

Jarosław MOCZARSKI

Identyfikacja elementów taboru kolejowego z wykorzystaniem sensorów laserowych

Streszczenie

Umiejętność identyfikacji taboru i przewożonych ładunków może w istotny sposób podnieść bezpieczeństwo transportu kolejowego oraz efektywność kontrolowania i sterowania ruchem pociągów. W transporcie kolejowym nie są dotychczas stosowane metody automatycznej identyfikacji poruszającego się taboru oraz położenia przewożonych ładunków metodą oceny ich kształtu i rozmiarów. Celem realizowanych badań była analiza możliwości identyfikacji z wykorzystaniem dostępnych na rynku sensorów laserowych. Skonstruowano sprzętowo-programową platformę pomiarową, która umożliwiła prowadzenie prac badawczych w laboratorium oraz w rzeczywistych warunkach terenowych. Z wykorzystaniem aplikacji komputerowej funkcjonującej w środowisku programistycznym Matlab tworzone są modele cyfrowe badanych obiektów oraz jest prowadzona ich identyfikacja w trakcie przemierzania w polu widzenia układu pomiarowego, złożonego z odpowiednio skonfigurowanego zestawu sensorów

WSTĘP

Wykorzystanie nowoczesnych technik pozyskiwania i analizy danych daje szerokie możliwości zastosowania w identyfikacji taboru oraz ładunków przewożonych transportem kolejowym.

Aktualnie, podstawową metodą kontroli składu pociągu oraz położenia przewożonych ładunków jest obserwacja wzrokowa. Obejmuje ona ocenę kształtu, koloru, pozycji przestrzennej i rozmiarów, odczyt numeru ewidencyjnego, obserwację sygnałów końca pociągu itp.

Podstawową metodą lokalizacji taboru jest wykrywanie zestawów kołowych. Najczęściej wykorzystywane są w tym celu czujniki indukcyjne. W przypadku bardziej zaawansowanych systemów, kontrolowana jest także liczba osi przejeżdżających pojazdów, ich prędkość oraz kierunek ruchu.

Do identyfikacji poruszających się obiektów oraz przewożonych ładunków są wykorzystywane różne technologie i techniki wykonania. Różnią się one metodą realizacji oraz rodzajem zbieranych danych. Do najczęściej stosowanych należą: kody paskowe, technologia RFID (Radio Frequency Identification) oraz systemy wizyjne.

W przypadku transportu kolejowego, zastosowanie technologii kodów paskowych lub mikrochipów z anteną, aktywowanych za pomocą fal radiowych, wymaga odczekania każdego z poszukiwanych elementów taboru lub ładunku odpowiednim identyfikatorem. Ogranicza to zakres identyfikacji do ściśle określonych, wcześniej oznakowanych obiektów.

Znacznie większe możliwości identyfikacji udostępniają systemy wizyjne. Ich niekorzystną cechą są stosunkowo wysokie ceny, ograniczające zakres zastosowań, a także wymagania dotyczące jakości oświetlenia obiektów poddawanych identyfikacji.

Istotą badań realizowanych w ramach projektu jest analiza możliwości identyfikacji konturów taboru kolejowego i ładunków z wykorzystaniem dostępnych na rynku punktowych i liniowych sensorów pomiarowych oraz systemów wizualizacji sygnałów pomiarowych. Umiejętność rozpoznawania konturów stanowi podstawę dla opracowania metod identyfikacji taboru oraz jego elementów, a także rozmiarów, kształtu i położenia (na pojeździe) przewożonych ładunków.

