

Autonomiczny system awaryjnego hamowania – działanie

Fot. RAlexLMX/Bigstockphoto



Samochody coraz częściej wyposażane są dziś w automatyczne systemy bezpieczeństwa, których zadaniem jest zapobiegnięcie wypadkowi lub zminimalizowanie jego skutków. Funkcjonowanie takich systemów opiera się na złożonych algorytmach, które analizują sytuację drogową i wzajemną konfigurację jej uczestników i na tej podstawie przewidują prawdopodobny bieg wydarzeń oraz doprowadzają do podjęcia działań prewencyjnych w okolicznościach grozących wypadkiem. Niezmiernie istotne jest takie ustawienie tych algorytmów, żeby wspierały one kierowcę w sytuacji wypadkowej, ale jednocześnie nie utrudniały mu podejmowania innych działań prewencyjnych. Dla projektantów takich systemów niezwykle ważna jest więc wiedza o tym, jakie są zamierzenia kierowcy w momencie, gdy spodziewa się on wypadku.

Wykorzystanie rzeczywistego samochodu do badania zachowania kierowcy jest jednak praktycznie niemożliwe w sytuacji wypadkowej. Do badania takich przypadków nadaje się natomiast doskonale symulator jazdy samochodem.

Słowa kluczowe: bezpieczeństwo aktywne samochodów, autonomiczny system awaryjnego hamowania (AEB), reakcja kierowcy, symulator jazdy samochodem

Autonomous emergency braking system – function

Modern cars are increasingly often equipped with automatic safety systems aimed at avoiding collision or mitigating its effects. The operation of such systems is based on complex algorithms, whose task is to analyze the traffic situation and the relative configuration of its participants, to predict on this basis the probable course of events and to take preventive actions in situations which may lead to collision. It is essential to design these algorithms to assist drivers in case of an accident, but not to hinder other preventive actions. For designers of such systems, it is, therefore, extremely important to know what drivers intend to do when they expect an accident. The use of an actual car to study driver behavior, however, is virtually impossible in an accident. A driving simulator is perfectly suited to study such cases.

Keywords: car active safety, Autonomous Emergency Braking System (AEB), driver reaction, car driving simulator

Wstęp

Zgodnie z danymi Biura Ruchu Drogowego Komendy Głównej Policji w Polsce w 2013 r. miało miejsce ok. 36 tysięcy wypadków drogowych, w wyniku których zginęło 3,4 tys. osób [1]. I choć z roku na rok wielkości te systematycznie zmniejszają się, to Polska wciąż pozostaje w europejskiej czołówce pod względem liczby ofiar śmiertelnych wypadków drogowych odniesionych do liczby mieszkańców. W 2013 r. Polska była na niechlubnym 3. miejscu (87 ofiar na milion mieszkańców), w 2014 r. było to już 5. miejsce (84 ofiary). Średnia unijna wynosiła wówczas 51 ofiar na milion mieszkańców [2]. Sprawcami większości wypadków są kierujący pojazdami – w 2013 r. spowodowali oni 82% wypadków [1]. Problem wypadków komunikacyjnych ma szczególne znaczenie w przypadku kierowców zawodowych, dla których samochód jest miejscem pracy [3]. W Polsce transport zajmuje 3. miejsce spośród wszystkich działów gospodarki pod względem liczby śmiertelnych ofiar wypadków przy pracy (GUS 2013). Wypadki z udziałem kierowców zawodowych powodują ogromne straty ekonomiczne zarówno w skali całego kraju, jak też przedsiębiorstw [3].

Współczesne samochody, tak ciężarowe, jak i osobowe coraz częściej wyposażane są przez producentów w automatyczne systemy bezpieczeństwa, które mają na celu uniknięcie wypadku lub zminimalizowanie jego skutków [4-6]. Zadaniem tych systemów może być zarówno ostrzeżenie kierowcy o niebezpiecznej sytuacji, jak też podejmowanie działań prewencyjnych, zazwyczaj w postaci hamowania. Wiele rozwiązań łączy te dwie cechy. Wykorzystanie ich ma w założeniu ograniczyć koszty wypadków drogowych poprzez poprawę bezpieczeństwa pojazdów. Ale czy faktycznie systemy te są w stanie uchronić przed

wypadkiem? Aby odpowiedzieć na te pytania trzeba zaznajomić się z ich zasadą działania.

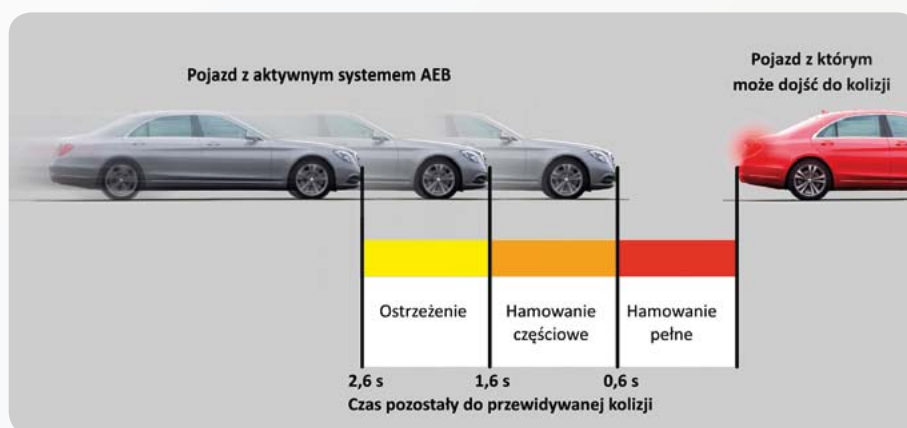
Systemy bezpieczeństwa czynnego – zasada działania

Działania systemu pokazane zostanie na przykładzie jednego z najczęściej stosowanych przez producentów rozwiązań z zakresu bezpieczeństwa czynnego: systemu AEB (ang. *Autonomous Emergency Braking System* – autonomiczny system awaryjnego hamowania). Pod tą nazwą kryje się cała grupa zaawansowanych urządzeń, wyposażonych w czujniki „obserwujące” otoczenie. Ich zadaniem jest wykrywanie obiektów, z którymi może dojść do zderzenia. W przypadku identyfikacji takiego obiektu kierowca zostaje ostrzeżony przez system, a następnie inicjowane jest hamowanie (o czym szczegółowo dalej). Większość znaczących producentów samochodów osobowych i ciężarowych oferuje własne wersje systemu AEB, ukryte pod różnymi nazwami handlowymi.

Scenariusze działania takiego systemu są bardzo różne i zależą od założeń jego twórcy. Jednym z częściej spotykanych wariantów jest aktywowanie systemu w sytuacji, w której pojawia się ryzyko uderzenia w inny pojazd stojący, bądź wolniej jadący tym samym pasem. Rozpowszechnienie tego systemu ma, w założeniu, ograniczyć skutki wypadków, w przebiegu których przez nieuwagę, bądź za sprawą ograniczonej widoczności kierowca samochodu uderza w stojące na pasie pojazdy. Tego typu scenariusze wypadkowe są częste w warunkach autostradowych, a ich skutki są poważne, zwłaszcza w przypadku samochodów ciężarowych.

Inne scenariusze zadziałania systemów AEB zakładają wykrywanie tzw. niechronionych uczestników ruchu drogowego (ang. *Vulnerable Road Users*, VRU), czyli pieszych i rowerzystów, i podejmowanie działań prewencyjnych w przypadku zagrożenia zderzeniem z nimi. Niezależnie od sposobu działania AEB, podstawowym zadaniem systemu jest wspomaganie kierowcy w działaniach prewencyjnych. Po identyfikacji zagrożenia, w pierwszej kolejności aktywowane jest wizualne i dźwiękowe ostrzeżenie, które powinno zwrócić uwagę kierowcy na niebezpieczeństwo, dając mu możliwość zareagowania. Dopiero w drugiej kolejności, jeżeli niebezpieczeństwo nie zniknie (np. kierowca nie reaguje), uruchamiane zostaje automatyczne hamowanie. Równocześnie aktywowane są różne systemy bezpieczeństwa biernego, wykonujące takie działania, jak napięcie pasów bezpieczeństwa i ustawienie foteli w optymalnym położeniu w razie uderzenia w obiekt na drodze.

Systemy typu AEB wyposażone są zazwyczaj przynajmniej w dwa czujniki służące



Rys. Schemat działania systemu zapobiegającego uderzeniu w tył poprzedzającego pojazdu opracowanego przez firmę Mercedes-Benz

Fig. Schematic of the system preventing collision with the rear of the vehicle in the front, designed by Mercedes-Benz

do wykrywania znajdujących się przed pojazdem obiektów. Są to czujniki radarowe, czujniki typu LIDAR (podobne w działaniu do radaru, ale wykorzystujące promień lasera) lub kamery. Bardzo często stosowane jest połączenie kamery z czujnikami radarowymi. Zadaniem radaru jest śledzenie znajdujących się przed samochodem obiektów i wskazanie tych, z którymi potencjalnie może dojść do zderzenia. Kamera służy do identyfikacji obiektów i rozpoznania, czy jest to samochód, pieszy, czy inny obiekt. Inna, częsta konfiguracja to połączenie dwóch zestawów czujników radarowych (bądź typu LIDAR): jednego o szerokiej wiązce i mniejszym zasięgu, drugiego o wąskiej wiązce i większym zasięgu. Konfiguracja taka jest często spotykana w systemach mających za zadanie wykrywanie samochodów. Analizując sygnały zarejestrowane przez czujnik, oprogramowanie systemu jest w stanie rozpoznać samochody, a zastosowanie dwóch czujników zmniejsza ryzyko fałszywych alarmów.

Z technicznego punktu widzenia systemy typu AEB są w stanie zidentyfikować zagrożenie w momencie, gdy obiekty, z którymi może dojść do zderzenia, znajdują się w ich „polu widzenia”. W takim przypadku niezwłocznie mogą zostać zainicjowane manewry mające na celu uniknięcie wypadku. Efektywny zasięg stosowanych w tego typu systemach czujników radarowych dochodzi do 200 m, jeśli więc na autostradzie na naszym pasie stoi samochód blokujący przejazd, system powinien wykryć go z wystarczająco dużej odległości, by automatycznie zatrzymać samochód, i to praktycznie niezależnie od naszej prędkości. Odpowiednio wcześniej wykryty również powinien zostać pieszy biegnący przez trawnik, który zaraz wbiegnie nam pod koła. Brzmi wspaniale, prawda?

Niestety w praktyce nie jest to takie proste. System automatyczny nie jest w stanie przewidzieć zmiany sytuacji: np. stojący z przodu

samochód może ruszyć, zanim się do niego zbliżymy, biegnący pieszy może zmienić trajektorię ruchu bądź zatrzymać się bez wtargnięcia na jezdnię. System nie zna też zamiarów kierowcy, który na przykład uzna, że lepszym manewrem obronnym będzie ominięcie przeszkody niż hamowanie. A błędne decyzje systemu mogą skończyć się tragicznie. Gwałtowne hamowanie może być samo w sobie niebezpieczne, jeżeli kierowca pojazdu jadącego za nami nie zachowa należytej ostrożności i/ albo odległości. A jeżeli dodatkowo utrudni bądź uniemożliwi ono manewr kierowcy, może się okazać, że skutek zadziałania systemu będzie dokładnie odwrotny do zamierzonego.

Aktywacja systemu nie powinna więc nastąpić zbyt wcześnie, aby system „miał pewność”, że alarm nie jest fałszywy, a kierowca nie wykona już innego manewru. Z drugiej strony aktywacja nie może jednak nastąpić zbyt późno, gdyż wtedy czas pozostały na podjęcie działań prewencyjnych (czy to przez kierowcę, czy system) będzie zbyt krótki, aby w istotny sposób zmniejszyć skutki wypadku. Jak to wygląda w praktyce?

Schemat działania tego typu systemu Pre-Safe, pokazany zostanie na przykładzie systemu opracowanego przez firmę Mercedes-Benz, zapobiegającego uderzeniu w tył poprzedzającego pojazdu (rys.)*. Wyposażony w dwa zestawy radarów: czujniki bliskiego zasięgu i dalekiego zasięgu system monitoruje drogę przed pojazdem i wyznacza położenia oraz prędkości innych pojazdów, w tym przede wszystkim pojazdu poprzedzającego. Na tej podstawie określa, czy przy zachowaniu obecnych prędkości i trajektorii ruchu może dojść do uderzenia w pojazd poprzedzający. Jeżeli tak, to oblicza, po upływie jakiego czasu to nastąpi. Czas ten określany jest po angielsku jako *time to collision* (TTC). Jeżeli TTC jest krótszy

* Algorytm działania tego typu systemów u innych producentów może się różnić w szczegółach, jednak ogólny schemat pozostaje taki sam.

niż 2,6 s, system aktywuje wizualne i dźwiękowe ostrzeżenia dla kierowcy. Jeżeli mimo to zagrożenie kolizją nadal istnieje (np. gdy kierowca nie zareagował), a TTC jest krótszy niż 1,6 s, system uruchamia częściowe hamowanie (z siłą 40% pełnej siły hamowania). W tym samym momencie we wnętrzu pojazdu aktywowane są systemy bezpieczeństwa biernego. Przy TTC wynoszącym 0,6 s system rozpoczyna pełne hamowanie.

Automatyczne hamowanie uruchamiane jest zatem na mniej niż 2 s przed uderzeniem, i to nie od początku z pełną mocą. Wartość ta wydaje się być zbyt mała, żeby skutecznie wpłynąć na przebieg wypadku, trzeba jednak zauważyć, że znaczenie ma każdy dodatkowy ułamek sekundy hamowania. Dodatkowo 0,1 s hamowania przed uderzeniem pozwala na zmniejszenie prędkości w momencie uderzenia o 2,16 km/h, co w przypadku samochodu osobowego uderzającego w pieszego, przy prędkości samochodu wynoszącej 40 km/h może przełożyć się na 15% zmniejszenie prawdopodobieństwa obrażeń śmiertelnych u pieszego [7].

Czy więc systemy tego typu zapobiegają wypadkom komunikacyjnym? Jeżeli hamowanie (czy to zainicjowane przez kierowcę po pojawieniu się ostrzeżenia, czy automatyczne po „pełnej” aktywacji systemu) doprowadzi do uniknięcia uderzenia – wtedy odpowiedź brzmi: tak. Będzie się tak działo przy mniejszej prędkości pojazdu. W zdecydowanej większości przypadków uderzenia jednak nie uda się uniknąć. Hamowanie pozwoli natomiast zmniejszyć prędkość podczas uderzenia. Dodatkowo odpowiednio wcześniej aktywowane systemy bezpieczeństwa biernego pozwolą na ograniczenie obrażeń kierowcy i pasażerów.

System bezpieczeństwa czynnego a działania kierowcy

Podstawowym zadaniem systemu typu AEB jest wspomaganie kierowcy w działaniach mających na celu uniknięcie wypadku lub zminimalizowanie jego skutków. Kluczową sprawą w przypadku takich systemów jest więc dobranie parametrów decydujących o momencie i sposobie aktywacji [7,8]. Odpowiednie dobranie algorytmu działania i parametrów systemu jest jednak sprawą skomplikowaną, wymagającą dobrej znajomości sytuacji drogowej, w której system ma zadziałać. Jednym z kluczowych elementów jest zachowanie kierowcy, w tym przede wszystkim próba odpowiedzi na pytanie, jakie działania prewencyjne w zaistniałej sytuacji zamierza on podjąć [9]. Na tej podstawie podjęta zostaje decyzja o tym, czy aktywować system i w jakim zakresie. Działania kierowcy mogą być jednak bardzo różne, co ma decydujący wpływ na rezultat zdarzenia, a tym samym na skuteczność

funkcjonowania systemu. W procesie projektowania oraz testowania tego typu systemów konieczne jest więc uwzględnienie tego, jakie działania kierowcy może podjąć w sytuacji krytycznej.

Zachowanie kierowcy samochodu w normalnych warunkach drogowych można w stosunkowo łatwy sposób rejestrować w trakcie jazdy rzeczywistym samochodem [10]. Taka metoda badawcza jest jednak praktycznie niemożliwa do wykorzystania w sytuacji wypadkowej. Do badania takich przypadków doskonale się natomiast nadaje symulator jazdy samochodem [11-14]. Wiele prac badawczych pokazuje, że symulatory są wiarygodnym źródłem danych na temat zachowania kierowcy [15-17] i mogą być z powodzeniem stosowane do badań związanych z projektowaniem samochodowych systemów bezpieczeństwa czynnego [8,18,19].

Prace badawcze CIOP-PIB

W CIOP-PIB prowadzone są badania mające na celu ocenę reakcji kierowcy w sytuacji odpowiadającej jednemu ze scenariuszy działania systemu typu AEB: wybiegnięcie pieszego przed jadący samochód. Zarejestrowane dane posłużą do opracowania matematycznego modelu opisującego reakcję kierowcy. Szczególny nacisk położono na różnice w reakcji kierowców zawodowych i amatorów. Model będzie umożliwiał symulację zachowania kierowcy i będzie mógł być wykorzystywany do projektowania algorytmów systemu AEB.

Podsumowanie

We współczesnych samochodach coraz częściej spotkać można zaawansowane systemy bezpieczeństwa czynnego, takie jak system awaryjnego hamowania AEB. Twórcom tego typu systemów przyświecał cel poprawy bezpieczeństwa w ruchu drogowym. Należy jednak mieć świadomość, że podstawowym zadaniem tych systemów nie jest samodzielne inicjowanie manewrów ratunkowych w obliczu zagrożenia wypadkiem, tylko wspieranie kierowcy w takiej sytuacji. I chociaż system może w ostateczności zainicjować automatyczne hamowanie, to w wielu przypadkach nie pozwoli to na uniknięcie wypadku, a jedynie na minimalizację jego skutków.

W takich sytuacjach wciąż kluczowe pozostaje zachowanie się kierowcy. Zbadanie tego zachowania jest więc niezwykle ważne z punktu widzenia bezpieczeństwa na drodze, dlatego też w wielu ośrodkach, w tym w CIOP-PIB prowadzone są prace badawcze w tym zakresie. Wyniki tych prac, czyli opis wpływu autonomicznego systemu awaryjnego hamowania na reakcje kierowcy, przedstawione zostaną w kolejnych publikacjach.

BIBLIOGRAFIA

- [1] *Wypadki drogowe w Polsce w 2013 roku*. Komenda Główna Policji, Biuro Ruchu Drogowego, Zespół Profilaktyki i Analiz (BRD KGP 2014).
- [2] European Commission: Road safety evolution in EU, March 2015 http://ec.europa.eu/transport/road_safety/pdf/observatory/historical_evolution_popul.pdf dostęp 20.03.2015
- [3] Zużewicz K., Łuczak A., Konarska M. *Kierowcy zawodowi poszkodowani w wypadkach przy pracy w latach 2002-2004 – wybrane aspekty*. „Bezpieczeństwo Pracy” 2007, 428, 5:24-26
- [4] Liu L., Cui J., Lic J. *Obstacle Detection and Classification in Dynamical Background*. “AASRI Procedia” 2012, 1, 435-440
- [5] Wang Y., Teoh E. K., Shen D. *Lane detection and tracking using B-snake*. “Image Vision Computer” 2004, 22, 1:269-280
- [6] McCall J. C., Trivedi M.M. *An integrated, robust approach to lane marking detection and lane tracking*. In *Proceedings of IEEE Intelligent Vehicles*. Parma, Italy 2004
- [7] Rosén E., Källhammer J.E., Eriksson D., Nentwich M., Fredriksson R., Smith K. *Pedestrian injury mitigation by autonomous braking*. *Accident Analysis & Prevention* 2010, 42, 6:1949-1957
- [8] Bella F., Russo R. (2011). *A Collision Warning System for rear-end collision: a driving simulator study*. “Procedia Social and Behavioral Sciences” 2011, 20:676-686
- [9] Habibovic A., Davidsson J. *Causation mechanisms in car-to-vulnerable road user crashes: Implications for active safety systems*. “Accident Analysis and Prevention” 2012, 49: 493-500
- [10] Adell E., Várhelyia A., dalla Fontana M. *The effects of a driver assistance system for safe speed and safe distance – A real-life field study*. *Transportation Research Part C* 19, 2011
- [11] Ronen A., Yair N. *The adaptation period to a driving simulator*. *Transportation Research Part F* 2013, 18:94-106
- [12] Chodnicki P., Guzek M., Lozia Z., Mackiewicz W., Stegienia I. *AutoPW – wirtualne środowisko badań kierowców*. „Czasopismo Techniczne” 2008, 6-M: 29-38
- [13] Godley S. T., Triggs T. J., Fildes B. N. *Driving simulator validation for speed research*. “Accident Analysis and Prevention” 2002, 34:589-600
- [14] Budziszewski P., Kędzior K. *Reakcja kierowcy w chwili poprzedzającej wypadek – badania z wykorzystaniem symulatora jazdy samochodem*. „Mechanik” 2013, 7:61-70
- [15] Alicandri E. *The Highway Driving Simulator (HYSIM): the next best thing to being on the road*. “Public Roads” 1994, 57, 3:19-23
- [16] Bella F. *Can the driving simulators contribute to solving the critical issues in geometric design?* “Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board” 2009, 2138:120-126 TRB, Washington
- [17] Jenkins J.M., Rilett L.R. *Application of distributed traffic simulation for passing behavior study*. “Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board” 2004, 1899:11-18 TRB, Washington
- [18] Cheng B., Masahiro H., Takamasa S. *Analysis of driver response to collision warning during car following*. Society of Automotive Engineers of Japan (JSAE) 2002, Review 23, 231-237
- [19] Jamson A.H., Lai F.C.H., Carsten O.M.J. *Potential benefit of an adaptive forward collision warning system*. “Transportation Research”. 2008, Part C Emerging Technologies, Vol.16c, 4:471-484

Publikacja opracowana na podstawie wyników zadania badawczego realizowanego w ramach działalności statutowej CIOP-PIB, finansowanego w latach 2013-2015 ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego.