

# Streszczenie

W prezentowanej rozprawie doktorskiej Autor przedstawił neuronowy system nawigacyjny z możliwością samotestowania. Jest to praca badawcza, w której przedstawiono aktualny stan wiedzy dotyczącej nawigacji i systemów nawigacyjnych, a także metod samotestowania. Zróznicowanie danych wejściowych oraz dążenie do uzyskania bardziej autonomicznego rozwiązania problemu badawczego było motywacją do wykorzystania sztucznych sieci neuronowych (SSN).

Celem pracy było przeprowadzenie szerokiej analizy porównawczej wybranych struktur sztucznych sieci neuronowych dla poprawnego funkcjonowania neuronowego systemu nawigacyjnego pozwalającego na określenie położenia kąтового w przestrzeni trójwymiarowej. Prezentowany system zapewnia funkcjonalność samotestowania polegającą na wykrywaniu nieprawidłowego działania układów sensorycznych. Jako układ sensoryczny służył zestaw czujników inercyjnych IMU 9-DoF (ang. *Inertial Measurement Unit 9 Degrees of Freedom*) składający się z trójosiowego akcelerometru, trójosiowego żyroskopu i trójosiowego magnetometru.

Zadanie samotestowania zrealizowane zostało przy pomocy  $k$ -krotnej krosvalidacji, poszczególne struktury realizujące krosvalidację były osobnymi strukturami SSN. Ostatnia warstwa sieci realizowała funkcję detekcji źródła uszkodzeń. Funkcjonalność samotestowania miała umożliwić wykrycie nie tylko nieprawidłowego działania całego układu ale dodatkowo wskazać, który z czujników działał nieprawidłowo.

W pracy przedstawiono porównanie trzech wybranych rodzajów sztucznych sieci neuronowych wykorzystywanych do wykrywania nieprawidłowego działania systemu nawigacyjnego: sieci jednokierunkowe, sieci rekurencyjne oraz sieci konwolucyjne. Dla każdego typu sieci przedstawiono wyniki ewaluacji przy różnych parametrach normalizacyjnych co pozwalało na wyznaczenie parametrów przy których uzyskiwane błędy RMSE (ang. *Root Mean Square Error*) oraz NRMSE (ang. *Normalized Root Mean Square Error*) posiadały najmniejsze wartości.

Dla realizacji celu pracy zostały zaprojektowane i wykonane urządzenia do akwizycji danych pomiarowych, zapewniające rzeczywiste dane niezbędne do dalszych badań. Wykorzystano również system wizyjny OptiTrack w celu weryfikacji poprawności działania algorytmów fuzji zebranych danych pomiarowych z wykorzystaniem filtra AHRS (ang. *Attitude and Heading Reference System*).

Uzyskane wyniki jednoznacznie potwierdzają słuszność dwóch postawionych w rozprawie tez. Zrealizowany za pomocą wybranych typów sztucznych sieci neuronowych model zapewniał poprawne wyznaczanie pozycji kątovej w przestrzeni trójwymiarowej. Blok samotestowania poprawnie wykrywał nieprawidłowe działanie systemu nawigacyjnego wysterowanego danymi z zakłóceniami oraz wskazywał, które z dziewięciu źródeł sygnałów wejściowych powoduje nieprawidłowe działanie.

Krzysztof Kobemowski

# Abstract

In the presented doctoral dissertation, the Author presented a neural navigation system with the possibility of self-testing. It is a research paper presenting the current state of knowledge concerning navigation and navigation systems, as well as self-testing methods. The diversity of input data and the desire to obtain a more autonomous solution to the research problem motivated the use of artificial neural networks (ANN).

The aim of the work was to conduct a broad comparative analysis of selected structures of artificial neural networks for the proper functioning of a neural navigation system that allows determining the angular position in three-dimensional space. The presented system provides self-testing functionality consisting in detecting incorrect operation of sensory systems. The sensor system was a set of inertial sensors IMU 9-DoF (Inertial Measurement Unit 9 Degrees of Freedom) consisting of a triaxial accelerometer, triaxial gyroscope and triaxial magnetometer.

The self-testing task was carried out using k-fold cross-validation, the individual structures performing the cross-validation were separate ANN structures. The last layer of the network performed the fault source detection function. The self-testing functionality was supposed to detect not only the incorrect operation of the entire system, but also to indicate which of the sensors was malfunctioning.

The paper presents a comparison of three selected types of artificial neural networks used to detect malfunctions in the navigation system: one-way networks, recursive networks and convolutional networks. For each type of network, the results of the evaluation with different normalization parameters were presented, which allowed to determine the parameters at which the obtained RMSE (Root Mean Square Error) and NRMSE (Normalized Root Mean Square Error) had the smallest values.

To achieve the purpose of the work, devices for the acquisition of measurement data were designed and manufactured, providing real data necessary for further research. The OptiTrack vision system was also used to verify the correct operation of the algorithms for fusion of the collected measurement data using the AHRS (Attitude and Heading Reference System) filter.

The obtained results unequivocally confirm the validity of the two theses presented in the dissertation. The model implemented with the use of selected types of artificial neural networks ensured the correct determination of the angular position in three-dimensional space. The self-test block correctly detected malfunctions of the navigation system driven by interference data and indicated which of the nine sources of input signals caused the malfunction.

*Krzysztof Kolenowski*