

Precyzyjne pozycjono

Wyposażenie telefonów komórkowych w rozwiązania pozwalające na absorpcję strumienia poprawek w terenie (mobilne łącze internetowe GPRS, EDGE, UMTS) i aplikacje umożliwiające opracowanie wyników pomiarów zachęca do próby użycia poprawek referencyjnych ASG-EUPOS.

Jerzy Saczuk

O becznie telefonia mobilna zdominowana została przez smartfony, urządzenia oferujące funkcje daleko wykraczające poza prowadzenie rozmów telefonicznych czy przesyłanie wiadomości tekstowych. Współczesne smartfony to w zasadzie zminiaturyzowane komputery dysponujące stosunkowo dużą mocą obliczeniową i ekranami o wysokiej rozdzielczości, oferujące zaawansowane funkcje multimedialne, zapewniające mobilny dostęp do internetu oraz pozwalające na uruchamianie różnego typu aplikacji. Smartfony wyposażone są w różne sensory: termometry, busole magnetyczne, żyroskopy, akcelerometry. Większość z nich posiada również wbudowany moduł GNSS, najczęściej z funkcją A-GPS (Assisted GPS).

Celem przyświecającym konstruowaniu modułów A-GPS jest zapewnienie wygodnej i szybkiej obsługi realizowanej różnymi metodami funkcji pozycjonowania w aplikacjach kategorii LBS (*location-based services*). Większą wagę przywiązuje się przy tym do optymalizacji energochłonności oraz minimalizacji kosztów wytwarzania układów, a mniejszą do zapewnienia wysokiej precyzji pozycjonowania. Dlatego warto się tym ostatnim problemem zająć.

W ramach projektu badawczego „Budowa modułów wspomagania serwisów czasu rzeczywistego systemu ASG-EUPOS” realizowane było zadanie „Stworzenie serwisu pozycjonowania z wykorzystaniem telefonów komórkowych GSM z modułem GNSS”, w którym podjęto badania w zakresie stworzenia technologii prowadzącej do optymalizacji precyzji wyznaczania pozycji przy użyciu telefonów komórkowych i smartfonów. W efekcie zostały opracowane:

- metoda **mRTK (mobilne RTK)** – zapewniająca decymetrową dokładności i przeznaczona do zastosowania z fazowymi odbiornikami GPS (np. SiRFstarIII, SiRFstarIV)

- metoda **mDGPS (mobilne DGPS)** – zaprezentowana w artykule metoda uniwersalna pozwalająca na uzyskanie dokładności pozycjonowania na poziomie 1-3 m, możliwa do wykorzystania w przypadku większości wbudowywanych w smartfony odbiorników A-GPS.

• Baza dla realizowanego projektu

W opracowanej technologii **mDGPS** wykorzystuje się poprawki referencyjne udostępniane przez serwisy czasu rzeczywistego systemu ASG-EUPOS. Serwisy te działają na zasadzie pomiarów różnicowych **DGNSS** (Differential GNSS) oraz **RTK** (Real-Time Kinematic) wykonywanych z użyciem stacji refe-

rencyjnych. Korekty obserwacyjne przesyłane są do zalogowanego użytkownika w czasie rzeczywistym za pośrednictwem mobilnego łącza internetowego, co umożliwia wykonywanie precyzyjnej lokalizacji bezpośrednio w terenie. W zależności od metody pomiarów (**DGPS/RTK**), rodzaju sprzętu pomiarowego (L1 lub L1/L2) i wybranego serwisu, możliwe jest uzyskanie dokładności pozycjonowania od 3 m do 3 cm (NAWGIS – 3 m, KODGIS – 0,25 m dla technologii DGPS/L1, NAWGEO – 0,03 m dla technologii RTK/L1 lub RTKL1/L2), czyli zdecydowanie lepszej niż w metodzie autonomicznej (zależnie od klasy odbiornika GNSS 5-30 m).

W projekcie przyjęto założenie, że istnieje możliwość użycia poprawek referencyjnych ASG-EUPOS do podwyższenia dokładności pozycjonowania z użyciem telefonów komórkowych. Przemawia za tym wyposażenie tych urządzeń w rozwiązania techniczne pozwalające na absorpcję strumienia poprawek w terenie (mobilne łącze internetowe GPRS, EDGE, UMTS) i aplikacje umożliwiające opracowanie wyników pomiarów. Niestety, moduły GNSS wbudowywane w telefony komórkowe i smartfony nie mogą zapewnić wysokiej precyzji pomiarów położenia. Są to na ogół odbiorniki jednosystemowe (GPS), jednoczęstotliwościowe (L1), kodowe. Ich oprogramowanie oraz API nie pozwalają na dostęp do surowych obserwacji (pseudoodległości), nie jest zatem możliwe zastosowanie standardowych metod pozycjonowania względnego DGPS czy RTK.

Rozwiązaniem było opracowanie specjalnych algorytmów pozwalających na wykorzystanie poprawek referencyjnych z pominięciem obserwacji pseudoodległości. Jego powodzenie uwarunkowane jest również innymi czynnikami, jak choćby stosowane przez oprogramowanie firmowe algorytmy wyznaczania pozycji (np. wygładzanie, filtr Kalmana). Nie bez znaczenia jest też poziom błędów pozycjonowania autonomicznego wynikający z błędów pomiarów kodowych (szumów odbiornika). Nie dla wszystkich smartfonów wyposażonych w odbiorniki GNSS różnych producentów metoda **mDGPS** będzie skuteczna. W każdym przypadku konieczna jest praktyczna weryfikacja rozwiązania drogą testów pomiarowych.

• Istota algorytmu mDGPS

Punktem wyjścia do zaprojektowania uniwersalnej aplikacji dostosowanej do większości wbudowanych odbiorników A-GPS jest rozpatrzenie postaci wyprowadzanych przez moduł GPS danych. Istotne dla realizowanego zadania dane dostępne dla programisty poprzez *Location API* lub sentencje NMEA obejmują: czas obserwacji, współrzędne $\{\phi, \lambda, h\}$, listę użytych do wyznaczenia pozycji satelitów, położenie satelitów

wanie smartfonem

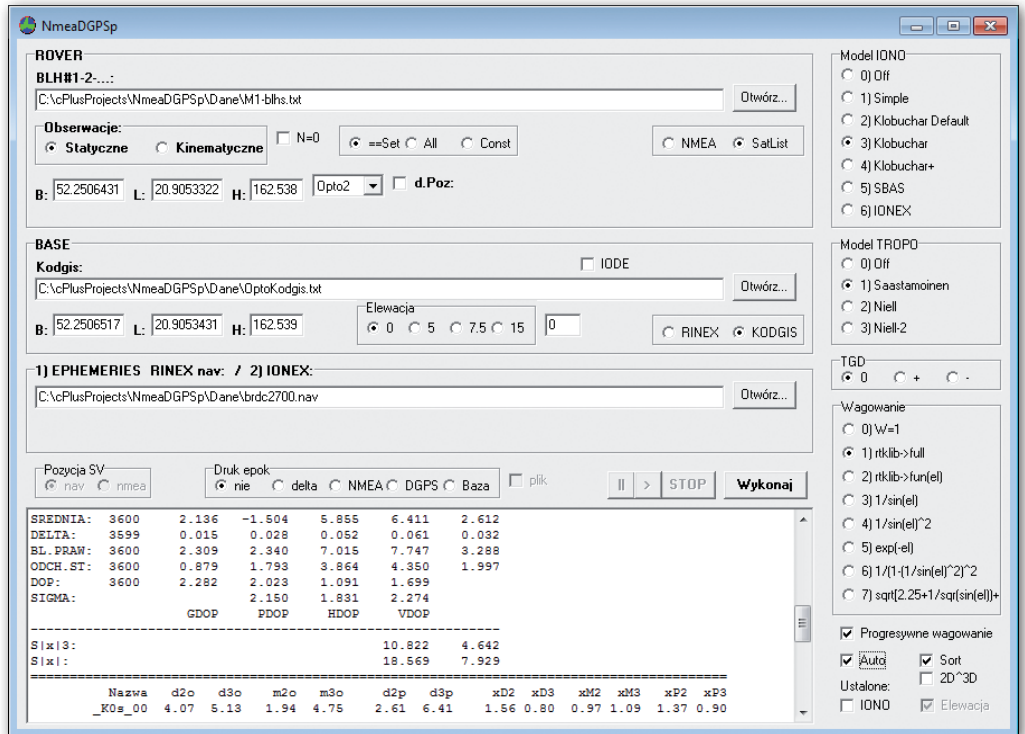
w układzie topocentrycznym (azy- mut i elewacja podane z niewiel- ką precyzją – 1°). Niestety, przy wykorzystaniu standardowych mechanizmów nie jest dostępna informacja o surowych obserw- acjach pseudoodległości. To stano- wi zasadniczy problem, gdyż apli- kowanie poprawek referencyjnych (wysyłanych np. poprzez serwis KODGIS lub możliwych do obli- czenia z obserwacji na stacji refer- encyjnej emitowanych w ramach serwisu NAWGEO) w metodzie DGPS odbywa się w zakresie od- ległości (*range domain*). W celu omińnięcia tego ograniczenia został opracowany algorytm transferują- cy poprawki do pseudoodległości serwisu ASG-EUPOS KODGIS na poprawki do pozycji (*position domain*) na podstawie wspomnianej informacji dostępnej za pomocą *Location API* oraz eferemeryd pokła- dowych i parametrów poprawek jonosferycznych Klobuchara (do- stępnych w plikach nawigacyjnych RINEX).

Algorytm sprowadza się do wykonania niejako końcowej iteracji stosowanej w klasycznym rozwiązaniu nawigacyjnym. Jego istotą jest rozwiązanie nadokreślonego układu równań obserwacyjnych doprowadzonych do postaci liniowej drogą rozwinięcia w szereg Taylora wokół przybliżonej pozycji odbiornika wyrażonej we współrzędnych ortogonalnych geocen- trycznych ECEF $[x_0, y_0, z_0]^T$, za którą przyjmowana jest pozycja wyznaczona przez odbiornik GPS (dostępna z poziomu *Location API*). Postać układu równań przedstawiono we wzorze (1).

$$\begin{bmatrix} l^1 \\ \vdots \\ l^n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{x_0 - x^1}{\rho_0^1} & \frac{y_0 - y^1}{\rho_0^1} & \frac{z_0 - z^1}{\rho_0^1} & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{x_0 - x^n}{\rho_0^n} & \frac{y_0 - y^n}{\rho_0^n} & \frac{z_0 - z^n}{\rho_0^n} & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} dx \\ dy \\ dz \\ d(cdt) \end{bmatrix} \quad (1)$$

Elementy macierzy obserwacyjnej (współczynniki kierun- kowe) można obliczyć na podstawie znanego położenia sateli- tów z danych zawartych w pliku eferemeryd pokładowych. Inną możliwą teoretycznie drogą jest ich obliczenie na podstawie dostępnego z poziomu *Location API* położenia satelitów w ukła- dzie topocentrycznym.

Natomiast jako wartości elementów wektora wyrazów wol- nych należy zastosować funkcję wartości poprawek do pseudo- odległości. Ponieważ te poprawki mają zastąpić wpływy opóźnienia jonosferycznego i troposferycznego aplikowane w oprogramowaniu firmowym odbiornika, wzory na warto- ści elementów wektora muszą uwzględnić te wpływy, jak po- kazano we wzorze (2).



Rys. 1. Funkcje programu NmeaDGPS

$$l^j = -C_r^j + I_u^j + T_u^j \quad (2)$$

gdzie:

C_r^j – poprawka do pseudoodległości dla j-tego satelity i r-tej stacji referencyjnej,

I_u^j – opóźnienie jonosferyczne wykorzystywane przez odbior- nik, z założenia wyliczane z modelu Klobuchara,

T_u^j – opóźnienie troposferyczne, z założenia wyliczane z użyciem prostego modelu, nieuwzględniającego tempera- tury, ciśnienia, wilgotności powietrza (np. model Saastam- inena, Niella).

Rzeczywiste wartości opóźnienia jonosferycznego i tropo- sferycznego wykorzystywane przez odbiornik nie są w prak- tyce znane, podobnie jak model wagowania układu równań obserwacyjnych. Rozwiązaniem może być próba empiryczne- go potwierdzenia tych wartości drogą pomiarów testowych.

• Program NmeaDGPS

Wyboru prawidłowego rozwiązania pod względem doboru nieznanych wartości opóźnienia jonosferycznego i tropo- sferycznego, a także najbardziej podobnego do zastosowanego w oprogramowaniu firmowym odbiornika sposobu wagowa- nia równań, można dokonać na podstawie analizy wyników pomiarów testowych. Z tego względu za integralny element technologii **mDGPS** należy uważać opracowany specjalnie program **NmeaDGPS**. W testach statycznych dane wejściowe dla programu stanowią:

- wyniki pomiarów testowych w postaci pliku w formacie NMEA lub specjalnym formacie tekstowym BLHS z wynikami pozycjonowania i listą wykorzystanych satelitów,

- współrzędne punktu stanowiska testowego,
- plik poprawek referencyjnych serwisu KODGIS lub plik pomiarowy w formacie RINEX dla stacji referencyjnej uzyskiwany np. z serwisu NAWGEO,
- plik nawigacyjny w formacie RINEX z efemerydami pokładowymi i parametrami Klobuchara.

W programie **NmeaDGPS** przewidziano również opcję prowadzenia testów w trybie pomiarów kinematycznych. Wtedy jako danych odniesienia należy użyć pliku z pozycjami w kolejnych epokach w formacie obowiązującym w systemie **rtklib**. Analizy kinematyczne można przeprowadzić na podstawie testów polegających na wykonywaniu pomiarów w ruchu, z użyciem precyzyjnego odbiornika (lub np. pary odbiorników) GNSS generującego pozycje referencyjne z użyciem technologii **RTK**.