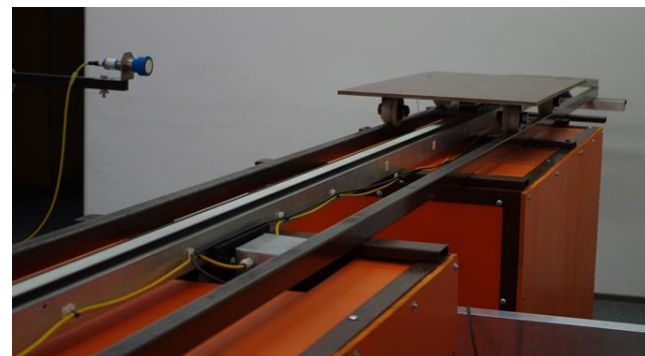
1. SPRZĘTOWO-PROGRAMOWA PLATFORMA POMIAROWA

W laboratorium Instytutu Kolejnictwa zbudowano stanowisko badawcze (rys. 1), którego głównymi elementami są: tor pomiarowy, ruchoma płaszczyzna badawcza oraz platforma sprzętowo-programowa wyposażona w sensory laserowe i ultradźwiękowe.



Rys. 1. Widok ogólny stanowiska badawczego w pomieszczeniu laboratorium

Ruchoma płaszczyzna badawcza porusza się na torze pomiarowym o długości ok 6 m (rys. 2). Umożliwia mocowanie badanych modeli obiektów o różnych kształtach i gabarytach.

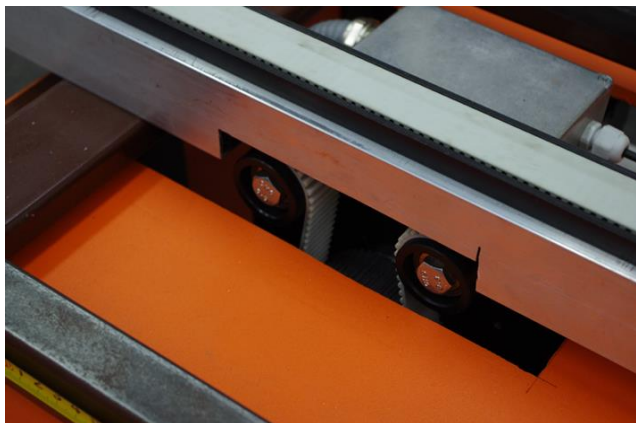


Rys. 2. Ruchoma płaszczyzna badawcza na torze pomiarowym

Napęd ruchomej płaszczyzny badawczej zrealizowano wykorzystując:

- silnik liniowy z zabudowanym enkoderem,
- serwowzmacniacz,
- przekładnię planetarną.

Moduł napędowy jest połączony z płaszczyzną badawczą za pomocą paska zębatego (rys. 3).



Rys. 3. Moduł napędowy ruchomej płaszczyzny badawczej

Układ napędowo – sterujący płaszczyzny badawczej umożliwia:

- ruch płaszczyzny w wybranym kierunku („w lewo” lub „w prawo”), a także wielokrotnie powtarzany ruch „cykliczny”,
- sterowanie ruchem płaszczyzny oraz jej przemieszczanie na torze pomiarowym w sposób automatyczny lub manualny,
- regulację prędkości przemieszczania płaszczyzny.

Na rysunku 4 zaprezentowano widok pulpitu sterującego platformy pomiarowej.

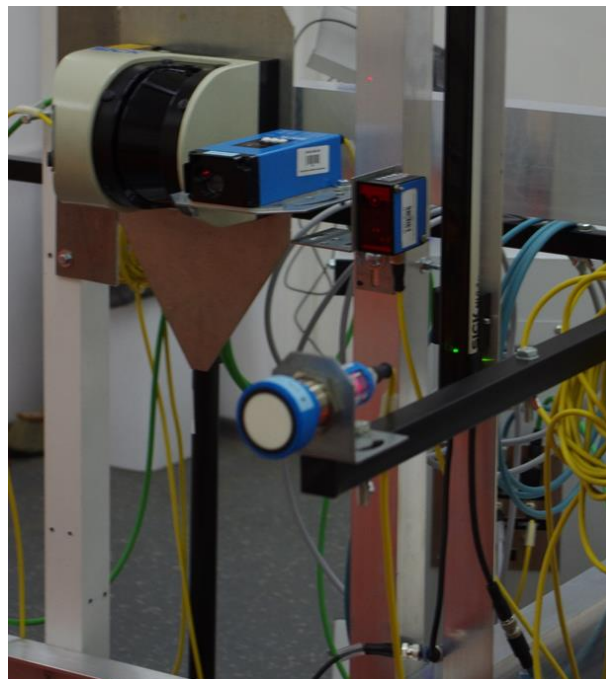


Rys. 4. Widok pulpitu sterującego wraz z ekranem HMI umożliwiającym wybór parametrów wykonywanych eksperymentów

Sprzętowo-programowa platforma pomiarowa składa się z:

- systemu sterowania ruchem płaszczyzny badawczej,
- systemu czujników pomiarowych,
- interfejsu sprzętowego zapewniającego fizyczne podłączenie czujników do modułów pomiarowych,
- modułu pomiaru prędkości taboru kolejowego,
- oprogramowanego modułu synchronicznego przetwarzania danych umożliwiającego zadawanie wartości parametrów procesu pomiarowego oraz zapewniającego archiwizację i analizę danych pomiarowych i ich wizualizację graficzną.

Aktualna konfiguracja platformy pomiarowej pozwala realizować eksperymenty z wykorzystaniem czujników analogowych i cyfrowych. Platforma jest wyposażona w dalmierze laserowe średniego zasięgu, skaner laserowy 2D, czujnik ultradźwiękowy oraz zaawansowaną kurtynę pomiarową. Na rysunku 5 przedstawiono czujniki pomiarowe zabudowane na stanowisku badawczym. Konstrukcja platformy umożliwia jej rozbudowę o kolejne moduły pomiarowe.



Rys. 5. Widok czujników pomiarowych zabudowanych na stanowisku badawczym

Platforma pomiarowa umożliwia realizację następujących funkcji:

- wybór czujników do wykonania pomiarów, bez konieczności ich fizycznego odłączenia od układu pomiarowego,
- wybór kierunku i zadawanie prędkości przemieszczania płaszczyzny badawczej,
- synchronizację odczytów z różnych zastosowanych urządzeń i czujników pomiarowych oraz ich wspólną wizualizację w trakcie realizacji pomiaru,
- dla skanera 2D - wybór kąta otwarcia, dla którego powinny być rejestrowane dane pomiarowe,
- ręczne sterowanie napędem (lewo/prawo) i ustawienie płaszczyzny w wybranym położeniu,
- tworzenie, zapamiętywanie i wybór scenariuszy realizacji kolejnych pomiarów,
- pomiar prędkości przemieszczania badanych obiektów,
- zapis danych pomiarowych (w formacie csv) w pamięci wewnętrznej modułu przetwarzania danych oraz na nośniku wymiennym, a także transmisję danych i sterowanie platformą (dwukierunkowa wymiana danych) z użyciem łącza Ethernetowego (np. z innym komputerem).

Dla wyboru wartości parametrów pracy poszczególnych sensorów ich producent, firma SICK, udostępniła własny interfejs użytkownika pod nazwą SOPAS (SICK Open Portal for Application and Systems Engineering Tool) stanowiący narzędzie konfiguracyjne.

Wyzwalanie odczytu z czujników może być realizowane w funkcji drogi (wg wskazań enkodera) – co określoną jednostką drogi, w funkcji czasu – co określoną jednostką czasu lub w funkcji czasu – po zajściu określonych, kolejnych zdarzeń.

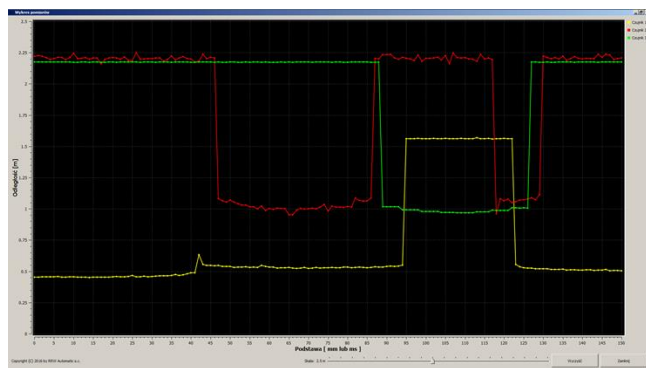
Sprzętowo-programowa platforma pomiarowa umożliwia także prowadzenie badań w terenie, bez udziału ruchomej płaszczyzny badawczej. W przypadku badań laboratoryjnych, do regulacji i pomiaru prędkości ruchomej płaszczyzny badawczej jest wykorzystywany enkoder zabudowany w bloku silnika liniowego. W przypadku realizacji pomiarów w terenie, prędkość poruszających się obiektów rzeczywistych (taboru kolejowego) jest mierzona z wykorzystaniem specjalnego modułu pomiaru prędkości, który stanowi integralną część platformy pomiarowej. Moduły tworzą bazy pomiarowe wyposażone w fotoelektryczne czujniki światłowodowe oraz system pomiaru i rejestracji prędkości (wykorzystujący samodzielny PLC). Konstrukcja baz pomiarowych umożliwia ich mocowanie do szyn UIC60 lub S49. Mogą być także wykorzystywane podczas pomiarów realizowanych w laboratorium. Wyniki pomiaru prędkości obiektów są zapisywane w pliku csv wraz z wynikami pomiarów realizowanych przez sensory platformy pomiarowej oraz obrazowane na wyświetlaczu HMI pulpitu sterującego.

Platforma pomiarowa wyposażona w zestaw sensorów umożliwia bezkontaktowy pomiar odległości, przemieszczenia i pozycji przestrzennej wybranych obiektów (modeli lub obiektów rzeczywistych) oraz akwizycję i obrazowanie danych pomiarowych.

2. IDENTYFIKACJA PRZEMIESZCZAJĄCYCH SIĘ OBIEKTÓW

W realizowanym projekcie, do wykrywania poruszających się obiektów i rozpoznawania ich konturów wykorzystano dostępne na rynku czujniki laserowe do bezkontaktowego pomiaru odległości, przemieszczenia i pozycji przestrzennej (w szczególności dalmierze laserowe, skaner przestrzeni 2D oraz zaawansowaną kurtynę pomiarową).

Na rysunku 6 zaprezentowano przykładowe wyniki pomiarów (dla czujników ultradźwiękowych i laserowych) wizualizowane w trakcie eksperymentów na monitorze ekranowym platformy.



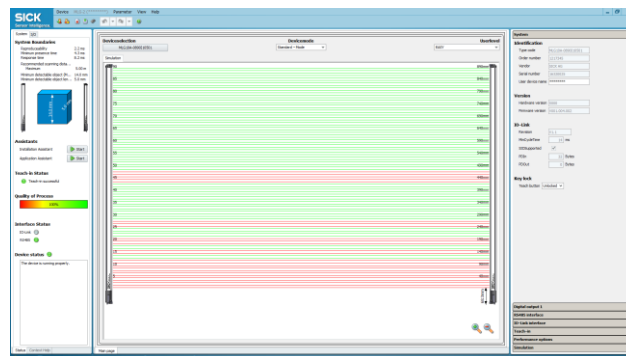
Rys. 6. Obserwacja trzech, ustawionych szeregowo obiektów typu „walec” (o różnych średnicach). Prędkość przesuwu płaszczyzny badawczej $v=160$ mm/s, częstotliwość odczytu danych z czujników pomiarowych – co 1 mm przesuwu płaszczyzny

W przyjętej metodzie identyfikacji obiektów przyjęto następujące warunki realizacji pomiarów:

- układ pomiarowy (zestaw sensorów w odpowiedniej konfiguracji przestrzennej) pozostaje nieruchomy,
- obserwowane obiekty przemieszczają się w polu widzenia sensorów ze znaną prędkością,
- w trakcie eksperymentu następuje pomiar:
 - odległości elementów powierzchni poruszających się obiektów, z wykorzystaniem liniowych dalmierzy laserowych (pomiar punktowy),

- odległości elementów powierzchni poruszających się obiektów, z wykorzystaniem skanera 2D (pomiar liniowy, w płaszczyźnie obrotu płamki lasera),
- konturu obiektu przemieszczającego się przez laserową barierę (kurtynę) pomiarową.

