



**Michał
Konarzewski**



**Piotr
Krzemień**

Dynamiczny pomiar prędkości pojazdu oparty na laserowej kontroli odległości

Streszczenie

W artykule przedstawiono problematykę stosowania popularnego wideorejestratora Videorapid 2A i zaproponowano autorskie rozwiązanie, które eliminuje konieczność zachowania stałej odległości między pojazdami w trakcie dokonywania pomiaru prędkości. Wykorzystanie takiego rozwiązania przez pojazdy policyjne wyeliminowałoby konieczność utrzymania stałej odległości między pojazdami, ponieważ prędkość pojazdu kontrolowanego może zostać obliczona nawet przy zmianie odległości między pojazdami. Elektroniczno-informatyczne rozwiązanie, będące nowoczesnym wideorejestratorem jazdy wykorzystującym laserowy czujnik odległości dodatkowo rozpoznaje numer rejestracyjny pojazdu, co pozwala na jego automatyczne sprawdzenie, np. w CEPiK.

Słowa kluczowe

Dynamiczny pomiar prędkości, wideorejestратор jazdy, laserowy czujnik odległości, opiniowanie przekroczeń prędkości, rozpoznawanie numerów tablic rejestracyjnych.

Otrzymano 9 grudnia 2023 r., zatwierdzono do druku 15 maja 2024 r.

DOI 10.4467/15053520PnD.24.003.19683

1. Wprowadzenie

Aktualnie w nieoznakowanych pojazdach polskiej policji wykorzystuje się wideorejestратор Videorapid 2A. Podstawową jego funkcjonalnością jest dokonywanie uśrednionego pomiaru prędkości pojazdu kontrolowanego w trakcie poruszania się przed lub za takim pojazdem na zadanym odcinku drogi. Cały przebieg takiego pomiaru jest rejestrowany przy zastosowaniu kamery zamontowanej z przodu, a nierzadko także i z tyłu pojazdu kontrolującego, co umożliwi obejrzenie nagrania, a także jego dokładną poklatkową analizę. Celem stosowania tego typu wideorejestratora jest wykrywanie wykroczeń drogowych popełnianych przez kierujących pojazdami, w szczególności polegających na poruszaniu się pojazdem

Mgr inż. Michał Konarzewski, Senior Software Engineer, Samsung R&D, ORCID 0009-0008-4804-3348; dr inż. Piotr Krzemień, Politechnika Koszalińska, Biuro Badania Wypadków Drogowych – Koszalin, ORCID 0000-0003-4757-0708.

z prędkością większą niż dozwolona. Możliwość ciągłej rejestracji obrazu pozwala także na utrwalanie innych wykroczeń, które popełniają uczestnicy ruchu drogowego.

Zmierzenie prędkości innego pojazdu polega na poruszaniu się za nim lub przed nim z tą samą prędkością na zadanym odcinku drogi. Z pomiaru takiego obliczana jest następnie uśredniona prędkość, która w rzeczywistości jest prędkością radiowozu. Zgodnie z instrukcją obsługi o prawidłowości wykonania takiego pomiaru – czyli możliwości przypisania zmierzonej prędkości pojazdowi kontrolowanemu – świadczy zachowanie tej samej odległości między pojazdami na początku i na końcu odcinka pomiarowego¹. Zmniejszenie tej odległości będzie świadczyło o tym, iż pojazd kontrolujący poruszał się z większą prędkością niż pojazd kontrolowany, co dyskwalifikuje taki pomiar. Zależność ta działa analogicznie w drugą stronę – zwiększenie dystansu między dwoma pojazdami świadczy o mniejszej prędkości pojazdu kontrolującego, dlatego w przypadku oddalania się do siebie pojazdów można stwierdzić, że prędkość pojazdu kontrolowanego nie była mniejsza niż zmierzona wideorejestratorem. Krótki czas pomiaru powoduje, że kierowca radiowozu w praktyce przez cały czas stara się utrzymać stałą odległość. Samo formalnie nieprawidłowe przeprowadzenie pomiaru nie wyklucza przydatności dowodowej nagrania, albowiem biegli są w stanie wykonać obliczenia metodami prezentowanymi w literaturze przedmiotu².

2. Poprawność dokonania pomiaru wideorejestratorem Videorapid 2A

Proces wykonania pomiaru prędkości przez pojazd kontrolujący może polegać na próbkowaniu jego chwilowej prędkości z zadaną częstotliwością (np. 10 odczytów na sekundę). Wartości wszystkich próbek są następnie sumowane i dzielone przez ich ilość. W ten sposób uzyskujemy średnią prędkość pojazdu na zadanym odcinku drogi.

W trakcie dokonywania pomiaru prędkości należy utrzymywać stałą odległość między pojazdem kontrolującym a kontrolowanym, przy czym odległość ta nie jest sprawdzana przez żadne urządzenie. Osobą odpowiedzialną za ten czynnik jest kierujący pojazdem kontrolującym, który musi wzrokowo oceniać dystans dzielący oba pojazdy. Czynność ta jest tym trudniejsza, im większa odległość dzieli oba pojazdy, a w pewnym momencie staje się niemożliwa.

¹ Prędkościomierz kontrolny Videorapid 2A. Instrukcja obsługi. Pobrane z: https://zurad.com.pl/wp-content/uploads/2021/03/Videorapid-2a_Instrukcja_obsługi.pdf (dostęp: 13.05.2024 r.).

