Ocena odcinków prostych trasy kolejowej
na podstawie pomiarów satelitarnych

Władysław Koc, Piotr Chrostowski

W pracy przedstawiono kolejny moduł opracowywanego w Politechnice Gdańskiej programu komputerowego SATTRACK do wizualizacji, oceny i projektowania trasy kolejowej, dostosowanego do techniki ciągłych pomiarów satelitarnych. Jest to moduł TRACK_STRAIGHT, służący do oceny odcinków prostych. Pokazano opis jego funkcjonowania oraz przykłady zastosowania odpowiednich funkcji. Zapisane w pliku tekstowym współrzędne prostej wykorzystuje się do wyznaczenia jej równania w państwowym układzie odniesień przestrzennych 2000. Mając wyznaczone równania wszystkich prostych, jesteśmy w stanie określić współrzędne punktów głównych trasy oraz kąty zwrotu. W celu przeprowadzenia oceny rzeczywistego kształtu toru na danej prostej należy dokonać jej transformacji do układu lokalnego, w którym rzędne stanowić będą odchylenie od wyznaczonego kierunku prostej, wynikające z nierówności poziomych występujących w torze (a także z błędu pomiarowego). Otrzymany sygnał należy jeszcze poddać analizie w celu sprawdzenia możliwości odfiltrowania pewnych składowych, które można uznać jako spowodowane zjawiskami pobocznymi, nie mającymi bezpośredniego związku z kształtem mierzonego toru. W wyniku tak przeprowadzonego postępowania otrzymujemy zbiór wartości przesunięć poprzecznych toru – do projektu regulacji geometrycznej jego osi.

prof. dr hab. inż. Władysław Koc Politechnika Gdańska, Katedra Transportu Szynowego

dr inż. Piotr Chrostowski Politechnika Gdańska, Katedra Transportu Szynowego

Możliwość efektywnego wykorzystania systemu GPS w pomiarach ukształtowania geometrycznego linii kolejowych powstała wraz z uruchomieniem w naszym kraju (w połowie 2008 roku) Aktywnej Sieci Geodezyjnej ASG-EUPOS [1, 9]. Już na początku 2009 roku zespół badawczy Politechniki Gdańskiej, Akademii Marynarki Wojennej w Gdyni, Zakładu Linii Kolejowych PKP PLK S.A. w Gdyni oraz firmy Leica Geosystems AG przeprowadził pierwszy eksperyment pomiarowy na eksploatowanej linii kolejowej. Polegał on na objeździe kilkudziesięciokilometrowego odcinka linii ciągnikiem szynowym WM-15 z przyczepą (wagonem-platformą) PWM-15, na której zostały zainstalowane cztery anteny do pomiarów satelitarnych GPS, rejestrujące współrzędne z częstością 20 Hz oraz dokładnościami wyznaczenia współrzędnych płaskich na poziomie 1÷3 cm [6]. W 2010 roku dwie podobne kampanie pomiarowe (w innych lokalizacjach) zostały zrealizowane ponownie, przy czym ich metodyka została odpowiednio zmodyfikowana.

W wyniku przeprowadzonych ciągłych pomiarów satelitarnych wyznaczane były współrzędne punktów trasy WGS-84, które następnie transformowano do państwowego układu odniesień przestrzennych 2000 [10]. Już pierwsze pomiary wykazały, że zastosowana technika pomiarowa otwiera zupełnie nowe perspektywy w zakresie określania rzeczywistego położenia toru. Jej wykorzystanie umożliwia bardzo precyzyjne określenie podstawowych danych do projektowania modernizacji linii kolejowej (kierunków głównych trasy i jej kąta zwrotu) [6]. Pozwala ona na odtworzenie kierunków prostych trasy (i określenie występujących na nich deformacji poziomych), a także rejonu zmiany kierunku trasy (łuki kołowe i krzywe przejściowe).

Pomiary satelitarne toru kolejowego dostarczają ogromne ilości danych, które trzeba najpierw zarchiwizować, a następnie poddać odpowiedniej obróbce w celu uzyskania informacji przydatnych z praktycznego punktu widzenia. Dlatego też dla wdrożenia omawianej procedury niezbędne będzie opracowanie w najbliższym czasie odpowiedniego wspomagania komputerowego.

Program komputerowy SATTRACK

Współczesny proces projektowania w dziedzinach inżynierskich w większości przypadków polega na szerokim wykorzystaniu programów komputerowych, wspierających projektanta w jego pracy. Techniki wspomagania komputerowego zwane powszechnie CAD (computer aided design) realizują takie funkcje jak:

- obliczenia numeryczne obiektu/konstrukcji (realizowane głównie metodą elementów skończonych),
- graficzne odwzorowanie obiektu (grafika wektorowa),
- wizualizacja projektowanego obiektu (rysunki techniczne, animacje, symulacje).

W odniesieniu do technik CAD analiza przebiegu trasy kolejowej nie ogranicza się wyłącznie do pracy na materiałach graficznych (rysunkach sytuacyjnych), których zbieżność z rzeczywistymi cechami linii nigdy nie jest w pełni gwarantowana, lecz przede wszystkim polega na wykorzystywaniu odpowiednich danych liczbowych. Tymi danymi mogą być, przykładowo, wyniki pomiarów uzyskane podczas inwentaryzacji linii kolejowej. Przy wykorzystywaniu do pomiarów satelitarnych będą to oczywiście współrzędne punktów osi trasy, a także cały szereg informacji otrzymywanych w trakcie analizy danych pomiarowych.