Program **NmeaDGPS** (rys. 1) pozwala w trakcie opracowania wyników na wybór jednego z pięciu zaimplementowanych modeli jonosfery, czterech modeli troposfery i ośmiu strategii wagowania. Możliwe jest automatyczne przetworzenie danych z użyciem wszystkich kombinacji i uzyskanie protokołu z oceną statystyczną rozwiązań posortowaną według różnych kryteriów. Uzyskane ciągi rozwiązań mogą być prezentowane w postaci graficznej, a ich ocenę ułatwiają generowane parametry statystyczne.

• Praktyczna weryfikacja metody mDGPS

Algorytm **mDGPS** można traktować jako uproszczoną wersję technologii **DGPS**. Aby uzyskać pewność co do słuszności koncepcji, wykonana została jej praktyczna weryfikacja:

- Pozyskano z ASG-EUPOS zbiory danych pomiarowych (plik RINEX) dla stacji wirtualnych VRS: 1 godzina obserwacji.
- Na podstawie tych danych wykonano obliczenia pozycji dla kolejnych epok z użyciem metody SPS (*standard positioning service*), wykorzystując jedynie obserwacje kodowe na częstotliwości L1 (tak, jak to realizowane jest przez odbiorniki GPS w telefonach mobilnych).
- Wyniki pozycjonowania zostały zapisane w postaci plików BLHS, którego wiersze zawierają informacje o czasie, pozycji i zestawie satelitów wykorzystanych do pozycjonowania.

Wygenerowane w powyższy sposób dane posłużyły do testowania efektu zastosowania algorytmu **mDGPS**. W testach analizowano skutek zastosowania różnych opcji. Porównywano efekt użycia identycznego zestawu satelitów i identycznego modelu wyznaczania pozycji w stosunku do użycia zmodyfikowanych parametrów oraz odmiennych modeli wagowania.

Główny wniosek z testów jest taki, że zastosowanie metody **mDGPS**, poprawiającej już wyznaczoną pozycję bez wykorzystania surowych obserwacji pseudoodległości, w sytuacji zastosowania analogicznego modelu wyznaczania pozycji przynosi rezultaty zbliżone do dokładnej, klasycznej metody **DGPS**. Jednoznacznie potwierdza on poprawność koncepcyjną opracowanej metody korygowania pozycji wyznaczonej przez odbiorniki GNSS wbudowane w smartfony.

• Dostrojenie algorytmu do rzeczywistych wymogów urządzeń GPS

Algorytm **mDGPS**, choć poprawny koncepcyjnie, nie musi przynosić oczekiwanych efektów w stosunku do pozycji wyznaczonej przez wszystkie odbiorniki A-GPS stanowiące wyposażenie współczesnych smartfonów. Uzależnione to jest od cech samych odbiorników, ich precyzji czy możliwości wpływu na sposób ich funkcjonowania za pomocą ustawień dostępnych z poziomu systemu operacyjnego terminala mobilnego. Jak wykazują doświadczenia, odbiorniki A-GPS cechuje na ogół stosun-



Rys. 2. Efekt filtracji statycznej w smartfonie HTC Desire

kowo niewielka precyzja, najczęściej wyposażono je w zaawansowane funkcje korekty pozycji (wygładzanie, filtr Kalmana).

Miarodajnej i wiarygodnej oceny skuteczności metody **mDGPS** dla określonych urządzeń i dostosowania algorytmu do ich specyfiki dokonano na podstawie przeprowadzonych na szeroką skalę pomiarów eksperymentalnych, realizowanych na punktach testowych o dokładnie ustalonej pozycji.

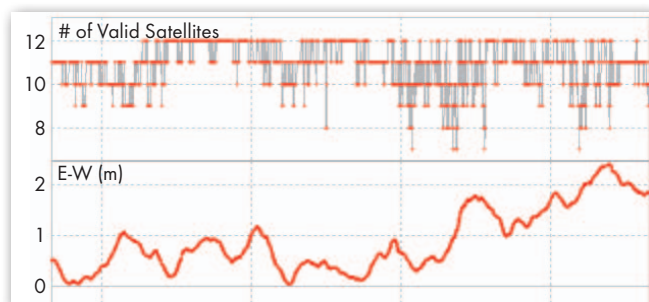
W wyniku prac eksperymentalnych dostrzeżone zostały pewne problemy mogące negatywnie wpłynąć na skuteczność algorytmu **mDGPS** i wymagające specjalnego podejścia.

• **Statyczna filtracja.** Problemem użycia niektórych wbudowanych odbiorników A-GPS jest stosowanie funkcji filtracji statycznej. W odbiornikach SiRF funkcja ta nosi nazwę *Static Navigation*. Jej efekt polega na tym, że w przypadku detekcji statycznej pozycji odbiornika (mierzona szybkość nieprzekraczająca 5 km/h) emituje on dane o niezmienniej pozycji, dobranej na podstawie pierwszego z serii wyznaczeń statycznych. Jest to pozycja obciążona błędem przypadkowym, który może osiągnąć wartość dochodzącą do kilku metrów. Funkcji tej na ogół nie można wyłączyć bez ingerencji w system operacyjny smartfona (np. rootowanie telefonu Samsung S2 z modułem SiRF IV).

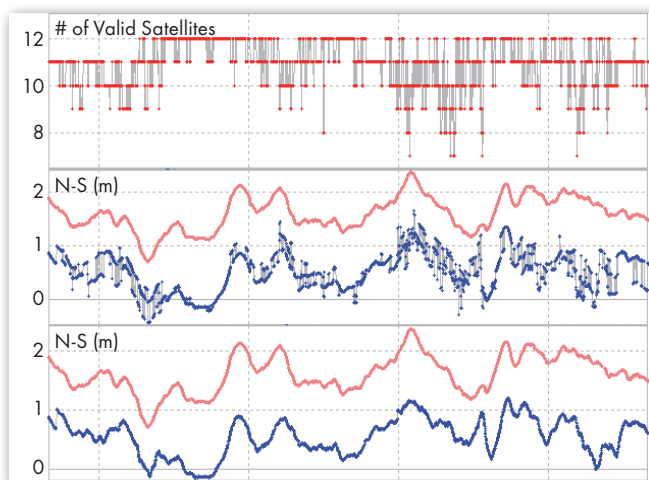
O podobną funkcję filtracji statycznej, realizowaną jednak w inny sposób, można podejrzewać również odbiorniki GNSS innych typów, jak np. moduł użyty w smartfonie HTC Desire (rys. 2). Filtracja statyczna, będąca np. bolączką entuzjastów geocachingu, eliminuje sensowność użycia algorytmu **mDGPS** przy realizacji pomiarów statycznych lub nawigacji „pieszej”.

• **Duża zmienność zestawu satelitów.** Wykorzystanie identycznego zestawu satelitów z użytym do wyznaczenia pozycji w procedurze wyliczania korekty **mDGPS** wydaje się kluczowym warunkiem skuteczności algorytmu. W przypadku grupy odbiorników stwierdzono, że zestawy te zmieniają się w szerokim zakresie i z nienaturalnie dużą częstotliwością. Przykładem są smartfony Nokia N95 i N5230, wyposażone najprawdopodobniej w moduł GPS TI NaviLink. Zmienność użytych satelitów w czasie dla tych urządzeń wraz z wykresem zmienności pozycji w kierunku osi E zilustrowana została na rys. 3.

Wynika z niego, że zmiany konstelacji użytych satelitów nie skutkują nagłymi skokami pozycji, jak to ma miejsce przy stosowaniu prostego, bazującego na metodzie najmniejszych kwadratów algorytmu wyznaczania pozycji metodą SPS. Wskazuje to na użycie przez oprogramowanie firmowe odbiornika jakiegoś zaawansowanego filtra wygładzania. Jak jednak wykazały analizy, nawet w zilustrowanym przypadku użycie tych zestawów do wyznaczenia korekty pozycji prowadzi do najkorzyst-



Rys. 3. Zmiany zestawu użytych satelitów a zmienność pozycji (Nokia N95)



Rys. 4. Efekt uśredniania poprawionej pozycji z użyciem „wagowania progresywnego”. Błąd prawdziwej pozycji w układzie współrzędnych topocentrycznych ENU. Kolor czerwony: pozycja oryginalna wyliczona przez odbiornik GPS; niebieski: pozycja poprawiona po przetworzeniu algorytmem mDGPS

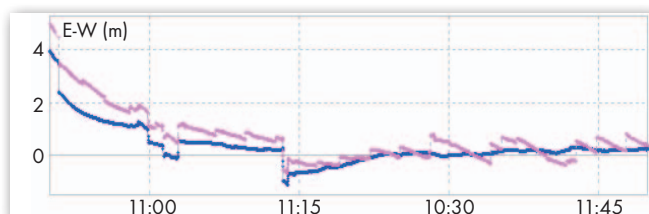
niejszego rezultatu, a zestaw satelitów ma uśredniony wpływ na wyznaczenie pozycji przez odbiornik. Dlatego najbardziej skutecznym i uniwersalnym podejściem okazało się użycie w metodzie mDGPS specjalnie opracowanego algorytmu „progresywnego wagowania”.

•**Progresywne wagowanie.** Ten algorytm został opracowany specjalnie w celu umożliwienia korekty pozycji z uwzględnieniem zestawu użytych satelitów, bez ujemnego efektu zakłócenia ciągłości szeregu wyznaczeń (skoków pozycji wynikających ze zmiany konstelacji). Jego istota polega na włączaniu do układu równań obserwacyjnych również tych odpowiadających satelitom niebiorącym aktualnie udziału w wyliczaniu pozycji przez odbiornik, z wagą rosnącą proporcjonalnie do liczby wystąpień satelity w poprzednich epokach. Absencja satelity w aktualnym zestawie zmniejsza, a wystąpienie zwiększa jego wagę. Wpływ użycia algorytmu wagowania progresywnego na opracowanie wyników pomiarów telefonem Nokia N95 przedstawia rys. 4.

•**Opcja użycia współrzędnych topocentrycznych.** Do formułowania układu równań obserwacyjnych używa się informacji o położeniu satelitów z efemeryd pokładowych. Alternatywą mogłoby być wykorzystanie współrzędnych topocentrycznych satelity dostępnych z poziomu *Location API*.

Rys. 5 przedstawia porównanie efektów zastosowania obu sposobów. Jasno z niego wynika, że użycie danych efemerydalnych prowadzi do zdecydowanie lepszego rezultatu. Ponieważ transfer pliku nawigacyjnego z serwisu ftp nie obciąża technologii dodatkowym kosztem wobec konieczności uzyskania współczynników Klobuchara, zastosowanie algorytmu bazującego na współrzędnych topocentrycznych wydaje się bezcelowe.

•**Problem aktualności współczynników Klobuchara.** Algorytm mDGPS wykorzystujący wzory (1) i (2) opiera się na założeniu (potwierdzonym eksperymentalnie), że odbiorniki A-GPS



Rys. 5. Rozkład w czasie pozycji skorygowanych algorytmem mDGPS przy wykorzystaniu efemeryd (niebieski) lub współrzędnych topocentrycznych satelitów (fioletowy)

46283550:	0.1956D-07	-0.7451D-08	-0.5960D-07	0.1192D-06	ION ALPHA
	0.1372D+06	-0.1966D+06	0.6554D+05	0.1311D+06	ION BETA
47523550:	0.1583D-07	-0.7451D-08	-0.5960D-07	0.1192D-06	ION ALPHA
	0.1290D+06	-0.2130D+06	0.6554D+05	0.3277D+06	ION BETA

Rys. 6. Odmienność parametrów Klobuchara w odbiornikach geodezyjnych

stosują model Klobuchara z parametrami z depeszy nawigacyjnej w celu usunięcia wpływu opóźnień jonosferycznych. Współczynniki Klobuchara dostępne są również w plikach nawigacyjnych RINEX. Jak wykazały doświadczenia, ze współczynników dostępnych w plikach RINEX należy korzystać z rozmysłem, nie ma bowiem 100-procentowej pewności co do ich aktualności. Przykładem są pliki dostarczane przez serwis POZGEO-D ASG-EUPOS, które w ostatnich miesiącach działania serwisu zawierały nieaktualne wartości współczynników. Ich użycie generuje dochodzący do kilku metrów błąd wyznaczenia pozycji metodą SPS. Najbezpieczniejszym rozwiązaniem jest skorzystanie z danych IGS oraz potwierdzenie wartości współczynników Klobuchara w dodatkowych serwisach.

Pod uwagę należy brać również to, że nie ma pewności co do zgodności współczynników Klobuchara dostarczanych w plikach nawigacyjnych z faktycznie użytymi przez odbiornik. Analizując dane z pracujących synchronicznie odbiorników geodezyjnych Trimble 5700, zauważono różnicę tych parametrów w wygenerowanym na podstawie danych binarnych pliku nawigacyjnym RINEX (rys. 6). Ten sam problem z większym prawdopodobieństwem dotyczyć może odbiorników A-GPS stanowiących wyposażenie smartfonów. Sposobem jego minimalizacji jest odpowiednia strategia realizacji pomiarów: wyłączenie funkcji A-GPS, wyzerowanie danych efemerydalnych przechowywanych w urządzeniu, zimny start.

•**Wybór między serwisem KODGIS a NAWGEO.** Naturalnym rozwiązaniem jest wykorzystanie dla potrzeb realizacji metody mDGPS poprawek referencyjnych do pseudoodległości z serwisu KODGIS, choć możliwe jest również obliczenie ich na podstawie obserwacji kodowych dostępnych w NAWGEO. Porównanie obu rozwiązań wypada na korzyść serwisu KODGIS. Wpływa na to wolna zmienność poprawek w czasie, co pozwala korzystać bez szkody z wartości ekstrapolowanych w przypadku niestabilności mobilnego łącza internetowego. Jednak przede wszystkim przemawia za tym zastosowana w KODGIS niska wartość maski elewacji, co decyduje o większej zgodności konstelacji satelitów wykorzystywanych przez odbiornik, dla którego realizuje się korektę pozycji, z zestawem poprawek referencyjnych. Wykorzystanie serwisu NAWGEO prowadzi za zwyczaj do wyraźnie gorszych rezultatów.

• Ocena skuteczności metody mDGPS dla wybranych smartfonów

Celem metody mDGPS jest poprawa obliczonej przez odbiornik GPS pozycji osiągnięta drogą eliminacji błędów wynikających z opóźnień jonosferycznych, troposferycznych i błędów efemeryd satelitów. Błędy te – spowodowane użyciem przybliżonych modeli jonosfery i troposfery – mogą osiągać wielkość od kilku decymetrów do kilku metrów. W zależności od precyzji odbiornika stanowią one mogą mniej lub bardziej znaczącą część całkowitego błędu pozycjonowania. Dlatego dla odbiorników charakteryzujących się małą precyzją poprawa pozycji może stanowić niewielką część całkowitego błędu.

Miarą precyzji odbiornika jest stopień rozproszenia wyznaczanych pozycji, mierzony wielkością odchylenia stan-

dardowego. Przykłady tego parametru dla smartfonów Samsung S2 (kolor fioletowy) i Nokia N95 (kolor czerwony) przedstawiono na rysunku 7. Przeciętna wartość błędu średniego pozycji poziomej dla smartfona Samsung S2 wynosi 0,9 m, a dla Nokii N95 1,3 m, co znajduje odzwierciedlenie na przykładowym rysunku.

Wykonano testy kilkunastu odbiorników GPS i smartfonów, realizując po kilka serii pomiarów testowych. Starano się w ten sposób wyselekcjonować urządzenia, dla których metoda **mDGPS** przynieść może zadowalające rezultaty. Próbowano zarazem ustalić najbardziej odpowiedni schemat realizacji algorytmu.

W odbiornikach różnego typu napotkano różne problemy. Na przykład w odbiornikach SiRFstarIV problem dotyczył poprawności wyznaczania wysokości. Pomiarzy mają tendencję niejako przyszpiania się i oscylowania wokół przypadkowej wysokości. Natomiast położenie płaskie charakteryzuje się niewielkim błędem błędem i dość dużym skupieniem serii statycznych wyznaczeń pozycji. Ustalono, że korekty **mDGPS** dla tego odbiornika przynoszą dobry rezultat dla położenia płaskiego (najlepszy efekt spośród testowanych odbiorników), natomiast ich stosowanie do korekty współrzędnej wysokościowej jest problematyczne.

W grupie urządzeń poddawanych testom znalazły się:

Moduły Bluetooth-GPS

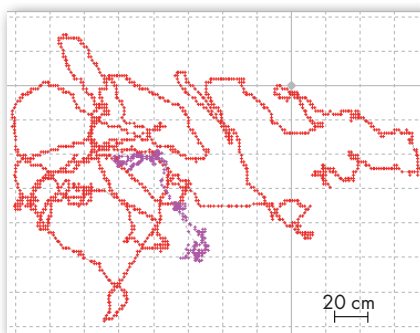
- RoyalTek RBT-1000, (SiRFstar II),
- RoyalTek RBT-1000, (SiRFstar II Xtrac)
- Motorola T805 (SiRFstar III)
- Nokia LD-3W (SiRFstar III)
- Nokia LD-4W (SiRFstar III)

Moduły USB-GPS

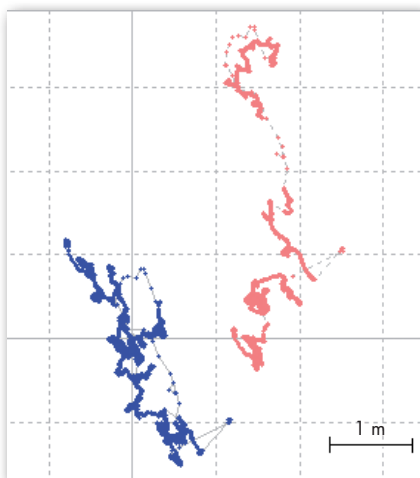
- NaviLock NL-442U (SiRFstarIV)

Smartfony

- HTC-Desire (?) (Android)
- Nokia 2710 (TI NaviLink) (system producenta)
- Nokia N95 (TI?) (Symbian)
- Nokia N5230 (TI?) (Symbian)
- ETEN Glofish X500 (SiRFstarIII) (Windows Mobile)
- MIO K70 (Qualcomm gpsOne) (Windows Mobile)
- Samsung S2 (SiRFstarIV) (Android).