² P. Krzemień, Ślady cyfrowe w rekonstrukcji zdarzeń drogowych – odbiorniki GPS, kamery samochodowe, monitoring (fotogrametria 3D), tachografy, „czarne skrzynki” i sterowniki pojazdów, w: K. J. Pawelec, P. Krzemień, (red.), Wypadki i inne zdarzenia drogowe. Opiniowanie w sprawach rekonstrukcji, Wolters Kluwer, Warszawa 2020 lub w K. J. Pawelec, P. Krzemień, (red.), Opiniowanie w sprawach przestępstw i wykroczeń drogowych, Wolters Kluwer, Warszawa 2023.

Jako przykładowe porównanie zostanie wykorzystana zależność, zgodnie z którą im dalej dany obiekt jest oddalony od obserwatora, tym mniej zauważalne są dla niego różnice w rozmiarze takiego obiektu. Wszystkie zdjęcia z poniższych rycin zostały wykonane telefonem komórkowym, w rozdzielczości 9248×6936 , bez zbliżenia.



Ryc. 1. Odległość 10 m od obserwatora.



Ryc. 2. Odległość 20 m od obserwatora.

Rycina 1 przedstawia zdjęcie wykonane w odległości 10 m od pojazdu. Na rycinie 2 znajduje się ten sam pojazd, ale oddalony o 20 m od obserwatora. Należy zauważyć, iż przy tak małych odległościach różnica 10 m jest na tyle znacząca, że

zauważalne jest istotne oddalenie się takiego obiektu. Realizacja pomiaru prędkości przez pojazd kontrolujący poruszający się na początku w odległości 20 m od pojazdu kontrolowanego, zaś na końcu pomiaru w odległości 10 m, będzie mogła zostać oceniona wzrokowo jako wadliwa, gdyż bez konieczności korzystania ze specjalistycznego sprzętu będzie można stwierdzić zmniejszenie odległości pomiędzy pojazdami, co oznaczać będzie poruszanie się z większą prędkością przez pojazd kontrolujący.



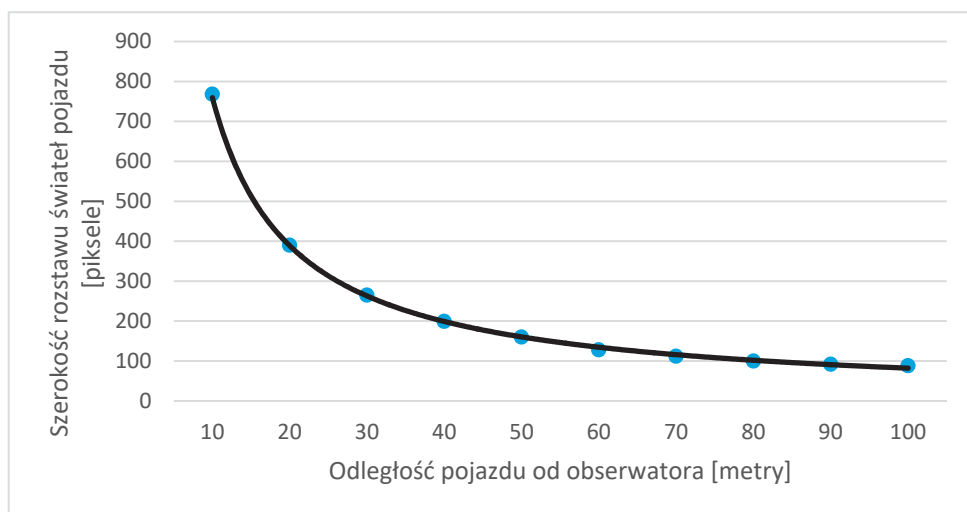
Ryc. 3. Odległość 90 m od obserwatora.



Ryc. 4. Odległość 100 m od obserwatora.

Na rycinach 3 i 4 przedstawiono z kolei ten sam pojazd sfotografowany w odległości odpowiednio 90 m i 100 m. Dla takich odległości różnica 10 m jest już prawie niezauważalna, gdyż wymiary obserwowanego obiektu ulegają niewidocznym gołym wzrokiem zmianom. Autor zmierzył szerokość rozstawu tylnych świateł pojazdu na poszczególnych rysunkach wyrażoną w pikselach. Na ryc. 1 było to 768 pikseli, zaś na ryc. 2 – 390 pikseli, co daje różnicę 378 pikseli. Na ryc. 3 były to 92 piksele, natomiast na ryc. 4 – niewiele mniej – 88 pikseli, co daje różnicę 4 pikseli. Oznacza to, że w przypadku dokonywania pomiaru prędkości przez pojazd kontrolujący poruszający się w odległości początkowej 100 m od pojazdu kontrolowanego, zmniejszenie tej odległości o 10 m może nie być możliwe do zidentyfikowania przez program komputerowy, a na pewno byłoby niemożliwe przez ludzkie oko podczas oglądania zarejestrowanego nagrania – zwłaszcza w przypadku nagrania w niskiej rozdzielczości.

Poniżej zamieszczono pełny wykres przedstawiający zmianę szerokości rozstawu świateł pojazdu (oś pionowa) wyrażoną w pikselach w stosunku do odległości pojazdu od obserwatora (oś pozioma) wyrażoną w metrach (ryc. 5).



