajewski D., Tyburek K., Mikołajewska E. Computational gait analysis for post-stroke rehabilitation purposes using fuzzy numbers, fractal dimension and neural networks. Bull. Pol. Acad. Sci. Tech. Sci. 2020; 68(2):191-198.
- Mandelbrot B. B. The fractal geometry of nature. W.H. Freeman, San Francisco 1982.
- Ivanov P. C., Amaral L. A. N., Goldberger A. L., Havlin S., Rosenblum M. G., Struzik Z., Stanley, H. Multifractality in human heart dynamics. Nature 1999; 399:461-465.
- Zheng Y., Geo J. B., Sanchez J. C., Principe J. C., Okun M. S. Multiplicative multifractal modelling and discrimination of human neuronal activity. Phys. Lett. A 2005; 344:253-264.
- Jose G. Halos and Voids in a Multifractal Model of Cosmic Structure, Astrophysical Journal 2007; 658:11-24.
- Peng C. K., Mietus J. E., Liu Y., Lee C., Hausdorff J. M., Stanley H. E., Goldberger A. L., Lipstiz, I. A.. Quantifying fractal dynamics of human respiration: age and gender effects. Ann. Biomed. Eng. 2002; 30: 683-692.
- Kudinov A. N., Tsvetkov V. P., Tsvetkov I. V., Catastrophes in the multi-fractal dynamics of social-economic systems. Russian Journal of Mathematical Physics 2011; 18(2):149-155.
- Kantelhardt J. W. Fractal and multifractal time series. In: Meyers RA, editor. Mathematics of complexity and dynamical systems. New York, NY: Springer; 2012. p.463-87.
- Pradhan N., Dutt D. N. Use of running fractal dimension for the analysis of changing patterns in electroencephalograms. Comput Biol Med. 1993; 23(5):381-8.
- Arjunan S. P., Kumar D. K. Fractal based modelling and analysis of electromyography (EMG) to identify subtle actions. Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc. 2007; 2007:1961-4.
- Ripoli A., Belardinelli A., Palagi G., Franchi D., Bedini R. An effective algorithm for quick fractal analysis of movement biosignals. J Med Eng Technol. 1999; 23(6):216-21.
- Holzreiter S. H., Köhle M. E. Assessment of gait patterns using neural networks. J Biomech. 1993; 26(6):645-51.
- Gioftsos G., Grieve D. W. The use of neural networks to recognize patterns of human movement: gait patterns. Clin Biomech. 1995; 10(4):179-183.
- Lapham A. C., Bartlett R. M. The use of artificial intelligence in the analysis of sports performance: a review of applications in human gait analysis and future directions for sports biomechanics. J Sports Sci. 1995; 13(3):229-37.
- Clayton H. M. Instrumentation and techniques in locomotion and lameness. Vet Clin North Am Equine Pract. 1996; 12(2):337-50.
- Kajijima M., Foutz T. L., McClendon R. W., Budsberg S. C. Diagnosis of lameness in dogs by use of artificial neural networks and ground reaction forces obtained during gait analysis. Am J Vet Res. 2012; 73(7):973-8.
- Leon M. A. Distributed neural networks for biomedical research. Biomed Sci Instrum. 1997; 34:201-5.
- Lafuente R., Belda J. M., Sánchez-Lacuesta J., Soler C., Prat J. Design and test of neural networks and statistical classifiers in computer-aided movement analysis: a case study on gait analysis. Clin Biomech. 1998; 13(3):216-229.
- Azulay J. P., Vacherot F., Vaugoyeau M. Gait disorders: mechanisms and classification. Rev Neurol. 2010; 166(2):142-8.
- Begg R., Kamruzzaman J. Neural networks for detection and classification of walking pattern

- changes due to ageing. *Australas Phys Eng Sci Med.* 2006; 29(2):188-95.
24. Barton G., Lisboa P., Lees A., Attfield S. Gait quality assessment using self-organising artificial neural networks. *Gait Posture.* 2007; 25(3):374-9.
 25. Scheffer C., Cloete T. Inertial motion capture in conjunction with an artificial neural network can differentiate the gait patterns of hemiparetic stroke patients compared with able-bodied counterparts. *Comput Methods Biomech Biomed Engin.* 2012; 15(3):285-94.
 26. Lozano-Ortiz C. A., Muniz A. M., Nadal J. Human gait classification after lower limb fracture using Artificial Neural Networks and principal component analysis. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc.* 2010; 2010:1413-6.
 27. Luu T. P., Low K. H., Qu X., Lim H. B., Hoon K. H. An individual-specific gait pattern prediction model based on generalized regression neural networks. *Gait Posture.* 2014; 39(1):443-8.
 28. Oh S. E., Choi A., Mun J. H. Prediction of ground reaction forces during gait based on kinematics and a neural network model. *J Biomech.* 2013;46(14):2372-80.
 29. Kaczmarczyk K. Próba klasyfikacji chodu u osób po udarze mózgu. W: *Zastosowania metod statystycznych w badaniach naukowych IV.* Statsoft Polska. Kraków 2012, s. 333-42.
 30. Kaczmarczyk K., Wit A., Krawczyk M., Zaborski J. Gait classification in post-stroke patients using artificial neural networks. *Gait Posture.* 2009; 30(2):207-210.
 31. Kaczmarczyk K., Wit A., Krawczyk M., Zaborski J. Artificial Neural Networks (ANN) Applied for Gait Classification and Physiotherapy Monitoring in Post Stroke Patients. [W:] Suzuki K. *Artificial Neural Networks : Methodological Advances and Biomedical Applications*, InTech, Rijeka 2011, ss. 303-328.
 32. Kostek B., Kupryjanow A. Wykorzystanie sieci neuronowych i metody wektorów nośnych SVM w procesie rozpoznawania aktywności ruchowej pacjentów dotkniętych chorobą Parkinsona. [W:] Tadeusiewicz R., Korbicz J., Rutkowski L., Duch W. (red.) *Sieci neuronowe w inżynierii biomedycznej.* Tom 9. monografii: Torbacz W., Maniewski R., Wójcicki J. M., Liebert A. (red.) *Inżynieria biomedyczna – podstawy i zastosowania.* Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa 2013, ss. 239-262.
 33. Bartlett R. Artificial intelligence in sports biomechanics: new dawn or false hope? *J Sports Sci Med.* 2006;5(4):474-9.
 34. Jacobs D. A., Ferris D. P. Estimation of ground reaction forces and ankle moment with multiple, low-cost sensors. *J Neuroeng Rehabil.* 2015;12:90.
 35. Lau H. Y., Tong K. Y., Zhu H. Support vector machine for classification of walking conditions of persons after stroke with dropped foot. *Hum Mov Sci.* 2009;28(4):504-14.
 36. Lau H. Y., Tong K. Y., Zhu H. Support vector machine for classification of walking conditions using miniature kinematic sensors. *Med Biol Eng Comput.* 2008;46(6):563-73.
 37. Muniz A. M., Nadal J. Application of principal component analysis in vertical ground reaction force to discriminate normal and abnormal gait. *Gait Posture.* 2009; 29(1):31-5.
 38. Muniz A. M., Liu W., Liu H., Lyons K. E., Pahwa R., Nobre F. F., Nadal J. Assessment of the effects of subthalamic stimulation in Parkinson disease patients by artificial neural network. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc.* 2009;2009:5673-6.
 39. Ferber R., Osis S. T., Hicks J. L., Delp S. L. Gait biomechanics in the era of data science. *J Biomech.* 2016; 49(16): 3759-3761.
 40. Syczewska M., Wąsiewicz P. Contemporary techniques to manage of databases in gait analysis. *Elektronika Polish Journal.* 2009; 8:294-296.