

Jarosław MOCZARSKI

IDENTYFIKACJA TABORU W ZARZĄDZANIU TRANSPORTEM KOLEJOWYM

Istotnym czynnikiem poprawiającym bezpieczeństwo kolejowego procesu transportowego jest automatyczne rozpoznawanie poruszającego się taboru i przewożonych ładunków. Wykorzystanie nowoczesnych technik pozyskiwania i analizy danych pomiarowych pozwala identyfikować przemieszczające się obiekty poprzez ocenę ich kształtu i rozmiarów. Do tworzenia modeli cyfrowych badanych obiektów oraz ich późniejszej identyfikacji przygotowano aplikację komputerową, funkcjonującą w środowisku programistycznym Matlab. Aplikacja wykorzystuje funkcje projektowania, implementacji, wizualizacji i symulacji sieci neuronowych. Konfiguracja stanowiska badawczego pozwala realizować eksperymenty z wykorzystaniem sensorów analogowych i cyfrowych.

WSTĘP

Rozwój gospodarczy, a także nasilająca się globalizacja i tendencje integracyjne wymuszają unifikację i standaryzację systemów transportowych. Realizowana jest modernizacja i rozbudowa infrastruktury. W szczególności dotyczy to transportu kolejowego.

Wzrasta prędkości pociągów i natężenie ruchu na liniach kolejowych. Rosną wymagania i oczekiwania dotyczące bezpieczeństwa, punktualności pociągów i niezawodności systemu transportowego. Coraz większego znaczenia nabiera efektywne wykorzystanie elementów infrastruktury oraz taboru.

Zmniejsza się rola człowieka w realizacji funkcji sterowania i zarządzania przewozami. Powstają obszarowe centra sterowania ruchem. Wprowadzane jest także scentralizowane zarządzanie taborem, organizowanie ruchu pociągów i przemieszczania ładunków. Do rozwiązywania występujących problemów decyzyjnych są coraz częściej wykorzystywane automatyczne systemy doradcze, wspomagające działania człowieka, lub decyzje są podejmowane w sposób całkowicie automatyczny, zgodnie z przyjętym wcześniej algorytmem postępowania, kryteriami oceny i optymalizacji.

Niezależnie od występującego poziomu automatyzacji, jakość podejmowanych decyzji zależy od dostępu do informacji o przebiegu procesu przewozowego. Także kontrola skuteczności działań podejmowanych w wyniku procesu decyzyjnego wymaga obserwacji skutków ich wdrożenia.

Optymalizacja procesów transportowych na dużych obszarach wymusza procesy integracji struktur lokalnych, co wyraża się między innymi pozyskiwaniem i wymianą niezbędnych informacji. Efektywność zarządzania zależy od poziomu wiarygodności informacji oraz szybkości ich przesyłania, przetwarzania i analizy.

Dla efektywnego i bezpiecznego sterowania i zarządzania ruchem potrzebne i niezwykle użyteczne są informacje wskazujące położenie pociągów, poszczególnych wagonów i przewożonych ładunków na sieci kolejowej (zajętość odcinków linii, torów) w szczególności na stacjach rozrządowych, manewrowych, bocznicach przemysłowych, torach postojowych, terminalach kontenerowych, centrach logistycznych, punktach naładunku, przeladunku i wyładunku (rys. 1), stacjach i przystankach pasażerskich (rys. 2). Istotne dla bezpieczeństwa przewozów są informacje dotyczące ciągłości składu (stwierdzanie końca pociągu), skrajni taboru i ładunków, a także umiejętność wykrywania przesunięć (zmian położenia) ładunków na pojeździe.



Rys. 1. Określanie pozycji wagonów podczas załadunku [1]

Współczesne systemy informacji pasażerskiej na stacjach i przystankach kolejowych, szczególnie w warunkach dużego natężenia ruchu pociągów (np. przewozy aglomeracyjne), wymagają dokładnej identyfikacji położenia oraz kolejności pociągów na linii kolejowej, sekwencji wagonów w każdym składzie, a także lokalizacji elementów taboru (np. drzwi wagonów).



