

AKADEMICKI ODBIORNIK AIS - ZASTOSOWANIE METOD SZTUCZNEJ INTELIGENCJI W CELU POPRAWY BEZPIECZEŃSTWA MORSKICH REJSÓW NIEKOMERCYJNYCH

Jacek M. Czerniak, Wojciech Dobrosielski, Dawid Ewald,
Radosław Kołpacki, Adrian Worona

Uniwersytet Kazimierza Wielkiego
Wydział Informatyki
e-mail: jczerniak@ukw.edu.pl
wdobrosielski@ukw.edu.pl
dewald@ukw.edu.pl
rkolpacki@student.ukw.edu.pl
aworona@student.ukw.edu.pl

Streszczenie: W artykule autorzy opisali projekt realizowany przez Akademickie Laboratorium Sztucznej Inteligencji i Robotyki, który miał na celu opracowanie metod optymalizacji z wykorzystaniem sztucznej inteligencji, aby poprawić bezpieczeństwo małych jednostek niekomercyjnych, takich jak jachty turystyczne. Badania koncentrowały się na tworzeniu lub modernizacji technologii wspomagających nawigację i bezpieczeństwo na morzu. Choć konwencja SOLAS nakłada obowiązek stosowania systemów takich jak AIS (Automatic Identification System) na statki komercyjne, jachty niekomercyjne często nie korzystają z takich rozwiązań ze względów ekonomicznych. AIS umożliwia ciągłą wymianę danych nawigacyjnych między statkami. Projekt zakładał jedynie odbiór i wizualizację tych danych, bez ich nadawania. Celem było stworzenie taniego i skutecznego rozwiązania poprawiającego bezpieczeństwo jachtów bez generowania wysokich kosztów dla ich armatorów. Projekt roboczo nazwano „Akademickim odbiornikiem AIS”. W rezultatach badań przedstawiono wyniki eksperymentów z użyciem metod OFNAnt, ADPO, OFNBee i AA0 oraz klasycznych metod heurystycznych używanych w logistyce transportu. Metody sztucznej inteligencji uzyskały w większości przypadków rezultaty lepsze od klasycznych.

Słowa kluczowe: AIS, nawigacja morską, metody sztucznej inteligencji, OFNAnt, ADPO, OFNBee, AA0

Academic AIS Receiver – Application of Artificial Intelligence Methods to Improve the Safety of Non-Commercial Maritime Voyages

Abstract: In this article, the authors describe a project conducted by the Academic Laboratory of Artificial Intelligence and Robotics, aimed at developing optimization methods using artificial intelligence to improve the safety of small non-commercial vessels, such as tourist yachts. The research focused on creating or modernizing technologies that support navigation and maritime safety. Although the SOLAS convention mandates the use of systems like AIS (Automatic Identification System) on commercial ships, non-commercial yachts often do not employ such solutions due to economic reasons. AIS allows continuous exchange of navigational data between vessels. The project involved receiving and visualizing this data, without transmitting it. The goal was to create a low-cost and effective solution that enhances yacht safety without imposing significant financial burdens on their owners. The project was tentatively named the "Academic AIS Receiver." The research results presented experiments using OFNAnt, ADPO, OFNBee, and AA0 methods, alongside classical heuristics in transport logistics, with AI methods generally outperforming traditional approaches.

Keywords: AIS, marine navigation, methods artificial intelligence, OFNAnt, ADPO, OFNBee, AA0

1. WSTĘP

Projekt „Zastosowanie metod sztucznej inteligencji w celu poprawy bezpieczeństwa żeglugi morskiej” został

zrealizowany przez Akademickie Laboratorium Sztucznej Inteligencji i Robotyki działające przy Katedrze Systemów Inteligentnych na Uniwersytecie Kazimierza Wielkiego w Bydgoszczy. Opiekunami projektu byli dr hab. inż. Jacek M. Czerniak, prof. UKW oraz dr inż. Dawid Ewald, adiunkt z Wydziału Informatyki.

Celem projektu było prowadzenie badań naukowych i prac rozwojowych dotyczących optymalizacji z zastosowaniem sztucznej inteligencji, a w szczególności tworzenie lub modernizacja technologii poprawiających bezpieczeństwo żegluga małych jednostek niekomercyjnych, takich jak jachty turystyczne. Choć przepisy konwencji SOLAS nakładają obowiązek korzystania z systemów wspomagających nawigację, takich jak AIS (*Automatic Identification System*), na statki komercyjne, niekomercyjne jachty żaglowe nie mają takich wymagań. Często ich armatorzy, ze względów ekonomicznych, nie inwestują w nowoczesne rozwiązania nawigacyjne.

AIS umożliwia autonomiczną wymianę informacji między jednostkami pływającymi, jednak ze względów prawnych projekt nie przewiduje nadawania sygnału AIS, a jedynie jego odbiór i wizualizację. Głównym założeniem projektu było opracowanie taniego i skutecznego rozwiązania, które poprawi bezpieczeństwo niekomercyjnych jednostek, nie obciążając armatorów wysokimi kosztami. Robocza nazwa rozwiązania to „Akademicki odbiornik AIS”.

Projekt miał również na celu rozwój kompetencji członków koła naukowego w zakresie prowadzenia badań naukowych i prac rozwojowych, ze szczególnym naciskiem na komercjalizację wyników w środowisku żeglary niekomercyjnych oraz ich praktyczne zastosowanie w żegludze. Studenci mieli możliwość nabywania umiejętności pracy w zespole oraz ćwiczenia wystąpień publicznych, co stanowi ważny element projektu.

Projekt zakładał osiągnięcie poziomu TRL 6 (Technology Readiness Level) w zakresie rozwoju prototypu. Na starcie projekt znajdował się na poziomie TRL 4, co oznacza, że przeprowadzono walidację technologii w warunkach laboratoryjnych. Zrealizowano implementację jednej z metod wyznaczania trasy w formie wtyczki w języku Python do programu OpenCPN, z wykorzystaniem darmowych, fragmentarycznych map. Stworzono dwa wczesne prototypy, a poszczególne komponenty technologiczne były wstępnie przetestowane pod kątem wzajemnej kompatybilności. W trakcie testów laboratoryjnych wczesne prototypy wykazały niską wiarygodność i odbiegały od pożądanej jakości wersji końcowej. Docelowy poziom TRL na koniec projektu to TRL 6 lub TRL 7, co oznacza demonstrację technologii w środowisku zbliżonym do rzeczywistego lub operacyjnego.

2. METODY

W niniejszym artykule przedstawione zostało użycie wybranych metod sztucznej inteligencji do wsparcia wyznaczania kierunku żegluga na urządzeniu będącym odbiornikiem AIS. Zastosowano autorskie metody optymalizacji opracowane w Katedrze Systemów Inteligentnych (gdy jeszcze istniała na Wydziale Informatyki, UKW). Aby można było zaimplementować metody wyznaczania trasy żegluga potrzebne było zbudowanie urządzenia, które pozwoli na mapie wizualizować pozycję jachtu oraz pozycje innych statków w pobliżu. Szacowano, że zakres widoczności powinien wynosić ok. 3Mm.

W ramach realizacji celów projektu „Zastosowanie metod sztucznej inteligencji w celu poprawy bezpieczeństwa żegluga morskiej” wyznaczono szczegółowe zadania, które mają doprowadzić do osiągnięcia zamierzonych rezultatów. Każde z tych zadań jest precyzyjnie określone i obejmuje zarówno aspekty techniczne, jak i praktyczne testowanie opracowanych rozwiązań. Poniżej przedstawiono szczegółowy plan działań:

Budowa czterech prototypów systemu „Akademicki odbiornik AIS”.

Każdy egzemplarz systemu wyposażony był w inne rozwiązania techniczne dotyczące systemów antenowych i układów odbiorczych sygnałów UKF. Różnorodność tych rozwiązań miała na celu ocenę efektywności poszczególnych konfiguracji w różnych warunkach żegluga. Testowane były różne typy anten oraz odbiorniki, co pozwoliło na wybranie optymalnych komponentów dla końcowego produktu.

Implementacja różnych metod sztucznej inteligencji

Każdy z prototypów będzie korzystał z innej metody optymalizacji trasy i unikania kolizji, wykorzystując sztuczną inteligencję. Celem jest nie tylko stworzenie urządzenia odbierającego sygnały AIS, ale także wdrożenie zaawansowanych algorytmów, które pozwolą na dynamiczną analizę sytuacji nawigacyjnych oraz podejmowanie decyzji w czasie rzeczywistym. Różnorodność zastosowanych metod SI pozwoli na porównanie ich skuteczności i wybór najlepszego algorytmu. Zaimplementowano w języku Python następujące własne algorytmy optymalizacji:

- Optymalizacja kolonią mrówek rozmytych w notacji OFN (OFNAnt),
- Optymalizacja stadem świń rasy Duroc (ADPO),
- Optymalizacja rojem rozmytym w notacji OFN (OFNBee),
- Optymalizacja sztucznym roztoczem (AAO).

Testy laboratoryjne z symulowanym ruchem statków

W fazie testów laboratoryjnych zostaną przeprowadzone symulacje ruchu morskiego, umożliwiające sprawdzenie poprawności działania oprogramowania bez konieczności odbierania rzeczywistych sygnałów UKF, co w Bydgoszczy jest niemożliwe z powodu braku dostępu do częstotliwości morskich. Symulacje te pozwolą na dokładną weryfikację działania systemu w hipotetycznych sytuacjach kolizyjnych, a także optymalizacji tras w różnych warunkach.

Testy podczas rejsu przybrzeżnego

W trakcie pierwszego rejsu testowego, realizowanego w zegludze przybrzeżnej, urządzenia będą sprawdzane w rzeczywistych warunkach, w których możliwe jest napotkanie wielu statków. Dzięki temu możliwe będzie zweryfikowanie skuteczności działania algorytmów optymalizacji trasy w sytuacjach o wysokim natężeniu ruchu morskiego oraz ocena, jak system reaguje na potencjalne zagrożenia kolizyjne.

Testy w rejsie pełnomorskim

Podczas drugiego rejsu, który odbędzie się na wodach pełnomorskich, głównym celem będzie przetestowanie rzeczywistego zasięgu zastosowanych anten i odbiorników UKF. Dodatkowo urządzenia zostaną sprawdzone pod kątem ich odporności na trudne warunki morskie, takie jak silne wiatry, duże fale czy intensywne opady. Testy te mają na celu upewnienie się, że systemy będą działały niezawodnie również w ekstremalnych warunkach.

3. REZULTATY

W realizacji badań eksperymentalnych zastosowano dwie grupy metod optymalizacyjnych. Pierwszą stanowią autorskie i dobrze już rozpoznawalne metody inteligencji rojowej z elementami logiki rozmytej w notacji OFN. Notację tę zaproponował Witold Kosiński [12][13], z którym autorzy współpracowali, a po jego śmierci prowadzili dalej badania w tym nurcie. Dwie kolejne metody to rozwiązania referencyjne w grupie inteligencji rojowej. Są nimi BWAS i ACS, dobrze opisane w publikacji Dorigo i Stutzle [9]. W kontrze do metod sztucznej inteligencji wystąpiły metody heurystyczne dobrze znane w skutecznych rozwiązaniach. Poniżej przedstawiono wyjaśnienie akronimów używanych w badaniu.

Metody sztucznej inteligencji:

- **OFNAnt (Ordered Fuzzy Numbers Ant)** – Algorytm mrówkowy, inspirowany sposobem, w jaki mrówki znajdują najkrótsze ścieżki do źródeł pożywienia. Wykorzystuje mechanizmy wzmacniania pozytywnych ścieżek (feromony) i eksploracji nowych rozwiązań. Do opisu drogi używa logiki rozmytej w notacji OFN [11].
- **ADPO (Artificial Duroc Pigs Optimization)** – Algorytm planowania opartego na organizacji stada świń rasy Duroc, stosowany do optymalizacji zasobów w dynamicznych systemach. Jego celem jest równoważenie obciążenia między różnymi zasobami i minimalizacja kosztów operacyjnych [6].
- **OFNBee (Ordered Fuzzy Numbers Bee)** – Algorytm inspirowany zachowaniem pszczoł w procesie poszukiwania pożywienia, w którym pszczoły wykonują „loty zwiadowcze” w celu znalezienia optymalnych rozwiązań w przestrzeni poszukiwań. W trakcie eksploracji przestrzeni poszukiwań jest dynamicznie poszerzana za pomocą logiki rozmytej w notacji OFN [10].
- **AAO (Artificial Acari Optimization)** – Metoda optymalizacyjna oparta na sztucznych koloniach roztoczy, w której jednostki wirtualne współpracują, aby znaleźć optymalne rozwiązania poprzez czteroetapową klasyfikację rozwiązań [7].
- **BWAS (Bees-Wasp Algorithm System)** – Hybrydowy algorytm łączący zachowania pszczoł i os w procesie optymalizacji. Pszczoły wykonują eksplorację, a osy wzmacniają najlepsze rozwiązania, aby szybciej zbiegać do optimum [14].
- **ACS (Ant Colony System)** – Jeden z klasycznych algorytmów kolonii mrówek, stosowany do rozwiązywania problemów trasowania i komiwojażera. Mrówki poruszają się między węzłami (miastami), szukając najkrótszej ścieżki, wzmacniając najlepsze trasy feromonami [15].

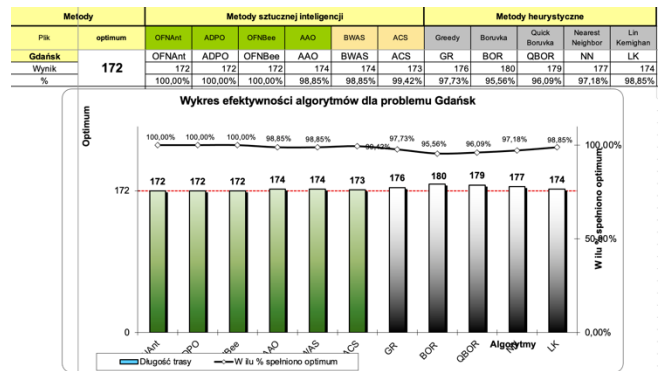
Metody heurystyczne:

- **Greedy (Algorytm zachłanny)** – Algorytm, który na każdym etapie wybiera lokalnie najlepszą opcję, mając nadzieję, że takie lokalne wybory

doprowadzą do globalnie optymalnego rozwiązania [3].

- **Boruvka (Algorytm Boruvki)** – Heurystyka stosowana w problemach minimalnego drzewa rozpinającego. Algorytm ten iteracyjnie łączy wierzchołki, wybierając najtańsze krawędzie, aż do uzyskania optymalnej struktury [16].
- **Quick Boruvka** – Usprawniona wersja algorytmu Boruvki, która szybciej znajduje minimalne drzewo rozpinające, eliminując zbędne operacje i przyspieszając iteracje [17].
- **Nearest Neighbor (NN)** – Algorytm „najbliższego sąsiada”, który w każdym kroku wybiera najbliższy niewykorzystany wierzchołek, stosowany głównie w problemie komiwojażera. Prosty, lecz efektywny dla mniejszych problemów [1].
- **Lin Kernighan (LK)** – Zaawansowana metoda optymalizacji stosowana w problemie komiwojażera. Ulepsza wstępnie wygenerowane trasy poprzez lokalne zmiany, zwiększając efektywność i zbliżając się do optymalnych rozwiązań [2].

Należy przy tym jeszcze nadmienić, że dane z poniższych tabel zostały zebrane podczas dwóch rejsów morskich. Jeden odbywał się wzdłuż polskiego wybrzeża Bałtyku na trasie Darłówek-Gdańsk. Zawinięto przy tym do portów Ustka, Łeba i Władysławowo. Drugi rejs był zgodny z założeniami projektu rejsem oceanicznym na żaglowcu STS Pogoria i przebiegał na trasie Malaga-Palma de Mallorca, gdzie na trasie odwiedzone były porty Cartagena, Ibiza i Isla d'en Salas. Dane zbierane były w czasie rzeczywistym co ok. 3 Mm. Za każdym razem w pętli wyznaczano trasę każdym z algorytmów a wyniki kolekcjonowano. W każdej z pętli pomiarowych kolejność poszczególnych algorytmów była losowa. Szczątkowe etapy każdej z predykcji tras zostały zsumowane i wyniki te przedstawiono na poniższych rycinach i w tabelach.

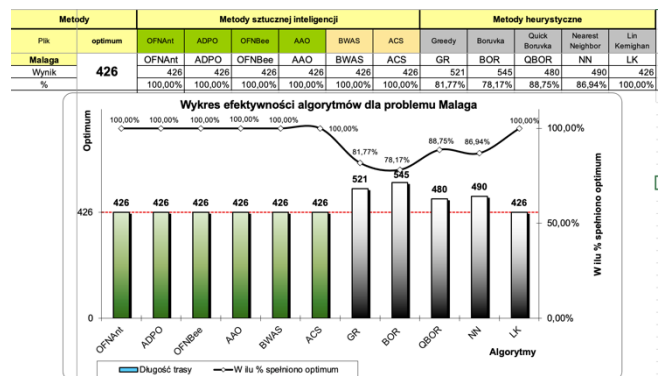


Rysunek 1. Wyniki algorytmów uzyskane w Mm dla problemu Gdańsk

Wyniki eksperymentów zawarte w załączonej tabeli przedstawiają porównanie skuteczności metod optymalizacji opartych na sztucznej inteligencji (AI) z klasycznymi metodami heurystycznymi. Eksperymenty obejmują kilka technik AI, takich jak **OFNAnt**, **ADPO**, **OFNBee**, **AAO**, **BWAS**, oraz **ACS**, a także tradycyjne metody heurystyczne, takie jak **Greedy**, **Boruvka**, **Nearest Neighbor**, **Lin Kernighan** i inne.

Skuteczność metod:

- **Metody sztucznej inteligencji** wykazały średnią skuteczność na poziomie **99,54%**. Oznacza to, że metody AI bardzo skutecznie zbliżyły się do optymalnego wyniku, wykazując minimalne odchylenia od wartości optymalnych.
- **Metody heurystyczne** osiągnęły średnią skuteczność **97,08%**, co również wskazuje na wysoką efektywność, ale nieco niższą w porównaniu do metod opartych na AI.



Rysunek 2. Wyniki algorytmów w Mm uzyskane dla problemu Malaga

Tabela zawiera wyniki eksperymentów porównujących efektywność różnych metod optymalizacyjnych, zarówno sztucznej inteligencji (np. OFNAnt, ADPO, OFNBee, AAO), jak i heurystycznych (np. Greedy, Boruvka, Quick Boruvka, Nearest Neighbor, Lin Kernighan). Wyniki te zostały zorganizowane według następujących parametrów:

1. **Metody sztucznej inteligencji:** OFNAnt, ADPO, OFNBee, AAO oraz BWAS i ACS uzyskały wartości optymalizacyjne zbliżone do optimum, wskazując na ich wysoką skuteczność.
2. **Metody heurystyczne:** Tradycyjne algorytmy, takie jak Greedy, Boruvka i jego warianty (QBOR, BOR) oraz Nearest Neighbor i Lin Kernighan, osiągnęły niższą efektywność, o czym świadczą współczynniki na poziomie 0.78–0.88 (dla Boruvki i Quick Boruvki) w porównaniu do wartości 1 dla metod sztucznej inteligencji.

Podsumowując, metody sztucznej inteligencji w większości przypadków osiągnęły lepsze wyniki niż klasyczne heurystyki, szczególnie w zakresie osiągnięcia optymalnych rozwiązań w testach laboratoryjnych.

Z analizy wynika, że metody oparte na sztucznej inteligencji były bardziej efektywne w badaniu niż metody heurystyczne. Choć różnica w skuteczności nie jest ogromna, to jednak może być znacząca w kontekście rozwiązywania bardziej złożonych problemów optymalizacyjnych, gdzie nawet niewielkie różnice mogą prowadzić do dużych korzyści. Metody AI wykazują większą zdolność adaptacyjną i lepsze dostosowanie do trudniejszych problemów optymalizacyjnych, co czyni je bardziej odpowiednimi w sytuacjach, gdzie poszukiwane są rozwiązania bliskie optymalnym.

4. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

W niniejszym artykule przedstawiono wyniki badań przeprowadzonych podczas realizacji zadania finansowanego ze środków Ministra ds. Nauki w ramach konkursu Studenckie koła tworzą innowacje. Studenci zaangażowani w realizację projektu zetknęli się z problemami typowymi dla rzeczywistych zadań inżynierskich. Mimo iż komponenty do realizacji koncepcji były dostępne to jednak integracja ich, konfiguracja i

instalacje dodatków sprawiły liczne trudności, których opisywanie w niniejszym artykule nie jest celowe. Należy dodać, że rozwiązywanie tych problemów istotnie skonsumowało czas przewidziany na realizację. Morskie, trudne warunki testowania również na długo pozostaną w pamięci studentów. Warto przy okazji nadmienić, że z czterech prototypów przygotowanych do testowania jeden został w całości zmyty za burtę, a szelki bezpieczeństwa uratowały trzymającego do badacza przed podobnym losem. Drugi prototyp został zalany wodą morską w takiej obfitości, że w wyniku przepięć uległ uszkodzeniu. Dwa kolejne pozwoliły na dokończenie badań, ale podczas ostatnich testów okazało się, że poprawione w trakcie realizacji obudowy nawet w wersji wzmocnionej nie przetrwały długotrwałego oddziaływania wilgoci i elektronika uległa degradacji. W kwestii merytorycznej należy podkreślić, że zestaw układów elektronicznych z użyciem RasperryPi 4, MacArthur HAT i komponentów peryferyjnych spełnił swoje zadanie. W przyszłości należy jednak zastosować obudowy o szczelności certyfikowanej klasy IPX7. Co do zastosowanych metod wyznaczania trasy konkluzja jest taka, że wybrane metody sztucznej inteligencji nigdy nie dały wyników gorszych od metod klasycznych. Najślabszy z odnotowanych wyników należał do AAO (która w zasadzie stworzona była do innych zadań niż routowanie) ale nawet wtedy jej rezultat był taki jak najlepszy wynik z metod klasycznych.

Literatura

1. Abdel Rahman, Z.: Studies on metaheuristics for continuous global optimization problems. Ph.D. thesis (Kyoto University, Japan, 2004)
2. Akay, B., Karaboga, D.: Artificial bee colony (ABC), harmony search and bees algorithms on numerical optimization (2009)
3. de Barros, L.C., Bassanezi, R.C., Lodwick, W.A.: A First Course in Fuzzy Logic, Fuzzy Dynamical Systems and Biomathematics. Springer-Verlag Berlin Heidelberg (2017)
4. Basturk, B., Karaboga, D.: On the performance of artificial bee colony (abc) algorithm. Applied soft computing 8(1), 687–697 (2008)
5. Czerniak, J.M., Ewald, D.: A New MGlaber Approach as an Example of Novel Artificial Acari Optimization, pp.

- 545–557. Springer International Publishing, Cham (2016)
6. Czerniak, J.M., Zarzycki, H.: Artificial acari optimization as a new strategy for global optimization of multimodal functions. *Journal of Computational Science* 22, 209–227 (2017)
 7. Czerniak, J.M., Zarzycki, H., Ewald, D.: AAO as a new strategy in modeling and simulation of constructional problems optimization. *Simulation Modelling Practice and Theory* 76, 22–33 (2017)
 8. Davidović, T., Teodorović, D., Šelmić, M.: Bee colony optimization part i: The algorithm overview. *Yugoslav Journal of Operations Research* 25(1), 33–56 (2015)
 9. Dorigo, M., Stutzle, T.: *Ant Colony Optimization*. MIT Press (2003)
 10. Ewald, D., Czerniak, J., Zarzycki, H.: Approach to solve a criteria problem of the abc algorithm used to the wbdp multicriteria optimization. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, Springer pp. 129–137 (2015)
 11. Ewald, D., Czerniak, J., Zarzycki, H.: Ofnbee method used for solving a set of benchmarks. In: Kacprzyk, J.e.a. (ed.) *Advances in Fuzzy Logic and Technology 2017. IWIFSGN 2017, EUSFLAT 2017, Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol. 642, pp. 24–35. Springer (2018)
 12. Kosiński, W., Markowska-Kaczmar, U.: On evolutionary approach for determining defuzzification operator. *Proceedings of the International Multiconference on Computer Science and Information Technology* pp. 93–101 (2006)
 13. Kosinski, W., Prokopowicz, P., Slezak, D.: On algebraic operations on fuzzy reals. *Advances in Soft Computing*, L.Rutkowski and J. Kacprzyk, Eds. Zakopane, Poland pp. 54–61 (2002)
 14. Lloyd, C.: *The alarm pheromones of social insects: A review*. Tech. rep., Colorado State University (2003)
 15. Surjanovic, S., Bingham, D.: *Virtual library of simulation experiments: Test functions and datasets*. Simon Fraser University (2013)
 16. Szmidt, E., Kacprzyk, J.: Distances between intuitionistic fuzzy sets. *Fuzzy Sets and Systems* 114, 505–518 (2000)
 17. Tarpy, D.: *The honey bee dance language*. NC Cooperative Extension Service (2004)