W Katedrze Transportu Szynowego Politechniki Gdańskiej trwa obecnie opracowywanie programu komputerowego SATTRACK do wizualizacji, oceny i projektowania trasy kolejowej, dostosowanego do techniki ciągłych pomiarów satelitarnych [2]. Jego autorzy zdecydowali, że pierwsza wersja programu zostanie napisana w języku skryptowym programu Scilab [11], stworzonego w 1990 r. we Francji przez Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique oraz École Nationale des Ponts et Chaussées (najstarszą szkołę inżynierską na świecie). Środowisko Scilab posiada język programowania wysokiego poziomu oraz tak zwany interpreter, który pozwala na pisanie, a następnie wykonywanie stworzonych

przez użytkownika własnych programów w postaci pakietu skryptów, zawierających kod źródłowy programu oraz zdefiniowane funkcje (tzw. metody) użytkownika. Jako że Scilab został stworzony z myślą o badaniach matematycznych, posiada bardzo bogatą bibliotekę (kilkaset metod) oraz środowisko graficzne, w którym można tworzyć wykresy oraz animacje. Licencja programu ma charakter Open Source, w związku z czym jest on powszechnie używany przez środowiska naukowe oraz preferowany przez programistów na całym świecie.

Na cały program SATTRACK składają się cztery, w znacznym stopniu niezależne, moduły obejmujące:

- wizualizację przebiegu trasy kolejowej,
- ocenę odcinków prostych trasy,
- ocenę odcinków trasy położonych w łuku,
- projektowanie rejonu zmiany kierunku trasy.

Do chwili obecnej ukończony został moduł TRACK_VIS [2], służący do wizualizacji przebiegu trasy kolejowej, a także będący przedmiotem niniejszego opracowania moduł TRACK_STRAIGHT do oceny odcinków prostych trasy. Prace nad pozostałymi modułami jeszcze trwają.

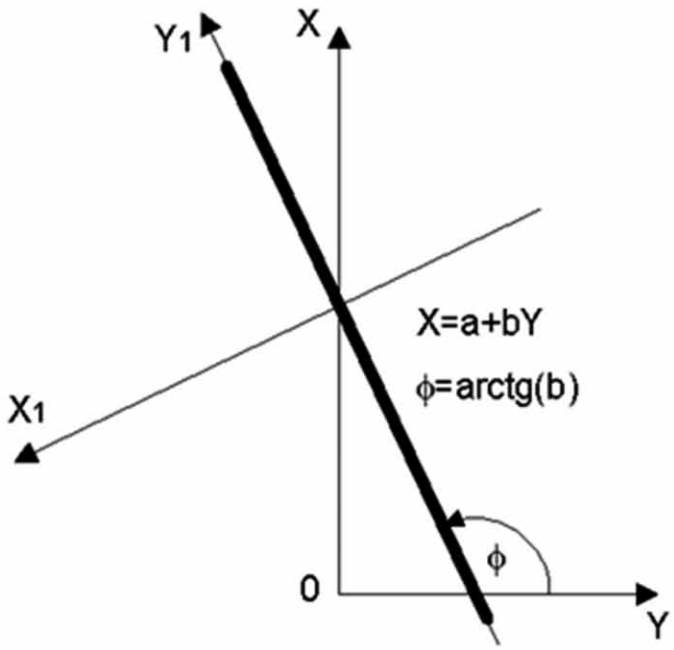
Metodyka oceny odcinków prostych trasy

Moduł TRACK_STRAIGHT stwarza możliwość szczegółowej oceny odcinków prostych trasy kolejowej na podstawie współrzędnych uzyskanych z ciągłych pomiarów satelitarnych. Pomierzone współrzędne prostej wykorzystuje się do wyznaczenia – metodą najmniejszych kwadratów – jej równania w układzie Y, X w postaci $X = A + B\,Y$. Z punktu widzenia poszukiwań rzeczywistego kierunku trasy kluczową wartość stanowi tutaj współczynnik nachylenia prostej $B = \tan\varphi$ (rys. **1**). Mając wyznaczone równania wszystkich prostych w układzie 2000, jesteśmy w stanie określić współrzędne punktów głównych trasy oraz kąty zwrotu.