Rys. 2. Określanie pozycji pociągów na stacjach [1]

Stosowane na sieci PKP PLK S.A. systemy informacji pasażerskiej nie umożliwiają dokładnej identyfikacji poszczególnych pociągów, co przy nietypowych sytuacjach ruchowych powoduje generowanie błędnych komunikatów dla podróżnych.

Aktualnie, w obszarze sterowania ruchem kolejowym, wykrywanie obecności taboru w określonych miejscach stacji i linii polega na kontroli zajętości odcinków torów i rozjazdów. Także na zautomatyzowanych stacjach rozrządowych prowadzone jest monitorowanie położenia poszczególnych odpręgów poruszających się na drodze stacjana od szczytu góry do miejsca zatrzymania w grupie torów kierunkowych. Kontrola zajętości elementów infrastruktury torowej pozwala wyeliminować możliwość znalezienia się dwóch, niezależnie poruszających się obiektów (pociągów, wagonów, odpręgów, innych pojazdów szynowych) w tym samym miejscu w określonym przedziale czasu.

Obok kontroli zajętości odcinków torowych, lokalizacja taboru odbywa się także w sposób punktowy, poprzez 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 (rys. 3).



Rys. 3. Głowica systemu kontroli niezajętości odcinków torów i rozjazdów [2]

Identyfikacja taboru i ładunków odbywa się z wykorzystaniem obserwacji wzrokowej, poprzez ocenę kształtu, koloru, rozmiarów, odczyt numeru ewidencyjnego, obserwację sygnałów końca pociągu, analizę dokumentów przewozowych itp.

Istnieją różne techniki identyfikacji poruszających się obiektów. Różnią się one metodami i 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. Elektroniczne identyfikatory umieszczane na taborze lub przewożonym ładunku są niekiedy stosowane podczas przewozu wybranych ładunków do ich lokalizacji na sieci kolejowej.

Łatwiejsze w praktycznym zastosowaniu wydają się systemy wizyjne. W skład systemu wizyjnej identyfikacji obiektów wchodzi: kamera cyfrowa, źródło światła oraz komputer analizujący obraz uzyskiwany z kamery. W najnowszych rozwiązaniach komputer oraz kamera mieszczą się we wspólnej obudowie. Niekorzystną cechą takich rozwiązań, utrudniającą ich stosowanie w transporcie kolejowym jest stosunkowo wysoka cena, ograniczająca skalę (powszechność) zastosowań, a także wymagania dotyczące jakości oświetlenia obiektów poddawanych identyfikacji.

1. BEZKONTAKTOWA METODA IDENTYFIKACJI RUCHOMYCH OBIEKTÓW

W ramach projektu realizowanego w Instytucie Kolejnictwa opracowano metodę wykrywania poruszających się obiektów i rozpoznawania ich konturów. Umożliwia ona automatyczną identyfikację poruszającego się taboru metodą oceny jego kształtu i rozmiarów. Wykorzystano dostępne na rynku czujniki laserowe do bezkontaktowego pomiaru odległości, przemieszczenia i pozycji przestrzennej w tym dalmierze laserowe, skaner przestrzeni 2D oraz zaawansowaną kurtynę pomiarową.

W przyjętej metodzie identyfikacji obiektów założono następujące warunki realizacji pomiarów:

- układ pomiarowy (zestaw sensorów w odpowiedniej konfiguracji przestrzennej) jest nieruchomy,
- obserwowane obiekty przemieszczają się w polu widzenia sensorów,
- w trakcie eksperymentu następuje pomiar:
 - zmieniającej się odległości powierzchni obiektów od poszczególnych sensorów (z wykorzystaniem liniowych dalmierzy laserowych - pomiar punktowy oraz skanera 2D - pomiar liniowy, w płaszczyźnie obrotu płamki lasera),
 - konturu obiektu przemieszczającego się przez laserową barierę (kurtynę) pomiarową,
 - prędkości przemieszczania się obserwowanych obiektów względem sensorów pomiarowych.

Wyniki pomiarów realizowanych przez poszczególne sensory są odczytywane z określoną (wybieraną przez operatora) częstotliwością, w funkcji czasu lub drogi przemieszczenia obiektu. Odczyt jest realizowany w sposób synchroniczny, jednocześnie dla wszystkich czujników wykorzystywanych w procesie pomiaru. Konfiguracja przestrzenna czujników jest ściśle określona i powtarzalna. Stanowi istotny atrybut realizowanego eksperymentu.

Wyniki wielokrotnie powtórzonych pomiarów (zbiór wartości odległości do elementów powierzchni obiektów oraz zarejestrowanych konturów), zrealizowanych przy różnych prędkościach ruchu obserwowanego obiektu, pozwalają sporządzić jego model cyfrowy, właściwy dla określonej wcześniej konfiguracji czujników, ich liczby oraz ustawienia przestrzennego względem poruszającego się obiektu.

2. STANOWISKO BADAWCZE

Przedstawiona na rysunku 4 platforma pomiarowa, sprzężona z ruchomą płaszczyzną badawczą, umożliwia bezkontaktowy pomiar odległości, przemieszczenia i pozycji przestrzennej wybranych obiektów oraz akwizycję i obrazowanie danych pomiarowych.

Czujniki pomiarowe, w różnych konfiguracjach, są umieszczone na ruchomych wózkach z blokadą, odpowiednio na prowadnicach liniowych prostych oraz prowadnicach liniowych giętych.

Do tworzenia modeli cyfrowych obiektów oraz ich 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 (zapisanych w plikach w formacie csv) uzyskiwanych w wyniku eksperymentów prowadzonych zarówno w laboratorium jak również w terenie, z wykorzystaniem zbioru sensorów oraz modułu pomiaru prędkości przemieszczającego się taboru.

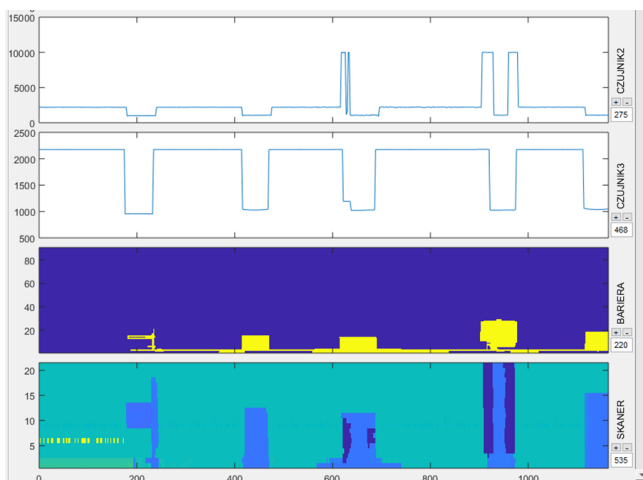


Rys. 4. Widok ogólny stanowiska badawczego w pomieszczeniu laboratorium [fot. autor]

Do podstawowych funkcji aplikacji należą:

- przetwarzanie danych pomiarowych otrzymywanych w wyniku eksperymentów realizowanych z wykorzystaniem istniejącej platformy
- filtracja sygnałów pomiarowych,
- tworzenie bazy wzorców (modeli cyfrowych) obiektów obserwowanych przez zestaw sensorów.

Na rysunku 5 przedstawiono przykładowe zobrazowanie danych pomiarowych po filtracji sygnałów z poszczególnych sensorów.



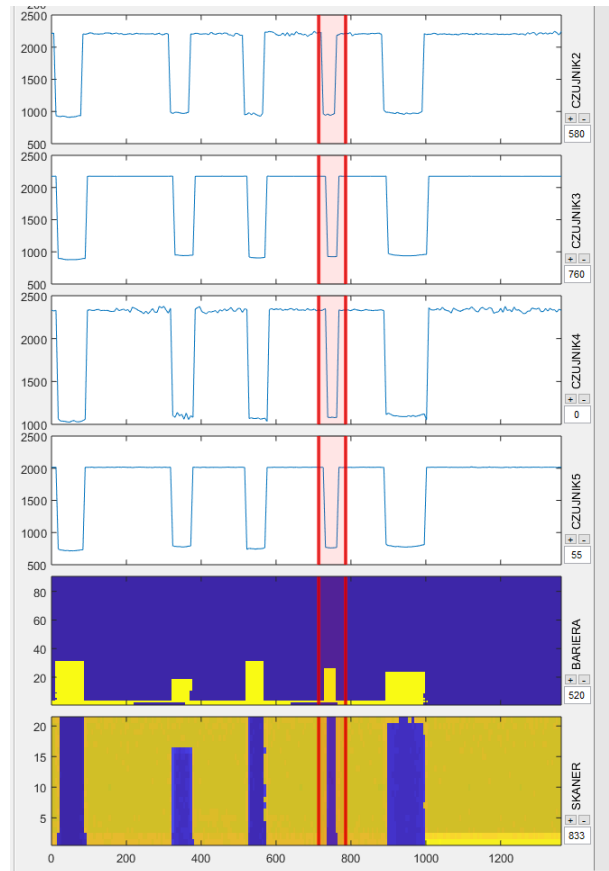
Rys. 5. Przykładowe zobrazowanie danych pomiarowych po filtracji sygnałów [opracowanie własne]

Aplikacja umożliwia wprowadzanie (w sposób automatyczny lub ręczny) istotnych parametrów eksperymentu, zarówno podczas tworzenia wzorców jak też identyfikacji obiektów, a w szczególności:

- prędkości przemieszczania się obserwowanego obiektu,
- częstotliwości pobierania danych z czujników, wyrażonej w jednostce czasu [ms] lub drogi [mm] (przesunięcia obiektu),
- konfiguracji bazy pomiarowej (rozmieszczenia przestrzennego czujników),
- etykiet wykorzystanych czujników pomiarowych, konfiguracji czujników oraz wzorców i identyfikowanych obiektów.

Interfejs graficzny aplikacji daje możliwość wprowadzania wyników obserwacji obiektów przez sensory pomiarowe (plików z danymi), informacji o konfiguracji bazy pomiarowej, a także wartości parametrów realizowanych eksperymentów.

W przypadku jednoczesnej obserwacji kilku poruszających się obiektów, tworzone są tzw. wycinki, reprezentujące poszczególne, wybrane obiekty (rys. 6).



Rys. 6. Przykładowy wycinek, definiujący w systemie jeden z obiektów obserwowanych przez sensory pomiarowe [opracowanie własne]

Modele cyfrowe badanych obiektów powstają w procesie „uczenia” aplikacji (treningu), z wykorzystaniem danych pomiarowych zarejestrowanych podczas wielokrotnego powtarzania eksperymentów (obserwacji) przy różnych parametrach ruchu obiektów.

Identyfikacja obiektów poruszających się w strefie bazy pomiarowej jest realizowana poprzez porównanie wyników obserwacji ze zbiorem wcześniej utworzonych modeli (z przechowywanymi w bazie danych wzorcami znanych obiektów).

Aplikacja umożliwia identyfikację w zbiorze poruszających się obiektów:

- pojedynczego, wybranego obiektu,
- kilku wybranych obiektów,
- sekwencji znanych obiektów.

Interfejs graficzny daje możliwość wyboru obiektów przeznaczonych do identyfikacji, znajdujących się w polu widzenia układu pomiarowego. Po dokonaniu identyfikacji na ekranie monitora jest wyświetlana informacja o wykryciu poszukiwanego obiektu (obiektów, sekwencji obiektów).

Jednym z istotnych parametrów procesu identyfikacji jest prędkość przemieszczania badanych obiektów. W przypadku badań laboratoryjnych, do pomiaru i regulacji prędkości ruchomej płaszczyny badawczej jest wykorzystywany enkoder zabudowany w bloku silnika liniowego. Dla realizacji pomiarów w terenie zbudowano specjalny moduł pomiarowy służący mierzeniu prędkości poruszających się obiektów rzeczywistych (taboru kolejowego).

Moduł pomiaru prędkości składa się z:

- baz pomiarowych, wyposażonych w fotoelektryczne czujniki światłowodowe,
- układu pomiaru i rejestracji prędkości, opartego na samodzielnym PLC,
- przyłączy baz pomiarowych do istniejącej platformy pomiarowej.

Moduł pomiaru prędkości jest zintegrowany konstrukcyjnie i funkcjonalnie z istniejącą sprzętowo-programową platformą pomiarową. Bazy pomiarowe są mocowane do stopy szyny jezdnej za pomocą magnesów neodymowych, a ich konstrukcja umożliwia mocowanie zarówno do szyn S60 jak też S49 (rys. 7).



Rys. 7. Bazy pomiarowe zamocowane do szyn jezdnych (możliwość pracy w warunkach rzeczywistych) [fot. autor]

Moduł mierzy prędkość kolejnych osi taboru przejeżdżających przez poszczególne bazy pomiarowe. Każdy kolejny wynik pomiaru (uzyskany z dowolnej bazy pomiarowej) powoduje aktualizację zapisu w rejestratorze prędkości. Do pomiaru prędkości może być wykorzystywana dowolna liczba baz pomiarowych, a konstrukcja modułu umożliwia jego rozbudowę o kolejne bazy.

PODSUMOWANIE

Realizowane na świecie projekty rozwoju systemów transportowych obejmujące wprowadzanie tzw. mechanizmów inteligentnych (systemy ITS – Intelligent Transportation System oraz IIS – Intelligent Infrastructure System) dotyczą także obszaru kolejnictwa.

Zastosowanie nowoczesnych technik pozyskiwania i analizy danych w transporcie kolejowym tworzy wiele interesujących obszarów aplikacyjnych. Systemy identyfikacji taboru i ładunków mogą stanowić element inteligentnego wspomaganie zarządzania operacjami (tzw. usługi IOMS – Intelligent railway operation management system), a także kontrolowania i sterowania ruchem pociągów wykorzystującego wymianę informacji między elementami infrastruktury (tzw. usługi ITCDS – Intelligent train control & dispatching system). W szczególności umożliwiają śledzenie pociągów, wagonów i ładunków, kontrolę dynamiki ruchu odpręgów na stacjach rozrządowych, ogólną diagnostykę pojazdu (wagonu, lokomotywy, składu), pozwalającą nie tylko na wykrywanie nieprawidłowości, ale także na predykcję potencjalnych problemów, wdrażanie procedur zabezpieczenia procesu transportowego w przypadku wystąpienia nieprawidłowości w przewozie ładunków.

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

Wyniki eksperymentów pozwoliły zweryfikować skuteczność przyjętej metody pomiaru oraz ocenić przydatności dostępnych detektorów i systemów wizualizacji do identyfikacji badanych obiektów. Na podstawie analizy wyników eksperymentów dokonano rekonfiguracji układów pomiarowych oraz zmodyfikowano aplikację komputerową służącą do tworzenia modeli cyfrowych i identyfikacji badanych obiektów.

Przeprowadzone badania potwierdziły efektywność zastosowanej metody identyfikacji, oraz przydatność stanowiska pomiarowego do wykonywania badań laboratoryjnych i prób terenowych ukierunkowanych na identyfikację rzeczywistych elementów taboru kolejowego i przewożonych ładunków.

Realizacja kolejnych eksperymentów pozwoli opracować specjalizowane aplikacje komputerowe, przeznaczone do identyfikacji obiektów różnych klas, a także ocenić efektywność sensorów laserowych różnych typów i ich przydatność do tworzenia modeli cyfrowych badanych obiektów. Umożliwi także wyznaczenie efektywnej pozycji sensorów względem powierzchni obserwowanych, ruchomych obiektów oraz określenie ich najkorzystniejszej konfiguracji przestrzennej.

BIBLIOGRAFIA

1. <https://www.sick.com/pl/pl/branze/transport/c/g285087> (dostęp: marzec 2018)
2. <http://www.tens.pl/docs/211> (dostęp: marzec 2018)

Identification of rolling stock in railway transport management

An important factor improving the safety of the railway transport process is the automatic recognition of the rolling stock and the transported loads. Using modern data acquisition and analysis techniques allows to identify moving objects by assessing their shape and size. For the creation of digital models of the studied objects and their subsequent identification there was developed a computer application working in Matlab programming environment. The application use the functions of designing, implementing, visualizing and simulating neural networks. The configuration of the test stand allows for carrying out experiments using analog and digital sensors.

Autor:

dr hab. inż. **Jarosław Moczarski** – Instytut Kolejnictwa, Warszawa; 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.

JEL: L92 **DOI:** 10.24136/atest.2018.058

Data zgłoszenia: 2018.05.21 **Data akceptacji:** 2018.06.15