Ryc. 5. Zmiana rozmiaru obiektu zależnie od odległości obserwacji.

Wykres ten przypomina funkcję wykładniczą malejącą, dążącą do zera. Dla kamery w telefonie komórkowym najbardziej zauważalne zmiany wielkości pojazdu są widoczne w odległości do około 50 m. Prędkość narastania rozmiaru kątownego jest tym większa, im obiekt jest bliżej oraz im ma większą prędkość zbliżania się do obserwatora i im jest szerszy, co wynika wprost z zależności trygonometrycznych. Jeśli zbliża się bardzo szybko, ale jest bardzo daleko, to stwarza wrażenie stojącego w miejscu lub zbliżającego się bardzo wolno, bo nad wpływem jego

prędkości i szerokości góruje duża odległość³. Możliwości rozpoznania prędkości obiektu zbliżającego się do obserwatora opisuje następująca zależność⁴:

$$S = \sqrt{\frac{w \cdot v}{k}} \quad (1)$$

gdzie:

S [m] – graniczna odległość, powyżej której nie jest możliwe rozpoznanie prędkości,

v [m/s] – prędkość obiektu,

w [m] – szerokość obiektu (w przypadku samochodu – bez uwzględnienia lusterek), w nocy rozstaw świateł,

k – próg detekcji obrazu przybliżającego się pojazdu⁵ będący stałą o wartości 0,002–0,004 rad/s.

Przy dokonywaniu pomiaru prędkości wideorejestratorem Videorapid 2A, istotne znaczenie ma więc przede wszystkim odległość między pojazdami, która jest wzrokowo kontrolowana przez kierującego pojazdem policyjnym. Pomiar ten może zostać zrealizowany w pełni poprawnie, jeżeli kierujący dopełni starań i utrzyma stałą odległość w czasie trwania całego pomiaru, a nie tylko na jego początku i końcu. Ze względu na ludzkie ograniczenia odległość ta powinna być tak dobrana, aby wzrokowa obserwacja umożliwiła jej kontrolowanie. Podkreślenia wymaga fakt, iż wzrokowa obserwacja jest podatna na niezauważalne błędy i tym samym – podczas poruszania się pojazdem – zmniejszenie odległości od poprzedzającego pojazdu na przykład z 75 m do 70 m będzie zapewne niezauważalne dla ludzkiego oka, natomiast przełoży się na uzyskaną prędkość.

Dla lepszego przedstawienia istoty tego problemu można opisać przykładowy pomiar prędkości. Załóżmy, że pojazd kontrolujący dokonywał pomiaru prędkości pojazdów poruszających się autostradą i został wyprzedzony przez inny pojazd. Kierujący pojazdem kontrolującym przyspieszył i gdy ocenił, że porusza się z zachowaniem stałej odległości za pojazdem kontrolowanym, rozpoczął pomiar jadąc z prędkością 175 km/h i znajdując się w odległości 75 m za pojazdem kontrolowanym. Pomiar został wykonany na odcinku drogi o długości 100 m (w odpowiadającym czasie 2,06 s), prędkość pojazdu kontrolującego była stała i wyniosła średnio 175 km/h. Jednakże ze względu na dużą odległość między pojazdami kierujący pojazdem kontrolującym nie zdał sobie sprawy z tego, iż odległość ta w czasie po-

³ P. Krzemień, Nietypowość rekonstrukcji zdarzeń z udziałem pojazdów szynowych, w: K. J. Pawelec, P. Krzemień, (red.), Wypadki i inne zdarzenia drogowe. Opiniowanie w sprawach rekonstrukcji, Wolters Kluwer, Warszawa 2020 lub K. J. Pawelec, P. Krzemień, (red.), Opiniowanie w sprawach przestępstw i wykroczeń drogowych, Wolters Kluwer, Warszawa 2023.

⁴ P. Olson, *Forensic Aspects of Driver Perception and Response*, Second Edition, Lawyers & Judges Lawyers & Judges Publishing Company, 2003.

⁵ P. Ciępka, J. Unarski, *Evaluation of the speed of oncoming vehicles, especially motorcycles*. Proceedings 29th International Scientific Conference of Forensic Engineering “Expert Forensic Science”, Brno 2020.

miaru zmalała do 70 m, co oznacza większą prędkość pojazdu kontrolującego. Pojazd kontrolowany pokonał w trakcie trwania pomiaru dystans 95 m. Sam pomiar trwał 2,06 s, bo długość tego czasu jest dobrana do prędkości radiowozu tak, aby pomiar był wykonany na odcinku (akurat w tym przykładzie) 100 m, co przekłada się na rzeczywistą prędkość pojazdu kontrolowanego wynoszącą 166 km/h, a zatem o 9 km/h mniejszą od zmierzonej. Na dzień 11 lipca 2023 r. policjant ukarałby kierującego pojazdem mandatem karnym w wysokości 800 zł i 9 punktów karnych za przekroczenie dopuszczalnej prędkości o 35 km/h. Rzeczywista zmierzona prędkość 166 km/h oznacza przekroczenie prędkości o 26 km/h, a za to wykroczenie rozporządzenia przewidują mandat karny w wysokości 400 zł i 7 punktów karnych.

3. Koncepcja wideorejestratora mierzącego odległość między pojazdami

W odpowiedzi na zaprezentowaną w poprzednim punkcie niedoskonałość prędkościomierza kontrolnego Videorapid 2A, która polega na braku możliwości mierzenia odległości między pojazdem kontrolującym a kontrolowanym podczas wykonywania pomiaru prędkości na całym jego odcinku, autor (M. Konarzewski) opracował projekt wideorejestratora z laserowym czujnikiem odległości, umożliwiającym mierzenie zarówno prędkości innych pojazdów, jak i odległości między pojazdem policyjnym a pojazdem kontrolowanym. Takie rozwiązanie pozwala na stałe monitorowanie oraz kontrolowanie tej odległości przez kierującego pojazdem policyjnym. Eliminuje to tym samym podejrzenia, iż odległość między pojazdami uległa nieznanym zmianom, gdyż kierujący pojazdem na podstawie odczytów czujnika zna odległość początkową oraz końcową, a także ma dostęp do odczytu zmiany tej odległości w czasie trwania całego pomiaru. Co ważne, nawet gdy ta odległość ulegnie zmianie w trakcie trwania pomiaru (co zresztą jest wysoce prawdopodobne, zwłaszcza przy pomiarach z dokładnościami sięgającymi centymetrów), nie stoi to na przeszkodzie w ustaleniu prędkości pojazdu kontrolowanego, gdyż korzystając z zależności fizycznych można taką prędkość nadal obliczyć.

Koncepcja omawianego wideorejestratora została przedstawiona na rycinie 6. Jako komputer zastosowano tutaj Raspberry PI 4B. Główny ekran służy do wyświetlania obrazu z kamery. Jest to ekran dotykowy, co pozwala na wygodniejsze posługiwanie się aplikacją. Jako kamera został użyty moduł Sony IMX477, który pozwala uzyskać obraz w rozdzielczości 4K i 60 klatkach na sekundę. Ze względu na sprzętowe ograniczenia komputera możliwym jest kodowanie przy zastosowaniu kodeka h.264 obrazu w rozdzielczości FullHD z częstotliwością 30 klatek na sekundę. Wartości te można podwyższyć do tych, które pozwala uzyskać moduł kamery, w przypadku zastosowania komputera o wyższych parametrach sprzętowych. Do odczytu prędkości pojazdu wykorzystano gniazdo OBD2, do którego wpięto adapter i podłączono go do komputera. Jako czujnik odległości zastosowano LiDAR TF03 firmy Benewake. Występuje on w dwóch wariantach: mierzącym od-

ległość do 100 m i do 180 m. Oprogramowanie, które łączy i synchronizuje wszystkie elementy systemu, zostało zrealizowane przy użyciu języka programowania C++.

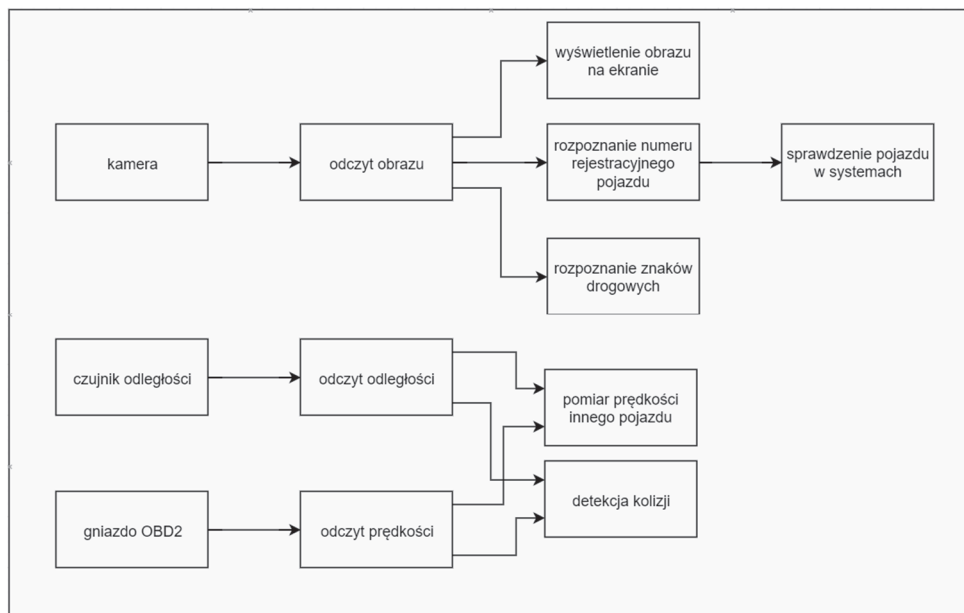


Ryc. 6. Wideorejestrator prędkości połączony z czujnikiem odległości.

Połączenie poszczególnych komponentów przedstawia rycina 7. Kamera jest źródłem obrazu, który jest nie tylko wyświetlany na ekranie, ale także poddawany analizie w celu rozpoznania na klatkach nagrania położenia tablic rejestracyjnych pojazdów, aby następnie wyodrębnić znajdujące się na nich litery i cyfry. Odczytane numery rejestracyjne mogą zostać wykorzystane m.in. do weryfikacji, czy pojazd posiada ważne ubezpieczenie lub czy nie został skradziony. Ponadto obraz z kamery może służyć do detekcji mijanych znaków drogowych, aby przypominać kierującemu np. o obowiązującym ograniczeniu prędkości. System umożliwia również detekcję kolizji, a zatem automatycznego zabezpieczenia określonego czasu nagrania przed nadpisaniem.

Powiązanie odczytu wykonywanego przez czujnik odległości i odczytu prędkości poprzez interfejs gniazda OBD2 umożliwia zaimplementowanie dynamicznego pomiaru odległości pomiędzy pojazdami. Kierujący nieoznakowanym pojazdem policji ma możliwość kontrolowania tej odległości w trakcie dokonywania całego pomiaru prędkości. Nie musi ponadto natychmiastowo dostosowywać swojej prędkości oraz utrzymywać tej samej odległości na początku i końcu trwania pomiaru, ponieważ zaimplementowany algorytm obliczy prędkość pojazdu kontrolowanego w oparciu o pomiary prędkości pojazdu kontrolującego i dystans między

pojazdami. Dodatkową funkcjonalnością zaimplementowaną w oparciu o powyższe odczyty jest możliwość detekcji kolizji. Implementacja systemu wykorzystuje te dane jako wejściowe, aby stale monitorować ryzyko zderzenia z poprzedzającym pojazdem. Uwzględnienie dystansu i prędkości pozwala na obliczenie, iż zbliżamy się na tyle szybko do pojazdu jadącego przed nami (lub znajdujemy się zbyt blisko niego), że intensywne rozpoczęcie hamowania przez taki pojazd uniemożliwi nam bezpieczne wyhamowanie za takim pojazdem.

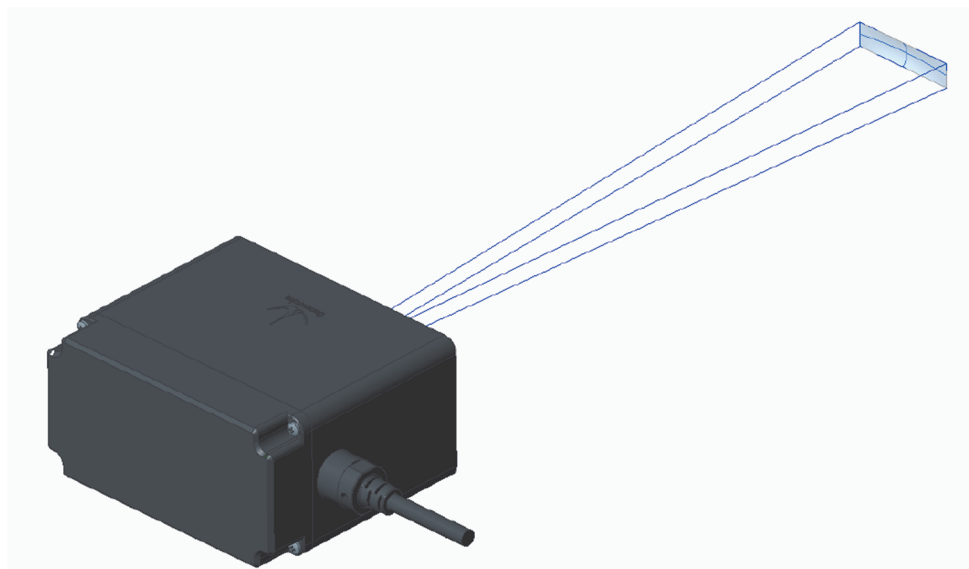


Ryc. 7. Diagram przedstawiający działanie systemu.

Dodatkową zaletą stosowania czujnika odległości w podobnej sytuacji drogowej jest przejazd drogą ekspresową lub autostradą, gdzie zgodnie z ustawą *Prawo o ruchu drogowym* (art. 19 ust. 3a) mamy obowiązek zachować odległość od poprzedzającego pojazdu wyrażoną w metrach, określaną jako nie mniejsza niż połowa liczby określającej prędkość pojazdu, jakim porusza się kierujący, wyrażoną w kilometrach na godzinę. Producenci samochodów wyposażonych w systemy bezpieczeństwa, które samodzielnie podejmują decyzję o hamowaniu w sytuacji rozpoznania sytuacji kolizyjnej, stosują podobne rozwiązania wykorzystujące czujniki odległości, jednakże pomimo tego, odczyty z takich czujników nie są prezentowane kierowcy.

4. Charakterystyka czujnika odległości LiDAR TF03

LiDAR TF03 jest certyfikowanym czujnikiem impulsowego czasu lotu (ang. Pulse Time of Flight, PToF), czyli kategorią czujnika mierzącego odległość między obiektami. Zastosowany laser impulsowy emituje impulsy światła, które po dotarciu do obiektu odbijają się od niego i powracają. Oznaczenie LiDAR nawiązuje do angielskiego akronimu LIDAR, utworzonego od wyrażenia *Light Detection and Ranging*⁶. Stanowi on metodę pomiaru odległości poprzez oświetlanie celu światłem laserowym i pomiarze odbicia za pomocą czujnika. Sama odległość między obiektami jest wyliczana na podstawie prędkości światła ze wzoru $d = \frac{1}{2} \cdot c \cdot \Delta t$, gdzie c jest stałą fizyczną wynoszącą $299\,792\,458 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Podłączenie urządzenia do komputera odbywa się za pośrednictwem interfejsu komunikacyjnego UART, CAN, RS485 lub RS232, w zależności od wariantu urządzenia.

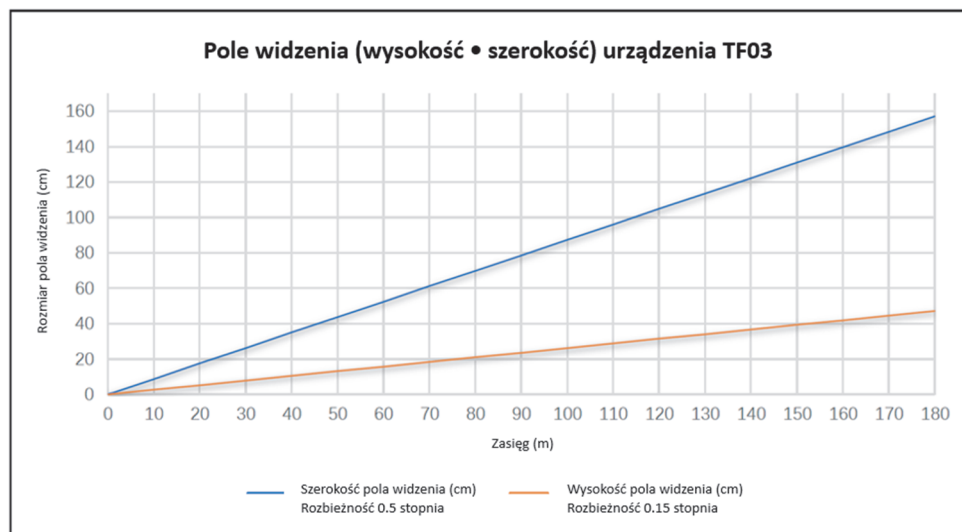


Ryc. 8. Czujnik LiDAR TF03⁷.

Wiązka światła o długości 905 nm posiada, zgodnie z ryciną 8, pole widzenia o rozbieżności poziomej $0,5^\circ$ oraz pionowej $0,15^\circ$. Oznacza to, iż wraz ze zwiększeniem odległości czujnika od obiektu rośnie obszar, który jest przez tę wiązkę pokryty i od którego to może ona zostać odbita i powrócić do urządzenia. Rozmiar ten rośnie liniowo zgodnie z wykresem przedstawionym na rycinie 9.

⁶ Lidar. Pobrane z: <https://pl.wikipedia.org/wiki/Lidar> (dostęp: 13.05.2024 r.).

⁷ TF03 UART/CAN Long-distance Single-point LiDAR User Manual. Pobrane z: <http://en.benewake.com/DataDownload/index.aspx?pid=20&lcid=76> (dostęp: 13.05.2024 r.).



Ryc. 9. Pole widzenia czujnika LiDAR TF03⁸.

Zgodnie z dokumentacją producenta LiDAR TF03 posiada dokładność ± 10 cm przy pomiarach na odległość do 10 m i 1% przy pomiarach powyżej 10 m. W przypadku pomiaru odległości między pojazdami, który odbywa się dynamicznie w trakcie jazdy i zazwyczaj na odległościach między pojazdami większych niż 10 m, należy zawsze przyjąć błąd pomiarowy 1% na korzyść pojazdu kontrolowanego. Zmierzona odległość 50 m może wygenerować błąd pomiarowy ± 50 cm, zatem przyjąć należy, iż pojazd kontrolowany znajdował się w chwili pomiaru w odległości 49,5 m od pojazdu kontrolującego, tj. zbliżył się do niego, czyli potencjalnie zmniejszył prędkość przy założeniu stałej prędkości pojazdu kontrolującego. Maksymalna programowalna częstotliwość pomiarów wynosi 1000 Hz, co pozwala na wykonywanie 1000 pomiarów na sekundę, przy czym producent deklaruje możliwość uzyskania 7000 Hz. LiDAR TF03 zasilany jest prądem stałym o napięciu w przedziale 5–24 V, co pozwala na użytkowanie go czerpiąc prąd z akumulatora samochodu, np. poprzez podłączenie urządzenia do gniazda zapalniczki samochodowej. Temperatura użytkowania w przedziale -25°C do $+60^{\circ}\text{C}$ umożliwia jego wykorzystanie praktycznie przez cały rok.

Podkreślenia wymaga fakt, iż niekorzystne warunki pogodowe, takie jak opady deszczu lub mgła, wpływają na poprawność odczytów odległości przez urządzenie TF03. Krople deszczu lub mgła potencjalnie pochłaniają lub rozpraszają wiązkę światła, przy czym nasilenie tego zjawiska uzależnione jest m.in. od intensywności opadów lub gęstości mgły. Producent urządzeń LiDAR zaleca w tym

⁸ TF03 UART/CAN Long-distance Single-point LiDAR User Manual. Pobrane z: <http://en.benewake.com/DataDownload/index.aspx?pid=20&lcid=76> (dostęp: 13.05.2024 r.).

przypadku skorzystanie z filtra tj. *rain-fog filter*. Problematyka ta jest obecnie tematem obszernych badań naukowych. Istnieją różne rozwiązania, które implementują algorytmy radzące sobie z takimi warunkami pogodowymi, ale ich przedstawienie wykraczałoby poza tematykę tego artykułu.

5. Metoda obliczenia prędkości średniej z zastosowaniem czujnika odległości

Podstawową korzyścią wynikającą ze stosowania czujnika odległości w trakcie dokonywania pomiaru prędkości jest to, iż w dość dokładny sposób jesteśmy w stanie ustalić prędkość pojazdu kontrolowanego. Do obliczeń wystarczające są prędkość pojazdu kontrolującego oraz odległość do pojazdu kontrolowanego przy założeniu próbkowania w tych samych punktach czasowych prędkości chwilowej pojazdu kontrolującego oraz odległości między pojazdami.

Wykorzystanie czujnika odległości przy pomiarach prędkości usprawnia wiele rzeczy. Przede wszystkim nie ma konieczności dokonywania pomiaru na standardowych odcinkach o długości 100 m lub 200 m, które przeważnie są praktykowane przez Policję. Przy wysokiej częstotliwości próbkowania pomiar można ograniczyć np. do jednej sekundy. Krótki czas pomiaru jest korzystny, ponieważ pomiar odległości przez czujnik odległości nie zostanie zakłócony przez łuk poziomy drogi lub zmiany wysokości. Ponadto nie ma konieczności utrzymywania stałej odległości między pojazdami w trakcie trwania całego pomiaru, gdyż każda jej zmiana nadal pozwala na matematyczne wyliczenie prędkości pojazdu kontrolowanego. Jest to kluczowa przewaga w stosunku do wideorejestratora niewykorzystującego czujnika odległości, ponieważ każde dynamiczne zwiększenie lub zmniejszenie prędkości przez pojazd kontrolowany jest natychmiast rozpoznawane przez taki czujnik i uwzględniane w obliczeniach. Brak takiego rozwiązania implikuje konieczność natychmiastowej reakcji przez kierującego pojazdem kontrolującym polegającej na zwiększeniu lub zmniejszeniu prędkości i dostosowaniu jej do pojazdu kontrolowanego.

Metodyka ustalenia prędkości pojazdu kontrolowanego sprowadza się do wykorzystania wzorów z ruchu jednostajnie przyspieszonego oraz prędkości średniej na danym odcinku drogi w czasie. Niech zmierzoną w czasie t prędkością początkową radiowozu będzie $V_{p1} = 20$ m/s, zaś $d_1 = 10$ m odległością od radiowozu do pojazdu jadącego przed nim. Po upływie 1 s w czasie t prędkość końcowa radiowozu wyniosła $V_{k1} = 21$ m/s, a odległość do tego samego pojazdu zmieniła się i wynosi $d_2 = 9$ m. Posiadając wyłącznie informację o prędkości radiowozu i odległości do innego pojazdu możemy obliczyć prędkość średnią tego pojazdu na odcinku drogi jaki pokonał w czasie t .

Przyspieszenie radiowozu obliczamy ze wzoru:

$$a = \frac{V_k - V_p}{t} \quad (2)$$

wyniosło ono:

$$a_1 = \frac{21 - 20}{1} = 1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \quad (3)$$

Drogę w ruchu przyspieszonym, jaką pokonał radiowóz przy prędkości początkowej $V_{p1} = 20 \text{ m/s}$ w czasie 1 s przy przyspieszeniu $1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ obliczamy ze wzoru:

$$s = V_0 t + \frac{1}{2} a t^2 + \frac{1}{6} \frac{(a_k - a_p)}{t} t^2 \quad (4)$$

wyniosła ona:

$$s_1 = 20 \cdot 1 + \frac{1}{2} \cdot 1 \cdot 1^2 + \frac{1}{6} \cdot \frac{(1 - 0)}{1 \text{ s}} \cdot 1^2 = 20,67 \text{ m} \quad (5)$$

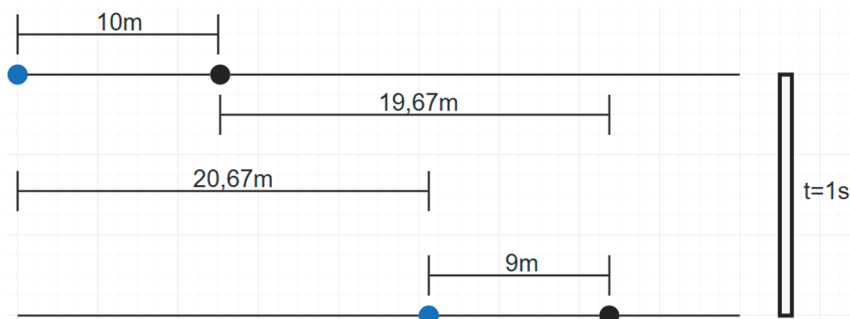
Odcinek drogi pokonany w tym samym czasie przez drugi pojazd jest odcinkiem drogi, jaki radiowóz pokonał w czasie jednej sekundy ruchu jednostajnie przyspieszonego, pomniejszony o nową różnicę odległości między pojazdami, zatem:

$$s_2 = V_{p1} - (d_1 - d_2) = 20,67 - (10 - 9) = 19,67 \text{ m} \quad (6)$$

Wiedząc, że drugi pojazd w czasie 1 s pokonał dystans $19,67 \text{ m}$, możemy obliczyć jego prędkość średnią na tym odcinku drogi:

$$V_{sr} = \frac{s}{t} = \frac{19,67}{1} = 19,67 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (7)$$

Na rycinie 10 niebieskim punktem zaznaczono pozycję radiowozu, zaś czarnym pozycję drugiego pojazdu. Na początku pomiaru odległość między pojazdami wynosiła $d_1 = 10 \text{ m}$, a po upływie 1 s odległość ta wynosiła $d_1 = 9 \text{ m}$. Radiowóz pokonał w tym czasie odcinek $20,67 \text{ m}$, co oznacza tym samym, iż drugi z pojazdów przejechał $19,67 \text{ m}$. Wyliczona średnia prędkość drugiego pojazdu wyniosła zatem $19,67 \text{ m/s}$.



Ryc. 10. Zmiana położenia poszczególnych pojazdów.

Zastosowanie odczytu chwilowej prędkości w połączeniu ze zmierzoną odległością między pojazdami pozwala na wykonywanie takiej czynności częściej niż jeden raz na sekundę. Interwał ten można skrócić, co pozwoli na ustalenie prędkości pojazdu kontrolowanego w jeszcze krótszym czasie. Samą ilość powtórzeń takiej czynności można zwiększyć np. do 10 na sekundę. Uzyskamy w ten sposób 10 wyliczonych wartości prędkości średniej pojazdu kontrolowanego, z których obliczymy jedną prędkość średnią.

6. Podsumowanie

Głównym problemem użytkowania wideorejestratora Videorapid 2A jest obowiązek utrzymania stałej odległości między pojazdami na początku i końcu pomiaru. Ze względu na ograniczenia percepcji człowieka niemożliwym jest utrzymanie takiej odległości w tych chwilach, a tym bardziej w trakcie trwania całego pomiaru. Ponieważ w wideorejestratorze Videorapid 2A nie ma urządzenia, które mogłoby kontrolować ten dystans, to ze względu na brak gwarancji poprawności dokonanego pomiaru, tego typu urządzenia nie powinny być stosowane w praktyce. Jak zostało przedstawione powyżej, autor (M. Konarzewski) opracował urządzenie rejestrujące w sposób zsynchronizowany zarówno prędkość, jak i odległość, których połączenie pozwala na ustalenie prędkości pojazdu kontrolowanego. Obecny postęp technologiczny umożliwi nie tylko budowę tego typu urządzeń, ale podnosi także poczucie sprawiedliwości, ponieważ eliminuje wątpliwości co do tego, czy pomiar został wykonany prawidłowo. Może się to przełożyć na zmniejszenie ilości wniosków o ukaranie, jakie kieruje policja do sądów, w związku z odmową przyjęcia mandatu przez kierującego pojazdem, co jednocześnie odciąży także biegłych sądowych specjalizujących się w analizie nagrań z takich pomiarów, którzy nierzadko są powoływani przez sąd w tego typu sprawach.

Bibliografia

1. Ciepka, P., Unarski, J. (2020). *Evaluation of the speed of oncoming vehicles, especially motorcycles*. Proceedings 29th International Scientific Conference of Forensic Engineering "Expert Forensic Science", Brno.
2. Krzemień, P. (2023). Ślady cyfrowe w rekonstrukcji zdarzeń drogowych – odbiorniki GPS, kamery samochodowe, monitoring (fotogrametria 3D), tachografy, „czarne skrzynki” i sterowniki pojazdów. W: K. J. Pawelec, P. Krzemień (red.), *Opiniowanie w sprawach przestępstw i wykroczeń drogowych* (s. 362–405). Wolters Kluwer.
3. Krzemień, P. (2020). Nietypowość rekonstrukcji zdarzeń z udziałem pojazdów szynowych. W: K. J. Pawelec, P. Krzemień (red.), *Wypadki i inne zdarzenia drogowe. Opiniowanie w sprawach rekonstrukcji* (s. 502–522), Wolters Kluwer.
4. Olson, P. (2003). *Forensic Aspects of Driver Perception and Response*, Second Edition, Lawyers & Judges Lawyers & Judges Publishing Company.

5. Olszowski, S. (2023). Wyzwania prawne i regulacyjne związane z wykorzystaniem radarów w pomiarze prędkości pojazdów. Studium przypadku radaru Iskra 1. W: P. Ciępka (red.), *Paragraf na Drodze*, wydanie specjalne.
6. Prędkościomierz kontrolny Videorapid 2a. Instrukcja obsługi. https://zurad.com.pl/wp-content/uploads/2021/03/Videorapid-2a_Instrukcja_obsługi.pdf
7. Lidar (b.d.). W: *Wikipedia*. Pobrano 13.05.2024 r. z <https://pl.wikipedia.org/wiki/Lidar>
8. TF03 UART/CAN Long-distance Single-point LiDAR User Manual. <http://en.benewake.com/DataDownload/index.aspx?pid=20&lcid=76>

* * *

Vehicle speed dynamic measurement based on laser distance sensor

Abstract

The article presents the issue of using a popular driving video recorder Videorapid 2a and proposes an original solution which eliminates the need for keeping the same distance between both vehicles the speed of a vehicle is being measured. The use of such solution by police vehicles would eliminate the need for keeping a constant distance between vehicles, because the speed of the controlled vehicle can still be calculated even when the distance between vehicles is changed. The electronic and IT solution, which is a modern driving video recorder that uses a laser distance sensor, additionally recognizes the vehicle's registration number, which allows its automatic check in, for instance, Central Register of Vehicles and Drivers.

Keywords

Speed dynamic measurement, driving video recorder, laser distance sensor, judgment on speeding, license plate numbers recognition.