W celu przeprowadzenia oceny rzeczywistego kształtu toru na danej prostej dokonujemy jej transformacji do układu lokalnego (rys. 1) [4]. Jeżeli – wychodząc z równania $X = A + B\,Y$ – przesuniemy oś Y o wartość wyrazu wolnego A i następnie dokonamy jej obrotu o kąt $\varphi = \arctan B$, pokryje się ona z kierunkiem naszej trasy. W układzie Y_1, X_1 rzędne X_1 stanowić będą odchylenie od tego kierunku, wynikające z nierówności poziomych występujących w torze (oraz błędu pomiarowego. Transformacji układu współrzędnych dokonuje się za pomocą następujących wzorów [8]:

$$Y1 = Y\cos\varphi + (X - A)\sin\varphi \qquad (1)$$

$$X1 = -Y\sin\varphi + (X - A)\cos\varphi \qquad (2)$$



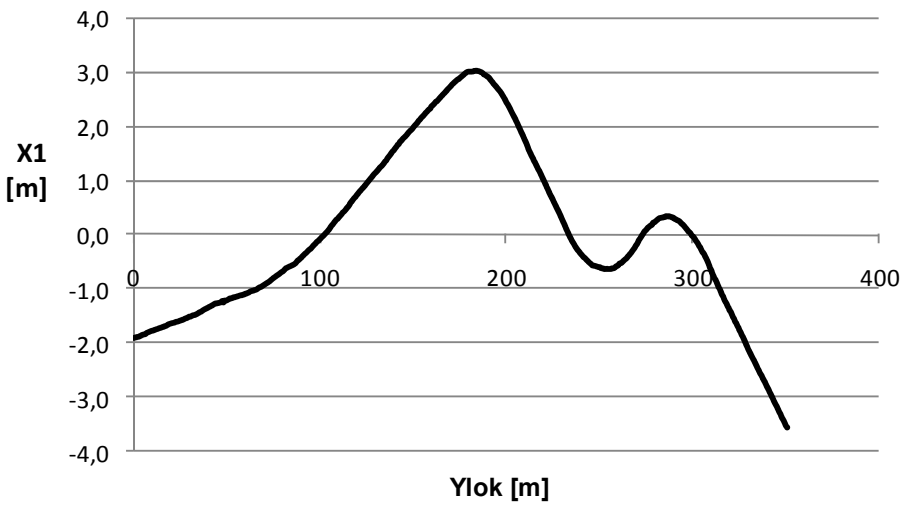
***1**. Idea przeprowadzonej transformacji układu współrzędnych*

Wartości $\sin\varphi$ i $\cos\varphi$ wynikają z zależności:

$$\sin\varphi = \pm\frac{B}{\sqrt{1+B^2}}, \qquad \cos\varphi = \pm\frac{1}{\sqrt{1+B^2}}$$

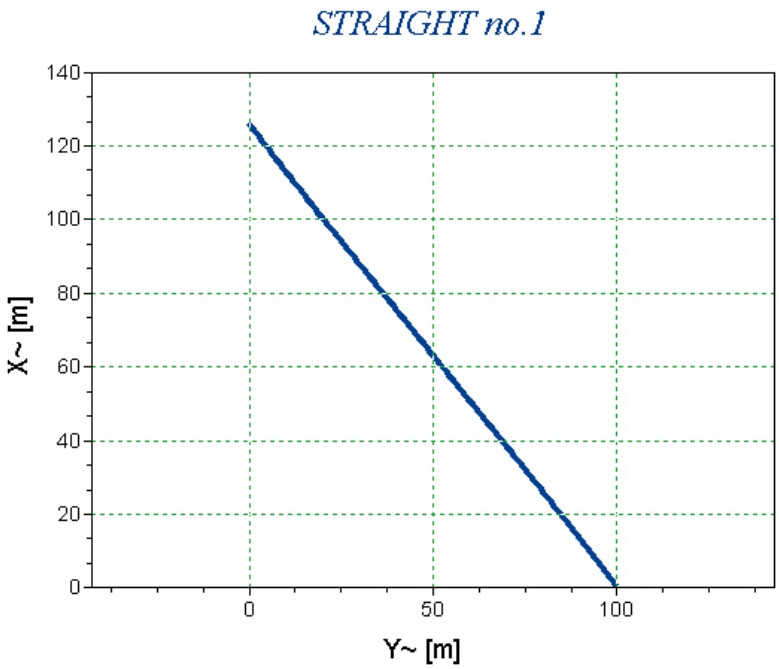
W układzie Y_1, X_1 punkt początkowy odcinka ma współrzędne (Y_p, X_p), jednak ze względu na znaczny rząd wartości współrzędnych Y_1 wygodniej będzie operować w układzie Y_{lok}, X_1, w którym punkt początkowy będzie miał odciętą zerową; uzyskamy to przyjmując $Y_{lok} = Y_1 - Y_p$. Wykonanie wykresów $X_1(Y_{lok})$ w skali skażonej prowadzi niekiedy do zaskakujących spostrzeżeń; na rysunku **2** odchylenia od kierunku prostego osiągają rząd kilku metrów.

Po dokonanej według powyższego algorytmu transformacji, otrzymujemy pewien sygnał w układzie, w którym pozioma oś stanowi kierunek zgodny z osią toru na odcinku prostym. W związku z tym na osi pionowej wartości różne od zera stanowią odchylenie sygnału GPS od kierunku mierzonej trasy [5]. W terminologii nawigacyjnej położenie obiektu w pewnej odległości od wyznaczonej linii kursu (jako kierunku założonego) określane jest mianem XTE (ang. Cross Track Error) i jest jedną z miar błędu pozycji poruszającego się obiektu. Jak widać, na drodze kolejowej występuje podobne zjawisko, a

