



**INSTYTUT BADAŃ SYSTEMOWYCH
POLSKIEJ AKADEMII NAUK**

TECHNIKI INFORMACYJNE TEORIA I ZASTOSOWANIA

Wybrane problemy
Tom 5 (17)

poprzednio

**ANALIZA SYSTEMOWA W FINANSACH
I ZARZĄDZANIU**

Pod redakcją
Andrzeja MYŚLIŃSKIEGO

Warszawa 2015



**INSTYTUT BADAŃ SYSTEMOWYCH
POLSKIEJ AKADEMII NAUK**

**TECHNIKI INFORMACYJNE
TEORIA I ZASTOSOWANIA**

Wybrane problemy
Tom 5 (17)

poprzednio

**ANALIZA SYSTEMOWA W FINANSACH
I ZARZĄDZANIU**

Pod redakcją
Andrzeja Myślińskiego

Warszawa 2015

Wykaz opiniodawców artykułów zamieszczonych
w niniejszym tomie:

Dr inż. Tatiana JAWORSKA

Dr inż. Jan OWSIŃSKI

Dr hab. inż. Andrzej MYŚLIŃSKI, prof. PAN

Prof. dr hab. inż. Piotr SIENKIEWICZ

Prof. dr hab. inż. Andrzej STRASZAK

Dr hab. Dominik ŚLĘZAK, prof. UW

Prof. dr hab. inż. Stanisław WALUKIEWICZ

Copyright © by Instytut Badań Systemowych PAN
Warszawa 2015

ISBN 83-894-7558-8

ZARZĄDZANIE SYTUACJĄ KRYZYSOWĄ NA OBSZARZE ZURBANIZOWANYM PRZY UŻYCIU ALGORYTMÓW INTELIGENCJI ROJOWEJ

Gerard Kiljan

*Studia Doktoranckie IBS PAN
Instytut Badań Systemowych Polskiej Akademii Nauk w Warszawie
e-mail: gkiljan@Gazeta.pl*

Streszczenie. Procedura WLZ (Wykryj, Lokalizuj, Znajdź) pomaga optymalizować sterowanie jednostkami służb reagowania kryzysowego w sytuacji konfliktowej na obszarze zabudowanym. Jej głównym celem jest wspomaganie procesu dowodzenia grupami operacyjnymi sił porządkowych (policja, wojsko) podczas eskalacji incydentów o charakterze konfrontacyjnym w środowisku miejskim, przykładowo: akty terrorystyczne, zamieszki uliczne, demonstracje. Centralny mechanizm sterujący poszczególnymi komponentami procedury jest osadzony w schemacie adaptacyjnego cyklu podejmowania decyzji OODA (Observe-Orient-Decide-Act). Z kolei przebieg iteracji, w zakresie każdego z trzech głównych bloków procedury, bazuje na algorytmach wywiedzionych z metod należących do inteligencji rojowej (PSO) Particle Swarm Optimization oraz (ACO) Ant Colony Optimization. Artykuł zawiera kompletny schemat działania procedury napisany przy pomocy pseudokodu.

Słowa kluczowe: inteligencja rojowa, optymalizacja sterowania, sytuacja konfliktowa

1 WSTĘP

W porównaniu do obszarów niezabudowanych, miasta nigdy nie charakteryzowały się wysokim poziomem bezpieczeństwa. Zauważalny obecnie wzrost sytuacji kryzysowych na ich terenie, spowodował istotne zmiany we współczesnym, masowym postrzeganiu bezpieczeństwa publicznego. Poczucie jego deficytu jest spowodowane w dużej mierze dwoma czynnikami, których długoletnia ewolucja skonsolidowała się ostatecznie w jedno, kluczowe dla zapewnienia porządku, zagadnienie.

Pierwszym z nich jest dynamiczny wzrost i rozwój aglomeracji, które stał y się w XXI wieku podstawowym miejscem zamieszkania populacji ludzkiej, nierzadko przejmując dużą część zadań, będących do tej pory w

gestii administracji państwowej [7]. Równocześnie nastąpiło przeobrażenie struktury zabudowy miejskiej w przestrzeń, nieuporządkowaną, chaotyczną i niespójną [8]. Większość dzisiejszych megalopoleis jest otoczona przedmieściami, które należy traktować jako źródła potencjalnego kryzysu społecznego. Może on wybuchnąć z powodu wysokiego poziomu przestępczości zorganizowanej [10], jak również zwykłej biedy i braku perspektyw życiowych mieszkańców [9]. Oprócz czynników wewnętrznych detonatorem może być też działalność międzynarodowych grup terrorystycznych np. Państwa Islamskiego (ISIS). Indoktrynacja oraz wsparcie przy formowaniu z lokalnych społeczności pseudo oddziałów bojowych, może zrobić z nich groźnego przeciwnika nawet dla regularnych armii, co rozgrywa się obecnie w Syrii oraz Iraku. Wskutek powyższych okoliczności uzasadnione jest twierdzenie, że największe bitwy przyszłości rozegrają się na ulicach wielkich miast, i to być może już wkrótce.

Drugim czynnikiem są wydarzenia kryzysowe ostatnich lat, które dowodzą, że konflikty zbrojne diametralnie zmieniły swój charakter [11]. Z epickich batalii prowadzonych na otwartym terenie, przeistoczyły się w łańcuch „kameralnych” potyczek, prowadzonych przez niewielkie, skomunikowane ze sobą lub niezależne grupy na ograniczonym terytorium o wysokim stopniu zróżnicowania np. w terenie zurbanizowanym. Wymownymi przykładami incydentów tego typu są wojny w Iraku [13] oraz Afganistanie [12], w które zaangażowany jest sojusz NATO oraz armia USA. Podobną tendencję można również zauważyć na obszarach miejskich w trakcie eskalacji na ulicach takich zajęć, jak: demonstracje, rozruchy czy masowe grabieże. Spektakularne wydarzenia w różnych częściach świata: zamieszki w Los Angeles (1992), Paryżu (2005), Londynie (2011), Arabska Wiosna Ludów (2011) czy konflikt na Ukrainie (2014) pokazały, że dowodzone w sposób tradycyjny siły porządkowe nie były w stanie odpowiednio szybko reagować na działania protestujących grup, które charakteryzowały się wysokim poziomem agresji, a w miarę upływu czasu ich głównym celem okazywało się rabowanie mienia oraz niszczenie infrastruktury. Prowadzi to zatem do konkluzji, że metody taktyczne stosowane obecnie przez służby reagowania kryzysowego takie jak policja czy wojsko nie przynoszą zadowalających efektów w nieuporządkowanych konfrontacjach, które odbywają się na obszarach zurbanizowanych.

Podsumowując, charakter sytuacji kryzysowych mających miejsce na gęsto zaludnionych terenach miejskich, wyszedł daleko poza zakres aktualnych kompetencji i zorganizowania taktycznego służb odpowiedzialnych za zapewnienie porządku. Co więcej, przewaga w wyposażeniu i potenc-

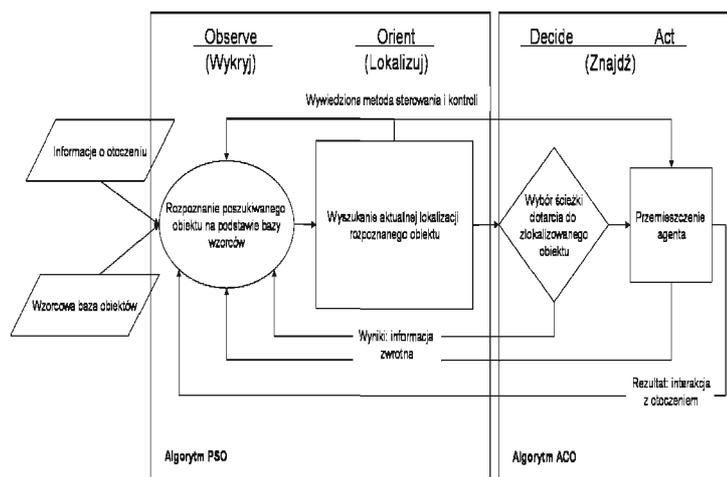
jał posiadanego sprzętu nie były wystarczająco wykorzystywane z uwagi na istotne braki w skuteczności działania tych formacji. Aby zwiększyć poziom bezpieczeństwa publicznego poprzez skuteczne przeciwdziałanie zamieszkom i aktom terrorystycznym, należy przekonstruować metodykę sterowania jednostkami operacyjnymi, udoskonalić całościową strategię dowodzenia zespołami interwencyjnymi, realizującymi swoje cele w sytuacji kryzysowej.

Osiągnięcie sukcesu w tej materii będzie możliwe dzięki zastosowaniu algorytmów opartych na koncepcji inteligencji rojowej, dodatkowo wspomaganym technologią komputerową. Głównym zadaniem procedury zaprezentowanej w artykule jest rozwiązanie problemu decyzyjnego, który determinuje powodzenie każdej zbiorowej operacji zorganizowanej, zachodzącej w sytuacji kryzysowej. Dowódca lub lider każdego oddziału, niezależnie od celu akcji, którą prowadzi, powinien rozwiązać 3 kluczowe problemy: rozpoznać obiekt będący przedmiotem poszukiwań (Wykryj), zlokalizować jego pozycję w zadanej przestrzeni (Lokalizuj) oraz w optymalnym czasie dotrzeć do miejsca przeznaczenia (Znajdź) [14]. Skutkiem tego poprawna realizacja misji jest w podobnym stopniu uzależniona od prędkości adaptacji grupy operacyjnej (roju) do aktualnych warunków otoczenia, jak również czasu dostosowywania się do dynamiki i kierunku zmian położeń przeciwnika.

2 OBSERVE-ORIENT-DECIDE-ACT CZYLI ADAPTACYJNY CYKL PODEJMOWANIA DECYZJI (OODA)

Ewolucja technologii komunikowania, doprowadziła do znaczącej przebudowy przebiegu sytuacji konfliktowej, ponieważ informacja stała się: tania, powszechnie dostępna, ograniczona do formy prostego, krótkiego przekazu. W związku z tym w dynamicznym, szybko reorganizującym się otoczeniu, przewagę uzyskuje nie ten uczestnik zdarzenia, który posiada większe zasoby informacji, tylko ten, który może szybciej zrobić z nich użytek. Wykorzystując swoją przewagę informacyjną działa optymalnie, a w rezultacie wcześniej adaptuje się do otoczenia i aktualnej sytuacji. Tendencja ta została zauważona przez pułkownika Johna Boyda, pilota USAF oraz konsultanta strategicznego Pentagonu, który na przełomie lat 70 i 80 stworzył koncepcję adaptacyjnego modelu cyklu podejmowania decyzji o nazwie OODA (Observe-Orient-Decide-Act) [1]. Jego meritum stanowi pętla, która reprezentuje proces synchronicznej, ciągłej wymiany danych pomiędzy czterema płaszczyznami przetwarzania informacji: obserwacją, orientacją, decyzją oraz działaniem. Pozwala ona na optymalne

reagowanie w czasie realnym na zmiany warunków otoczenia oraz posunięcia strony przeciwnej. Uzupełniającym elementem jest stałe monitorowanie rezultatów działań własnych, a co za tym idzie kontrola i weryfikowanie ich jakości na bieżąco. Koncepcja J. Boyda jest stosowana do dnia dzisiejszego w strategii sił powietrznych oraz piechoty morskiej armii Stanów Zjednoczonych. Oprócz tego model OODA pełni ważną rolę w kreowaniu doktryny wojny informacyjnej bazującej na: przewadze informacyjnej (Information Superiority) oraz sieciocentryczności pola walki (Network Centric Warfare) [15]. Centralny mechanizm koordynacji współdziałania wszystkich komponentów procedury, będącej tematem artykułu, został wkomponowany w cykl OODA z uwagi na jego wysoką skuteczność działania w chaotycznym środowisku o wysokim poziomie zmienności oraz dużej mobilności uczestników, którzy znajdują się na jego obszarze. Rys. 1 przedstawia wizualizację osadzenia procedury w cyklu OODA.



Rys. 1. Główne komponenty procedury rojemowej w schemacie OODA. Źródło: opracowanie własne

3 OPTIMALIZACJA ROJEM CZĄSTEK

Odwoływanie się do mechanizmów funkcjonujących w przyrodzie jest powszechnie stosowaną metodą badawczą, przy pomocy której naukowcy oraz wynalazcy poszukują odpowiedzi na nurtujące ich pytania. Na podstawie obserwacji organizmów żywych, tworzą modele ich zachowań a

następnie adaptują je do rozwiązywania zagadnień obliczeniowych o dużym poziomie komplikacji, między innymi tzw. problemów NP-trudnych. Jednym z takich rozwiązań jest wykorzystanie reguł kierujących zachowaniami społecznymi osobników żyjących w zorganizowanych populacjach. Podstawowym celem grupy jest przetrwanie, zależące od tego, jak szybko przystosowuje się ona do otoczenia oraz jak skutecznie wyszukuje obszary o korzystnych właściwościach. Aby ten cel osiągnąć, jednostki należące do roju współpracują ze sobą, przekazując wzajemnie informacje o swoim aktualnym położeniu, co w rezultacie umożliwia całej zbiorowości wypracowanie optymalnego rozwiązania. Przykładowo: odnalezienie najkrótszej lub najbezpieczniejszej ścieżki do zasobów. Jako wzorce takich społeczności można wskazać: kolonie owadów, stada ptaków czy ławice ryb.

Po raz pierwszy metoda optymalizacji odwołująca się do zachowań rojów została zaprezentowana w 1995 r. przez R. C. Eberhart'a i J. Kennedy'ego [4]. Algorytm „Particle Swarm Optimization” (PSO) bazował na obserwacjach osobników tworzących zbiorowości. Główną konkluzją prowadzonych badań była teza mówiąca, że siła i zakres potencjału decyzyjnego danej populacji są wynikiem zbioru prostych oddziaływań, które zachodzą pomiędzy jednostkami wchodzącymi w jej skład. Przykładowo: wybór optymalnego kierunku i prędkości poruszania się przez grupę jest podejmowany w oparciu o informacje z otoczenia pozyskiwane na bieżąco, które w dalszych krokach są przekazywane do reszty roju, a następnie każdy agent podejmuje decyzję dotyczącą drogi, którą zamierza podążać, na podstawie wiedzy o aktywności swoich najbliższych sąsiadów. Wypadkowa takich lokalnych oddziaływań, przy jednoczesnym uwzględnieniu aktualnego stanu otoczenia, tworzy w rezultacie tzw. lidera roju, czyli najlepsze rozpoznane w danym momencie rozwiązanie, które determinuje manewr całej grupy.

Dzięki prostej budowie podstawowego wzoru, PSO można bezproblemowo stosować do zagadnień pochodzących z różnych dziedzin. Algorytm pozwala również na swobodne modyfikowanie kodu, zgodnie z potrzebami wymaganymi w danym przypadku [5][6][16]. Pomimo podobieństwa do innych używanych technik ewolucyjnych takich jak: algorytmy genetyczne czy automaty komórkowe, PSO wyróżnia jedna istotna cecha. Jest to zdolność do zapamiętywania najlepszych, wywiedzionych w danym czasie rezultatów pośrednich. W znacznym stopniu ogranicza to ilość odwołań do funkcji dopasowania, sprawdzającej odległość znalezionej rezultatu od optimum, a co za tym idzie przyczynia się do obniżenia zapotrzebowania na zasoby obliczeniowe, a także skraca czas poszukiwań rozwiązania. Al-

gorytm pozwala również na rejestrowanie lokalizacji obszarów o wysokim poziomie atrakcyjności, co umożliwi powrót do wcześniej poznanych, spenetrowanych terytoriów. Rys. 2 przedstawia przesunięcie pojedynczego osobnika roju w iteracji algorytmu PSO, gdzie:

K – zbiór wszystkich agentów roju

X_k^i – położenie agenta X w iteracji i

X_k^{i+1} – położenie agenta X w iteracji $i+1$

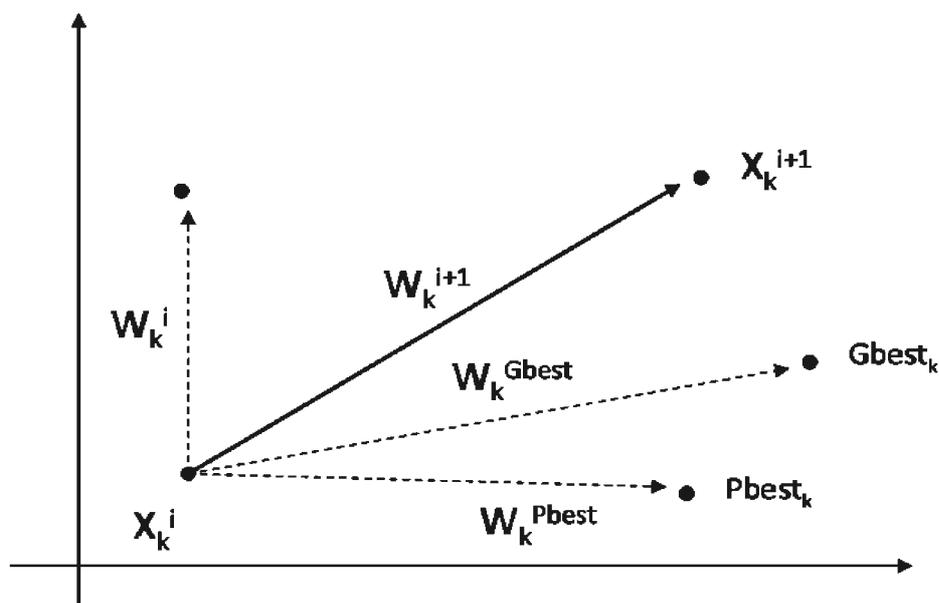
$Pbest_k$ – najlepsze położenie osiągnięte przez agenta X

$Gbest_k$ – najlepsze położenie osiągnięte przez lidera roju K

W_k^i – ruch zgodny z aktualnym wektorem prędkości

W_k^{Pbest} – ruch zgodny z wektorem prędkości najlepszego położenia agenta X

W_k^{Gbest} – ruch zgodny z wektorem prędkości najlepszego położenia lidera roju



Rys. 2. Wybór wektora prędkości przez agenta w trakcie optymalizacji rojowej. Źródło: [4]

3.1 Algorytm Mrówkowy

Algorytm mrówkowy jest jedną z technik wywodzących się z koncepcji optymalizacji rojowej. W odróżnieniu od PSO, które skupia się w swoich założeniach na ciągłej i bezpośredniej wymianie informacji pomiędzy osobnikami, algorytm ten przewiduje w swojej formule zdolność do modyfikacji atrybutów eksplorowanego otoczenia w celu przekazywania wiedzy pozostałym jednostkom należącym do zbiorowości (stymurgia). Podstawowa wersja algorytmu mrówkowego została sformułowana w 1991 roku przez zespół prowadzony przez M. Dorigo [3]. Zaproponowany mechanizm został później wykorzystany do stworzenia pełnego zestawu algorytmów o nazwie ACO (Ant Colony Optimization) [2]. W swojej pracy badacze oparli się na obserwacjach zwyczajów laboratoryjnej kolonii mrówek z Ameryki Południowej (łac. *Iridomyrmex Humilis*) prowadzonych przez J.L. Denebourg i S. Gossa [17] [18].

Głównym zadaniem ACO jest rozwiązywanie zagadnień optymalizacyjnych, polegających na wytyczeniu dróg w grafach w celu odnalezienia najmniej „kosztownej” drogi pomiędzy wybranymi wierzchołkami. Odbywa się to poprzez symulację współbieżnego przemieszczania się agentów po krawędziach grafu. Każda jednostka za pomocą znacznika, będącego odpowiednikiem śladów feromonowych mrówek, informuje pozostałe osobniki o atrakcyjności danego odcinka. Sztuczny insekt przechodząc po ścieżce, odkłada na niej określoną ilość znacznika, tworząc tym samym pojedyncze rozwiązanie cząstkowe. Zazwyczaj nie jest ono optymalne, dlatego ostateczny rezultat to wynik współpracy całej populacji. W przeciwieństwie do warunków naturalnych, jednostki nie startują z tego samego wierzchołka (mrowisko), tylko są losowo rozmieszczane na brzegowych krawędziach grafu. W pierwszych iteracjach, ilość znacznika na wszystkich odcinkach jest minimalna i jednakowa, zatem na początku osobniki konstruując swój szlak, kierują się probabilistyczną metodą wyboru drogi. Jednak po pewnym czasie, dzięki informacjom odłożonym przez innych agentów, stopniowo modyfikują swoją trasę aż do osiągnięcia optimum. W każdym kroku jednostka decyduje o wyborze ścieżki, analizując zarówno koszt przejścia pomiędzy wierzchołkami jak i intensywność pozostawionego znacznika feromonowego. Miarą sukcesu jest liczba przejść pomiędzy wierzchołkami pośrednimi lub całkowity czas przebycia trasy z wierzchołka początkowego do zadanego celu.

Najbardziej znanym problemem praktycznym, do rozwiązania którego zastosowano algorytm ACO jest problem komiwojażera, znany jako Traveling Salesman Problem (TSP) [19]. Jest to klasyczne zagadnienie z gatunku

NP – trudnych, którego rozwiązanie polega na odnalezieniu najkrótszego cyklu Hamiltona w zadanym grafie $G(W,K)$, posiadającym określoną liczbę wierzchołków w zbiorze W , połączonych ze sobą przez określoną liczbę nieukierunkowanych krawędzi w zbiorze K .

4 PROBLEM DECYZYJNY

Przytoczone przykłady incydentów o charakterze konfliktowym, które miały miejsce na obszarach zabudowanych, jasno dowodzą, że głównym problemem decyzyjnym w takich sytuacjach jest dotarcie do źródła zagrożenia w optymalnym czasie. Aby zrealizować zadanie, dowódca oddziału musi mieć pewność, że obrany cel jest tym właściwym, zarówno pod kątem rozpoznania jak i lokalizacji. Zamieszki odbywające się w miastach zazwyczaj kończą się jednak ogromnymi stratami materialnymi, a nierzadko ofiarami. Przykładowo w trakcie eskalacji czterodniowego konfliktu na ulicach Londynu w roku 2011 atakowano budynki administracji państwowej, niszczone infrastrukturę, podpalano pojazdy i lokalne centra handlowe. Dokonywano też aktów masowej grabieży na niespotykaną dotąd skalę. Ogólne straty na terenie Londynu oszacowano później na 200 milionów funtów [20]. Działania służb porządkowych były oceniane jako: nieadekwatne, spóźnione i nieporadne [21].

W opinii autora brak skuteczności policji przebiega na dwóch płaszczyznach. Pierwsza z nich to chaotyczna struktura środowiska miejskiego. Zróżnicowanie zabudowy oraz asymetryczna siatka ulic i skrzyżowań pozwalają rozproszonym grupom manifestantów na nieskoordynowane przemieszczanie się we wszystkich kierunkach. Specyfika takiego otoczenia znacznie utrudnia manewrowanie oddziałami, ale za to ułatwia ucieczkę, ukrycie się lub rozproszenie. W rezultacie przewidzenie przebiegu przemieszczania się tłumu lub wielu grup demonstrantów, jak również kontrolowanie ich zachowań, staje się ciężkie do przeprowadzenia przy zastosowaniu metod konwencjonalnych, co sprawia, że reagowanie jest nieodpowiednie lub znacznie opóźnione. Druga to hierarchiczna struktura dowodzenia i podejmowania decyzji, która jest powszechnie stosowana w większości służb. Długa ścieżka decyzyjna, na którą nakładają się dodatkowo takie czynniki jak: dezaktualizacja danych, szumy informacyjne i sprzeczne sygnały powoduje, że lider zespołu nie jest w stanie całościowo zapanować nad sytuacją, co wydłuża czas podejmowania decyzji, wprowadza niezdecydowanie, a w konsekwencji niezrealizowanie wyznaczonego celu w oczekiwanym czasie.

Rozwiązaniem problemu byłoby zatem zrezygnowanie z wystawiania dużych formacji blokowych na rzecz rozproszenia sił porządkowych na mniejsze zespoły o dużej autonomii, które operowałyby w ograniczonym sektorze miasta. Decyzje byłyby podejmowane na podstawie fragmentarycznych informacji, opierających się wyłącznie na danych dostępnych w określonej lokalizacji, bez konieczności posiadania wiedzy o całym spektrum wydarzeń. Taka strategia przypominałaby wówczas działanie roju.

5 PROCEDURA WLZ – ZAŁOŻENIA

Zgodnie z projektem głównym zadaniem procedury rojowej ma być wsparcie dowodzących przy wyszukiwaniu rozwiązań opisanego powyżej problemu decyzyjnego. Składa się ona z 3 bloków: Wykryj, Lokalizuj, Znajdź. Przebieg iteracji każdego z nich bazuje na zaprezentowanych wcześniej algorytmach optymalizacji rojowej PSO oraz ACO. W mechanizmie sterującym pracą procedury będą one pełnić rolę odpowiedników płaszczyzn, na których zbudowana jest metodyka cyklu decyzyjnego OODA. Komunikacja i wymiana danych pomiędzy nimi będzie odbywać się na bieżąco, zgodnie z wymaganiami narzuconymi przez schemat OODA. Każdorazowa modyfikacja wartości parametrów w jednym z bloków, spowoduje dostosowanie się pozostałych platform do aktualnego stanu. Przykładowo: przemieszczenie się poszukiwanego obiektu do nowej lokalizacji w trakcie wyszukiwania, zatrzyma moduł Znajdź oraz uruchomi moduł Wykryj, który rozpocznie eksplorację obszaru w celu odnalezienia aktualnego miejsca pobytu celu a następnie przekaże nową pozycję do modułu Znajdź, który rozpocznie konstruowanie nowej ścieżki.

5.1 Procedura WLZ – Wykryj

Pierwszym krokiem, który rozpoczyna działanie procedury jest funkcja Wykryj, czyli $Observe = f(Obs)$ (Rys. 1). Jej formuła opiera się na metodzie wykorzystania algorytmu PSO do rozpoznawania wieloelementowych obiektów na podstawie posiadanej bazy wzorców [5][6]. W trakcie przebiegu iteracji będzie ona eksplorować wskazany obszar w celu ustalenia, czy obiekty znajdujące się w jego granicach są zbieżne ze wzorcem. Aby stwierdzić stopień podobieństwa badanej w danym momencie jednostki, funkcja $f(Obs)$ będzie porównywać jej charakterystyki z parametrami zawartymi w dostępnej bazie wzorców, a następnie określi poziom odchylenia od wartości modelowych (funkcja dopasowania). Przekroczenie minimalnego poziomu sumarycznej skali odchylenia spowoduje oznaczenie danej

jednostki jako 'potencjalnie zbieżnej' oraz zainicjuje kolejne kroki. W przypadku sytuacji konfliktowej procedura będzie miała za zadanie rozpoznać postawy agresywne, prezentowane przez ludzi oraz rozróżnić je od pozycji niekonfliktowej. Wzorzec będzie składać się z trzech zintegrowanych płaszczyzn, których kombinacja zadecyduje o wyniku badania w zależności od rangi, którą posiada dana cecha. Pierwsza odtworzy model sylwetki człowieka, druga mimikę jego twarzy, a trzecia tembr głosu charakteryzujących zachowania typowe dla obu wymienionych stanów emocjonalnych. Wyznaczenie wzorca dla przeciwstawnych pozycji jest niezbędne, gdyż dzięki temu będzie można określić poziom odchylenia badanego obiektu od normy w zakresie Agresja - Spokój. W praktyce pomiary obiektów będzie można przeprowadzać na ulicach miast oraz w krytycznych miejscach publicznych: stacjonarnie przy pomocy kamer (pulsowanie) [11] oraz mobilnie przy pomocy dronów lub nagrań z telefonów komórkowych wykonywanych przez funkcjonariuszy w cywilu. Zaklasyfikowanie określonych osób, znajdujących się blisko siebie, jako agresywnych będzie skutkowało oznaczeniem ich jako potencjalnie niebezpiecznej grupy.

1. Wykryj $f(\text{Obs})$

(a) Aktualizacja współrzędnych obszaru przeszukiwań

i. Podział obszaru badania na m sektorów: $S = (s_1, \dots, s_2, \dots, s_m)$

(b) Aktualizacja zbioru atrybutów K dla bazy wzorców: $W = (P_w, T_w, G_w)$

i. Postawa $P_w = (p_1, \dots, p_2, \dots, p_k)$

ii. Twarz $T_w = (t_1, \dots, t_2, \dots, t_k)$

iii. Głos $G_w = (g_1, \dots, g_2, \dots, g_k)$

iv. Przypisanie rangi R do każdej z cech: $W_r = (P_w * r_1, T_w * r_2, G_w * r_3)$

repeat

1. Otrzymanie informacji wizualnej o obiekcie O , wybranym do badania

(a) Rejestracja obiektu O na liście CHECK

2. Pomiar i analiza atrybutów wybranego obiektu: $O = (P_o, T_o, G_o)$

(a) Postawa $P_o = (p_1, \dots, p_2, \dots, p_k)$

(b) Twarz $T_o = (t_1, \dots, t_2, \dots, t_k)$

(c) Głos $G_o = (g_1, \dots, g_2, \dots, g_k)$

(d) Skonstruowanie modelu obiektu $O = \{(p_{o1}, \dots, p_{o2}, \dots, p_{ok}), (t_{o1}, \dots, t_{o2}, \dots, t_{ok}), (g_{o1}, \dots, g_{o2}, \dots, g_{ok})\}$

3. Porównanie modelu wybranego obiektu O do wzorca

- (a) Obliczenie odchylenia pomiędzy modelem obiektu O a wzorcem: $d = O - W_r$
- (b) Podsumowanie podobieństwa, obliczenie rejestru zbieżności obiektu O ze wzorcem
- 4. Przypisanie do obiektu O indywidualnej skali zbieżności ze wzorcem
- 5. Sprawdzenie warunków zbieżności:
 - (a) Spełnione, obiekt przekracza minimalny poziom normy:
 - i. Przesłanie współrzędnych sektora S , w którym znajduje się zbieżny obiekt do $f(\text{Ort})$
 - ii. Przesłanie atrybutów obiektu O do $f(\text{Ort})$
 - (b) Niespełnione, obiekt nie przekracza minimalnego poziomu normy:
 - i. Przejdź do kroku c [nie ma kroku c]

until

- 1. Sprawdzenie warunków zatrzymania (lista CHECK jest pełna)
 - (a) Spełnione – STOP
 - (b) Niespełnione - przejdź do kroku c

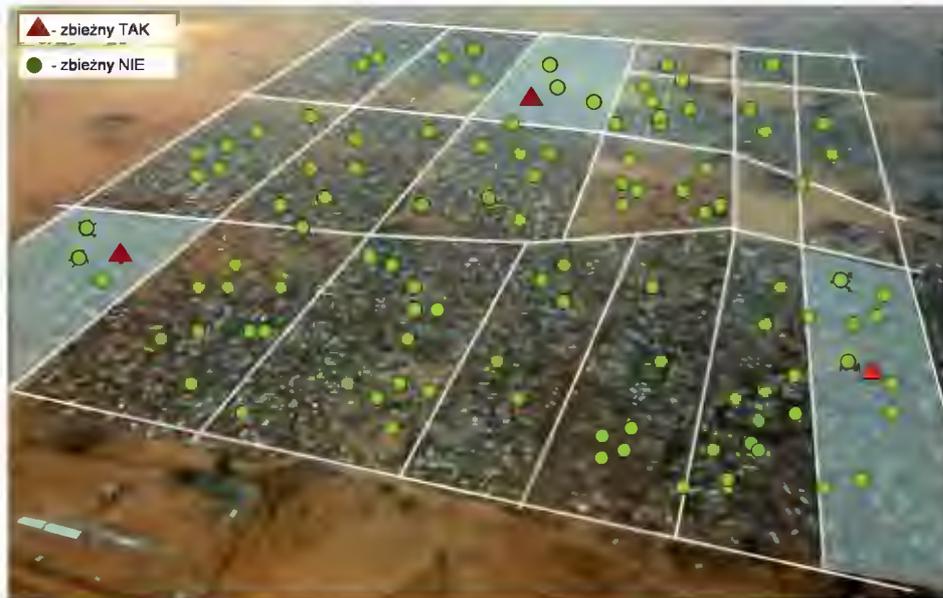
gdzie:

- lista CHECK - rejestr badanych obiektów
- R - ranga określająca wagę danej cechy
- P - punkty odpowiadające za ułożenie sylwetki (głowa, kark, ramiona, łokcie, nadgarstki, biodra, kolana, stopy) [6]
- T - punkty odpowiadające za mimikę i gesty twarzy (oczy, brwi, usta)
- G - cechy głosu odpowiadające za wyrażanie emocji (wysokość, tempo, siła, barwa) [22]

Rys. 3 przedstawia wizualizację hipotetycznego zdarzenia.

5.2 Procedura WLZ – Lokalizuj

Kolejnym etapem postępowania, który rozpoczyna pracę po otrzymaniu alertu od $f(\text{Obs})$ jest funkcja Lokalizuj, czyli $\text{Orient} = f(\text{Ort})$. Podobnie jak w przypadku poprzedniego modułu, przy budowie reguł jej działania zastosowany został algorytm PSO. Uruchamia go sygnał informujący o tym, że w granicach danego sektora znajduje się obiekt, rozpoznany jako zbieżny ze wzorcem. Podstawowym zadaniem tej funkcji jest wyszukanie współrzędnych aktualnej lokalizacji takiego obiektu. Zbiór atrybutów obiektu, przesłany przez $f(\text{Obs})$, od tego momentu zaczyna pełnić rolę wartości



Rys. 3. Rozpoznanie agresywnych jednostek na obszarze obozu w Dagahaley. Źródło: [23]

bazowych dla funkcji dopasowania, natomiast współrzędne sektora będą ograniczeniami dla przestrzeni wyszukiwania. Zadaniem agentów roju będzie minimalizowanie funkcji dopasowania poprzez ocenę swojej odległości od jednostki znajdującej się w badanym obszarze, która w największym stopniu odpowiada atrybutom obiektu przesłanym przez $f(\text{Obs})$. Jakkolwiek czynność ta wydaje się być tożsama z poprzednią funkcją, gdyż dane o lokalizacji można uzyskać w momencie rejestrowania obiektu, to jednak należy założyć, że w sytuacjach dynamicznych, a do takich należą konflikty, dany osobnik może się przemieszczać, a co za tym idzie istotnie oddalić od sensora w czasie, w którym będzie kalkulowana jego zbieżność ze wzorcem. Dodatkowo w przypadku, kiedy sytuacja kryzysowa będzie dotyczyć grupy, po rozpoznaniu może się ona rozproszyć i podzielić na kilka celów (minimów lokalnych), których wyszukanie bardzo dobrze odpowiada charakterystyce algorytmu PSO. Narzędziem realizującym tą funkcję w praktyce mogą być zarówno drony jak i funkcjonariusze w cywilu. Po otrzymaniu alertu mogą rozpocząć wykonywanie zadania, startując ze stacjonarnych punktów swojego pobytu lub być w ruchu i zmienić kierunek przemieszczania się, adekwatnie do wytycznych.

1. Lokalizuj $f(\text{Ort})$

- (a) Potwierdzenie odebrania danych od $f(\text{Obs})$

- (b) Wprowadzenie nowych danych do rejestru
 - i. Współrzędne sektora S, w którym rozpoznano zbieżny obiekt
 - ii. Atrybuty poszukiwanego obiektu O
- (c) Ustawienie licznika iteracji I na zadaną wartość N: ($i_1 = n$)
- (d) Ustanowienie współczynnika bezwładności b oraz wag c, r dla Gbest oraz Pbest
- (e) Identyfikacja początkowych położenia (aktywacja) zbioru agentów K dostępnych w sektorze: $S = (x_1, y_1.. x_2, y_2.. x_k, y_k)$

repeat

1. Przypisanie agentom inicjalnych wektorów prędkości: $W = (x_{1*}w_1, .. x_{2*}w_2, .. w_{k*}w_k)$
2. Uruchomienie funkcji dopasowania dla agentów:
 - (a) Porównanie atrybutów obiektu O do każdego obiektu ze zbioru X znajdującego w sektorze S: $d_1 = O - O_x$
 - (b) Rozpoznanie jednostki najbardziej zbliżonej do O: $Z = \min(d_1)$
 - (c) Wyliczenie odległości agenta K od obiektu Z: $d_2 = (x_k, y_k) - (x_z, y_z)$
3. Rejestracja położenia każdego agenta w danej iteracji i
 - (a) Sprawdzenie czy jest to najlepsze znane położenie agenta Pbest: $(Pbest_i - Pbest_{i-1})$
 - i. Spełnione - $Pbest_i = Pbest$
 - ii. Niespełnione - przejdź do kolejnego kroku
 - (b) Określenie lidera roju Gbest: $Gbest = \max(Pbest)$
4. Obliczenie wektora prędkości dla agentów na podstawie nowych wartości Gbest oraz Pbest [Rys. 2]:

$$W_k^{i+1} = b * W_k^i + [c_1 r_1 (Pbest^i - X_k^i) + c_2 r_2 (Gbest^i - X_k^i)]$$

1. Przesunięcie agentów do nowych pozycji: $X_k^{i+1} = X_k^i + W_k^{i+1}$
2. Zmiana wartości n dla iteracji $i + 1 = n - 1$
3. Sprawdzenie warunków zatrzymania (odległość od obiektu Z, ilość zadanych iteracji $N = 0$)

1. Spełnione - przekaz dane do f(DeA)
 - (a) Przesłanie współrzędnych obiektu Z
 - (b) STOP
2. Niespełnione - przejdź do kroku f

until

gdzie:

c_1 - współczynnik wagowy dla kierunku najlepszego położenia agenta

c_2 - współczynnik wagowy dla kierunku położenia aktualnego lidera

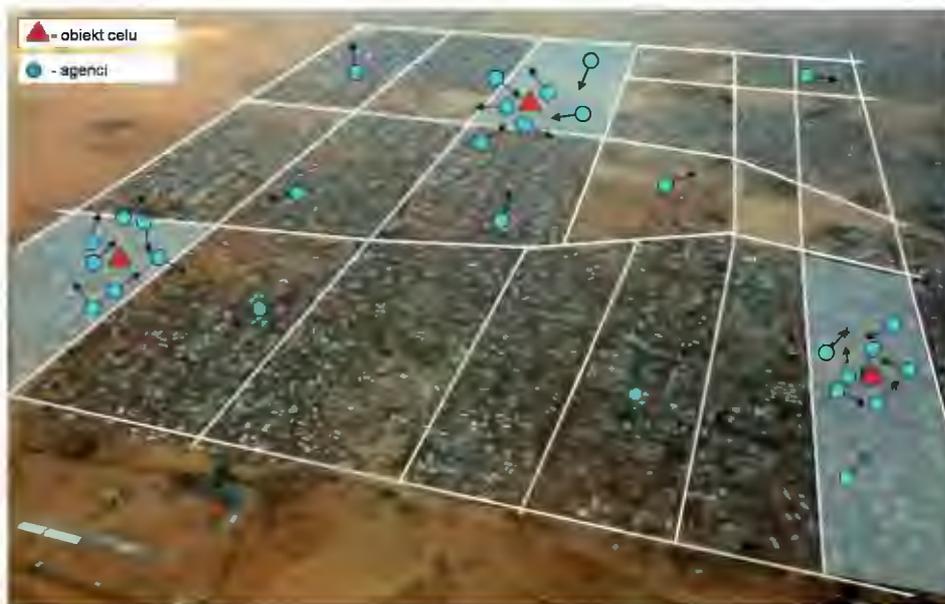
roju

r_1 - liczba losowa o rozkładzie równomiernym w przedziale $[0,1]$, decydująca o prędkości przemieszczenia się w kierunku wyznaczonym przez c_1

r_2 - liczba losowa o rozkładzie równomiernym w przedziale $[0,1]$, decydująca o prędkości przemieszczenia się w kierunku wyznaczonym przez c_2

b - współczynnik bezwładności ruchu, determinujący przyśpieszenie agenta podczas przeszukiwania przestrzeni

Wizualizację hipotetycznego zdarzenia przedstawia Rys. 4.



Rys. 4. Wyszukiwanie lokalizacji agresywnych jednostek na obszarze obozu w Dagahaley. Źródło: [23]

5.3 Procedura WLZ – Znajdź

Ostatnim krokiem przebiegu procedury jest funkcja Znajdź, czyli Decide-Act = f(DeA). Zbudowana na bazie algorytmu mrówkowego (ACO), należy do zbioru metod wywiedzionych z koncepcji inteligencji rojowej. Jej zadaniem jest wytyczenie optymalnej ścieżki dotarcia do zadanego celu. Aktywacja funkcji następuje po otrzymaniu od f(Ort) alertu oraz współrzędnych poszukiwanego obiektu Z. Do skonstruowania symulacji eksplorowanego sektora S posłużą wybrane elementy grafów, które w praktyce będą odwzorowaniem struktury obszaru zurbanizowanego: siatki ulic, skrzyżowań, placów, rond, mostów oraz pozostałych elementów stałej infrastruktury. Wyszukiwanie optymalnej trasy będzie realizowane przez mobilne jednostki, które po otrzymaniu współrzędnych celu wystartują ze stacjonarnego miejsca pobytu, przykładowo: posterunek, lub przebywać aktualnie w ruchu i zmienić swoją trajektorię adekwatnie do wymagań.

1. Znajdź f(DeA)
 - (a) Potwierdzenie odebrania danych od f(Ort)
 - (b) Wprowadzenie nowych danych do rejestru
 - i. Współrzędne poszukiwanego obiektu Z
 - (c) Ustawienie licznika iteracji T na zadaną wartość N: ($t_1 = n$)
 - (d) Inicjalizacja roju
 - i. Ustawienie inicjalnej ilości znacznika τ na krawędziach grafu G
 - ii. Oznaczenie lokalizacji celu: $Z = (x_z, y_z)$
 - iii. Ustanowienie wartości wag α oraz β
 - iv. Rozmieszczenie zbioru agentów K na M wierzchołkach grafu: $G = (m_1, \dots, m_2, \dots, m_K)$
 - A. Rejestracja wierzchołków startowych na liście TABU

repeat

1. Przemieszczanie się

repeat

1. Obliczenie odległości ości agenta k do sąsiadującego wierzchołka m przy zastosowaniu metryki euklidesowej: $d(k, m) = [(m_1 - k_1)^2 - (m_2 - k_2)^2]^{1/2}$
2. Wybór następnego wierzchołka do przejścia w iteracji t na podstawie wzoru ACO [2]:

$$p_{mk}(t) = [\tau_{mk}(t)]^\alpha [\eta_{mk}]^\beta / \sum [\tau_{mk}(t)]^\alpha [\eta_{mk}]^\beta$$

1. Zmiana położenia przez agenta
2. Rejestracja wybranego wierzchołka na liście TABU
3. Sprawdzenie warunków zatrzymania
4. Cel został odnaleziony
 - (a) Obliczenie długości zbudowanej trasy L_{mk}
 - (b) Odłożenie na wszystkich krawędziach trasy znacznika w danej ilości [3]:

$$L_{mk}(t+1) = \tau_{mk}(t) + \Delta\tau \text{ gdzie: } \Delta\tau = Q/L_{mk}$$

1. STOP
2. Cel nie został odnaleziony
3. Przejście do punktu c

until

1. Zakończenie przemieszczania się (lista TABU jest pełna)
 - (a) Wzmocnienie znacznika na najlepszej znalezionej drodze do celu
 - (b) Przeprowadzenie zjawiska parowania feromonu na wszystkich krawędziach grafu [3]: $\rho(t+1) = (1-\rho)\tau_{mk}(t+1)$
 - (c) Powrót agentów na miejsca startowe
 - (d) Wyczyszczenie listy TABU
 - (e) Zmiana wartości n dla iteracji $t+1 = n-1$
2. Przejście do punktu c

until

1. Zakończenie wyszukiwania, jeśli: nie zanotowano trasy o niższym koszcie przejścia, ilość zadanych iteracji $N = 0$
 - (a) Wydruk najkrótszej odnalezionej drogi do celu
 - (b) Komunikat sukcesu
2. STOP

gdzie:

mk - dostępna krawędź grafu

 τ_{mk} - natężenie znacznika feromonowego na krawędzi mk η_{mk} - koszt przejścia krawędzi mk α – współczynnik ważności znacznika feromonowego β – współczynnik ważności kosztu przejścia ρ – współczynnik parowania feromonu z przedziału [0,1]

Q – dobrana wartość stała

 L_{mk} – długość wybranej krawędzi (koszt przejścia)

TABU – lista odwiedzonych wierzchołków

Poniżej wizualizacja hipotetycznego zdarzenia:



Rys. 5. Wytyczenie ścieżki dotarcia do agresywnych jednostek na obszarze obozu w Dagahaley. Źródło: [23]

6 WNIOSKI

Procedura WLZ bazująca na koncepcji wywiedzionej z zastosowania inteligencji rojowej wydaje się być właściwym wstępem do stworzenia narzędzia służącego do rozwiązywania zadań optymalizacyjnych w dynamicznie zmieniającym się środowisku, za jakie można uznać teren zabudowany. Wykorzystanie mechanizmów rojowych poprzez umocowanie ich w regułach działania metodyki OODA, pozwoli liderom zespołów operacyjnych na podejmowanie optymalnych decyzji, niezależnie od korekty warunków otoczenia czy potencjalnych translokacji celu. Jakość funkcjonowania procedury WLZ zostanie przetestowana na dwóch płaszczyznach. Pierwszą będzie skonstruowane środowisko teoretyczne, w którego zasięgu zbiorowisko agentów otrzyma do zrealizowania dwa zadania symulujące rzeczywiste przypadki, typowe dla incydentów ulicznych. Będą nimi: śledzenie fragmentów celu po jego rozproszeniu na mniejsze obiekty oraz osaczenie, i dalej zablokowanie ruchomego celu, zmieniającego swoją pozycję. Dodatkowo efektywność funkcjonowania procedury zostanie przetestowana za pomocą symulacji autentycznego wydarzenia kryzysowego z przeszłości. Do testów zostały wybrane zamieszki, które objęły swym zasięgiem Londyn w sierpniu 2011. Zdarzenie to będzie realną sytuacją kryzysową, pod-

czas której regularne oddziały policji odpowiedzialne za zapewnienie bezpieczeństwa publicznego miały za zadanie opanować niekontrolowane rozruchy uliczne. Pomimo zaangażowania dużych sił działania operacyjne nie przyniosły spodziewanego rezultatu, w efekcie zamieszki rozprzestrzeniły się na znaczną część miasta i trwały przez cztery dni w dwunastu z trzydziestu trzech dzielnic.

Literatura

1. Boyd J. R., The Essence of Winning and Losing, <http://www.ausairpower.net/APA-Boyd-Papers.html>, dostęp dnia 2014-04-15.
2. Dorigo M., Di Caro G., The Ant Colony Optimization: A New metaheuristic, *New Ideas In Optimization*, McGraw-Hill, London, 1999.
3. Dorigo M., Maniezzo V., Colomi A., Positive Feedback as a Search Strategy, Technical Report No. 91-016, Politecnico di Milano, 1991.
4. Eberhart R. C., Kennedy J., Particle swarm optimization, *Proceedings of IEEE International Conference on Neural Networks*, Piscataway, New York, 1995.
5. Foryś P., Zastosowanie metody roju cząstek w optymalnym projektowaniu elementów konstrukcji, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, 2008.
6. Ivekovic S., Trucco E., Petillot Y.R., Human body pose estimation with particle swarm optimization, *Evolutionary Computation* 16(4), Vancouver, 2008.
7. Barber B. R., *If Mayors Ruled the World: Dysfunctional Nations. Rising Cities*, Yale University Press, 2013.
8. Bhatta B., *Analysis of Urban Growth and Sprawl from Remote Sensing Data*, Springer-Verlag, Heidelberg, 2010.
9. Kneebone E., Berube A., *Confronting Suburban Poverty in America*, Brookings Institution, Washington, 2013.
10. Raport FBI, <https://www.fbi.gov/stats-services/publications/national-gang-threat-assessment-2009-pdf>, dostęp dnia 2015-03-15.
11. Arquilla J., Ronfeldt D., *Swarming & the Future of Conflict*, RAND National Defence Research Institute, 2000.
12. Cordesman A., Wagner A., *The Lessons of Modern War, Vol. III, The Afghan and Falklands Conflicts*, Boulder: Westview Press, 1990.
13. Shaohua Y., How Can Weak Powers Win?, *Chinese Journal of International Politics* Vol. 2, 2009.
14. *Poradnik dowódcy drużyny/obsługi/załogi*, Dowództwo Wojsk Lądowych Pion Szkolenia, Warszawa, 2011.
15. Mąka D., Sienkiewicz P., Sieciocentryczna infrastruktura procesów decyzyjnych, *Zeszyty Naukowe AON* Nr 2, Warszawa, 2009.
16. Foryś P., Zastosowanie metody roju cząstek w optymalnym projektowaniu elementów konstrukcji, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, 2008.
17. Ivekovic S., Trucco E., Petillot Y.R., Human body pose estimation with particle swarm optimization, *Evolutionary Computation* 16(4), Vancouver, 2008.
18. Okulewicz M., Zastosowanie wielorojowej metody PSO w Dynamic Vehicle Routing Problem, *Seminarium Inteligencji Obliczeniowej*, Warszawa, 2013.
19. Deneubourg J.L., Pasteels J.M., Verhaeghe J.C.: Probabilistic Behaviour in Ants: a Strategy of Errors?, *Journal of Theoretical Biology*, 1983.
20. Deneubourg J.L., Goss S.: Collective patterns and decision-making, *Ethology, Ecology & Evolution*, 1989.

21. Reinelt G., The Traveling Salesman Problem, Computational Solutions for TSP Applications, Berlin, 1994.
22. MIRROR internetowa edycja dziennika, <http://www.mirror.co.uk/news/uk-news/uk-riots-met-receives-200million-86127>, dostęp dnia 2015-06-05.
23. THE GUARDIAN internetowa edycja dziennika, <http://www.theguardian.com/uk/2011/aug/08/london-riots-met-police-tactics>, dostęp dnia 2015-06-06.
24. Sidorova J., Speech Emotion Recognition. DEA report, Universitat Pompeu Fabra, Barcelona, 2007.
25. Zdjęcie lotnicze obozu uchodźców Dagahaley, Kenia, <http://www.globalpost.com/photos/galleries/planet-pic/5672171/somalis-flee-kenyan-refugee-camps>, dostęp dnia 2014-04-05.

THE MANAGENENT OF CRISIS SITUATION IN URBAN AREA USING SWARM INTELLIGENCE ALGORITHMS

Abstract. The procedure WLZ (Detect, Localize, Find) presented in the article, is intended to optimize the maneuvering of units assigned to anti-crisis services, during a conflict situation, which proceeds in built-up area. Its main goal is to support the commanding process of task force operational groups in urban environment in case of such incidents like: acts of terrorism, street riots, and demonstrations. Central mechanism controlling all individual components of the procedure is based on the scheme of adaptive decision cycle OODA (Observe-Orient-Decide-Act). Next, the iteration course, within each of 3 main blocks of the procedure, works on the basis of algorithms concluded from methodology of the swarm intelligence (PSO) Particle Swarm Optimization and (ACO) Ant Colony Optimization. This article contains the complete scheme of the procedure operation, written with pseudocode.

Keywords: swarm intelligence, maneuvering optimization, conflict situation

IBS PAN *serie*

47 789

Bibl. podręczna

ISBN 83-894-7558-8