

Arkadiusz KOMKOWSKI

MODEL SYSTEMU ANTYKOLIZYJNEGO DLA POJAZDÓW TRAKCYJNYCH

STRESZCZENIE *W artykule zaprezentowano obecny stan prac nad prototypowym modelem systemu antykolizyjnego dla pojazdów trakcyjnych. Opisano ogólną zasadę działania systemu, opracowane dla systemu oprogramowanie do akwizycji danych oraz wstępne wyniki testów eksperymentalnych. Zamieszczono również perspektywy dalszego rozwoju systemu.*

Słowa kluczowe: *tramwaje, zagrożenie kolizją, antykolizja, GPS, analiza danych*

1. WSTĘP

Kolizje pojazdów trakcyjnych (np. tramwajów komunikacji miejskiej) wywołują duże zagrożenie dla bezpieczeństwa pasażerów oraz wiążą się ze znacznymi kosztami likwidacji ich skutków. Takie zdarzenia bardzo często mają miejsce z winy prowadzącego pojazd i dotyczą przede wszystkim przypadków najechania na tył pojazdu poprzedzającego.

mgr inż. Arkadiusz KOMKOWSKI

e-mail: arkadiusz.komkowski@iel.gda.pl

Pracownia Energoelektroniki i Sterowania,
Instytut Elektrotechniki Oddział w Gdańsku

W celu ograniczenia prawdopodobieństwa kolizji wzajemnych wozów trakcyjnych podjęto próbę opracowania i zbudowania modelu automatycznego systemu sygnalizowania zagrożenia kolizją.

W ramach przygotowania serii prototypowej urządzeń skonstruowano kilka modelowych modułów antykolizyjnych, które w celu przeprowadzenia badań i testów w rzeczywistych warunkach eksploatacji zainstalowano w tramwajach Zakładu Komunikacji Miejskiej w Gdańsku. Ich działanie jest stale i na bieżąco monitorowane bezprzewodowo, a uzyskane informacje, gromadzone w bazie danych na serwerze Oddziału Gdańskiego IEL posłużą do analizy skuteczności działania systemu w warunkach rzeczywistych.

2. OGÓLNA ZASADA DZIAŁANIA SYSTEMU

Według przyjętej koncepcji, system ma architekturę rozproszoną i jest złożony z samodzielnych urządzeń – modułów, instalowanych we wszystkich wozach poruszających się w sieci trakcyjnej. Są one wyposażone m.in. w funkcje określania bieżącej pozycji, kierunku i prędkości ruchu oraz posiadają możliwość dwukierunkowej wymiany danych motorycznych z innymi pojazdami za pośrednictwem łącza radiowego WiFi. Warunkiem koniecznym dla skutecznej pracy całego systemu jest to, aby każdy z pojazdów był wyposażony w taki moduł. Pojazd nie posiadający modułu nie jest widoczny dla systemu antykolizyjnego. Podstawowym celem działania systemu jest wykrycie i sygnalizacja prowadzącemu pojazd zagrożenia kolizją z innymi wozami trakcyjnymi. Zagrożenie takie dotyczy przede wszystkim przypadków najechania na tył pojazdu poprzedzającego.

Każdy pojazd poruszający się w sieci trakcyjnej, posiadający urządzenie antykolizyjne, rozsyła na bieżąco swoje własne dane nawigacyjne i motoryczne bez potwierdzenia odbioru. Posiada również możliwość przyjmowania takich danych z pobliskich pojazdów. Inny zbliżający się pojazd, będący w odległości zapewniającej poprawną łączność radiową (w praktyce od 200 m do 600 m, zależnie od warunków propagacji fal w danym otoczeniu) odbiera te informacje. Prawdłowo przyjęte namiary są zapamiętywane na krótki czas, tworząc w pamięci każdego z urządzeń swoistą krótkoterminową dynamiczną bazę danych pojazdów znajdujących się w bliskim otoczeniu. Przed zachowaniem w pamięci, każdy odebrany pakiet danych jest poddawany złożonej obliczeniowo obróbce arytmetycznej, która ma na celu wyznaczenie kilku parametrów dodatkowych, umożliwiających późniejszą analizę zagrożeń.

Oddalenie się obserwowanego pojazdu poza zasięg łącza radiowego, a tym samym brak poprawnego odbioru informacji z jego urządzenia antykolizyjnego powoduje, że zostanie on usunięty z bazy pojazdów po czasie ok. 10 sekund. Zwolnione miejsce może zająć informacja o innym pojeździe, który wejdzie w zasięg łącza radiowego. Wprowadzenie czasu zwłoki na usunięcie pojazdu zwiększa odporność na chwilowe zaniki sygnału i zakłócenia.

Wbudowane oprogramowanie modułu antykolizyjnego, obok w/w realizuje algorytm decyzyjny, który cyklicznie analizuje informacje zgromadzone w dynamicznej bazie danych w odniesieniu do każdego z „widzianych” pojazdów i określa, czy którykolwiek z nich stanowi potencjalne zagrożenie zdarzeniowe.

Podstawowymi parametrami decyzji są: dystans dzielący dany pojazd i jeden z pojazdów odległych, kąt zamiaru na pobliski pojazd, kierunki ich ruchu oraz względna prędkość zbliżania. Cykl analizy jest wyznaczony interwałem akwizycji danych nawigacyjnych z wbudowanego odbiornika sygnałów satelitarnych GPS (co 1 sek.). Wszystkie stany zaliczone do potencjalnie niebezpiecznych są sygnalizowane prowadzącemu pojazd.

Dla celów badawczych każde urządzenie zostało wyposażone w urządzenie do bezprzewodowej transmisji danych. Tę rolę pełni moduł telefonu komórkowego GSM/GPRS. Za jego pośrednictwem nawiązywane jest bezprzewodowe połączenie internetowe z serwerem baz danych zlokalizowanym w Oddziale Gdańskim Instytutu Elektrotechniki. Baza danych odbiera, segreguje i przechowuje wszystkie informacje przekazywane przez każde z pracujących urządzeń antykolizyjnych.