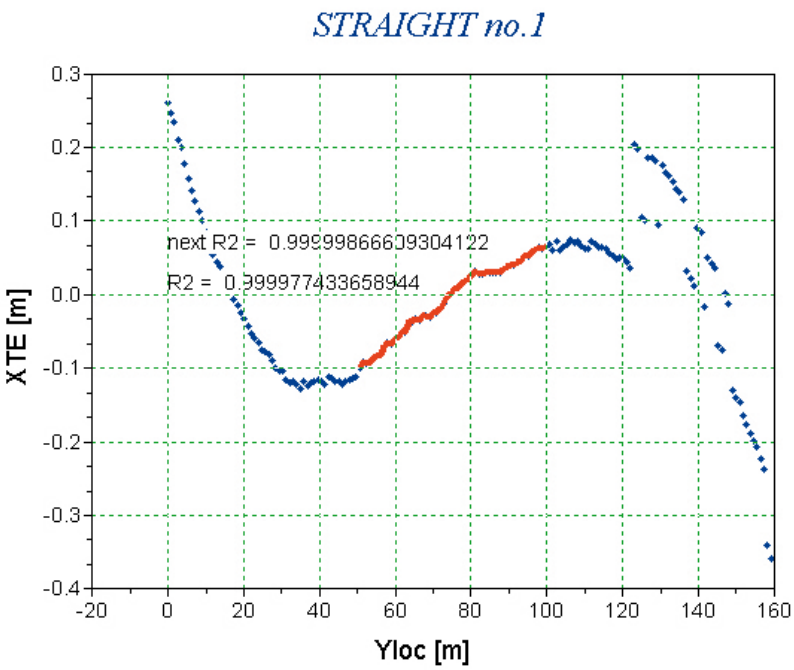


***2**. Obraz przykładowej prostej po transformacji układu współrzędnych (w skali skażonej) [3]*

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl



***3**. Obraz sygnału (z dostosowanym przez program początkiem układu współrzędnych) reprezentujący wyodrębnioną prostą w skali nieskażonej*



***4**. Obraz sygnału (w lokalnym układzie współrzędnych) reprezentujący wyodrębnioną prostą w skali skażonej*

mianowicie nierówność poziomą toru można również opisać funkcją XTE [7].

W analizowanym przypadku na XTE nakłada się również niepewność związana z techniką pomiarową. W związku z tym otrzymany sygnał należy poddać analizie w celu sprawdzenia możliwości odfiltrowania pewnych składowych [5], które można uznać jako spowodowane zjawiskami pobocznymi, nie mającymi bezpośredniego związku z kształtem mierzonego toru. Przygotowanie otrzymanego sygnału $XTE(Y_{lok})$ do dalszej analizy wymaga jeszcze interpolacji wartości XTE w dostosowaniu do stałego kroku Y_{lok}.

W analizie sygnału pomiarowego w dziedzinie częstotliwości wykorzystano transformację Fouriera [12]. Ponieważ analizowany sygnał jest sygnałem dyskretnym, zastosowano tzw. dyskretną transformację Fouriera ciągu próbek pomiarowych, opisaną wzorem:

$$X_k = \sum_{n=0}^{N-1} x_n \cdot e^{-\frac{2\pi i}{N}k} \qquad k = 0,\ldots,N-1 \qquad (3)$$

gdzie: X – wynik transformacji,
x – próbki sygnału.

Do przeprowadzenia obliczeń posłużono się środowiskiem Scilab [11], w bibliotekach którego znajdują się funkcje obliczające transformatę Fouriera oraz transformację odwrotną do dziedziny wyjściowej. Aby można było odfiltrować wyższe częstotliwości, nie wynikające z kształtu geometrycznego toru, lecz będące efektem błędów pomiaru GPS oraz związane z drganiami pojazdu pomiarowego, należy przyjąć filtr dolnoprzepustowy o odpowiedniej częstotliwości odcięcia. W prowadzonej analizie właściwy dobór filtru i określenie jego parametrów odgrywają bardzo dużą rolę.

Odfiltrowany sygnał przybliża nas do rzeczywistego kształtu toru, a różnice pomiędzy sygnałem nieodfiltrowanym i odfiltrowanym stanowią miarę błędu pomiarowego. W wyniku przeprowadzonego postępowania otrzymujemy zbiór wartości przesunięć poprzecznych toru – do projektu regulacji geometrycznej jego osi.

Opis programu komputerowego

Moduł TRACK_STRAIGHT służy do oceny odcinków prostych analizowanej trasy poprzez odpowiednią interpretację oraz analizę sygnału pomiarowego uzyskanego metodą GPS. Zanim będzie to możliwe, należy wyodrębnić te zakresy sygnału, które odpowiadają odcinkom prostym. Zadanie to nie jest trywialne z racji tego, że do obu stron odcinka prostego przylegają krzywe przejściowe lub łuki kołowe. Ponadto pomierzony sygnał zawiera informację o deformacji osi toru (jeśli taka występuje) oraz błąd pomiarowy. Wszystko to powoduje, że aby precyzyjnie określić kierunek główny trasy (pokrywający się z odcinkiem prostym) należy odseparować czynniki zaburzające kształt rozpatrywanej prostej. Wyodrębnienie odcinków prostych musi się w pierwszej fazie oprzeć na ocenie wzrokowej użytkownika, który w pewnym stopniu w sposób intuicyjny (oraz na podstawie dokumentacji) wydzieli odpowiednie części sygnału. Program SATTRACK

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

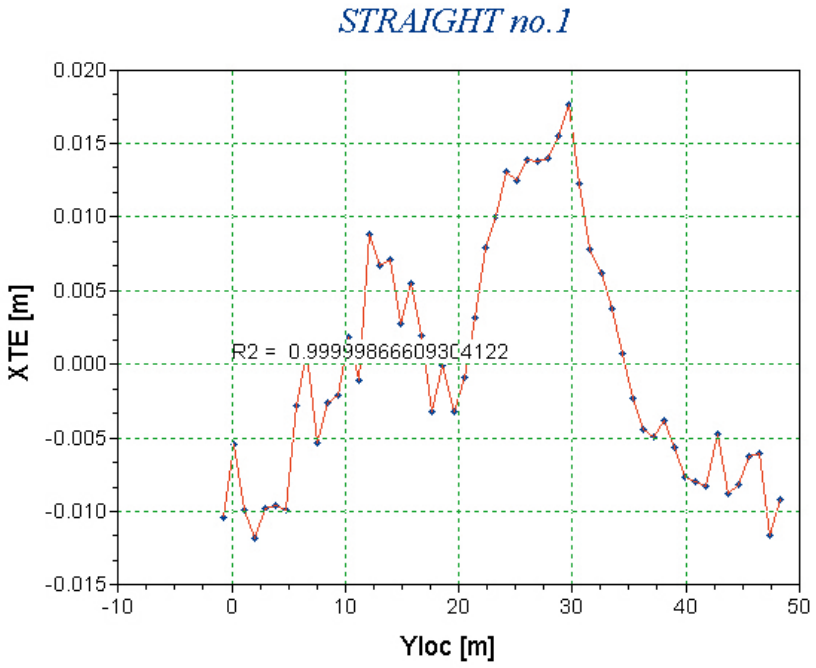
daje taką możliwość, prezentując trasę na siatce układu 2000 w skali nieskażonej (rys. 3) oraz udostępniając funkcję EXTRACT – wyodrębniającą wskazany przez użytkownika zakres wyświetlonego na ekranie monitora sygnału pomiarowego [2]. Tak wyodrębnione pliki służą następnie dalszej, precyzyjnej analizie.

Praca w module TRACK_STRAIGHT polega na analizie wyodrębnionych i zapisanych w odpowiednim folderze plików. Otwierając w programie plik z sygnałem wydzielonej prostej (za pomocą znanej z modułu TRACK_VIS funkcji LOAD [2]), użytkownik rozpoczyna analizę od oceny kształtu sygnału w układzie lokalnym (rys. **1**), którego oś pozioma stanowi kierunek główny trasy, natomiast na osi pionowej odczytać można odchylenia punktów pomiarowych od założonego kierunku. Kierunek główny trasy wyznaczony jest przez program metodą najmniejszych kwadratów, a stopień dopasowania liniowego modelu do zbioru punktów pomiarowych opisuje współczynnik dopasowania R^2. Program wyświetla zbiór punktów w skali skażonej, gdyż tylko w ten sposób można wzrokowo wychwycić odchylenia punktów od założonego kierunku. Odchylenia te mogą się wahać od kilku centymetrów do kilku metrów (rys. **2**).

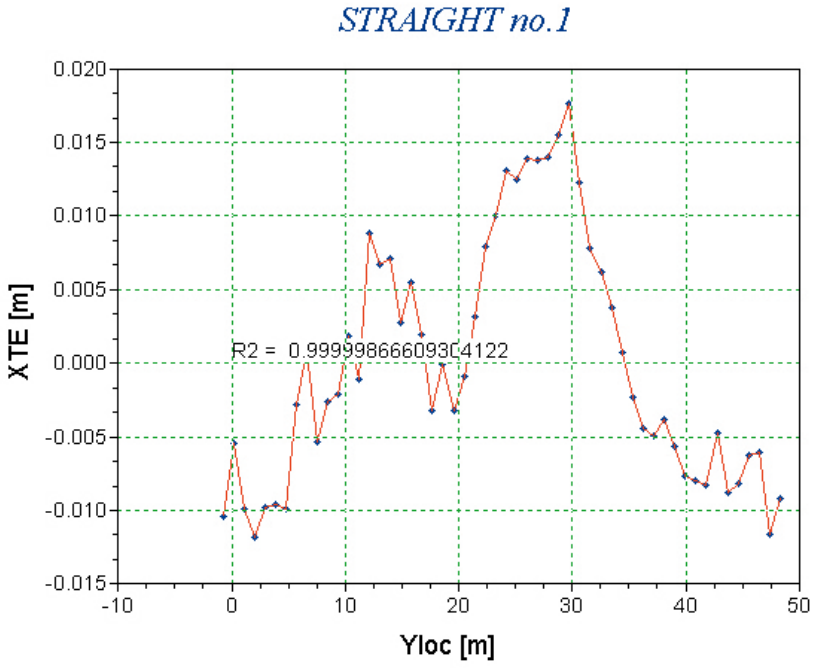
W skali skażonej jest również bardzo łatwo wychwycić wyodrębnienie zbyt długiego fragmentu sygnału – obejmującego dodatkowo części odcinków krzywoliniowych. Z tego względu program umożliwia odcinanie tych fragmentów sygnału, które ewidentnie nie należą do odcinka prostego. Wpisując do okna dialogowego odcięte będące granicami sygnału użytecznego, użytkownik widzi podświetlony na kolor czerwony proponowany zakres (który będzie stanowił docelowy zbiór punktów na prostej) oraz współczynniki dopasowania R^2 dla aktualnego i proponowanego (po odcięciu fragmentów nieliniowych) zakresu punktów pomiarowych. Taka prognoza współczynnika dopasowania stanowi niewątpliwie cenną informację, na której użytkownik może się oprzeć przy podejmowaniu decyzji o długości zbioru do dalszej analizy. Sytuację taką przedstawia rysunek **4**, gdzie niebieski zbiór punktów przedstawia aktualny zakres, natomiast czerwony - zakres przyjęty w kolejnym kroku. Oś Y_{loc} stanowi wyznaczony kierunek główny trasy na odcinku prostym.

Po zatwierdzeniu nowego zakresu Y_{loc} program wyświetla pełny zbiór punktów w układzie lokalnym, którego oś pozioma pokrywa się z wyznaczonym metodą najmniejszych kwadratów skorygowanym kierunkiem głównym trasy. Taką operację ograniczania zakresu punktów użytkownik może dokonywać dowolnie wiele razy, jednak posiadane doświadczenie (a także intuicja) powinno mu podpowiedzieć, kiedy przyjęty zakres odciętych Yloc można uznać za prawidłowy. Wartościową wskazówkę dostarcza przy tym współczynnik dopasowania, który w pewnym momencie zamiast zwiększania się zaczyna maleć. Oczywiście należy zawsze dążyć do tego, aby zakres liczbowy punktów był jak największy. Przykład przyjętego ostatecznie sygnału $XTE(Y_{loc})$, obejmującego odcinek prosty trasy, pokazano na rysunku **5**.

Kolejną funkcją zaimplementowaną do modułu TRACK_STRAIGHT jest filtrowanie wybranego sygnału GPS w dziedzinie częstotliwości. Jako że dziedziną wyjściową

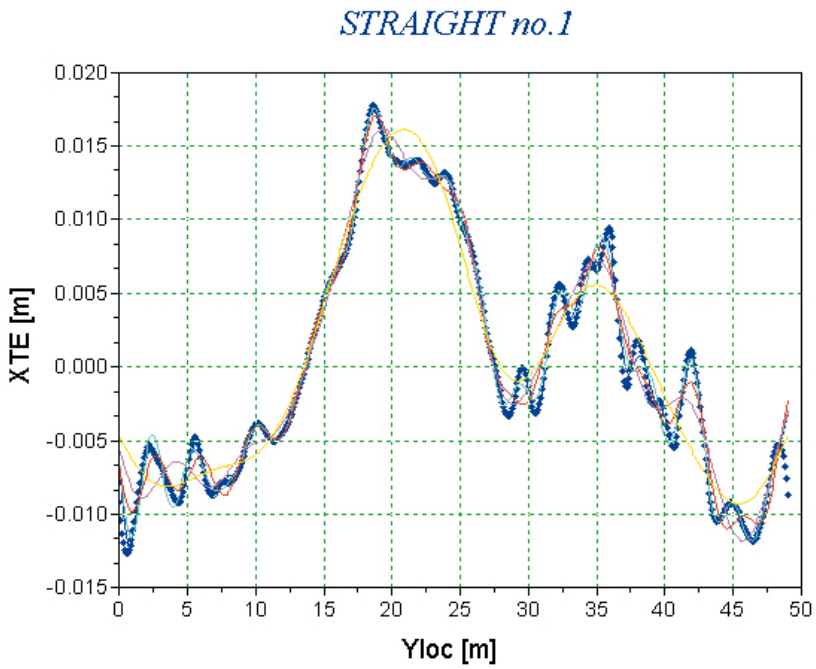


***5**. Określony ostatecznie sygnał XTE(Yloc) reprezentujący wybrany odcinek prosty trasy (w skali skażonej)*

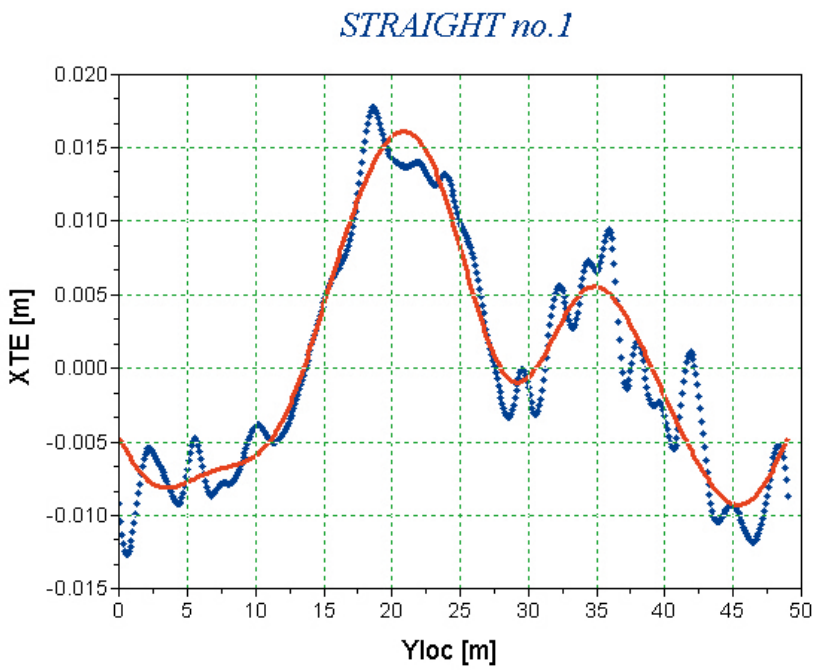


***6**. Transformata Fouriera z zaznaczoną granicą odcięcia (odcinana niebieska część wykresu)*

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl



***7**. Wyniki filtrowania (linie ciągłe) w skali skażonej dla różnych wartości progu odcięcia na tle oryginalnego sygnału (sygnał dyskretny).*



***8**. Uzyskany hipotetyczny kształt toru – linia czerwona – (w skali skażonej) na odcinku prostym (przy wartości odcięcia 0,1/m)*

sygnału nie jest w danym przypadku czas, lecz odległość wyrażona w metrach, częstotliwość rozumiana tutaj będzie jako liczba fal zawierających się w jednostce długości. Analiza sygnału wymaga przedstawienia jego wartości w równych interwałach. Mimo że pomiar satelitarny jest wykonywany przy jeździe ze stałą prędkością, to w celu podniesienia precyzji procesu filtrowania sygnał jest interpolowany z odpowiednio wyższą rozdzielczością za pomocą sklejanych wielomianów trzeciego stopnia. Operacja ta dostarcza sygnał o stałym kroku odległości, zachowując przy tym kształt pomierzonej trasy. Użytkownik widzi na ekranie transformatę Fouriera i może wybrać częstotliwość (w sensie liczby fal na jednostkę długości) odcięcia, czyli zdefiniować parametr filtru dolnoprzepustowego. Po zatwierdzeniu granicy odcięcia program dokonuje odwrotnej transformacji i przedstawia wynik filtracji na tle pierwotnego sygnału. Operację tę użytkownik może powtarzać dowolnie wiele razy, za każdym razem oceniając wynik filtrowania na tle wcześniejszych wyników.

Rezultat końcowy filtrowania sygnału można następnie traktować jako obraz rzeczywistego kształtu toru. Oczywiście w kształt ten nadal mogą być wpisane częstotliwości nie mające z nim nic wspólnego, jest on jednak z pewnością dużo bliższy rzeczywistości niż w fazie wyjściowej, tj. sprzed filtracji. Wynika to chociażby z racji wyeliminowania wysokich częstotliwości, nie mogących występować w torze z racji jego sztywności. Rezultat przykładowej transformacji Fouriera oraz uzyskane efekty filtrowania dla różnych wartości odcięcia przedstawiono na rysunkach **6** i **7**.

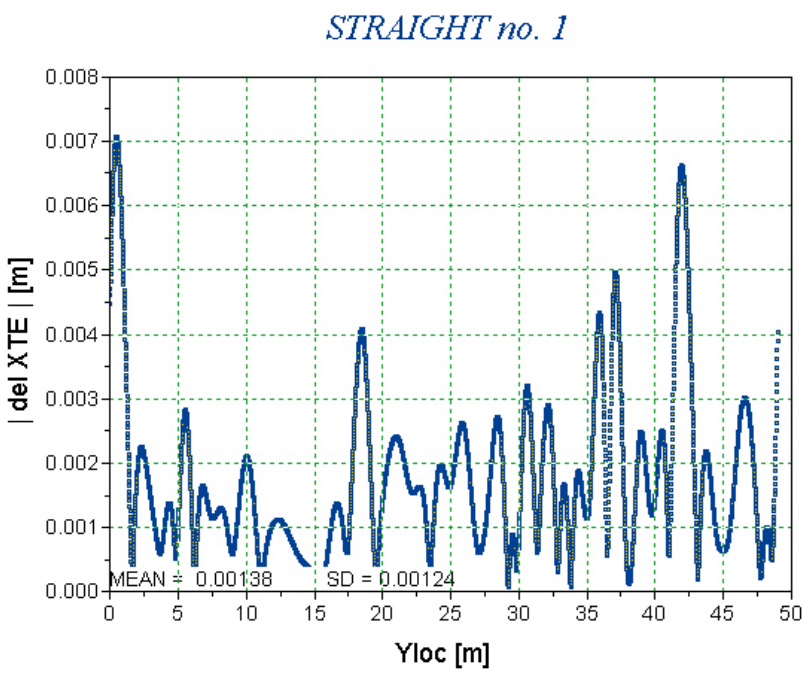
Uznano, że warunkom rzeczywistej pracy toru najbardziej odpowiada wartość odcięcia 0,1/m (rys. **6**). Istniejący kształt toru na prostej, mogący stanowić podstawę do określenia zbioru wartości wymaganych przesunięć poprzecznych (do projektu regulacji geometrycznej osi toru), pokazano na rysunku **8**.

Na zakończenie analizy na odrębnym wykresie prezentowane są wartości różnic sygnału oryginalnego oraz sygnału będącego wynikiem filtrowania w dziedzinie częstotliwości. Wartości te (w wartościach bezwzględnych) obrazują błąd pomiarowy. Na wykresie tym są dodatkowo wypisane wartości średniej arytmetycznej (MEAN) oraz odchylenia standardowego (SD) otrzymanych różnic. Wykres wartości ΔXTE dla prezentowanego przykładu oceny odcinka prostego przedstawiono na rysunku **9**.

Podsumowanie

- Zastosowanie ciągłych pomiarów satelitarnych, z antenami zainstalowanymi na poruszającym się pojeździe szynowym, stwarza możliwość odtworzenia położenia osi torów w bezwzględnym układzie odniesienia oraz ocenę występujących deformacji poziomych.
- Wdrożenie omawianej procedury wymaga opracowania w najbliższym czasie odpowiedniego wspomagania komputerowego. W pracy przedstawiono założenia opracowywanego obecnie programu komputerowego SATTRACK do wizualiza-

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl



***9**. Wartości bezwzględne różnic XTE dla ocenianej prostej (w skali skażonej)*

cji, oceny i projektowania trasy kolejowej, dostosowanego do techniki ciągłych pomiarów satelitarnych.

- Zaprezentowany w pracy moduł TRACK_STRAIGHT służy do oceny położenia odcinków prostych trasy. Pokazano opis jego funkcjonowania oraz przykłady zastosowania odpowiednich funkcji. W celu przeprowadzenia oceny rzeczywistego kształtu toru na danej prostej należy dokonać jej transformacji do lokalnego układu współrzędnych.
- Otrzymany sygnał XTE należy poddać analizie w celu sprawdzenia możliwości odfiltrowania pewnych składowych. W wyniku przeprowadzonego postępowania otrzymujemy zbiór wartości przesunięć poprzecznych toru – do projektu regulacji geometrycznej jego osi. ◀

Materiały źródłowe:

[1] Bosy J., Graszka W., Leonczyk M.: ASG-EUPOS – the Polish contribution to the EUPOS project. Symposium on Global Navigation Satellite Systems, Berlin, Germany, 11-14 November 2008.

[2] Koc W., Chrostowski P.: Wizualizacja przebiegu trasy kolejowej na podstawie pomiarów satelitarnych. IV Konferencja Naukowo-Techniczna „Projektowanie, Budowa i Utrzymanie Infrastruktury w Transporcie Szynowym INFRASZYN 2011", Zakopane, 6-8 kwietnia 2011.

[3] Koc W., Lewiński L.: Metodyka regulacji osi toru – stan obecny i perspektywy. III Konferencja Naukowo-Techniczna „Projektowanie, Budowa i Utrzymanie Infrastruktury w Transporcie Szynowym INFRASZYN 2010", Zakopane, 28-30 kwietnia 2010.

[4] Koc W., Specht C.: Wyniki pomiarów satelitarnych toru kolejowego. Technika Transportu Szynowego 2009, nr 7-8.

[5] Koc W., Specht C., Chrostowski P., Palikowska K.: Ocena dokładności określania osi toru kolejowego na drodze pomiarów satelitarnych. Logistyka 2010, nr 6 [CD-ROM] (XIV Międzynarodowa Konferencja „Komputerowe Systemy Wspomagania Nauki, Przemysłu i Transportu" TransComp 2010, Zakopane, 6-9 grudnia 2010).

[6] Koc W., Specht C., Jurkowska A., Chrostowski P., Nowak A., Lewiński L., Bornowski M.: Określanie przebiegu trasy kolejowej na drodze pomiarów satelitarnych. II Konferencja Naukowo-Techniczna „Projektowanie, Budowa i Utrzymanie Infrastruktury w Transporcie Szynowym INFRASZYN 2009, Zakopane, 22-24 kwietnia 2009.

[7] Koc W., Specht C., Lewiński L., Chrostowski P.: Regulacja osi toru w warunkach pomiarów satelitarnych (program badań). Zeszyty Naukowo-Techniczne Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji Rzeczpospolitej Polskiej Oddział w Krakowie, seria: Materiały Konferencyjne, nr 95 (zeszyt 154), Kraków 2010 (IX Konferencja Naukowo-Techniczna „Nowoczesne Technologie i Systemy Zarządzania w Kolejnictwie", Kościelisko, 1-3 grudnia 2010).

[8] Korn G.A., Korn T.M.: Matematyka dla pracowników naukowych i inżynierów. PWN, Warszawa 1983.

[9] Somla J., Wajda S., Oruba A., Ryczywolski M., Leonczyk M., Bosy J.: ASG-EUPOS w fazie testów. Geodeta – Magazyn Geoinformacyjny 2007, nr 12 (151).

[10] Specht C.: System GPS. Wydawnictwo BERNARDINUM, Pelplin, 2007.

[11] Strona internetowa: http://www.scilab.org (The Free Platform for Numerical Computation).

[12] Zieliński T. P.: Przetwarzanie sygnałów: od teorii do zastosowań. Warszawa, WKŁ 2007.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl