

Marcin BERNAŚ, Marcin DĄBKOWSKI

ROZWIĄZANIA PROGRAMOWO-SPRZĘTOWE DLA POPRAWY BEZPIECZEŃSTWA TRANSPORTU DROGOWEGO

Streszczenie. Artykuł przedstawia opis rozwiązań sprzętowych oraz standardów transmisji wykorzystywanych w pojazdach do zwiększenia bezpieczeństwa ruchu. Druga część artykułu jest poświęcona implementacji sprzętowo-programowej systemu monitorowania temperatury oraz wilgotności panującej na zewnątrz pojazdów. Rozwiązania aktualnie stosowane w pojazdach opierają pomiary wyłącznie na bieżącej wartości opisanych parametrów, najczęściej tylko temperatury. Artykuł proponuje rozszerzenie pomiarów o wilgotność w ciągu sześciu godzin dla dokładniejszej prognozy i uwzględnienia szybkozmiennych warunków pogodowych.

SOFTWARE AND HARDWARE SOLUTIONS TO IMPROVE TRAFFIC SAFETY

Summary. The paper presents the hardware solution description and protocols used in automotive industry. Additionally, the paper proposes hardware-software model for black ice detection by external temperature and humidity level measurement. The solutions, used nowadays, are focusing mostly on current temperature reading. Paper proposes to extend the readings by humidity level. Moreover, the histories of features values are created within last 6 hours to define threats on road more precisely based on weather conditional variance.

1. WPROWADZENIE

Bezpieczeństwo w ruchu drogowym zależy od wielu czynników. Najważniejsze, które mogą być wspierane przez systemy poprawy bezpieczeństwa pasywnego lub aktywnego, to:

- stan techniczny pojazdu – monitorowany serią takich czujników, jak: sondy lambda, czujniki temperatury oraz ciśnienia oleju, detekcja zapiętych pasów, a także sprawności poduszek powietrznych;
- czynnik ludzki – związany ze stanem psychofizycznym kierowcy (jest on w grupie zainteresowania biometrii);
- czynniki zewnętrzne – w których skład wchodzi zagrożenia na drodze (detekcja pasów, znaków, przeszkód) oraz detekcja zmiennych warunków pogodowych.

Zaprojektowanie urządzenia wbudowanego dla detekcji czynników zewnętrznych wymaga zapoznania się z aktualnym stanem wiedzy w zakresie układów mikroprocesorowych, wykorzystywanych sensorów oraz z podstawowymi standardami wymiany informacji pomiędzy układami pojazdu.

1.1. Układy zarządzające systemami wbudowanymi

W systemach ostrzegania o niebezpieczeństwach najczęściej stosowane są mikrokontrolery RISC [1] [2] dla prostych układów oraz układy typu ARM (ang. enhanced RISC) [3] [4] dla systemów wymagających większej mocy obliczeniowej. Układy RISC oraz ARM przetwarzają dane sekwencyjnie, a w zależności od wymagań, mogą pracować w zakresie częstotliwości od 8 MHz do 800 MHz. Do wiodących producentów możemy zaliczyć układy Atmel [5], Xilinx [6] oraz Motoroli. Dodatkowymi atutami tych układów są wbudowane przetworniki A/C oraz wsparcie dla różnych standardów wymiany: od RS232, przez I2C [5], do standardów wykorzystywanych w pojazdach takich jak CAN czy MOST. Jednakże przy dużej liczbie informacji – a za taką możemy uznać strumień video – wykorzystuje się układy FPGA, umożliwiające przetwarzanie równoległe strumieni danych kosztem skomplikowanego opisu ich implementacji (język VHDL) [7].

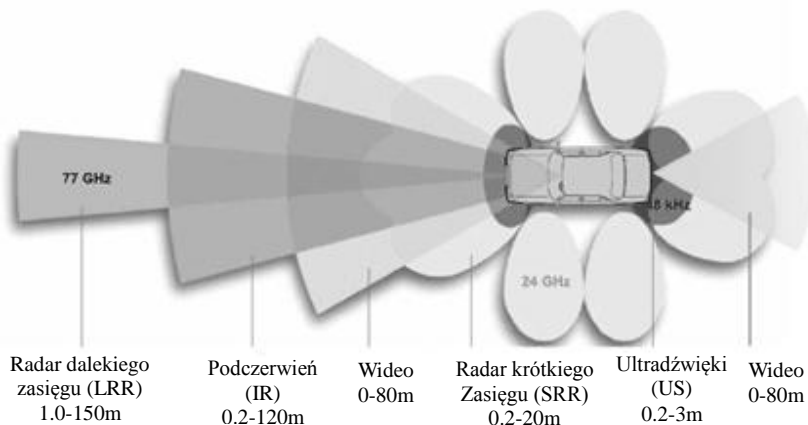
1.2. Magistrale wymiany danych

W pojazdach wykorzystywanych jest wiele standardów wymiany informacji. Do najpopularniejszych należą: CAN, LIN, Flex-Ray, MOST, FLASH oraz SAE J1850 [19]. Największym problemem przy ich wdrażaniu są różnice w implementacji poszczególnych standardów, co powoduje, że każdy producent preferuje własne rozwiązania.

Magistrala CAN [20] charakteryzuje się dużą odpornością na zakłócenia oraz niezawodnością. Wykorzystywana jest głównie do przesyłania sygnałów sterujących w samochodach oraz do celów diagnostycznych, podobnie jak magistrala typu LIN. Do zastosowań multimedialnych często stosowane są standardy MOST lub FlexRay [19]. Magistrala FlexRay to najnowszy standard, zaprojektowany z myślą o stosowaniu w systemach automatycznego prowadzenia samochodu (systemy: by-wire, steer-by-wire i break-by-wire). Jest to standard otwarty, wspierany przez inżynierów z firm: BMW, Volkswagen, Daimler, General Motors oraz Bosch.

1.3. Czujniki wykorzystywane w pojazdach

Aktualnie wykorzystywane sensory monitorowania warunków zewnętrznych pojazdów (Volkswagen, Toyota czy Mercedes) opierają się głównie na systemach radarowych oraz na ultradźwiękach [8] [9] [10]. Systemy te, w zależności od zastosowanej długości fali, charakteryzują się różnym skutecznym dystansem działania oraz różną odpornością na czynniki zewnętrzne, takie jak pogoda (rys. 1). Czujniki te mierzą wzajemną odległość między pojazdami.

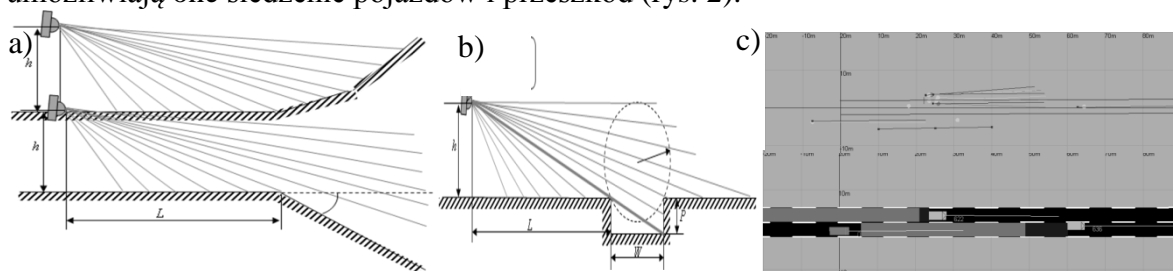


Rys. 1. Zakres oraz typ wykorzystywanych detektorów [9]

Fig. 1. Vehicle sensors effective range [9]

Coraz bardziej popularne stają się systemy oparte na wideodetekcji [11], [12]. Szczególnie dużym zainteresowaniem naukowców cieszą się badania w zakresie wykrywania: przeszkód, znaków drogowych, odległości od przeszkody czy ukształtowania terenu (stereowizja).

Dobrym rozwiązaniem mogą być także układy wyposażone w czujniki laserowe. Umożliwiają one detekcję obiektów w odległości do 200 m oraz analizę ukształtowania terenu przy umieszczeniu czujnika w górnej części pojazdu. Wraz z informacją z czujników GPS naniesionych na mapy dróg umożliwiają one śledzenie pojazdów i przeszkód (rys. 2).



Rys. 2. Czujniki laserowe [13]: a) badanie ukształtowań terenu, b) badanie szczelin, c) wykorzystanie danych z GPS oraz z czujnika laserowego

Fig. 2. Laser sensors [13]: a) terrain's model, b) gaps' detection, c) obstacles' detection (with GPS support)

W przypadku słabego oświetlenia wykorzystywane są czujniki podczerwieni, między innymi zastosowane w serii samochodów Volkswagen [14]. Umożliwiają one detekcję obiektów o temperaturze różnej od otoczenia - włączonych silników oraz pieszych.

Do kolejnej grupy czujników możemy zaliczyć układy badające warunki atmosferyczne. W skład takich układów wchodzi często: czujnik, przetwornik oraz moduł kondycjonowania sygnału telemetrycznego. Najczęściej spotykane są czujniki dostarczające informację w jednej z wielkości elektrycznych (napięcie, natężenie prądu, opór elektryczny).

Obecnie stosowane w pojazdach czujniki, sygnalizujące potencjalnie śliską nawierzchnię, to przede wszystkim proste układy, których działanie opiera się na rejestrowaniu i przetwarzaniu sygnału analogowego bądź cyfrowego [15], [16].

Czujniki temperatury i wilgotności znacznie szersze zastosowanie znajdują w układach zapobiegających oblodzeniu statków powietrznych. W transporcie drogowym obowiązek ostrzegania przed gołoledzią nie spoczywa wyłącznie na czujnikach znajdujących się w pojazdach; z roku na rok przybywa chociażby wiele Automatycznych Stacji Ostrzegania przed Gołoledzią stworzonych wspólnie przez Przedsiębiorstwo Produkcyjno-Usługowe „TRAX elektronik” oraz Instytut Badawczy Dróg i Mostów w Warszawie [17]. W skład systemu wchodzi stacje drogowe oraz stacje centralne (170 w 2010 roku).

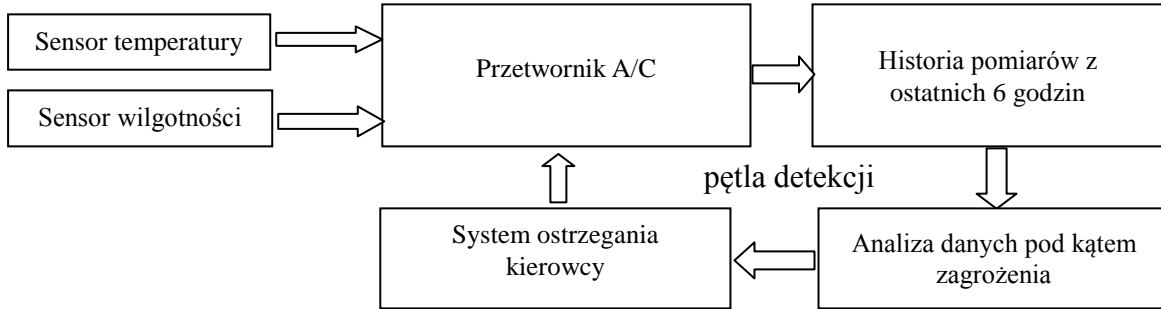
2. MODEL DETEKCJI GOŁOLEDZI

Sfera badań warunków pogodowych oraz funkcja ostrzegania użytkowników są realizowane obecnie przez zewnętrzne stacje pomiarowe. Niestety ich liczba wciąż jest niewystarczająca i wymaga wspomagania systemami wbudowanymi pojazdu do wykrywania warunków drogowych, jakimi są gołoledź czy możliwość występowania błota poślizgowego. Aktualnie brak jest prostych i tanich rozwiązań, mogących zapobiegać takim zagrożeniom. Powołując się na badania [17], można przyjąć, iż do powstania gołoledzi lub innych niebezpiecznych warunków (jak błoto poślizgowe) konieczne jest równoczesne wystąpienie następujących czynników:

- temperatura powietrza z przedziału od -6°C do $+1^{\circ}\text{C}$,
- względna wilgotność powietrza większa od 85%,
- zmiana temperatury podłoża z dodatniej na ujemną.

Ważnymi parametrami mogącymi świadczyć o zmianie stanu nawierzchni, są wahania tych odczytów, zdefiniowane jako średnia odchyłeń następujących po sobie pomiarów.

Zaproponowany schemat funkcjonalny urządzenia do detekcji gołoledzi oraz zmiennych warunków pogodowych przedstawia schemat na rys. 3.



Rys. 3. Schemat działania systemu ostrzegania

Fig. 3. Proposed model of warning system

Zaproponowany model wyznaczania zagrożenia pogodowego zdefiniowano jako trójkę:

$$S = \langle F, P, S \rangle$$

gdzie:

- $F = \{f_1, f_2, f_3\}$ – zbiór trzech funkcji ostrzegających o wystąpieniu zagrożenia,
- P – parametry temperatury oraz wilgotności dla badanych warunków pogodowych,
- S – wartości graniczne temperatury oraz wilgotności zdefiniowane w modelu.

P jest to zbiór parametrów określających stan pogody:

- t_b – określa aktualną wartość temperatury,
- w_b – określa aktualny poziom wilgotności,
- t_s – jest to średnia arytmetyczna wartości temperatury w ciągu ostatnich 6 h,
- w_s – jest to średnia arytmetyczna poziomu wilgotności w ciągu ostatnich 6 h,
- dt_s – jest to średnia wahań temperatury w ciągu ostatnich 6 h,
- dw_s – jest to średnia arytmetyczna poziomu wilgotności w ciągu ostatnich 6 h.

Zbiór S zawiera wartości graniczne modelu zdefiniowane w postaci domkniętych przedziałów liczbowych:

- t_{ostrz} – jest progiem ostrzegawczym ustawionym na temperaturę 2°C,
- t_{zamarz} – jest temperaturą zamarzania wody (0°C),
- $w_{80\%}$ – określa poziom wilgotności na poziomie 80%,
- $w_{90\%}$ – określa poziom wilgotności na poziomie 90%.

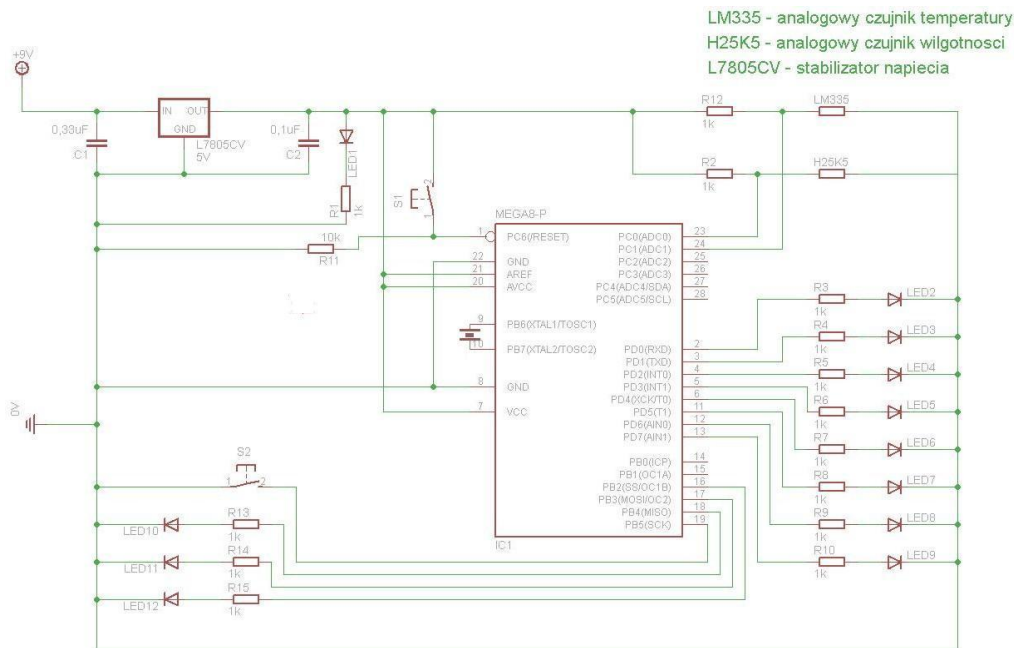
Zdefiniowane funkcje zwracają wartości: 0 dla braku zagrożenia, 1 w przypadku pogorszenia warunków oraz 2 dla stanu zagrożenia. Pierwsza funkcja informuje o zagrożeniu chwilowym i opiera się na pomiarach bieżącej temperatury oraz wilgotności:

$$f_1 = \begin{cases} 1 : t_b < \sup t_{ostrz} \wedge w_b > \inf w_{80\%} \\ 2 : t_b < \sup t_{zamarz} \vee (t_b < \sup t_{ostrz} \wedge w_b > \inf w_{90\%}) \\ 0 : \text{domyślny} \end{cases} \quad (1)$$

Funkcja druga zwraca następujące wartości:

$$f_2 = \begin{cases} 1 : t_s < \sup t_{ostrz} \wedge w_s > \inf w_{80\%} \\ 2 : (t_s < \sup t_{zamarz} \wedge w_s > \inf w_{80\%}) \vee (t_s < \sup t_{ostrz} \wedge w_s > \inf w_{90\%}) \\ 0 : \text{domyślny} \end{cases} \quad (2)$$

W historii pomijane są bity najmłodszy oraz najstarszy komparatora. Bit najmłodszy został pominięty ze względu na przenoszenie zakłóceń pomiarów do układu, natomiast najstarszy ze względu na zakres badanych temperatur/wilgotności.



Rys. 4. Implementacja sprzętowa urządzenia

Fig. 4. Hardware scheme of the prototype

Zajętość zdefiniowanej struktury dla temperatury i wilgotności to 500 bajtów. Pozostała pamięć jest zarezerwowana dla: procedury odmierzenia czasu oraz wartości sterujących programem. Uzyskanie w równych, 1-sekundowych interwałach pomiary umożliwia zadeklarowany zegar 6-godzinny oparty na kwarcu 32168 Hz wraz z licznikiem oraz systemem przerwań. Kod realizacji zegara układu został przedstawiony poniżej:

```

TCNT0 = T0_INIT; // ponowna inicjacja licznika
czas.second++;
if (czas.second==60) // odliczenie pełnej minuty
{
    czas.second=0; // wyzerowanie licznika sekund
    wyznacz_wartosc_minuty(czas.minute); //wyznaczenie wartości średniej dla bieżącej minuty
    if (++czas.minute==60) // odliczenie pełnej godziny
    {
        czas.minute=0; // wyzerowanie licznika minut
        wyznacz_wartosc_godziny(); //wyznaczenie wartości średniej dla bieżącej godziny
        if (++czas.hour==6) czas.hour=0; // wyzerowanie licznika godziny
    }
}

```

Dla każdej sekundy odchylenie wyniku jest obliczane jako wartość bezwzględna z różnicy wartości bieżącej i poprzedniej. Dla każdej kolejnej minuty lub godziny (zmiana wartości) wykonywane jest uśrednienie wyników (sekund w aktualnej minucie oraz minut w aktualnej godzinie) wg algorytmu:

```

odchylenie_sr=0;
wartosc_sr=tab[0];
for (i=1;i<60;i++){
    odchylenie_sr+=abs(tab[i]-tab[i-1]);
    wartosc_sr +=tab[i];
}
wartosc_sr = wartosc_sr /60;
odchylenie_sr=odchylenie_sr/59;

```

Dzięki zastosowanemu mechanizmowi odmierzenia czasu wartości w tablicy nie są przesuwane. Zaimplementowany zegar pełni w algorytmie funkcję wskaźnika na aktualną sekundę, minutę oraz godzinę. Parametry t_s , w_s , d_{ts} , oraz d_{ws} zostały wyznaczone z historii dla wartości godzin od 1 do 6 jako średnia arytmetyczna pomiarów oraz ich odchyłeń.

2.2. Kalibracja układu

W przypadku liniowej zależności czujnika temperatury (LM335) prawdziwy jest wzór [18]:

$$t = \frac{\text{napięcie odniesienia} \cdot \text{dokładność czujnika} \cdot \text{wartość bitowa komparatora A/C}}{\text{zakres wartości komparatora A/C}} \quad (4)$$

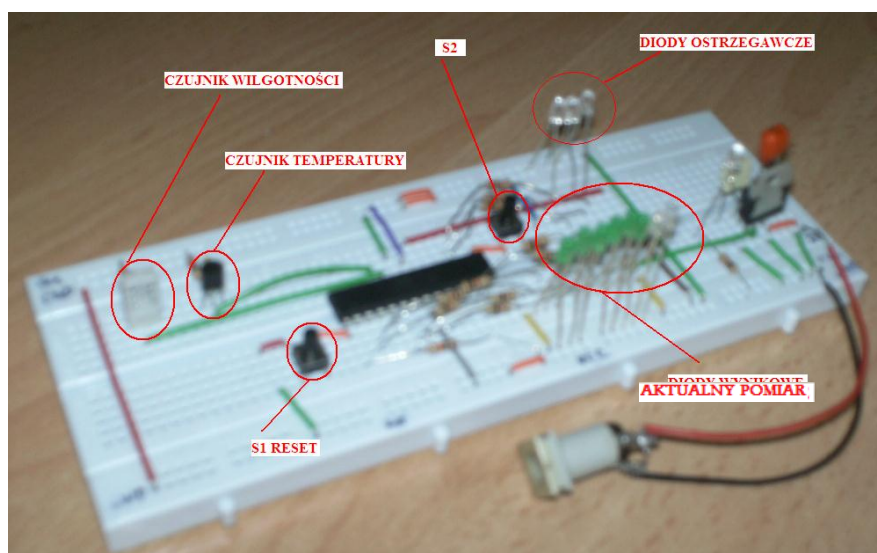
Napięcie odniesienia jest zdefiniowane jako napięcie TTL (5V). Rozdzielczość czujników wynosi 10 mV. Ich kalibracja została zrealizowana przez porównanie wyznaczonych teoretycznie wartości (wzór 1 oraz dane katalogowe [17]) z wynikami eksperymentu, w którym wykorzystano prototyp układu oraz czujniki wzorcowe o dokładnościach 0,1 °C dla temperatury oraz 1% dla wilgotności. Próba obejmowała 30 pomiarów dla każdej zdefiniowanej wartości granicznej.

Na podstawie maksymalnych odchyłeń wyników próby oszacowano niepewność pomiarów zrealizowanych za pomocą prototypu. Niepewności wyniosły 0,5 °C dla pomiaru temperatury oraz 5% dla pomiaru wilgotności. Końce przedziałów liczbowych dla poszczególnych elementów zbioru S zostały wyznaczone odpowiednio jako minimum oraz maksimum ze zbioru wartości zarejestrowanych na wyjściu przetwornika A/C. Określone w ten sposób wartości graniczne dla czujnika temperatury wynoszą $t_{ostrz}=[27,29]$ oraz $t_{zamarz}=[30,34]$, natomiast dla czujnika wilgotności – $w_{80\%}=[142,146]$ oraz $w_{90\%}=[138,142]$.

2.3. Opis działania prototypu

Prototyp został wykonany na płytce stykowej (rys. 5). Przed rozpoczęciem pracy układu należy odpowiednio rozmieścić oba czujniki.

Czujnik temperatury został umieszczony na wysokości ok. 20-30 cm nad drogą, z dala od ewentualnych źródeł ciepła, natomiast czujnik wilgotności w miejscu, gdzie nie będzie narażony na bezpośrednie działanie opadów atmosferycznych (w przeciwnym przypadku stałby się czujnikiem opadów). Montaż wewnątrz zderzaka tylnego najczęściej spełnia kryteria dla obu sensorów. Urządzenie może być wpięte do sieci elektrycznej samochodu o napięciu znamionowym z przedziału 9-14 V.



Rys. 5. Urządzenie prototypowe po montażu

Fig. 5. Hardware implementation of the prototype device

Domyślnie, na ośmiu diodach wyświetlany jest uśredniony, 8-bitowy wynik pomiaru temperatury. Przytrzymanie przycisku S2 powoduje wyświetlanie wyniku pomiaru wilgotności. W przypadku zmiany strefy klimatycznej historii odczytów można wyzerować, wykorzystując przycisk reset (S1).

Jeżeli wyniki pomiarów zbliżają się do wartości granicznych, przy których istnieje prawdopodobieństwo niekorzystnych warunków pogodowych, to zapali się stosowna dioda ostrzegawcza. System ostrzegania działa dwustopniowo – jeżeli warunki pogodowe zmieniają się na niekorzystne, diody zaczynają świecić impulsowo; po osiągnięciu bądź przekroczeniu wartości granicznych, przy których może wystąpić gołoledź, świecenie impulsowe jest zastępowane przez światło ciągłe.

Podczas 20-godzinnych testów układ wykazał się stabilną pracą, pomimo minusowych temperatur. Jednakże w implementacji dodatkowe zabezpieczenie w postaci mechanizmu *watchdog* [5] mogłoby zabezpieczyć układ przed ewentualnym wyłączeniem czy chwilowym spadkiem napięcia. Podczas testów przyjęte parametry pozwoliły na generowanie ostrzeżeń zgodnie ze zdefiniowanym modelem. Model ten umożliwił generowanie informacji zgodnych z obecnie stosowanymi czujnikami temperatury. Dodatkowo, w trakcie testów laboratoryjnych ostrzeżenia generowane przez model uwzględniały zmienne warunki pogodowe wokół temperatury zamarzania wody oraz zmiany temperatury z ujemnej na dodatnią. Natomiast układ nie uwzględniał sytuacji wystąpień krótkotrwałych opadów. Rozpoznawanie tego typu przypadków będzie możliwe, gdy czujnik wilgotności zostanie wykorzystany jako czujnik opadów lub informacja o opadach zostanie przekazana do układu przez magistrale pojazdu z zainstalowanego w nim czujnika.

3. PODSUMOWANIE

Artykuł ma na celu przedstawienie aktualnych rozwiązań sprzętowych (pasywnych oraz aktywnych), zwiększających bezpieczeństwo w pojazdach. Na podstawie przeprowadzonej analizy zaproponowany został układ wykrywania zmiennych warunków pogodowych. Układ przeszedł pierwsze testy laboratoryjne oraz wstępne testy drogowe. Pierwsze badania laboratoryjne pokazują, że układ zwraca użytkownikowi informację obejmującą nie tylko bieżący pomiar wilgotności oraz temperatury, ale także wahania ich wartości.

Obecnie największą wadą proponowanego rozwiązania jest przyjęcie stałych wartości granicznych S przy określaniu wartości funkcji F , opisujących zagrożenie spowodowane złymi warunkami pogodowymi. Wada ta może zostać wyeliminowana przez zastosowanie logiki rozmytej, przystosowanej do pracy z mikrokontrolerami 8-bitowymi.

Największymi zaletami tego rozwiązania są niski koszt implementacji oraz zastosowanie stopniowania zagrożenia w przypadku temperatury granicznej oraz warunków krytycznych zarówno dla temperatury, jak i wilgotności.

Kolejne artykuły będą dotyczyły: włączenia układu w sieć czujników pojazdu, umożliwiając dostęp do informacji, takich jak: szybkość pojazdu oraz informacji z systemów ASR i ESR. Dane te pozwolą na dokładniejsze wnioskowanie o poziomie zagrożenia.

Kolejnymi kierunkami rozwoju wydają się także: znaki, tablice o zmiennej treści lub stacje pogodowe, które mogą uzupełniać informacje pogodowe o danym terenie. Niestety, na dzień dzisiejszy nie został zdefiniowany standard wymiany takich informacji. Jednak pretendencjami wydają się adaptacja standardu C2X [21] lub pozyskiwanie danych z sieci Internet na podstawie wskazań GPS.

Bibliografia

1. Martin D., Owen R.: A RISC architecture with uncompromised digital signal processing and microcontroller operation. IEEE Intl. Conf. Acoustic Speech and Signal Processing (ICASSP98), Seattle 1996, p. 3097-3100.
2. Lapsley P., Bier J., Shoham A., Lee E.A.: DSP processor Fundamentals: Architectures and Features. IEEE Press, Los Angeles 1996, p. 101-117.
3. Garreau O., Owen R.: Merged architecture approach embeds digital signal processing and improves real-time performance of microcontrollers. Proc. Paper #407 Embedded Systems Conf, Crolles 1998, p. 419-435.
4. Walsh D.: Piccolo - The ARM architecture for signal processing: An innovative architecture for unified DSP and microcontroller processing. Proc. Intl. Conf. Signal Process. Applications and Technology (ICSPA96), California 1996, p. 658-663.
5. Dokumentacja techniczna ATmega8,
http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc2486.pdf.
6. Seria procesorów ARM xilinx,
http://www.xilinx.com/support/documentation/white_papers/wp369_Extensible_Processing_Platform_Overview.pdf.
7. Xilinx data katalogowa układu Spartan3a,
http://www.xilinx.com/support/documentation/data_sheets/ds529.pdf.
8. Götz K.: Low-Cost, Long-Range, Radar for Future Driver Assistance Systems. AutoTechnology, No. 4/2003.
9. Rohling H., Meinecke M.: Waveform Design Principles for Automotive Radar Systems. Automobile-Human Technology, Hamgurg 2004, p. 112-127.
10. Dokumentacja techniczna, Texas Instruments: Datasheet TMS470R1VF76B for 16/32-BIT Risc Flash Microcontroller. Redmond 2004.
11. Bertozzi M., Broggi A., Cellario M., Fascioli A., Lombardi P., Porta M.: Artificial vision in road vehicles. In Proceedings of the IEEE, Vol. 90, Parma 2002, p. 1258–1271.
12. Brox T., Bruhn A., Papenberg N., Weickert J.: High accuracy optical flow estimation based on a theory for warping. Proc. 8th European Conference on Computer Vision, Vol. 3024 of LNCS, Springer, May 2004, p. 25–36.
13. Batavia, P., Singh, S.: Obstacle detection in smooth high curvature terrain. Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation, Batavia 2002, p. 3062-3067.
14. Kirchner A.: Volkswagen Group Research Keynote. AMAA, Wolfsburg 2007.
15. Zakrzewski J.: Czujniki i przetworniki pomiarowe. Podręcznik problemowy. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2004.
16. Strona projektu na rzecz zapewnienia jakości transportu ZEUS,
<http://www.e-zeus.eu/index.php/pl/zeus-projekt.html>.
17. Branżowy Zakład Doświadczalny Budownictwa Drogowego i Mostowego Sp. z o.o.: Ogólne specyfikacje techniczne D – zwalczanie śliskości na drodze, Warszawa 2001.
18. Sobierajska G., Neuman Z.: Czujniki w pojazdach samochodowych. Informator techniczny Bosch, 2009.
19. Schmidgall R., Zimmermann W.: Magistrale danych w pojazdach. Protokoły i standardy. WKŁ Warszawa 2008, s. 30-87.
20. Fellmeth P.: CAN-based tractor – agricultural implement communication ISO 11783. CAN Newsletter, Iowa 2003, p. 6-9.
21. Car-to-Car Communication Consortium: C2C-CC Manifesto, Version 1.1. August 2007,
<http://www.car-to-car.org>.