Rys. 7. Porównanie precyzji pozycjonowania dla smartfonów Samsung S2 (fioletowy) i Nokia N95 (czerwony)



Rys. 8. Efekt korekcji pozycji poziomej wyznaczonej odbiornikiem SiRFstarIV (czerwony): pozycja oryginalna wycieczona przez odbiornik GPS, niebieski: pozycja poprawiona, po przetworzeniu algorytmem **mDGPS**)

Wyniki poprawy pozycji z użyciem metody **mDGPS** dla wybranych urządzeń przedstawiono w tabeli poniżej. Kolejne kolumny oznaczają w niej:

n – liczba wykonanych serii pomiarowych,

m2D – przeciętna wartość błędu średniego pozycji poziomej,

Δ2D – przeciętna odległość pozioma średniej pozycji poprawionej od nominalnego punktu,

x2D – przeciętna wartość współczynnika poprawy pozycji poziomej (stosunek odległości poziomej od punktu nominalnego średniej z serii pozycji oryginalnych i poddanych korekcie),

% – procent serii, w których algorytm **mDGPS** nie przyniósł poprawy pozycji.

• Optymistyczne wnioski

Wyniki testów pokazują, że metoda **mDGPS** jest skuteczna dla większości odbiorników GPS, w jakie wyposażone są współczesne smartfony. Jednak najczęściej stopień poprawy jest stosunkowo niewielki, odległość punktu o wartości średniej od punktu nominalnego przewyższa często 1 metr, a dodatkowo wyznaczone pozycje charakteryzują się dużym rozproszeniem (błąd średni na poziomie 1-2 m).

W praktyce skuteczność metody **mDGPS** ujawnia się w przypadku odbiorników GPS cechujących się wyższą precyzją. W grupie testowanych urządzeń najlepiej wypadają smartfony lub moduły GPS wyposażone w układ SiRFstarIV, dla których poprawione pozycje poziome

w około 70% (przy założeniu, że błędy podlegają rozkładowi normalnemu) mieszczą się w promieniu 1,0 m od rzeczywistego położenia, nie wykraczając na ogół poza promień 2,0 m (rys. 8).

Taka (podwyższona) dokładność wyznaczania pozycji mogłaby zadowolić znaczną grupę użytkowników aplikacji LBS, jak np. amatorzy geocachingu. Rozwiązanie mogłoby znaleźć bardziej praktyczne zastosowanie, np. w aplikacjach nawigacji samochodowej, pozwalając na udzielanie kierowcy wskazówek z precyzją wydzielonego pasa ruchu. Z tego względu podjęte zostały prace związane z opracowaniem aplikacji implementującej algorytm **mDGPS** na smartfony z systemem operacyjnym Android.

Metoda **mDGPS** (jak klasyczna metoda DGPS) oferuje dokładności, które nie mogą zadowolić ani geodetów, ani nawet specjalistów GIS. Inaczej będzie w przypadku algorytmu **mRTK**, zasygnalizowanego na wstępie artykułu, któremu pragnąłbym poświęcić kolejny artykuł. Natomiast przyznam, że w czasie prac terenowych sam używam telefonu do lokalizacji punktów osnowy na podstawie przybliżonych współrzędnych. Odszukanie punktu osnowy zasypanego opadłymi liśćmi zajęło mi kiedyś ponad pół godziny. Gdybym dysponował opisywaną technologią, mógłbym zawęzić promień poszukiwań do 1-2 m, zamiast przeszukiwać znacznie większy obszar.

Dr inż. Jerzy Saczuk

Centrum Geomatyki Stosowanej,
Wojskowa Akademia Techniczna

Wyniki poprawy pozycji z użyciem metody mDGPS

Lp.	Urządzenie	GPS	n	m2D	Δ2D	x2D	%
1	NL-442U	SiRF IV	4	0,740	0,297	15,82	0
2	Samsung S2	SiRF IV	6	0,686	0,539	15,03	17
3	N95/N5230	TI - ???	3	1,208	1,000	1,81	33
4	N2710	TI NaviLink	8	1,583	1,784	1,87	25
5	Motorola T805	SiRF III	4	1,931	1,612	1,44	0
6	MIO	gpsOne	5	0,824	2,375	1,12	20
7	RBT-1000	SiRF II	7	3,076	0,920	2,33	28