Kurtyna pomiarowa umożliwia obserwowanie konturów zewnętrznych, a także wewnętrznych obiektu (w przypadku np. otworów, wcięć, szczelin itp.). Na rysunku 7 przedstawiono wynik obserwacji konturu obiektu zobrazowany na ekranie interfejsu użytkownika.



Rys. 7. Wynik obserwacji obiektu o złożonym kształcie z wykorzystaniem kurtyny pomiarowej (obraz z interfejsu użytkownika SO-PAS)

Linie koloru czerwonego obrazują promienie laserowe blokowane przez elementy obiektu.

Odczyt wyników pomiarów z poszczególnych sensorów następuje z określoną (wybieraną przez operatora) częstotliwością, w funkcji czasu lub drogi przemieszczenia obiektu. Jest realizowany w sposób synchroniczny, jednocześnie dla wszystkich czujników wykorzystywanych w procesie pomiaru. Konfiguracja przestrzenna czujników jest znana i stanowi istotny atrybut realizowanego eksperymentu.

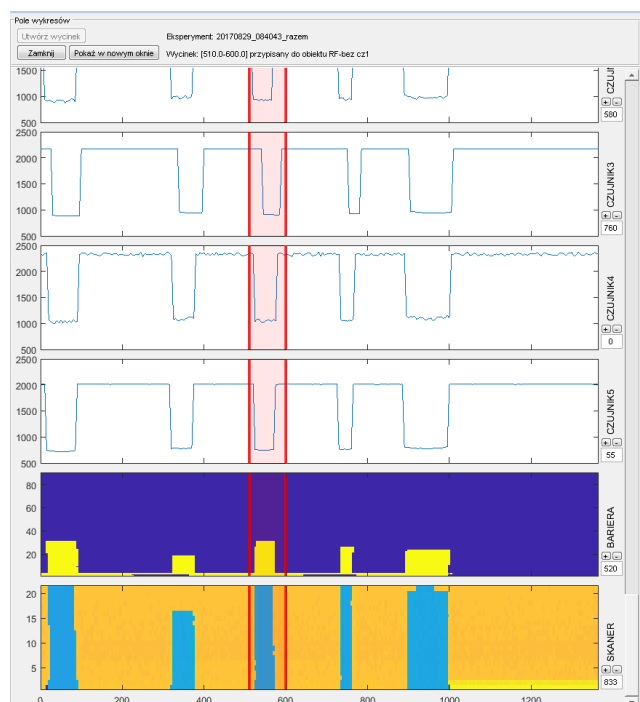
Zbiór zmierzonych wartości (odległości do elementów powierzchni obiektów oraz zarejestrowanych konturów) stanowi model cyfrowy obserwowanego obiektu, właściwy dla określonej wcześniej konfiguracji czujników oraz ich ustawienia przestrzennego względem poruszającego się obiektu.

Do tworzenia i późniejszej identyfikacji przygotowano aplikację komputerową, funkcjonującą w środowisku programistycznym Matlab, z wykorzystaniem niezbędnych bibliotek - w szczególności Neural Network Toolbox, rozszerzającej środowisko Matlab o funkcje projektowania, implementacji, wizualizacji i symulacji sieci neuronowych.

Aplikacja umożliwia analizę danych pomiarowych uzyskiwanych w wyniku eksperymentów prowadzonych zarówno w laboratorium jak również w terenie, z wykorzystaniem zbioru sensorów oraz modułu pomiaru prędkości przemieszczającego się taboru.

Modele cyfrowe badanych obiektów powstają w procesie „uczenia” aplikacji – drogą wielokrotnego powtarzania eksperymentów (obserwacji obiektów) przy różnych prędkościach przemieszczania i częstotliwościach rejestracji danych pomiarowych.

W procesie identyfikacji wybranego obiektu, typu obiektów (np. obiekty typu „walec”) lub określonej sekwencji kolejno pojawiających się obiektów, następuje porównanie wyników obserwacji ze zbiorem wcześniej utworzonych modeli. Interfejs graficzny daje możliwość wyboru obiektów przeznaczonych do identyfikacji, znajdujących się w polu widzenia układu pomiarowego (rys. 8), a także wprowadzania wartości parametrów realizowanych eksperymentów.



Rys. 8 Interfejs graficzny aplikacji – wybór obiektu do identyfikacji

Istotnym elementem prowadzonych badań jest ocena przydatności stosowanych sensorów różnych typów do obserwacji i identyfikacji obiektów różniących się rozmiarami, kształtem, fakturą powierzchni, a także prędkością przemieszczania.

PODSUMOWANIE

Sprzętowo-programowa platforma pomiarowa umożliwia prowadzenie badań porównawczych obiektów o różnych kształtach, wykonanych z różnych materiałów i poruszających się z różnymi prędkościami.

Aplikacji komputerowa funkcjonująca w środowisku Matlab umożliwiająca tworzenie modeli cyfrowych obiektów, a następnie ich identyfikację.

Platforma badawcza pozwala określać przydatność dostępnych sensorów do bezkontaktowego wyznaczenia pozycji przestrzennej elementów taboru i ładunków oraz, w sposób eksperymentalny, dobierać ich liczbę i konfigurację umożliwiającą efektywną identyfikację badanych obiektów.

Stanowisko laboratoryjne, wyposażone w punktowe i liniowe czujniki laserowe daje możliwość zabudowy różnych modeli obiektów rzeczywistych i ich przemieszczania z wybranymi prędkościami, zadawanie, z dużą dokładnością, parametrów ruchu platformy badawczej (zakres przesuwu, zakres pomiaru, kierunek ruchu, prędkość) oraz częstotliwości rejestracji wyników pomiarów (w jednostce czasu lub drogi). Pozwala obserwować ruchome obiekty z wykorzystaniem sensorów laserowych i ultradźwiękowych (analogowych i cyfrowych), wizualizować wyniki pomiarów i tworzyć modele cyfrowe badanych elementów. Niezwykle istotną cechą sprzęto-

wo-programowej platformy pomiarowej jest możliwość synchronicznego odczytu danych pomiarowych generowanych przez poszczególne czujniki.

Badania mogą być realizowane zarówno w laboratorium jak też w terenie, w warunkach rzeczywistych, podczas obserwacji poruszającego się taboru kolejowego.

Kontynuowane prace badawcze są ukierunkowane na doskonalenie metod doboru sensorów pomiarowych i ich konfiguracji przestrzennej, a także modyfikację aplikacji komputerowej, zmierzającą do budowy specjalizowanych systemów przeznaczonych do identyfikacji wybranych, istotnych ze względu na przyjęty cel działania, elementów taboru i przewożonych ładunków.

Identification of rolling stock elements with use of laser sensors

Abstract

The ability to identify rolling stock and carried loads could in important way increase the safety of the railway transport and the efficiency of traffic control. In railway transport, automatic identification of rolling stock and the position of the loads carried by the method of estimating their shape and size are not used. The aim of the research was to analyze the possibilities of identification with the use of commercially available laser sensors. A hardware and software measurement platform has been constructed, which allows to carry out research work in the laboratory and in real field conditions. With the use of a computer application in the Matlab programming environment, digital models of the real objects are created and their identification is carried out during the movement in the field of view of the measuring system consisting of a properly configured set of sensors.

Autor:

dr hab. inż. **Jarosław Moczarski** – Instytut Kolejnictwa, Warszawa, Zakład Sterowania Ruchem i Teleinformatyki;

e-mail: jmoczarski@ikolej.pl

Artykuł powstał w ramach projektu własnego Instytutu Kolejnictwa pt. „Weryfikacja bezdotykowej metody detekcji krawędzi na przykładzie taboru kolejowego” finansowanego z dotacji MNiSzW na działalność statutową.