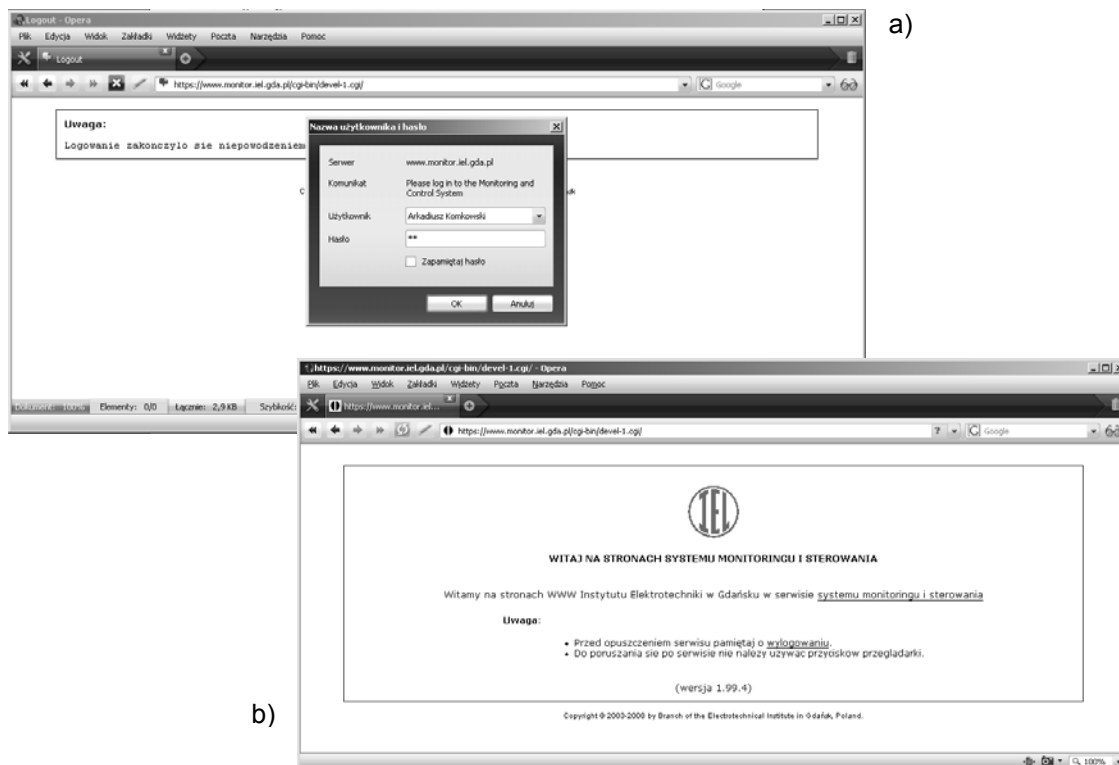
3. APLIKACJA MONITORUJĄCA

Na jednym z serwerów Oddziału Gdańskiego Instytutu Elektrotechniki (adres IP: 153.19.97.130, port: 8880) pracuje uniwersalna baza danych, której zadaniem jest zbieranie i przechowywanie informacji z różnych aplikacji telemetrycznych i monitorujących. Na potrzeby monitoringu pracy serii próbnej urządzeń systemu antykolizyjnego dla pojazdów trakcyjnych rozbudowano programy skryptowe obsługujące komunikację internetową z bazą według protokołu IEDCP. Do systemu wprowadzono nowe identyfikatory dla w/w urządzeń oraz odpowiednią listę zmiennych, których wartości są chronologicznie logowane w bazie danych. Indeksom czasowym każdego rekordu jest bieżący czas rzeczywisty, precyzyjnie odmierzany przez odbiorniki GPS urządzeń antykolizyj-

nych na podstawie synchronizowanej atomowo informacji czasowej z satelitów Navstar. Zapewnia to, że dane wysyłane w każdej chwili z wszystkich urządzeń można skorelować na podstawie czasu umieszczonego w pierwszym polu każdego z rekordów.

Dostęp do zarejestrowanych danych jest możliwy przez dedykowaną stronę internetową, generowaną dynamicznie przez serwer, dostępną globalnie pod adresem: „<https://www.monitor.iel.gda.pl/cgi-bin/devel-1.cgi>”. Przeglądanie danych odbywa się za pomocą dowolnej przeglądarki stron WWW, posiadającej obsługę skryptów Java (na potrzeby tego opracowania użyto przeglądarki o nazwie „Opera” w wersji 9.64).

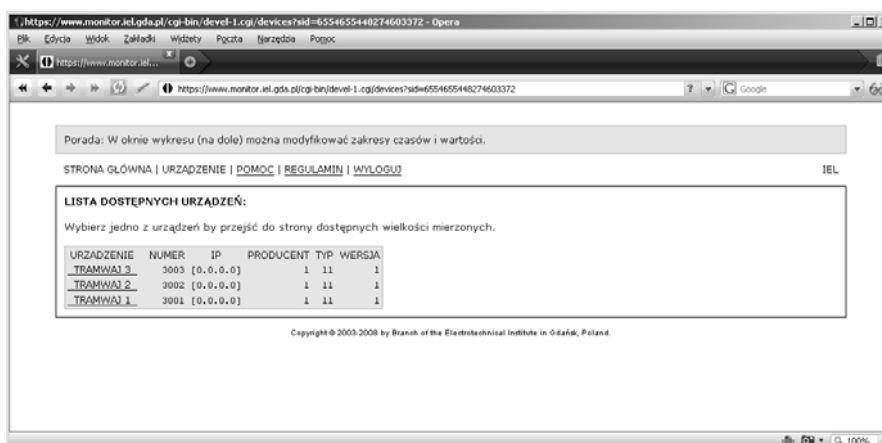
Dostęp do strony analizującej dane jest możliwy tylko dla autoryzowanych użytkowników po uprzednim zalogowaniu przez podanie identyfikatora i hasła. Autoryzację użytkowników, polegającą na zatwierdzeniu uprawnień oraz przydział osobistego identyfikatora i hasła prowadzi administrator strony.



Rys. 1. Okno logowania do serwisu bazy danych (a) oraz strona powitalna (b)

Okno logowania do serwisu pokazano na rysunku 1a. Po poprawnym zalogowaniu wyświetlona zostanie strona powitalna (rysunek 1b), z której można przejść do strony głównej wyboru urządzeń.

Stronę główną wyboru urządzeń przedstawiono na rysunku 2. Zamieszczono na niej tablicę z listą dostępnych modułów. Każde z urządzeń posiada przypisaną nazwę roboczą (TRAMWAJ 1, TRAMWAJ 2, TRAMWAJ 3), która jest jednocześnie linkiem do jego podstrony.



Rys. 2. Strona główna wyboru urządzeń

Schemat postępowania w celu uzyskania dostępu do wybranych danych jest taki sam dla wszystkich urządzeń. Omówiono go przy użyciu jednego wybranego urządzenia.



Rys. 3. Strona wyboru parametrów dla określonego pojazdu

Po wybraniu linku do jednego z urządzeń ukazuje się strona z listą dostępnych parametrów, którą przedstawia rysunek 3. Za pomocą pól wyboru przy każdym z parametrów należy wybrać interesujące wielkości. Poniżej listy zmiennych znajdują się pola edycji zakresu czasowego żądanych danych oraz przyciski wyboru ich prezentacji. Wartości wskazanych parametrów można wyświetlić na trzy różne sposoby:

- 1) w postaci tablicowej,
- 2) na skumulowanym wykresie,
- 3) jako nałożenie współrzędnych położenia geograficznego pojazdu na rzeczywistej mapie.

Wyświetlenie danych w postaci tablicy jest możliwe po naciśnięciu przycisku „Tablica”. Przykład takiego zobrazowania pokazano na rysunku 4. Rysunek 4a przedstawia tablicę danych z pojazdu, którego urządzenie antykolizyjne nie posiada w zasięgu komunikacji radiowej żadnego innego pojazdu. Wówczas transmisja rekordów odbywa się z interwałem wydłużonym do 31 sekund dla zmniejszenia ilości przesyłanych danych, a pola przeznaczone na dane obliczeniowe dotyczące obiektów zdalnych są puste (wyświetlana jest pozioma kreska).

a)

time	this_vehicle	latitude	longitude	speed_raw	speed	course_raw	course	status	vvehicle1	bearing1	distance1	dspeed1	vvehicle2	bearing2	distance2	dspeed2
01-09-2009 04:11:05	5	54.389706	18.577246	0.1	0.0	127.97	0.0	33	-	-	-	-	-	-	-	-
01-09-2009 04:11:36	5	54.38972	18.57723	0.1	0.0	129.32	0.0	33	-	-	-	-	-	-	-	-
01-09-2009 04:12:07	5	54.38972	18.577206	0.1	0.0	124.85	0.0	33	-	-	-	-	-	-	-	-
01-09-2009 04:12:38	5	54.38972	18.577208	2.4	2.4	51.09	51.09	33	-	-	-	-	-	-	-	-
01-09-2009 04:13:09	5	54.38998	18.57765	0.1	0.0	126.59	46.65	33	-	-	-	-	-	-	-	-
01-09-2009 04:13:40	5	54.389973	18.577787	0.1	0.0	126.98	46.65	33	-	-	-	-	-	-	-	-
01-09-2009 04:14:11	5	54.389973	18.577787	0.1	0.0	111.54	46.65	33	-	-	-	-	-	-	-	-
01-09-2009 04:14:42	5	54.389973	18.577787	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
01-09-2009 04:15:13	5	54.389973	18.577779	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

b)

time	this_vehicle	latitude	longitude	speed_raw	speed	course_raw	course	status	vvehicle1	bearing1	distance1	dspeed1	vvehicle2	bearing2	distance2	dspeed2
31-08-2009 14:01:03	6	54.34847	18.645393	30.0	30.0	190.09	190.09	8225	4	215.254	0.101758	29.3303	4	215.254	0.101758	29.3303
31-08-2009 14:01:04	6	54.348396	18.645372	28.5	28.5	190.1	190.1	8225	4	220.085	0.0969731	28.189	4	220.085	0.0969731	28.189
31-08-2009 14:01:05	6	54.348324	18.64535	26.3	26.3	190.15	190.15	8225	4	224.836	0.0920703	26.2023	4	224.836	0.0920703	26.2023
31-08-2009 14:01:06	6	54.348267	18.64533	23.5	23.5	190.12	190.12	8225	4	228.252	0.0895026	23.5398	4	228.252	0.0895026	23.5398
31-08-2009 14:01:07	6	54.34821	18.645313	20.0	20.0	190.24	190.24	8225	4	228.727	0.089336	23.5	4	228.727	0.089336	23.5
31-08-2009 14:01:08	6	54.348167	18.6453	15.5	15.5	189.6	189.6	8225	4	233.781	0.0810791	15.5	4	233.781	0.0810791	15.5
31-08-2009 14:01:09	6	54.348137	18.64529	10.8	10.8	189.67	189.67	9505	4	235.51	0.078612	10.8	4	235.51	0.078612	10.8
31-08-2009 14:01:10	6	54.34811	18.645285	6.0	6.0	189.48	189.48	9505	4	237.181	0.0766584	6.0	4	237.181	0.0766584	6.0
31-08-2009 14:01:11	6	54.348103	18.645283	2.1	2.1	185.03	185.03	9505	4	237.667	0.0760977	2.1	4	237.667	0.0760977	2.1

Rys. 4. Tablica danych w przypadku braku łączności z innymi pojazdami (a) oraz w przypadku bezpośredniej łączności z dwoma pojazdami (b)

określających długość i szerokość geograficzną położenia, ale pozwala na precyzyjne zorientowanie miejsca wystąpienia analizowanej sytuacji w rzeczywistym środowisku miejskim oraz określenie przebiegu trasy torowisk w tym rejonie. W procesie tworzenia mapy wykorzystano mechanizm lokalizacji kartograficznej, udostępniony publicznie i nieodpłatnie przez amerykańską firmę „Google Inc.” na stronie internetowej <http://maps.google.pl/> [4]. W efekcie powstała precyzyjna, w pełni interaktywna i skalowalna mapa, wbudowana w wygenerowany dynamicznie obraz strony internetowej z nałożonym przebiegiem trasy badanego pojazdu. Przykład tak wygenerowanej mapy pokazano na rysunku 7.

4. TESTY EKSPERYMENTALNE

We wstępnej fazie prac urządzenia modelowe poddano próbom w warunkach terenowych, instalując je w dwóch samochodach osobowych. Samochody poruszały się po ulicach w warunkach ruchu drogowego oraz po dużym placu. Przetestowano wiele możliwości wzajemnego położenia i ruchu, np. jazda za innym pojazdem, najazdy z naprzeciwka, zbliżanie się pod różnymi kątami. Wykonano próby jazdy z różnymi prędkościami.

Kolejną fazą badań eksperymentalnych jest instalacja kilku urządzeń w rzeczywistych tramwajach, regularnie odbywających kursy na liniach komunikacji miejskiej. W tym celu nawiązano współpracę z Zakładem Komunikacji Miejskiej w Gdańsku, którego Zarząd wytypował i oddał do dyspozycji IEL o/G trzy, możliwie często poruszające się po tych samych trasach wozy, w których zainstalowano urządzenia systemu antykolizyjnego. Na potrzeby badań uaktywniono i oprogramowano opcjonalną funkcję zdalnego bezprzewodowego monitoringu stanu i parametrów pracy urządzeń za pośrednictwem pakietowej transmisji danych GSM/GPRS, co pozwala na swobodną analizę realnych sytuacji występujących na trasie przejazdu, bez potrzeby fizycznego dostępu do pojazdów. Wszelkie uzyskane tą drogą informacje są przechowywane w dedykowanej bazie danych uruchomionej na serwerze Oddziału Gdańskiego IEL. Dostęp do danych jest możliwy przy użyciu opracowanej w IEL o/G i opisanej wyżej aplikacji monitorującej.

Pierwsze analizy zarejestrowanych danych przeprowadzono za pomocą arkusza kalkulacyjnego Excel z pakietu Microsoft Office 2003. Wybrane dane, wyeksportowane do formatu „csv” zaimportowano do przestrzeni roboczej programu. Następnie poddano je wstępnej obróbce przy pomocy stworzonej w wewnętrznym języku programowania VBA (Visual Basic for Application) procedury [5]. Obróbka polega na chronologicznej fuzji danych z trzech pojazdów do

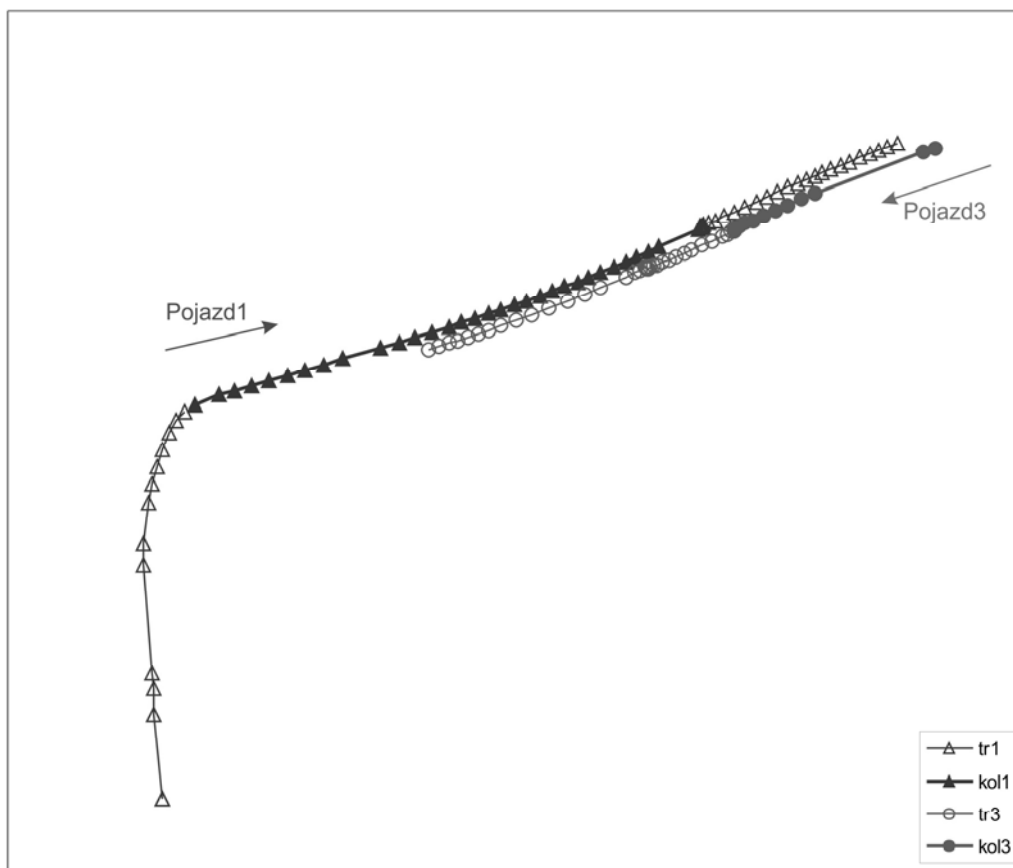
wspólnego arkusza roboczego oraz rozkodowaniu niektórych informacji statusowych, m.in. informacji o ważności zamiaru GPS, identyfikatorze najbliższej położonego pojazdu oraz sygnalizacji zagrożenia kolizją. Po takim zabiegu możliwe jest graficzne przedstawienie danych pozycjonujących na wspólnym wykresie, który odzwierciedla wzajemne położenie wybranych pojazdów we wskazanym odcinku czasu. Można wówczas, na drodze analizy sytuacji i odpowiadającemu jej położeniu wzajemnego wstępnie oszacować poprawność generowania sygnału ostrzegającego przed kolizją.

Przykładowy wykres przedstawiający zbliżanie się dwóch pojazdów nadjeżdżających z przeciwnych kierunków, wykonany na podstawie zgromadzonych danych przy pomocy programu Microsoft Excel zamieszczono na rysunku 8. Symbole graficzne rozmieszczone wzdłuż trajektorii ruchu oznaczają punkty pomiarowe, a linie łączące te punkty tworzą zarys przebytej drogi. Dla jednoznacznego rozróżnienia na ilustracji pojazd nr 1 został oznaczony symbolem trójkąta, natomiast pojazd nr 3 – okręgiem. Wypełniony punkt pomiarowy oznacza, że dany pojazd sygnalizuje zagrożenie kolizją.

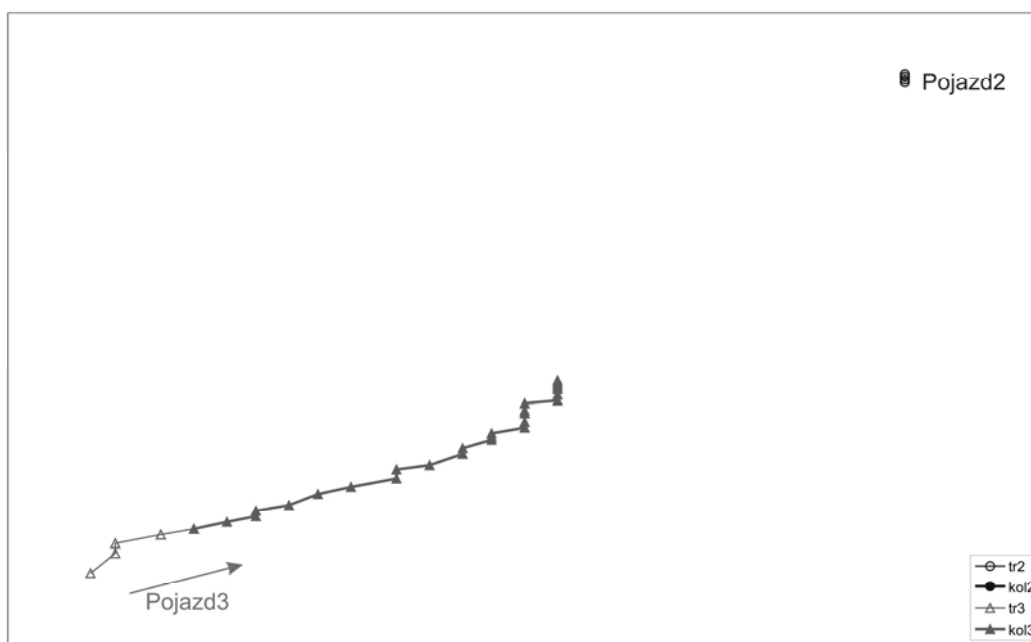
Sytuacja przedstawiona na rysunku 8 pokazuje, jak oba pojazdy zbliżając się do siebie, zgodnie z założeniami pracy systemu sygnalizują zagrożenie kolizją. Należy tu jednak zwrócić uwagę na sytuację występującą na początku ruchu pojazdu nr 1. Znajduje się on wówczas przed zakrętem i mimo, że zbliża się do pojazdu nr 3, a odległość między nimi jest niewielka, nie uznaje tej sytuacji za zagrożenie. Jest to efekt wspomnianej na wstępie tego rozdziału niedoskonałości przyjętej metody, która zakłada rozpięty przed pojazdem statyczny obszar czułości na zagrożenia o ustalonym kącie rozwarcia (przyjęto $\pm 15^\circ$) względem jego osi podłużnej. Na tym etapie ruchu obszar czułości pojazdu nr 1 jest skierowany ku górze wykresu i nie obejmuje swoimi ramionami pojazdu nr 3.

W tej samej chwili pojazd nr 3 sygnalizuje zagrożenie kolizją, ponieważ jego obszar czułości jest skierowany w stronę pojazdu nr 1.

Na rysunku 9 zaprezentowano inny wybrany przykład sytuacji często występującej w warunkach rzeczywistego ruchu pojazdów szynowych, podczas której najczęściej dochodzi do kolizji – zbliżanie pojazdu nr 3, oznaczonego symbolem trójkąta do tyłu nieruchomego pojazdu nr 2, symbolizowanego punktami w postaci okręgu. Jak wynika z analizy zamieszczonej na ilustracji sytuacji, pojazd nr 3 w pewnej odległości od pojazdu nr 2 rozpoczął sygnalizację zagrożenia kolizją i po chwili zatrzymał się. W tym samym czasie nieruchomy pojazd nr 2 nie sygnalizuje zagrożenia, gdyż jego obszar wykrywania kolizji jest skierowany w stronę przeciwną w stosunku do zbliżającego się pojazdu nr 3. Dzieje się tak, ponieważ algorytm detekcji zagrożeń z założenia nie alarmuje o pojazdach nadjeżdżających z tyłu, mimo posiadania takiej informacji.



Rys. 8. Graficzna prezentacja ruchu dwóch pojazdów nadjeżdżających z przeciwna



Rys. 9. Graficzna prezentacja ruchu pojazdu zbliżającego się do tyłu innego pojazdu nieruchomego

Taką strategię działania podczas wykrywania zagrożeń przyjęto, gdyż w tej sytuacji osoba prowadząca pojazd nie ma żadnej możliwości przeciwdziałania.

5. PODSUMOWANIE OBECNEGO ETAPU PRAC

Analiza informacji opisujących ruch pojazdów oraz ich chwilowe prędkości i położenia wzajemne przy wykorzystaniu statycznych tabel, map czy wykresów jest trudna i pracochłonna. Dlatego rozpoczęto prace nad stworzeniem samodzielnego, specjalizowanego oprogramowania do analizy motorycznej zgromadzonych danych, które dzięki bezpośredniemu połączeniu internetowemu z bazą, operując wprost na zgromadzonych danych za pomocą poleceń języka SQL, pozwoli obserwować określone sytuacje i zdarzenia w sposób dynamiczny, np. w postaci animacji ruchu obiektów, uzupełnionej o wizualizację parametrów ważnych z punktu widzenia pracy systemu. Będzie również możliwe zastosowanie odpowiedniego algorytmu rozpoznawania warunków sprzyjających sytuacjom kolizyjnym, który w znacznym stopniu uprości i przyspieszy prace analityczne. W chwili obecnej „wychwytywanie” takich okoliczności polega na żmudnym przeglądaniu kolejnych rekordów danych w ogromnej bazie umieszczonej na serwerze Oddziału Gdańskiego IEL. W ocenie rozpatrywanej sytuacji pomagają oczywiście alternatywne metody prezentacji danych, ale w dalszym ciągu jest to praca wykonywana manualnie za pośrednictwem przeglądarki stron internetowych przez osobę przeprowadzającą analizę.

Wstępne wyniki testów urządzeń podczas rzeczywistej jazdy, uzyskane na podstawie analizy zebranych danych wykazują, że w dużej liczbie przypadków układ poprawnie i skutecznie wykrywa możliwość kolizji oraz uruchamia jej sygnalizację. Ujawniły się jednak pewne niedoskonałości zastosowanego algorytmu. Problemy uwidaczniają się przede wszystkim na znacznie zakrzywionych elementach torów ruchu pojazdów, gdzie mimo występowania realnego zagrożenia nie jest ono wykrywane.

Odrębnym zagadnieniem jest niezadowalająca precyzja wyznaczania pozycji pojazdu oraz pojawiające się sporadycznie przypadki zaniku sygnału z satelitów systemu pozycjonowania GPS.

W celu eliminacji ujawnionych wad zostaną podjęte następujące czynności:

- wprowadzenie do urządzeń mapy torowisk,
- uruchomienie funkcji korelacji wyznaczonej pozycji z punktami trasy,

- opracowanie nowego algorytmu analizy zagrożeń wykorzystującego wbudowane informacje o przebiegu trasy,
- próba zastosowania alternatywnego, krótkoterminowego źródła informacji o położeniu w postaci układu nawigacji inercyjnej.

LITERATURA

1. Narkiewicz J.: GPS i inne satelitarne systemy nawigacyjne. WKiŁ, Warszawa, 2007 r.
2. Zogg J.M.: GPS Basics. u-Blox ag, Thalwil, Szwajcaria, 2002 r.
3. Williams E.: Aviation page / Aviation Formulary V1.43, <http://williams.best.vwh.net/>
4. Google Maps API, <http://code.google.com/intl/pl/apis/maps/documentation/index.html>
5. Walkenbach J.: Excel 2003PL. Programowanie w VBA. Vademecum Profesjonalisty. Helion, Gliwice, 2004 r.

Rękopis dostarczono, dnia 17.09.09 r.

Opiniował: dr hab. inż. Zygmunt Piątek

MODEL OF THE ANTICOLLISION SYSTEM FOR TRACTION VEHICLES

A. KOMKOWSKI

ABSTRACT *The article presents the current state of work on Anticollision System prototype model for traction vehicles. It describes the general principle of operation of the system, data acquisition software designed for the system and preliminary tests results. Proposals for the further development of the system are also presented in paper.*



Mgr inż. Arkadiusz KOMKOWSKI, ur. w 1973 r. Studia na Wydziale Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej ukończył w 1998 r., gdzie uzyskał tytuł magistra inżyniera o specjalności Urządzenia Elektryczne. Od 1999 r. jest asystentem w Pracowni Energoelektroniki i Sterowania Oddziału Gdańskiego IEL. Obecnie zajmuje się konstruowaniem urządzeń mikroprocesorowych, układów energoelektronicznych oraz zagadnieniami dot. zastosowania bezprzewodowej transmisji danych w energoelektronice.