

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, algorytmy obliczeniowe wyznaczania odległości na podstawie dostarczonych przez system GPS informacji o pozycji geograficznej, architekturę i funkcje poszczególnych warstw oprogramowania oraz budowę urządzeń modelowych. Zamieszczono również przykładowe wyniki testu terenowego, przedstawiono wnioski i perspektywy dalszego rozwoju systemu.*

Słowa kluczowe: tramwaje, zagrożenie kolizją, antykolizja, GPS, Wi-Fi

1. WSTĘP

Kolizje szynowych pojazdów trakcyjnych, do których należą tramwaje komunikacji miejskiej, wywołują duże zagrożenie dla bezpieczeństwa pasażerów. Te groźne zdarzenia bardzo często są z winy prowadzącego pojazd (nieuwaga, zmęczenie).

mgr inż. Arkadiusz KOMKOWSKI,
e-mail: arkadiusz.komkowski@iel.gda.pl

Pracownia Energoelektroniki i Sterowania
Instytut Elektrotechniki Oddział w Gdańsku

PRACE INSTYTUTU ELEKTROTECHNIKI, zeszyt 239, 2008

Przykładami takich kolizji są zdarzenia z Rudy Śląskiej (2006 r., 13 osób rannych – rys. 1), czy Gdańska (2003 r., 14 osób rannych – rys. 2). Także jedna z największych w Polsce sieci komunikacji tramwajowej, obsługująca teren miasta Warszawy, często jest areną podobnych wydarzeń. Skala tych wypadków i liczba poszkodowanych, spowodowała rozpoczęcie prac nad systemem antykolizyjnym.



Rys. 1. Zderzenie tramwajów w Rudzie Śląskiej – 13 osób rannych
(fot. Tomasz Nycz).



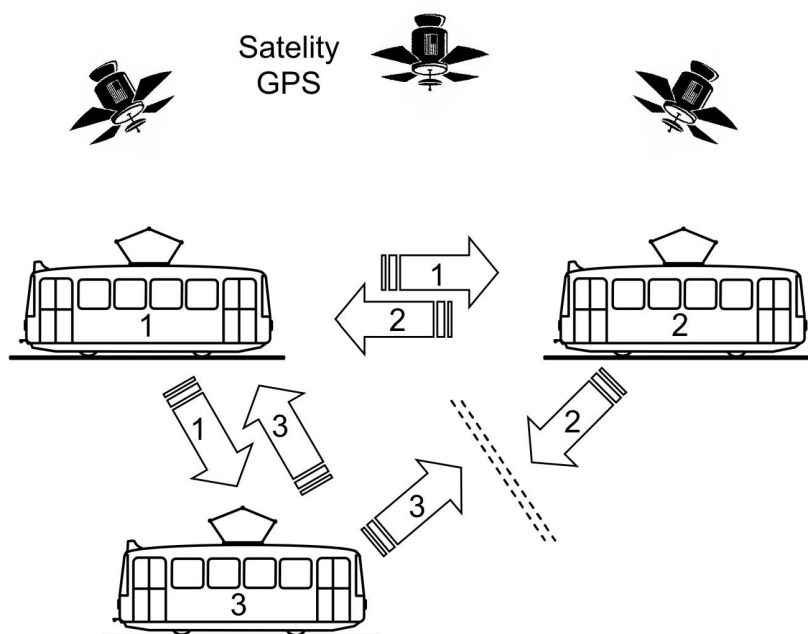
Rys. 2. Zderzenie tramwajów w Gdańsku – 14 osób rannych
(fot. Marcin Czapnik).

W celu ograniczenia prawdopodobieństwa kolizji wozów trakcyjnych podjęto próbę opracowania i zbudowania automatycznego systemu sygnalizowania zagrożenia kolizją. Zagrożenie kolizją dotyczy przede wszystkim przypadków najechania na tył pojazdu poprzedzającego (najczęstsze zdarzenia). Rozpatrywane są też zderzenia boczne na

skrzyżowaniach lub czołowe na dwukierunkowych odcinkach trasy. Na etapie prac badawczych prototypu systemu przyjmuje się, że będzie on pełnił jedynie rolę ostrzegawczą, ale w przyszłości, po ostatecznym dopracowaniu algorytmów decyzyjnych i przeprowadzeniu testów użytkowych możliwe będzie również sterowanie układem hamulcowym pojazdu.

2. ZASADA DZIAŁANIA SYSTEMU ANTYKOLIZYJNEGO

System ma architekturę rozproszoną, a podstawą jego funkcjonowania jest urządzenie – moduł nawigacyjny, instalowane we wszystkich wozach poruszających się w sieci trakcyjnej. Jest ono wyposażone m.in. w funkcje określania bieżącej pozycji, kierunku i prędkości ruchu oraz możliwość dwukierunkowej wymiany danych motorycznych z innymi pojazdami. Warunkiem koniecznym dla skutecznej pracy systemu jest, aby każdy z pojazdów był wyposażony w takie urządzenie. Pojazd nieposiadający modułu nie będzie widoczny dla systemu antykolizyjnego.



Rys. 3. Zasada działania systemu antykolizyjnego – wymiana danych między pojazdami:

pojazd nr 1 odbiera dane z pojazdów nr 2 i 3, pojazd nr 2 odbiera dane tylko z pojazdu nr 1 (pojazd nr 3 jest poza zasięgiem łącza radiowego), pojazd nr 3 odbiera dane tylko z pojazdu nr 1 (pojazd nr 2 jest poza zasięgiem łącza radiowego).

Każdy pojazd poruszający się w sieci trakcyjnej, posiadający urządzenie antykolizyjne, transmituje 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 w danym otoczeniu) odbiera te informacje. Prawidłowo 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 zapamiętaniem, 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 wjedzie w zasięg łącza radiowego. Wprowadzenie czasu zwłoki usunięcia pojazdu zwiększa odporność na chwilowe zaniki sygnału i zakłócenia.

Wbudowane oprogramowanie modułu antykolizyjnego, 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 zderzeniowe.

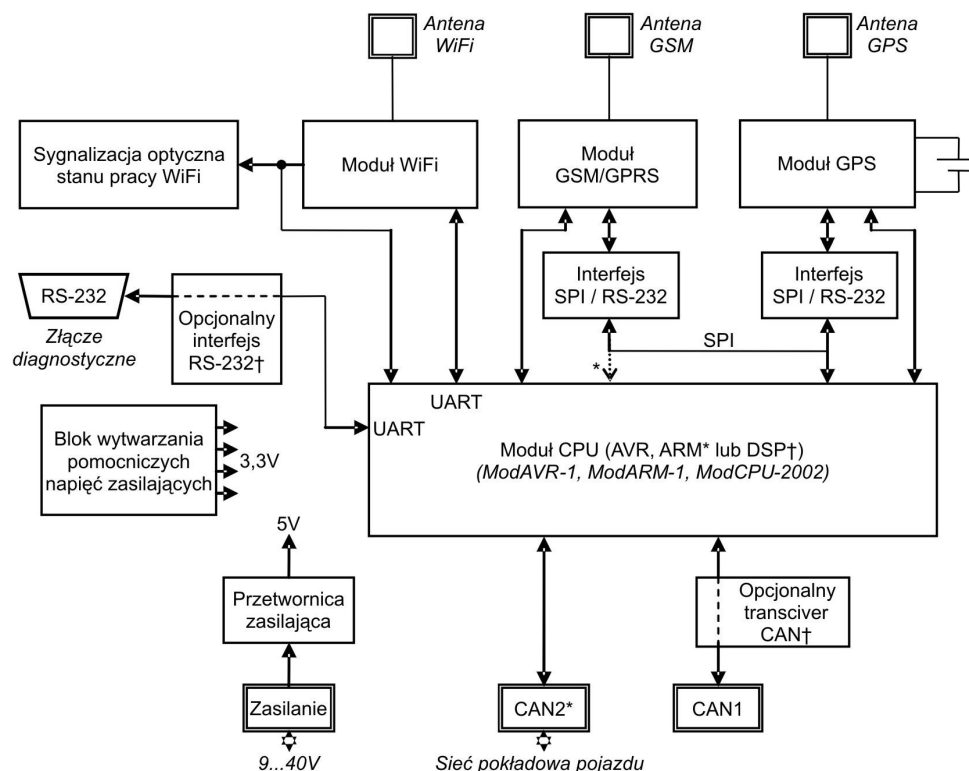
Podstawowymi parametrami decyzyjnymi są: dystans oddzielający pojazdy, kierunki ich ruchu oraz względna prędkość zbliżania. Cykl analizy jest wyznaczony interwałem akwizycji danych nawigacyjnych z wbudowanego odbiornika sygnałów satelitarnych GPS (co 1 sek.). Wszystkie stany potencjalnie niebezpieczne są sygnalizowane prowadzącemu pojazd.

3. BUDOWA URZĄDZENIA ANTYKOLIZYJNEGO

Podstawowe urządzenie systemu antykolizyjnego w wersji prototypowej jest dedykowanym do tej aplikacji modułem, integrującym w swym wnętrzu kilka funkcji komunikacyjnych. Fizycznie, urządzenie ma postać płyty bazowej, zawierającej m.in. niezbędne obwody pomocnicze oraz szereg gniazd, w których osadza się moduły komunikacyjne oraz moduł mikrokontrolera centralnego. Uproszczony schemat blokowy urządzenia antykolizyjnego przedstawiono na rysunku 4.

Bezprzewodową łączność radiową między urządzeniami pracującymi w systemie zapewnia łączy Wi-Fi (802.11b), pracujące w trybie

rozgłoszeniowym, bazując na topologii bezkoncentratorowej „ad-hoc” [1]. Jako interfejs zastosowano zintegrowany moduł Wi-Fi typu WLNb-AN-DP101 (Airborne™ Embedded Wireless Device Server, Serial to 802.11b Wireless LAN Module), współpracujący z anteną o zysku 5 dB w paśmie częstotliwości 2,4 GHz i impedancji 50 Ω (TP-LINK, model: TL-ANT2405C).



Rys. 4. Uproszczony schemat blokowy urządzenia antykolizyjnego

Funkcję wyznaczania pozycji geograficznej oraz prędkości i kierunku ruchu pełni odbiornik/dekoder systemu pozycjonowania GPS typu FGPSMOSL1, którego konstrukcja opiera się o nowoczesny układ serii „SiRF Star III” [3]. Moduł GPS odbiera sygnały satelitarne za pośrednictwem anteny aktywnej typu FGPAE1RHA5. Trzecim, opcjonalnym kanałem komunikacyjnym jest dwukierunkowa pakietowa transmisja danych za pośrednictwem sieci telefonii komórkowej. W roli modułu wykonawczego użyto modemu GSM/GPRS typu Enfora Enabler II-G. W chwili obecnej algorytm systemu antykolizyjnego nie korzysta z tego medium. Na etapie prac rozwojowych jest używany m.in. do zdalnego monitoringu pracy urządzenia. W przyszłości może być wykorzystany do nadzorowania ruchu pojazdów przez

centrum dyspozytorskie (np. kontrola parametrów pracy, bieżąca wizualizacja położenia w sieci trakcyjnej) i innych podobnych zadań.

Urządzenie wyposażono również w interfejs sieci CAN, który pozwala na wykonanie bezpośredniego połączenia z siecią pokładową pojazdu oraz łącze standardu RS-232, służące do kontroli diagnostycznej i programowania parametrów pracy. Układ zasilania posiada separację galwaniczną, zrealizowaną przy użyciu zintegrowanej przetwornicy napięcia DC/DC.

Pracą całego urządzenia zarządza wymienny moduł mikrokontrolera centralnego. W pierwszych egzemplarzach serii próbnej zastosowano moduł z 8-bitową jednostką centralną z serii AVR (typu AT90CAN128, Atmel) i pamięcią danych typu SRAM o pojemności 128 kB. Ten mikrokontroler, z uwagi na nieskomplikowaną architekturę, łatwość programowania w języku C oraz dobrą wydajność obliczeniową w grupie układów 8-bitowych, pozwolił na szybkie i sprawne oprogramowanie, uruchomienie i przetestowanie działania wszystkich zaimplementowanych funkcji komunikacyjnych. W dalszym etapie prac służył do opracowania, uruchomienia i przeprowadzenia testów wstępnych procedur realizujących pracę algorytmu systemu antykolizyjnego.

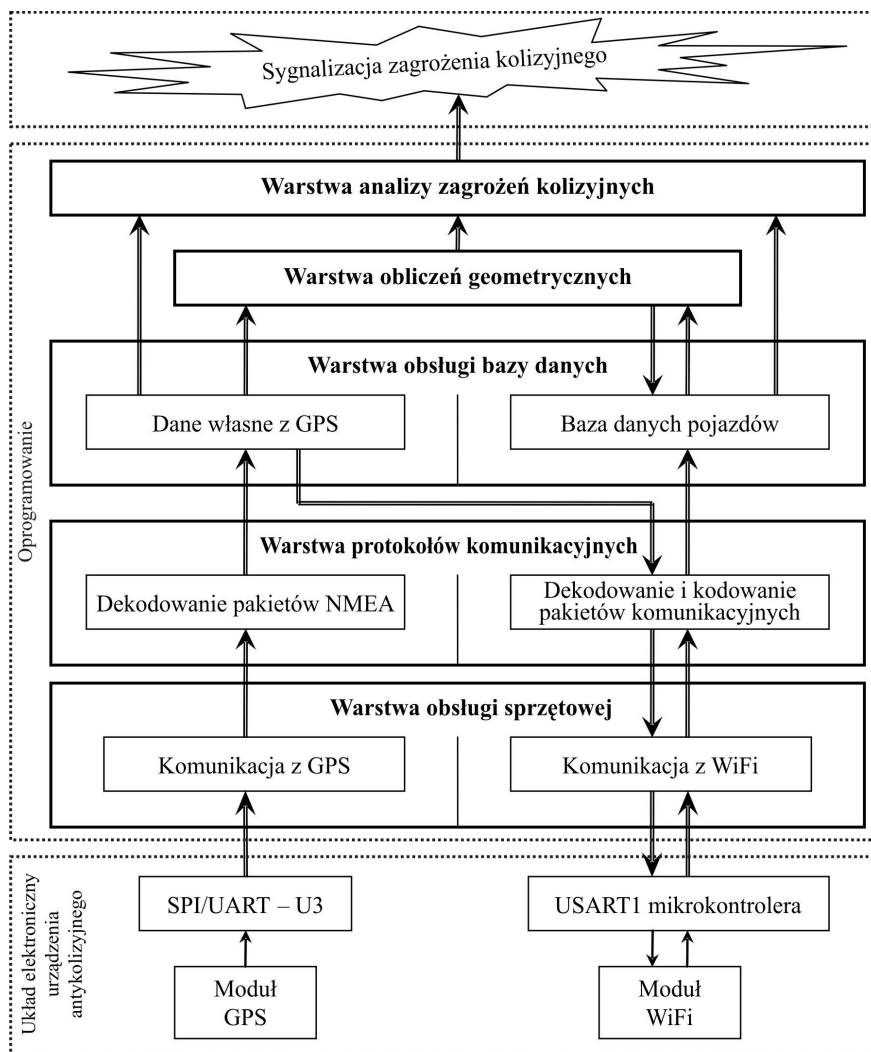
Możliwości obliczeniowe modułu z 8-bitową jednostką centralną nie pozwalają na pracę w systemie złożonym z większej liczby urządzeń. Z tego powodu opracowano nowy moduł, alternatywny dla poprzedniego, który wyposażono w wydajną 32-bitową jednostkę centralną z serii LPC2000 (typu LPC2294JBD144, Philips/NXP) z rdzeniem o architekturze ARM7TDMI-S. Mikrokontroler współpracuje z zewnętrzną pamięcią danych o pojemności 512 kB. Nowy moduł centralny zastosowany zostanie w finalnej wersji urządzenia. Obecnie trwa proces dostosowania istniejącego oprogramowania na nowej platformie sprzętowej.

4. ARCHITEKTURA I ALGORYTM PRACY OPROGRAMOWANIA

Oprogramowanie realizujące algorytmy pracy, obliczeń i analizy zagrożeń kolizyjnych zostało logicznie podzielone na pięć wirtualnych warstw, realizujących różne funkcje i zadania:

- 1) obsługi sprzętowej,
- 2) protokołów komunikacyjnych,
- 3) obsługi bazy danych,
- 4) obliczeń geometrycznych,
- 5) analizy zagrożeń kolizyjnych.

Rozkład warstw oprogramowania mikrokontrolera wraz z zaznaczonym przepływem danych przedstawiono na rysunku 5.



Rys. 5. Rozkład warstw oprogramowania wewnętrznego urządzenia antykolizyjnego.

4.1. Warstwa obsługi sprzętowej

Warstwa obsługi sprzętowej jest pierwszą i najniższą położoną w ustalonej hierarchii. Jest odpowiedzialna za obsługę programową części sprzętowej układów transmisji danych urządzenia antykolizyjnego. Wyróżnić w niej można 2 segmenty. Pierwszy z nich jest jednokierunkowy i odpowiada za odbiór i buforowanie danych pozycjonujących z odbiornika GPS. Drugi segment –

dwukierunkowy – realizuje buforowanie pakietów danych transmitowanych za pośrednictwem łącza Wi-Fi.

Zastosowanie buforowania we wszystkich segmentach i kierunkach przyspiesza działanie warstw wyższych, które komunikują się z tą warstwą za pośrednictwem dedykowanych buforów kołowych (FIFO). W efekcie żaden z procesów nie oczekuje na zrealizowanie żądanego transferu danych. Transmisja zgromadzonych danych w buforach nadawczych i zapis danych odbieranych do buforów odbiorczych odbywa się z wykorzystaniem systemu przerwań mikrokontrolera. Przerwania te są generowane przez układy interfejsowe.

4.2. Warstwa protokołów komunikacyjnych

Procedury warstwy protokołów komunikacyjnych pośredniczą w przekazywaniu danych z odbiornika GPS do wewnętrznego rejestru roboczego oraz biorą udział w procesie wymiany danych pomiędzy poszczególnymi urządzeniami antykolizyjnymi pojazdów, dokonując jednocześnie wymaganej translacji przepływających przez nie informacji.

W komunikacji między urządzeniami antykolizyjnymi grupy pojazdów zastosowano prosty, ale funkcjonalny protokół enkapsulacji danych. Bieżący zestaw danych pozycyjno-motorycznych pojazdu jest nadawany w postaci pakietu opatrzonego znacznikami specjalnymi protokołu. Taka forma transmisji pozwala urządzeniu odbierającemu w łatwy sposób podzielić odbierany strumień danych (np. z wielu urządzeń nadających jednocześnie) na poszczególne pakiety i stwierdzić, czy dany pakiet został odebrany w całości. Pole danych pojedynczego pakietu zawiera informacje o numerze identyfikacyjnym pojazdu nadającego, bieżącym kursie, aktualnej prędkości jazdy, współrzędnych rzeczywistego położenia geograficznego oraz sumę kontrolną służącą do weryfikacji poprawności transmisji. Poprawnie odebrane i zdekodowane dane z pakietów nadesłanych przez inne pojazdy są przekazywane do wyższej warstwy oprogramowania, która umieści je w bazie danych pojazdów.

Dane nawigacyjne i motoryczne, odebrane z własnego odbiornika GPS, wraz z wyliczonymi parametrami dodatkowymi są układane w strukturę pola danych i po opatrzeniu znacznikami protokołu enkapsulacji przekazane do warstwy niższej, w której nastąpi ich wysłanie za pośrednictwem łącza Wi-Fi do pobliskich urządzeń antykolizyjnych.

Informacje wyjściowe z odbiornika GPS posiadają format zdefiniowany ustandaryzowanym protokołem NMEA-0183 V3.01 [4]. Poszczególne zestawy danych są przekazywane w postaci jawnie oznaczonych pakietów tekstowych (ASCII) o ustalonej budowie. Urządzenie antykolizyjne wykorzystuje tylko kilka

podstawowych informacji nadawanych w pakietach \$GPRMC oraz \$GPVTG i tylko te dwa pakiety są dekodowane na postać binarną – pozostałe są ignorowane. Żądane parametry, po wyodrębnieniu z łańcucha tekstowego, przetworzeniu na postać liczb zmiennoprzecinkowych i wstępnej obróbce (m.in. konwersja jednostek miar) są przekazywane do warstwy wyższej oprogramowania.

4.3. Warstwa obsługi bazy danych

Warstwa obsługi bazy danych pojazdów zarządza dynamiczną strukturą, w której gromadzone są dane nadsyłane przez pojazdy będące w zasięgu łącza radiowego Wi-Fi oraz wyniki wykonywanych na bieżąco obliczeń geometrycznych i odległościowych niezbędnych dla pracy algorytmów decyzyjnych.

Baza danych pojazdów jest tablicą struktur o ustalonym na etapie kompilacji oprogramowania rozmiarze maksymalnym, ulokowaną w zewnętrznej pamięci danych modułu mikroprocesorowego. W urządzeniach modelowych przyjęto 32-elementowy rozmiar tablicy, który jest równoznaczny z maksymalną liczbą jednocześnie zarejestrowanych i śledzonych pojazdów. Pojedyncza struktura informacji o pojeździe zawiera pola, w których są przechowywane: numer identyfikacyjny pojazdu, który jest jego wyróżnikiem w bazie, parametry odebrane oraz wyniki obliczeń pośrednich wykonanych w warstwie obliczeń geometrycznych. Rozmiar bazy danych wynosi obecnie 4928 bajty. Wynika stąd, że istnieją jeszcze duże możliwości rozszerzania struktury, zarówno w stronę zwiększenia liczby obsługiwanych symultanicznie pojazdów, jak i dodania funkcji archiwizacji trajektorii ruchu.

Odebranie pierwszej ważnej ramki od pojazdu, którego wpis nie istnieje w bazie spowoduje wyszukanie pierwszej wolnej struktury, zarejestrowanie jego numeru identyfikacyjnego oraz zapamiętanie odebranych danych pozycjonujących. Kolejne dane z tego pojazdu będą trafiały zawsze do przypisanej mu struktury. Jeśli dany pojazd wyjedzie poza zasięg łącza Wi-Fi – co jest jednoznaczne z przerwaniem cyklicznego odbioru pakietów – jego struktura zostanie zwolniona i pojazd usunięty po czasie ok. 10 sekund. Opóźnienie zabezpiecza przed usunięciem pojazdu w przypadku chwilowego zaniku sygnału lub zakłóceń w transmisji.

4.4. Warstwa obliczeń geometrycznych

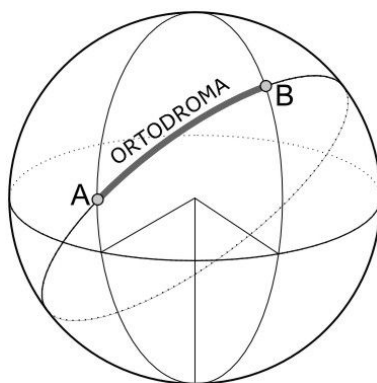
Kolejna warstwa przeprowadza wiele operacji arytmetycznych z wykorzystaniem liczb zmiennoprzecinkowych pojedynczej precyzji, w tym

oblicza wartości funkcji trygonometrycznych. Obliczenia dotyczą każdego pojazdu zarejestrowanego w bazie danych, czyli będącego w zasięgu łącza Wi-Fi. Wyniki przeprowadzonych kalkulacji, zapisywane są w bazie danych pojazdów i stanowią podstawą pracy dla warstwy analizy zagrożeń kolizyjnych.

Indywidualnie dla każdego z pojazdów „widzianych” w zasięgu łącza radiowego i zarejestrowanych w bazie danych, warstwa ta dokonuje następujących obliczeń:

- wyznaczenie odległości do rozpatrywanego pojazdu,
- określenie tzw. kąta namiaru na ten pojazd,
- oszacowanie prędkości zbliżania.

W ujęciu teoretycznym, wyznaczenie odległości do oddalonego pojazdu polega na obliczeniu długości ortodromy poprowadzonej z pozycji własnej do pojazdu rozpatrywanego. Ortodroma (gr.: *orto* – dokładny, prawidłowy; *droma* – linia, droga), to najkrótsza droga pomiędzy dwoma punktami na powierzchni kuli biegnąca po jej powierzchni (rys. 6). Stanowi ona zawsze fragment koła wielkiego. Linię ortodromy otrzymuje się przez przecięcie kuli płaszczyzną przechodzącą przez dwa rozpatrywane punkty na powierzchni tej kuli oraz jej środek.



Rys. 6. Graficzne przedstawienie ortodromy

Długość kątową ortodromy w sposób analityczny, przy założeniu idealnej kulistości ziemi, można obliczyć na podstawie zależności (1), wyprowadzonej według zasad geometrii sferycznej i trójkąta sferycznego [5].

$$dist_arc = \arcsin(\sin(lat1) \cdot \sin(lat2) + \cos(lat1) \cdot \cos(lat2) \cdot \cos(lon1 - lon2)) \quad (1)$$

gdzie:

- $dist_arc$ – kątowa długość łuku ortodromy wyrażona w radianach,
- $lat1$ – szerokość geograficzna pierwszego punktu w radianach,
- $lon1$ – długość geograficzna pierwszego punktu w radianach,
- $lat2$ – szerokość geograficzna drugiego punktu w radianach,
- $lon2$ – długość geograficzna drugiego punktu w radianach.

Szerokość „S” oraz długość „W” są podawane jako liczby ujemne.

Długość ortodromy wyrażoną w metrach otrzymać można z obliczenia na podstawie zależności (2).

$$dist = \left(dist_arc \cdot \frac{180^\circ}{\pi} \right) \cdot 111138 \quad (2)$$

gdzie:

- $dist$ – długość ortodromy w metrach,
- $dist_arc$ – kątowa długość łuku ortodromy w radianach,
- 111138 – średnia długość 1 stopnia kąтового koła wielkiego kuli ziemskiej w metrach.

Kolejnym ważnym dla analizy zagrożeń kolizyjnych parametrem jest namiar na pobliski pojazd. Z definicji, namiar jest to pojęcie oznaczające wartość kąta pomiędzy punktem odniesienia, obserwatorem i obserwowanym obiektem. Punktem odniesienia w tym przypadku jest północny biegun geograficzny, a kąt jest mierzony od południka przechodzącego przez punkt położenia obserwatora zgodnie z kierunkiem obrotu wskazówek zegara.

Wyznaczenie kąta namiaru odbywa się na podstawie zależności (3).

$$tc = \begin{cases} \pi & \text{dla } lat1 \rightarrow 90^\circ \\ 2\pi & \text{dla } lat1 \rightarrow -90^\circ \\ \left[\arctan \left(\frac{\cos(lat1) \cdot \sin(lat2) - \sin(lat1) \cdot \cos(lat2) \cdot \cos(lon1 - lon2)}{\sin(lon1 - lon2) \cdot \cos(lat2)} \right) \right] \bmod 2\pi \end{cases} \quad (3)$$

gdzie:

- tc – wyznaczony kąt namiaru w radianach,

$lat1$ – szerokość geograficzna pierwszego punktu w radianach (obserwator),

$lon1$ – długość geograficzna pierwszego punktu w radianach (obserwator),

$lat2$ – szerokość geograficzna drugiego punktu w radianach (obserwowany),

$lon2$ – długość geograficzna drugiego punktu w radianach (obserwowany).

Szerokość „S” oraz długość „W” są podawane jako liczby ujemne.

Dwa pierwsze warunki zależności (3) określają wartość namiaru dla przypadków szczególnych, kiedy punkt pierwszy (obserwator) znajduje się na jednym z biegunów (wówczas $lon1$ jest nieokreślone), w pozostałych przypadkach ma zastosowanie trzeci wariant formuły.

Powyższe obliczenia wymagają wykonania wielu operacji arytmetycznych na uprzednio wyliczonych wartościach funkcji trygonometrycznych (\sin , \cos , \arcsin i \arctan). Dodatkowo wymagane jest przeprowadzenie kilku konwersji miar (stopnie/radiany i radiany/stopnie). Charakter tych obliczeń wymusza prowadzenie działań na liczbach zmiennoprzecinkowych, co stanowi duże obciążenie czasowe dla mikrokontrolera. Z tego powodu do przedstawionej metodologii obliczeń wprowadzono uproszczenia, które nieznacznie zmniejszają dokładność wyliczeń, ale zdecydowanie zmniejszają zapotrzebowanie na moc obliczeniową jednostki centralnej urządzenia. Podstawą zastosowanych uproszczeń jest założenie, że w zakresie zasięgu łącza radiowego Wi-Fi (poniżej 1 km) można zaniedbać wpływ kulistości ziemi. Obliczenia będą wówczas prowadzone według zasad geometrii euklidesowej, czyli na płaszczyźnie. Dla potwierdzenia słuszności przyjętego uproszczenia zbadano rozmiar zakrzywienia ortodromy w zakresie maksymalnego możliwego zasięgu łącza Wi-Fi, poprzez obliczenie strzałki jej ugięcia na odcinku o długości 1 km. Uzyskany wynik ($s \approx 20$ mm) potwierdza słuszność przyjętego założenia, gdyż łuk o długości 1 km o tak małej strzałce ugięcia można z powodzeniem potraktować jako linię prostą.

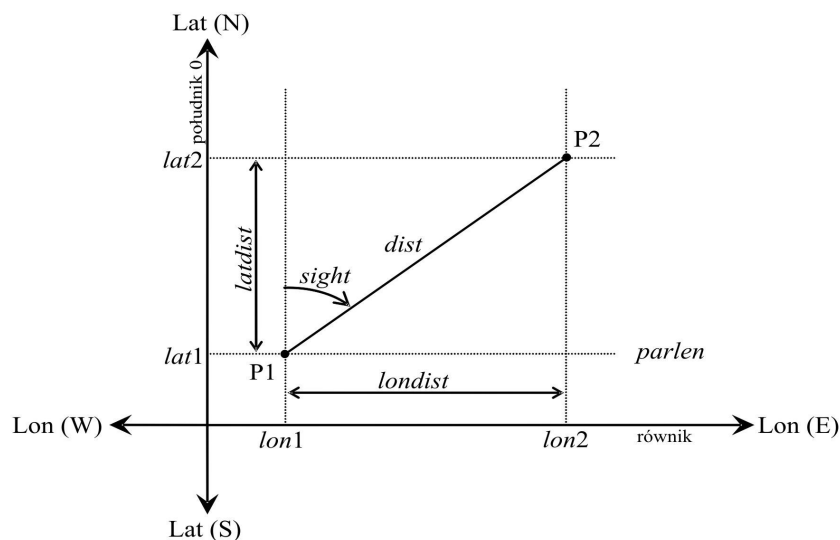
Analogiczne założenia upraszczające przyjęto dla obliczeń namiaru. Porównanie wyników obliczeń wykonanych według praw geometrii sferycznej na podstawie wzorów (1), (2) i (3) oraz obliczeń uproszczonych z zastosowaniem geometrii euklidesowej na płaszczyźnie dla dwóch przykładowych punktów odległych od siebie o ponad 11 km zaprezentowano w tabeli 1.

TABELA 1

Wyniki obliczeń odległości i kąta namiaru (według geometrii sferycznej i euklidesowej) dla dwóch punktów o współrzędnych geograficznych (54,390173°N; 18,635925°E) oraz (54,381877°N; 18,635839°E).

Obliczenia	Parametr	Odległość	Kąt namiaru
Geometria sferyczna		11,378498 km	353,412°
Geometria euklidesowa		11,378802 km	353,390°
Różnica		~0,3 m	0,022°

W myśl przyjętych uproszczeń, oprogramowanie urządzeń modelowych wykonuje obliczenia przy użyciu prostych zależności trygonometrycznych na płaszczyźnie i twierdzenia Pitagorasa. Ogólną identyfikację wyznaczanych parametrów przedstawiono na rysunku 7. W dalszej analizie przyjęto, że punkt P1 to pozycja geograficzna pojazdu, którego urządzenie antykolizyjne dokonuje omawianych obliczeń, a punkt P2 to położenie pojazdu, którego te obliczenia dotyczą.



Rys. 7. Identyfikacja parametrów wyliczanych przez oprogramowanie urządzenia antykolizyjnego

Na końcowy wynik wyznaczenia dystansu *dist* (od P1) do innego pojazdu (P2), składa się kilka operacji:

- 1) Obliczenie pionowej odległości *latdist* między rozpatrywanymi punktami wzdłuż południka przechodzącego przez punkt P1 na podstawie zależności (4);

$$latdist = (lat1 - lat2) \cdot 111,138 \quad (4)$$

gdzie:

- $latdist$ – pionowa odległość między punktami w km,
- $lat1$ – współrzędna szerokości geograficznej punktu P1 w stopniach,
- $lat2$ – współrzędna szerokości geograficznej,
- 111,138 – długość części południka wyrażona w kilometrach dla 1 stopnia jego miary łukowej.

- 2) Wyznaczenie długości równoleżnika $parlen$ na szerokości geograficznej punktu P1, (obwód bieżącego równoleżnika zmienia się wraz z szerokością geograficzną od wartości równej długości równika do wartości zerowej w pobliżu biegunów), według zależności:

$$parlen = \cos\left(\frac{lat1 \cdot \pi}{180^\circ}\right) \cdot 40041,48 \quad (5)$$

gdzie:

- $parlen$ – długość równoleżnika na szerokości geograficznej punktu P1 w kilometrach,
- $lat1$ – współrzędna szerokości geograficznej punktu P1 w stopniach,
- 40041,48 – średnia długość równika w kilometrach.

- 3) Określenie według wzoru (6) współczynnika proporcjonalności $odlmst$ dla rozpatrywanego równoleżnika, który definiuje odległość między punktami (w kilometrach) przypadającą na 1 stopień szerokości kątowej, niezbędnego do obliczenia dystansu poziomego;

$$odlmst = \frac{parlen}{360^\circ} \quad (6)$$

gdzie:

- $odlmst$ – odległość w kilometrach dla 1 stopnia długości geograficznej na danym równoleżniku,
- $parlen$ – długość równoleżnika na szerokości geograficznej punktu P1 w kilometrach,

- 4) Obliczenie według zależności (7) na podstawie uzyskanych w operacjach 2) i 3) wartości odległości poziomej między punktami wzdłuż wyznaczonego równoleżnika w kilometrach (obliczenie uproszczono

przyjmując, że długość równoleżnika przechodzącego przez punkt P2 jest identyczna z wyznaczonym dla P1);

$$londist = (lon1 - lon2) \cdot odlmst \quad (7)$$

gdzie:

londist – odległość pozioma między punktami wzdłuż wyznaczonego równoleżnika w kilometrach,

lon1 – współrzędna długości geograficznej punktu P1 w stopniach,

lon2 – współrzędna długości geograficznej punktu P2 w stopniach,

odlmst – odległość w kilometrach dla 1 stopnia długości geograficznej na danym równoleżniku,

- 5) Końcowa kalkulacja całkowitej odległości między punktami P1 i P2, liczonej na podstawie twierdzenia Pitagorasa dla trójkąta prostokątnego na płaszczyźnie, według wyrażenia (8), będąca złożeniem geometrycznym odległości mierzonej w kierunkach pionowym i poziomym;

$$dist = \sqrt{latdist^2 + londist^2} \quad (8)$$

gdzie:

dist – całkowita odległość między punktami P1 i P2 w kilometrach,

latdist – odległość pionowa między punktami w kilometrach,

londist – odległość pozioma między punktami wzdłuż wyznaczonego równoleżnika w kilometrach.

Namiar na pojazd znajdujący się w punkcie P2 (rys. 7) oblicza się na podstawie zależności (9).

$$sight = \begin{cases} \frac{\pi}{2} + \arcsin\left(\frac{latdist}{dist}\right) & \text{dla } londist < 0 \\ \frac{3}{2}\pi - \arcsin\left(\frac{latdist}{dist}\right) & \text{dla } londist > 0 \\ 0 & \text{dla } londist = 0 \text{ i } latdist \leq 0 \\ \pi & \text{dla } londist = 0 \text{ i } latdist > 0 \end{cases} \quad (9)$$

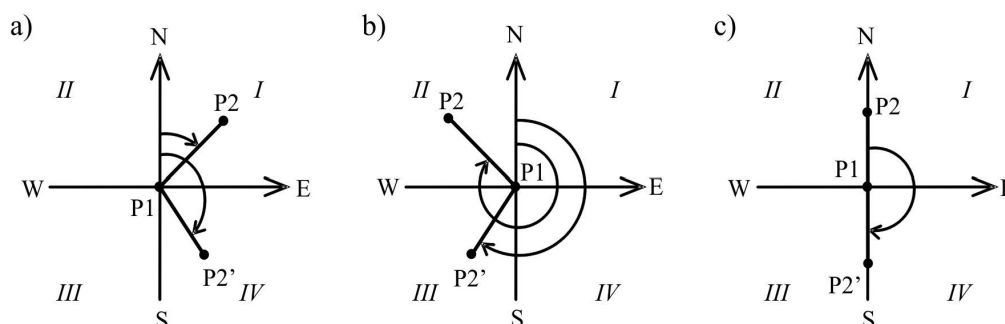
gdzie:

sight – kąt namiaru na pojazd w radianach,

latdist – pionowa odległość między punktami w kilometrach,

*lon*dist – odległość pozioma między punktami wzdłuż wyznaczonego równoleżnika w kilometrach,
dist – całkowita odległość między punktami P1 i P2 w kilometrach.

W obliczeniach przyjmuje się, że szukana wartość kąta znajduje się w prostokątnym układzie współrzędnych, którego środkiem jest punkt P1. Kąt ten jest mierzony zgodnie z kierunkiem obrotu wskazówek zegara od dodatniej części osi Y, będącej liniowym przybliżeniem południka.



Rys. 8. Rozpatrywane przypadki obliczeń kąta namiaru na pobliski pojazd P2

a) pojazd P2 znajduje się w I (P2) lub IV (P2') ćwiartce układu współrzędnych, b) pojazd P2 znajduje się w II (P2) lub III (P2') ćwiartce układu współrzędnych, c) dwa przypadki szczególne, kiedy pojazd P2 znajduje się w kierunkach biegunowych

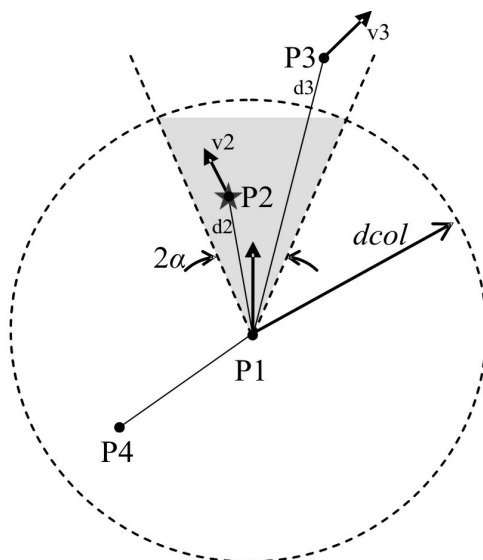
Równanie wyznaczania szukanego namiaru (9), posiada 4 warianty wybierane w zależności od ćwiartki rozpatrywanego układu współrzędnych. Takie podejście jest konieczne, bowiem znak funkcji trygonometrycznych zmienia się w zależności od położenia punktu P2 w układzie współrzędnych, natomiast kąt namiaru przyjmuje zawsze wartości nieujemne w przedziale $(0^\circ, 360^\circ)$.

Oprogramowanie warstwy obliczeń geometrycznych na podstawie zależności (4) do (9) wylicza dla każdego obserwowanego pojazdu niezbędne wartości poszczególnych parametrów i zapisuje je w bazie danych pojazdów, skąd odczyta je ostatnia najwyższa część algorytmu, zwana warstwą analizy zagrożeń kolizyjnych.

4.5. Warstwa analizy zagrożeń kolizyjnych

Warstwa analizy zagrożeń kolizyjnych dokonuje oszacowania, czy istnieje możliwość kolizji z dowolnym z pojazdów znajdujących się w pobliżu. Stwierdzenie takiego faktu jest sygnalizowane prowadzącemu pojazd.

Rozpoznanie zagrożenia kolizją, w ogólnym zarysie, opiera się na stwierdzeniu, czy którykolwiek z pobliskich pojazdów znajduje się w niebezpiecznej odległości, a jego kurs i zamiar zadaną tolerancją są zgodne z kursem własnym. Schematycznie taką sytuację pokazano na rysunku 9.



Rys. 9. Kryteria określania zagrożenia kolizyjnego

Pojazd dokonujący analizy zagrożenia oznaczono jako P1. Posiada on następujące parametry określające obszar czułości na zagrożenia:

- progowa odległość kolizyjna d_{col} , która określa minimalną bezpieczną odległość do pojazdu poprzedzającego, poniżej której może być sygnalizowane niebezpieczeństwo kolizji,
- kąt obszaru czułości α , zdefiniowany jako maksymalny kąt odchylenia krawędzi obszaru czułości od bieżącego kierunku jazdy; jest to kąt symetryczny $\pm\alpha$, stąd na rysunku 9 oznaczono go jako 2α .

Oba te parametry wyznaczają pewien obszar przed pojazdem o kształcie wycinka koła, nazwany obszarem czułości. Każdy pojazd znajdujący się w jego obrębie (np. P2) jest traktowany jako potencjalne zagrożenie kolizją. Jeśli w tym obszarze znajdzie się wiele pojazdów, to wybierany jest jeden najbliższy. Pojazdy znajdujące się w danej chwili poza obszarem czułości (np. P3, P4) nie wywołują alarmu o zagrożeniu kolizyjnym.

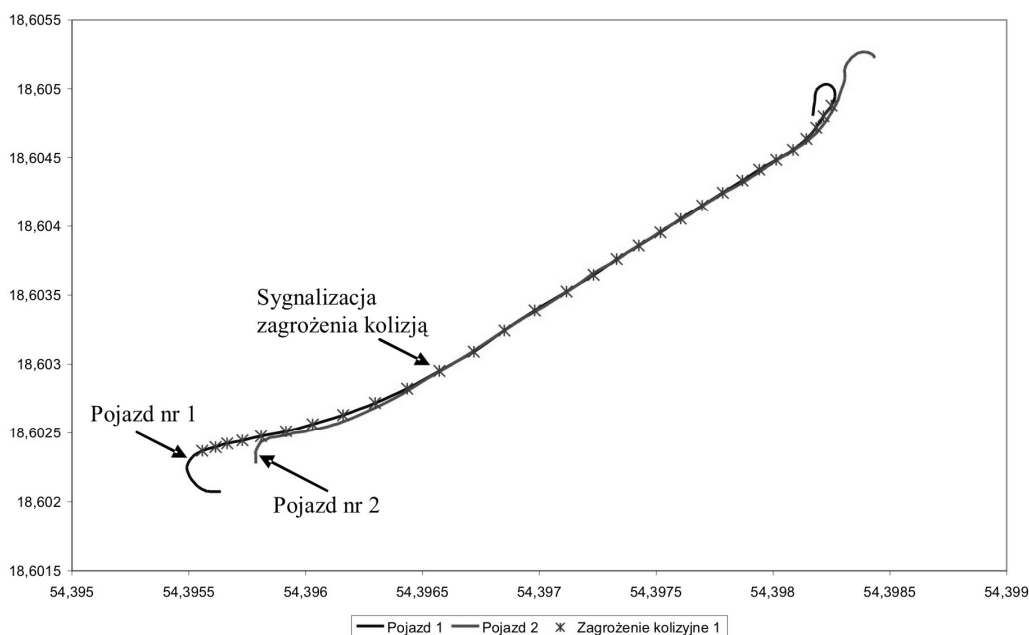
W urządzeniu modelowym parametry obszaru czułości ustalono wstępnie, jak następuje: $d_{col} = 300$ m, $\alpha = \pm 15^\circ$.

5. TESTY EKSPERYMENTALNE

Urządzenia modelowe poddano próbom w warunkach zbliżonych do rzeczywistych, instalując je w dwóch samochodach osobowych. Samochody poruszały się po ulicach w warunkach ruchu drogowego oraz po dużym placu. Testowano 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. Każde z urządzeń było połączone łączem diagnostycznym RS-232 z komputerem przenośnym, rejestrującym wszystkie istotne parametry. Zarejestrowane dane zaimportowano do arkusza kalkulacyjnego Microsoft Excel, w którym przeprowadzono analizę wyników testu.

Poniżej zamieszczono dwa wybrane wykresy drogi obu pojazdów. Na osiach wykresów znajdują się wskazania bieżącej pozycji geograficznej (GPS) wyrażonej w stopniach. Na każdym z wykresów uwidoczniono również stan wskaźnika (lampki) zagrożenia kolizją.

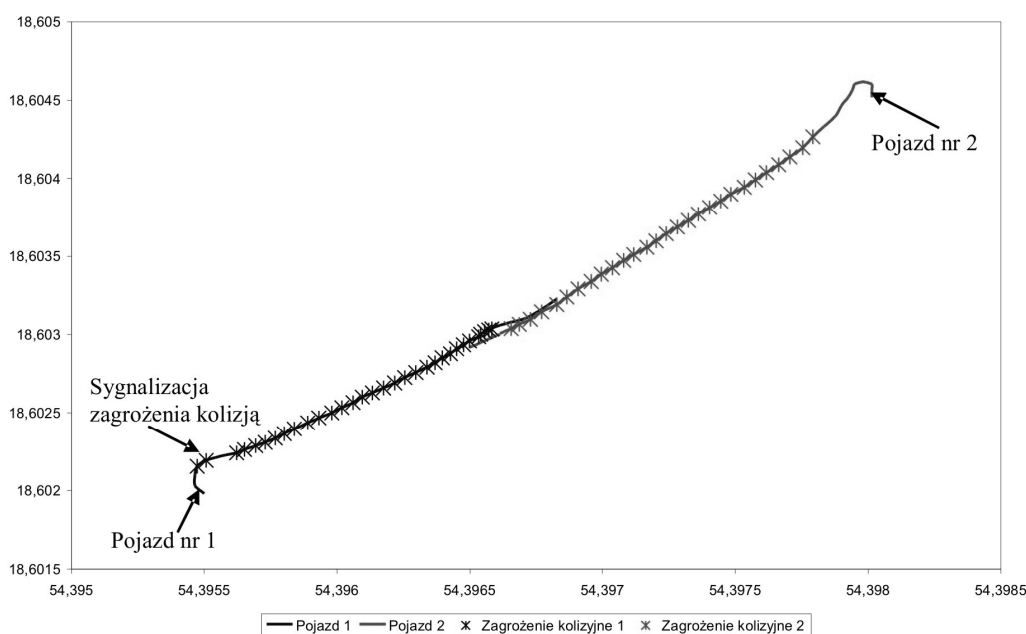
Na rysunku 10 przedstawiono sytuację, kiedy pojazd nr 1 porusza się w niebezpiecznej odległości za pojazdem nr 2. W początkowej fazie testu (u dołu rys. 10), pojazd nr 1 wykonuje nawrót w prawo i rozpoczyna jazdę za pojazdem nr 2. W tej fazie ruchu początkowa odległość między pojazdami



Rys. 10. Test jazdy pojazdu nr 1 za pojazdem nr 2

wynosiła ok. 85 m. Jest to wartość mniejsza niż granica bezpiecznej odległości, a zamiar na pojazd nr 2 mieści się w obszarze ograniczonym ramionami kąta czułości (patrz rys.9) – lampka zagrożenia kolizyjnego pojazdu nr 1 zaczyna świecić. Dalej oba pojazdy kontynuują jazdę w tym samym kierunku. Pojazd nr 1 przyspiesza i zbliża się do pojazdu nr 2 na odległość ok. 15 m w końcowej fazie jazdy. Lampka w dalszym ciągu sygnalizuje zagrożenie kolizją. W końcowej fazie testu (u góry rys.10) pojazd nr 1 wykonuje skręt w lewo. Odległość mierzona w linii prostej między pojazdami nadal wynosi ok. 15 m, ale lampka sygnalizacyjna gaśnie, ponieważ zamiar na pojazd nr 2 nie mieści się już w zadanym kącie czułości. Ten test wykazał, że system antykolizyjny spełnia swoją podstawową funkcję, czyli sygnalizację możliwości najechania na tył pojazdu poprzedzającego.

Na rysunku 11 pokazano przypadek zbliżania obu pojazdów z kierunków przeciwnych. Jest to sytuacja symulująca zderzenie czołowe. Na wykresach drogi widać, że oba pojazdy wykonują nawrót (u dołu i u góry rys. 11) i rozpoczynają jazdę w kierunku drugiego z nich. Tuż po wejściu na kurs



Rys. 11. Test jazdy pojazdów nr 1 i 2 z kierunków przeciwnych

w kierunku przeciwnego pojazdu oba urządzenia rozpoczynają sygnalizację zagrożenia kolizyjnego. Odległość między pojazdami w chwili rozpoczęcia sygnalizacji wynosi ok. 280 m. Sygnalizacja kolizji zanika na ok. 15 m przed punktem spotkania się obu pojazdów, co wynika z tego, że w rzeczywistości

oba pojazdy poruszały się po torach równoległych, przesuniętych względem siebie, aby uniknąć zderzenia. W bliskiej odległości kąt namiaru na drugi pojazd odchylił się poza ustalony maksymalny kąt czułości i dlatego sygnalizacja kolizji zanikła. Ten test również potwierdził skuteczność działania systemu antykolizyjnego.

6. PODSUMOWANIE OBECNEGO ETAPU PRAC

Opracowane urządzenia systemu antykolizyjnego spełniły oczekiwane założenia i umożliwiają realizację prac nad algorytmami systemu antykolizyjnego w aplikacjach trakcyjnych. Rozwiązanie oparte na komunikacji radiowej Wi-Fi pomiędzy pojazdami sprawdziło się w praktyce. Zarejestrowany maksymalny zasięg łączności wynosi ponad 1 km, ale silnie zależy on od ukształtowania terenu, gęstości zabudowy, zakłóceń radiowych itp. Nowy moduł mikrokontrolera centralnego zapewnia wystarczającą moc obliczeniową dla realizacji wszystkich niezbędnych procesów.

Wyniki testów urządzeń podczas rzeczywistej jazdy potwierdziły skuteczność działania systemu antykolizyjnego. W przeważającej liczbie przypadków układ poprawnie wykrywa możliwość kolizji i uruchamia jej sygnalizację. Ujawniły się jednak pewne niedoskonałości zastosowanego algorytmu wykrywania zagrożeń kolizyjnych. Problem uwidacznia się przede wszystkim na znacznie zakrzywionych elementach torów ruchu pojazdów, których odchylenie wzajemne na odcinku odpowiadającym promieniowi okręgu czułości jest większe niż zadany kąt czułości. W efekcie układ nie wykrywa pojazdów znajdujących się za ostrym zakrętem pomimo tego, że odległość mierzona w linii prostej jest mała, a pojazd jest widoczny.

Obecnie prowadzone są prace na rozbudowę algorytmów wykrywania zagrożeń. W ramach prac przewiduje się rozszerzenie obszaru czułości i jego podział na strefy, w których stosowane będą indywidualne kryteria analizy. Planowane jest również wyposażenie urządzeń antykolizyjnych w pamięci nieulotnej o dużej pojemności, które posłużą do przechowywania mapy torów całej sieci trakcyjnej. W przypadku pojazdów szynowych kształt trasy jest niezmienny. Znajomość topologii wszystkich punktów, w których następuje zmiana kierunku jazdy takich, jak zakręty, rozjazdy itp. pozwoli na wprowadzenie nowych funkcji zwiększających wiarygodność rozpoznawania zagrożeń. W najprostszym przypadku może to być obracanie obszaru czułości zgodnie z kształtem trajektorii ruchu przed pojazdem, jak również podział na strefy obejmujące wszystkie możliwe kierunki jazdy. Dodatkowym atutem

będzie możliwość wyeliminowania zbędnych alarmów w przypadku, gdy pojazdy poruszają się po torach równoległych.

LITERATURA

1. Leary J., Roshan P.: Bezprzewodowe sieci LAN 802.11. Podstawy. PWN, Warszawa, 2006r.
2. Duntemann J.: Przewodnik po sieciach Wi-Fi. Nakom Sp. z o.o., Poznań, 2006r.
3. Narkiewicz J.: GPS i inne satelitarne systemy nawigacyjne. WKiŁ, Warszawa, 2007r.
4. Zogg J.M.: GPS Basics. u-Blox ag, Thalwil, Szwajcaria, 2002r.
5. Williams E.: Aviation page / Aviation Formulary V1.43, <http://williams.best.vwh.net/>

Rękopis dostarczono dnia 3.12.2008 r.

Opiniował: prof. dr hab. inż. Stefan F. FILIPOWICZ

MODEL OF THE ANTICOLLISION SYSTEM FOR TRACTION VEHICLES

Arkadiusz KOMKOWSKI

ABSTRACT *The article presents the current state of work on model of Anticollision System prototype for traction vehicles. It describes the general principle of operation of the system, computing algorithms for calculation of distances on the basis of the geographical position provided by GPS information, architecture and functions of the various layers of software and construction of the model equipment. Test results and proposals for further development of the system are also presented in paper.*