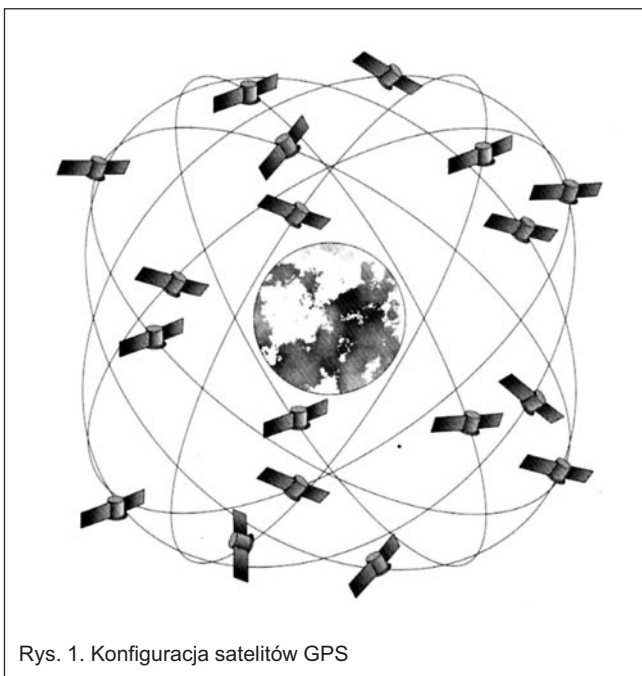


# Wyznaczanie pozycji punktów za pomocą technologii satelitarnych GPS

# Globalny System Pozycyjny

Janusz Śledziński

Od wielu już lat pozycje (współrzędne) punktów geodezyjnych wyznacza się za pomocą technik satelitarnych. Zdecydowały o tym przede wszystkim główne zalety tych technik w porównaniu z tradycyjnymi technikami naziemnymi: wyższa dokładność, nieporównywalnie krótszy czas potrzebny do otrzymania ostatecznych wyników (współrzędnych punktów), prawie zupełna automatyzacja pomiarów i ich opracowania oraz znacznie niższe koszty. Metody triangulacji czy trilateracji stosowane przez wiele lat dla tworzenia sieci geodezyjnych straciły swe podstawowe znaczenie i zostały zastąpione metodami satelitarnymi.



Rys. 1. Konfiguracja satelitów GPS

## 1. Wstęp

Dzisiaj nie tworzymy zatem sieci triangulacyjnych i trilateracyjnych, lecz przestrzenne geodezyjne sieci satelitarne. Wszystkie technologie pomiarów satelitarnych służące powszechnie do wyznaczania położenia (współrzędnych) punktów opierają się obecnie na wykorzystaniu Globalnego Systemu Pozycyjnego znanego pod dwiema nazwami: GPS lub NAVSTAR, będącymi akronimami ich pełnych nazw: Global Positioning System i NAVigation Satellites Timing And Ranging (satelity nawigacyjne służące do przekazywania czasu i pomiaru odległości).

Celem tego artykułu jest wyjaśnienie, na czym polega wyznaczanie położenia punktów technologiami satelitarnymi GPS, czym różnią się obecnie znane technologie GPS, kiedy i dla jakich prac mogą być stosowane. Jak działa odbiornik satelitarne GPS i co w istocie mierzy. Oczywiście słów kilka powiemy także o samym systemie GPS, jego konstrukcji i jego elementach. Postaramy się przy tym ograniczyć do niezbędnego minimum przytaczanie wzorów matematycznych.

## 2. Konstrukcja systemu GPS

Globalny System Pozycyjny GPS został zaprojektowany i skonstruowany w USA na zlecenie amerykańskiego Ministerstwa

Obrony (DoD – Department of Defense) jako globalny wojskowy system nawigacyjny. Składa się on z trzech elementów (segmentów): konstelacji 24 satelitów, Ośrodka Dowodzenia połączonego ze stacjami permanentnie obserwującymi wszystkie satelity GPS oraz użytkowników systemu wyposażonych w odbiorniki satelitarne GPS. System GPS znajduje się od 1 stycznia 1995 roku w pełnym stadium operacyjnym i obecna konstelacja satelitów składa się z 24 satelitów umieszczonych po cztery na sześciu orbitach nachylonych względem równika pod kątem  $55^\circ$ , równomiernie rozłożonych w długości geograficznej. Daje to konfigurację satelitów widoczną na rys.1. Satelity GPS poruszają się po orbitach prawie kołowych oddalonych od powierzchni Ziemi o ponad 20 000 km, okres jednego obiegu takiego satelity wokół Ziemi wynosi około 12 godzin. Takie rozmieszczenie satelitów w przestrzeni zapewnia możliwość jednoczesnego obserwowania (widzenia) przynajmniej czterech satelitów GPS z dowolnego punktu na Ziemi.

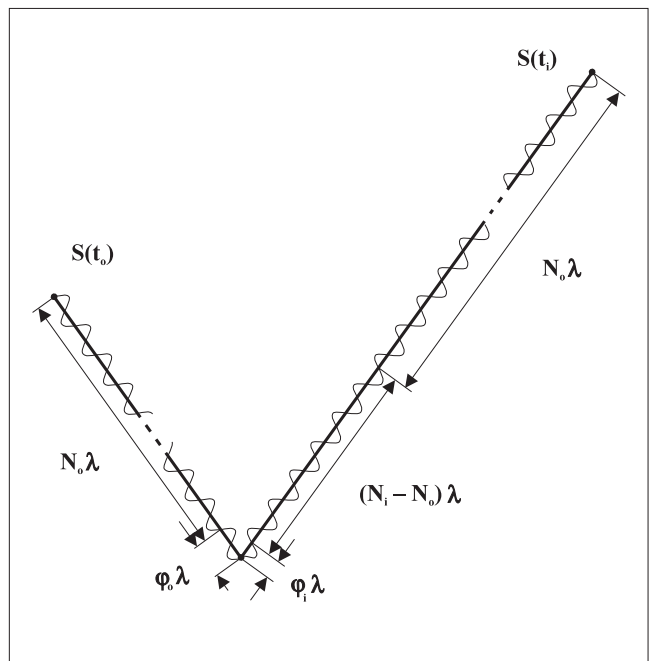
Wszystkie satelity GPS są permanentnie obserwowane przez kilka tzw. stacji monitorujących i dla każdego satelity obliczane są precyzyjne elementy jego orbity i poprawka pokładowego zegara atomowego. Te dane są co godzina lub dwie wprowadzane do pamięci komputerów pokładowych na satelitach. W ten sposób każdy satelita ma aktualizowaną swoją pozycję w przestrzeni i synchronizację swego zegara do czasu całego systemu GPS. Ośrodek Dowodzenia systemu GPS (Master Control Station) znajduje się w bazie amerykańskich sił lotniczych w Colorado Springs. Stacje obserwacyjne (Monitor Stations) pracują w Kwajalein, Diego Garcia, na Wyspach Wniebowstąpienia (Ascension Is.) i na Hawajach.

Sygnal satelitarne, jaki dociera z satelity do odbiornika, jest bardzo skomplikowany. Składa się on z dwóch podstawowych częstotliwości, tzw.  $L1 = 1575,42$  MHz i  $L2 = 1227,60$  MHz, na które nałożone są specjalne kody C/A i P oraz cały pakiet różnych informacji. Pomiar prowadzony na dwóch częstotliwościach jest praktycznie wolny od wpływu refrakcji jonosferycznej (refrakcję niższych warstw atmosfery – troposfery – eliminuje się poprzez automatyczne wprowadzanie poprawek obliczanych na podstawie przyjętego modelu atmosfery). Kody zawarte w sygnale satelitów są wykorzystywane do pomiaru odległości (tzw. pseudoodległości) satelity od anteny odbiornika. Kod C/A jest kodem ogólnie dostępnym (clear access) i mniej dokładnym (coarse acquisition), zaś kod P jest kodem precyzyjnym (precise), ale dostępnym nie wszystkim, lecz tylko uprawnionym użytkownikom (protected). Pakiet informacji zawarty w sygnale satelitarne zawiera między innymi elementy orbit wszystkich satelitów GPS (tzw. almanach satelitów), poprawki zegarów pokładowych oraz dane o jakości sygnalu. Odbiornik satelitarne składa się z anteny, która odbiera sygnały emitowane przez satelity GPS, wzmacniacza i kilku kanałów (6-12), w których są dekodowane i odpowiednio opracowywane sygnały poszczególnych satelitów obserwowanych jednocześnie.

### 3. Pomiar odległości satelity od anteny odbiornika

Co mierzy odbiornik satelitarne? Odbiornik mierzy odległość satelity od anteny odbiornika umieszczonej na punkcie geodezyjnym albo na ruchomym obiekcie, którego stałą pozycję albo tor (trajektorię) chcemy wyznaczyć. Pomiar odległości może być wykonany metodą kodową (pomiar pseudoodległości) albo metodą fazową (pomiar fazowy).

W pomiarze kodowym wykorzystuje się fakt, że satelita emituje,



Rys. 2. Problem nieoznaczoności pełnych cykli długości fal

je, a odbiornik wytwarza ten sam kod (C/A lub P) w tych samych określonych momentach czasu. Kod, który z sygnałem satelitarne dociera do odbiornika, jest przesunięty w czasie względem kodu wytwarzanego w odbiorniku (tzw. replica code). Przesunięcie to jest miarą czasu, w jakim sygnał dociera z satelity do anteny odbiornika, i jest proporcjonalne do odległości Ziemia – satelita. W odbiorniku następuje przesunięcie obu kodów względem siebie aż do uzyskania tzw. korelacji. W ten sposób pomierzony czas  $t$  przebiegu sygnału z satelity do odbiornika pomnożony przez prędkość rozchodzenia się fal elektromagnetycznych  $c$  jest równy mierzonej odległości Ziemia – satelita  $d$ .

$$d = ct$$

Procedura ta jest w istocie swej podobna do metody naziemnego pomiaru odległości przy zastosowaniu dalmierzy elektronicznych. Jedną jest wszakże zasadniczą różnicą. W pomiarach odległości dalmierzem elektronicznym sygnał jest wysyłany z dalmierza i po odbiciu od lustra rejestrowany również w tym samym instrumencie. Mierzona jest podwójna droga (odległość dalmierz – lustro). W przypadku pomiarów satelitarne sygnał jest emitowany przez satelity i odbierany przez antenę odbiornika. Mierzona jest tu pojedyncza droga przebiegu sygnału od satelity do odbiornika. Jest oczywiste, że dokładne przeprowadzenie takiego pomiaru jest możliwe jedynie w przypadku istnienia synchronizacji zegarów satelity i odbiornika, bowiem bez synchronizacji tych zegarów pomiar czasu przebiegu sygnału od satelity do odbiornika nie jest możliwy. Można jeszcze dodać, że pomiar odległości dokonany poprzez pomiar czasu przebiegu sygnału wzdłuż pojedynczej drogi obarczony szcątkowym wpływem błędów niesynchronizacji zegarów zwykło się nazywać pomiarem pseudoodległości.

Drugą ze wspomnianych wyżej metod pomiaru odległości od satelity, czyli metoda fazowa polega na pomiarze fazy sygnału dochodzącego do odbiornika. Mierzona odległość  $d$  wyrażana jest w tej metodzie poprzez pewną całkowitą liczbę  $N$  pełnych znanych długości fali  $\lambda$  mieszczącą się w mierzonej

odległości plus „końcówka”, czyli część pełnej długości fali (faza  $\varphi$  pomnożona przez długość fali  $\lambda$ ), co można zapisać elementarnym wzorem:

$$d = N\lambda + \varphi\lambda.$$

Odbiornik GPS umie pomierzyć fazę  $\varphi$ , natomiast główną trudnością tej metody jest wyznaczenie całkowitej liczby  $N$  pełnych długości fal mieszczących się w mierzonej odległości  $d$ . Ten problem – jak mówimy – „nieoznaczoności pełnych cykli długości fal” ilustruje jasno rys. 2. Niech w pewnym momencie  $t_0$  satelita znajduje się w położeniu  $S_0$ . Jego odległość od Ziemi można zatem wyrazić następująco:

$$d_0 = N_0\lambda + \varphi_0\lambda.$$

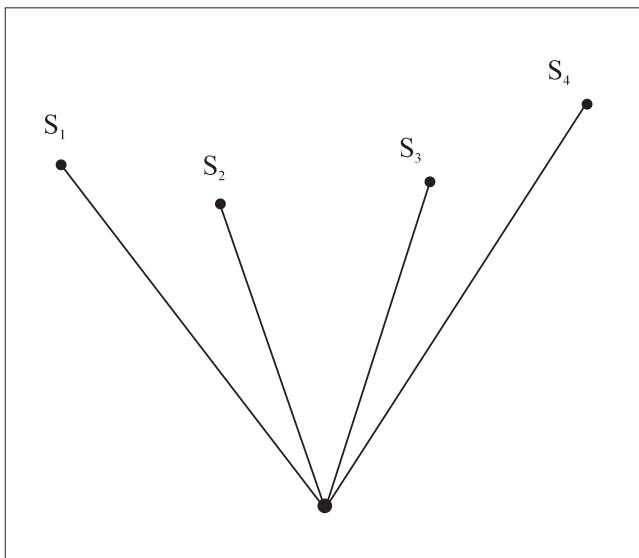
Jeśli po pewnym czasie ( $t_1 - t_0$ ) satelita ten zajmie w przestrzeni położenie  $S_1$ , jego odległość od odbiornika może być wyrażona w sposób następujący:

$$d_1 = N_1\lambda + (N_1 - N_0)\lambda + \varphi_1\lambda.$$

Odbiornik mierzy  $\varphi_1$  oraz  $(N_1 - N_0)$ , lecz w dalszym ciągu pozostaje niewiadomą liczba  $N_0$ . Liczbę tę należy dla wszystkich technologii GPS, które operują pomiarami fazowymi, wyznaczyć na podstawie specjalnej procedury tzw. inicjalizacji pomiaru.

#### 4. Zasada wyznaczania położenia punktów. Dokładności

Powiedzieliśmy już wyżej, że system GPS jest tak skonstruowany, aby z każdego punktu na powierzchni Ziemi można było obserwować przynajmniej cztery satelity systemu. Oznacza to, że w każdym momencie możemy pomierzyć cztery odległości do czterech satelitów, których położenie w przestrzeni znamy. Stąd wnioskujemy natychmiast, że położenie anteny naszego odbiornika GPS możemy wyznaczyć na podstawie przestrzennego liniowego wcięcia wstecz (rys. 3). W zadaniu wyznacza-



Rys. 3. Zasada wyznaczania położenia punktu – przestrzenne liniowe wcięcie wstecz

nia współrzędnych przestrzennych stanowiska technikami satelitarnymi GPS występują cztery niewiadome, a mianowicie trzy współrzędne  $X, Y, Z$  oraz wyraz  $\Delta t$ , oznaczający synchronizację zegara odbiornika do czasu systemu GPS. Współrzędne punktów możemy wyznaczać metodą absolutną (bezwzględną)

lub względną. Mając do dyspozycji jeden tylko odbiornik satelitarny GPS można wyznaczyć współrzędne stanowiska anteny w układzie, w którym podawane są orbity satelitów GPS (układ geocentryczny WGS 84 – World Geodetic System) odniesione do początku układu, tj. do środka ciężkości Ziemi. Jest to sposób najmniej dokładny i stosunkowo rzadko stosowany. Dokładność wyznaczenia współrzędnych tym sposobem wynosi co najwyżej kilka metrów; uzyskanie tej dokładności jest bardzo trudne lecz możliwe przy zastosowaniu pewnych procedur opracowania wyników. Należy przy tym pamiętać, że metodami geodezji klasycznej wyznaczenie współrzędnych bezwzględnych (odniesionych do środka ciężkości Ziemi) było możliwe z dokładnością co najwyżej kilkaset metrów. Znacznie częściej stosuje się sposoby względnego wyznaczania współrzędnych. W tym przypadku musimy mieć do dyspozycji przynajmniej dwa odbiorniki GPS. W metodach względnych nie wyznaczamy współrzędnych  $X, Y, Z$  stanowisk, lecz różnice współrzędnych  $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$  pomiędzy wszystkimi punktami satelitarnymi uczestniczącymi w pomiarze. Dokładność tych metod jest znacznie wyższa głównie ze względu na fakt, że wiele błędów, którymi obarczone są pomiary satelitarne (błędy szcztkowe refrakcji jonosferycznej i troposferycznej, błędy orbit satelitarnych, szcztkowe błędy niesynchronizacji zegarów itp.), w wyznaczaniu różnic eliminują się. Dotychczasowe doświadczenia ośrodków stosujących na co dzień technologie GPS wskazują, że standardowa dokładność pomiarów geodezyjnych wynosi  $10^{-6}$  (1 mm na 1 km), co oznacza, że technologie satelitarne GPS są technologiami „centymetrowymi” i „milimetrowymi”. Z tą zatem dokładnością można nawiązywać punkty geodezyjne. Należy zaznaczyć, że możliwe jest osiągnięcie jeszcze wyższej dokładności pomiarów geodezyjnych GPS, wynoszącej  $10^{-7}$ , a nawet  $10^{-8}$  (1 mm na 10 km lub 100 km), lecz wymaga to wykonywania permanentnych obserwacji satelitarnych i specjalnych zaawansowanych procedur opracowania, a zatem dokładności takie są możliwe do osiągnięcia jedynie między permanentnie pracującymi stacjami-observatoriami satelitarnymi.

#### 5. Technologie pomiarów GPS

System GPS jest globalnym satelitarnym systemem nawigacyjnym wojskowym i jego głównymi użytkownikami są przede wszystkim różne rodzaje sił zbrojnych Stanów Zjednoczonych. System został udostępniony również użytkownikom cywilnym, aczkolwiek z pewnymi dość istotnymi ograniczeniami. Miał on służyć do wyznaczania pozycji punktów stałych (nieruchomych) i obiektów poruszających się (statków, samolotów, rakiet, środków komunikacyjnych itd.). Przewidywano więc pierwotnie, że opracowanie dwóch technologii pomiarów GPS – technologii pomiarów statycznych i technologii pomiarów kinematycznych – zadowolili wszystkich użytkowników systemu GPS, zarówno wojskowych, jak i cywilnych. Jednak żądania użytkowników dotyczące zwiększania dokładności wyników i skrócenia czasu pomiaru, ulepszanie systemu GPS, konstruowanie coraz bardziej skomplikowanych odbiorników wyposażonych w bardziej zaawansowane wewnętrzne oprogramowanie doprowadziły do tego, że na podstawie tych dwóch podstawowych technologii pomiarów GPS powstało kilka następných, których związką charakterystykę podamy w kilku następných paragrafach tego artykułu. Omówimy w skrócie te technologie względnych pomiarów GPS, które mają zastosowanie w różnych pracach geodezyjnych. Podkreślamy, że będzie to omówienie różnych technologii wyznaczania różnic współrzędnych, a więc w pomiarze będą musiały uczestniczyć przynajmniej dwa odbiorniki geodezyjne.

## 5.1. Technologia pomiarów statycznych GPS (Static relative positioning)

Technologia pomiarów statycznych GPS jest technologią najwyższej dokładności. Oba odbiorniki uczestniczące w pomiarze pozostają stacjonarne w ciągu całej sesji (kampanii) obserwacyjnej. Możliwe jest zbieranie obserwacji z wielu sesji obserwacyjnych (np. po kilka godzin dziennie), zaś zebrany materiał jest poddawany opracowaniu po zakończeniu całej kampanii obserwacyjnej (tzw. postprocessing). Długość sesji (kampanii) obserwacyjnej zależy głównie od żądanej dokładności (przeznaczenia sieci) i od odległości między punktami. Z wieloletnich doświadczeń różnych ośrodków wynika, że wynosi ona:

- (a) 30-90 minut dla sieci lokalnych,
  - (b) 1-2 dni dla punktów odniesienia sieci krajowych i geodynamicznych o charakterze lokalnym i państwowym,
  - (c) 4-6 dni dla sieci kontynentalnych i podstawowych sieci geodynamicznych regionalnych.
- Dla przykładu możemy podać, że dla pomiaru sieci geodezyjnej lokalnego znaczenia o bokach do 15-20 km wystarcza wykonanie obserwacji około 1 godziny, dla sieci typu EUREF (European Reference Frame), nawiązującej polski układ geodezyjny do układu geodezyjnego Europy Zachodniej, stosowano długość obserwacji 5 dni; tyle samo czasu trwały europejskie kampanie pomiaru sieci geodynamicznej CERGOP (Central Europe Regional Geodynamics Project) i EXTENDED SAGET (Satellite Geodynamic Traverses).

## 5.2. Technologia pomiarów kinematycznych GPS (Kinematic relative positioning)

Technologia ta jest typową technologią nawigacyjną. W pomiarze bierze udział jeden odbiornik stacjonarny, względem którego wyznaczana jest pozycja drugiego ruchomego odbiornika umieszczonego na obiekcie poruszającym się. Możliwe jest otrzymywanie pozycji obiektu ruchomego w czasie rzeczywistym (natychmiastowe, np. co 1 sekundę, co 5 sekund; będzie to tzw. real time positioning) albo też cały zebrany materiał obserwacyjny może być poddany opracowaniu po zakończeniu pomiarów („postprocessing”). Podczas całej sesji obserwacyjnej niezbędna jest ciągła łączność z obserwowanymi satelitami. Jeśli pomiar ma być dokonywany metodą fazową, to – jak wspomniano w p. 3 – dla wyznaczenia nieoznaczoności fazy (wyznaczenia liczby N) niezbędna jest inicjalizacja pomiaru. Znamy dzisiaj dwie metody inicjalizacji: statyczną i kinematyczną. Przed przystąpieniem do pomiaru kinematycznego inicjalizację metodą statyczną można wykonać jednym z trzech następujących sposobów:

- 1) Około 25-minutowy pomiar statyczny dowolnej bazy (przed rozpoczęciem pomiaru kinematycznego oba odbiorniki wykonują pomiar statyczny na dwóch dowolnych punktach, a następnie ruchomy odbiornik montuje się na ruchomym obiekcie stale zachowując łączność z obserwowanymi satelitami);
- 2) Pomiar znanego wektora (jeśli znamy współrzędne dwóch punktów oddalonych o kilkanaście metrów, wykonujemy na nich pomiar statyczny przez około 5-10 minut);
- 3) Pomiar statyczny z zamianą anten (oba odbiorniki wykonują pomiar statyczny przez około 5 minut, a następnie zamieniają się w odbiornikach anteny i nadal obserwuje się około 5 minut). Wykonywanie inicjalizacji pomiarów metodą statyczną w technologiach kinematycznych jest czynnością dość uciążliwą. W ostatnim czasie pojawiła się nowa metoda inicjalizacji

pozwalająca na wyznaczenie liczby N z obserwacji odbiornikiem ruchomym. Nie wymagane są tu pomiary statyczne przed rozpoczęciem pomiaru kinematycznego. Kinematyczna metoda inicjalizacji nazywa się „On-the-fly technique” (OTF). Tylko nowsze typy odbiorników GPS mają zainstalowane wewnętrzne oprogramowanie pozwalające stosować tę metodę inicjalizacji.

## 5.3. Technologie półkinematyczne (Semi-kinematic relative positioning) – technologia „Stop & Go”

Wysiłki konstruktorów odbiorników i geodetów szły w kierunku skrócenia czasu pomiaru GPS w terenie i stworzenia technologii wyznaczania położenia punktów, która nie wymagałaby wykonywania długotrwałych obserwacji statycznych. Pierwszą taką technologią była technologia znana pod nazwą „stop and go”, co można by przetłumaczyć jako „zatrzymaj się i idź dalej”. Technologia ta będąca kombinacją technologii statycznych i kinematycznych wydawała się w pewnym okresie bardzo atrakcyjna, jednak jej wady spowodowały, że w dalszym ciągu poszukiwano lepszych rozwiązań technologicznych. W pomiarze technologią „stop and go” biorą udział przynajmniej dwa odbiorniki, jeden umieszczony na punkcie odniesienia, drugi przemieszczający się z punktu na punkt. Niezbędna jest inicjalizacja statyczna na początku pomiaru. Niewątpliwą zaletą tej technologii jest to, że odbiornik ruchomy wykonuje pomiary na kolejnych punktach sieci tylko przez 1-2 minuty (rzeczywiście przemieszczając się z punktu na punkt na każdym punkcie tylko się „zatrzymujemy” i zaraz „idziemy dalej”). Jednak w ciągu całej sesji pomiarowej (w czasie pomiaru na punktach i nawet w czasie transportu instrumentu z punktu na punkt) niezbędna jest nieprzerwana łączność z przynajmniej czterema satelitami GPS. Jest to podstawowa wada tej technologii uniemożliwiająca jej zastosowanie w terenie o wysokiej zabudowie, w lesie itd. Przejazd pod drzewami, wiaduktem lub mostem przerywa pomiar. Technologię tę można zatem stosować tylko w otwartym, nie porośniętym i nie zabudowanym terenie.

## 5.4. Technologie pseudostatyczne = pseudokinematyczne (Pseudo-static = pseudo-kinematic relative positioning, intermittent static positioning, reoccupation)

Następną technologią usuwającą podstawową wadę technologii „stop and go” jest technologia pseudostatyczna (pseudokinematyczna) polegająca na dwukrotnym pomiarze GPS na każdym wyznaczanym punkcie, lecz nie wymagająca ciągłej nieprzerwanej łączności z satelitami podczas transportu odbiornika z punktu na punkt. W pomiarze biorą udział przynajmniej dwa odbiorniki: jeden ustawiony na punkcie odniesienia, drugi przemieszczający się z punktu na punkt. Pomiar na każdym punkcie trwa około 10-15 minut, wykonujemy pomiary na kolejnych punktach sieci, na ostatnim wyznaczanym punkcie czekamy 1-2 godziny na zmianę konfiguracji satelitów i ponownie wykonujemy pomiar GPS na punktach wyznaczanych (reoccupation). Ten podwójny pomiar GPS na każdym stanowisku przy różnych konfiguracjach satelitów zastępuje proces inicjalizacji. Zaletą tej technologii jest to, że nie jest wymagana łączność z satelitami podczas transportu odbiornika z punktu na punkt.

Wadą tej technologii jest natomiast konieczność dwukrotnego stawania na tym samym punkcie wyznaczanym.

### 5.5. Technologie szybkie statyczne (Fast/rapid static relative positioning)

W pomiarze biorą udział, podobnie jak poprzednio, przynajmniej dwa odbiorniki GPS: jeden ustawiony na punkcie odniesienia, drugi przemieszczający się z punktu na punkt. Technologia wymaga jednokrotnego pomiaru na każdym wyznaczanym punkcie, nie wymaga nieprzerwanej ciągłości śledzenia satelitów w czasie transportu odbiornika z punktu na punkt, jednak pomiar tą technologią można wykonać jedynie odbiornikami dwuczęstotliwościowymi z wbudowanym specjalnym oprogramowaniem wewnętrznym. Czas obserwacji na stanowisku zależy od liczby obserwowanych satelitów i wynosi od około 10 do 20 minut przy obserwacji 6-4 satelitów. Istotą pomiaru jest szybkie wyznaczanie nieoznaczoności fazy przy wykorzystaniu kombinacji pomiarów kodowych i fazowych na obu częstotliwościach L1 i L2.

### 5.6. Pomiary dyferencjalne GPS (DGPS = Differential GPS)

Pomiary DGPS są szczególnym przypadkiem pomiarów względnych GPS. Technologia DGPS opiera się w zasadzie na pomiarach nawigacyjnych kodowych (pseudoodległości) wykonywanych w czasie rzeczywistym, jednak w ostatnim czasie w technologiach tych zaczynają być stosowane również pomiary fazowe i opracowanie typu „postprocessing”. Istotą technologii DGPS jest to, że stacja bazowa transmituje do odbiornika ruchomego poprawki, które są na bieżąco wykorzystywane przez odbiornik ruchomy do obliczania poprawionej pozycji anteny odbiornika ruchomego. Dokładność pomiarów DGPS opartych tylko na pomiarach kodowych wynosi 1-2 m. Jest to dokładność zupełnie wystarczająca dla celów nawigacyjnych, np. wyznaczania (ustalania) pozycji radiowozów policyjnych, ambulansów pogotowia ratunkowego, pojazdów straży pożarnej, pociągów, środków transportu samochodowego itd. Na tej zasadzie opracowywane są obecnie również systemy nawigacyjne morskie i lotnicze.

## 6. Odbiorniki satelitarne GPS. Degradacje sygnału satelitarnego

Potencjalny użytkownik systemu GPS ma do dyspozycji duży wybór odbiorników satelitarnych różnej jakości, produkowanych przez różne firmy. Najprostszymi i najtańszymi odbiornikami geodezyjnymi, lecz wyposażonymi tylko w wewnętrzny software do najprostszyc technologii statycznych, są odbiorniki jednoczęstotliwościowe jednokodowe (L1, C/A). Najbardziej zaawansowane odbiorniki – to odbiorniki dwuczęstotliwościowe z kodem P (L1, L2, C/A, P), z możliwością specjalnej obróbki odbieranego sygnału satelitarnego, który pozwala uzyskać w pełni dokładne wyniki pomimo wprowadzonej celowej degradacji sygnału satelitarnego. Należy bowiem wiedzieć, że z chwilą wprowadzenia pełnej operatywności systemu GPS od 1 stycznia br. wprowadzono również celowe, dawno zapowiadane degradacje sygnału satelitów GPS powodujące zmniejszenie dokładności wyników wyznaczeń bezwzględnej pozycji. W ten sposób Ośrodek Dyspozycyjny systemu GPS ogranicza dostęp i korzystanie z systemu GPS nieupoważnionym uży-

tkownikom. Wprowadzone zostały dwa rodzaje degradacji sygnału GPS. Pierwszy, nazwany „selective availability” (SA), polega na zniekształceniu poprawki zegarów satelitów GPS i ograniczeniu dokładności elementów orbit zawartych w sygnale satelitarnym. Drugim rodzajem degradacji sygnału jest tzw. anti-spoofing (A-S), którego istotą jest zaprzestanie emisji kodu precyzyjnego P i zastąpienie go innym kodem tajnym Y. Oba rodzaje degradacji powodują znaczne (kilkakrotne) zmniejszenie dokładności wyznaczenia pozycji bezwzględnej wyznaczonego punktu. Jeśli natomiast chodzi o wyznaczanie pozycji względnej, to degradacja „selective availability” mało wpływa na wyznaczaną różnicę współrzędnych, podczas gdy degradacją „anti-spoofing” obarczone są wszystkie precyzyjne odbiorniki GPS posiadające kod P. Najnowsze typy odbiorników posiadają specjalne oprogramowanie wewnętrzne umożliwiające taką obróbkę sygnału (squaring, code correlation and squaring, cross correlation L1/L2, P-W tracking), która umożliwi uzyskanie dokładnego wyniku pomimo braku kodu P.

Najbardziej znanymi w Europie i na świecie firmami produkującymi odbiorniki satelitarne są: Ashtech, Leica i Trimble. Odbiorniki firmy Trimble uchodzą za najbardziej niezawodne i trwałe. Odbiorniki tylko tej firmy zostały dopuszczone do kampanii obserwacyjnych EUREF organizowanych przez Institut für Angewandte Geodäsie, Frankfurt am Main, zaś Amerykańskie Konsorcjum Uniwersytetów UNAVCO zajmujących się pomiarami satelitarnymi NAVSTAR wybrało instrumenty firmy Trimble do wykonywania projektów GPS na całym świecie. Również Instytut Geodezji Wyższej i Astronomii Geodezyjnej Politechniki Warszawskiej posiada 7 odbiorników tej firmy.

Należy wspomnieć jeszcze o odbiornikach kodowych typu Pathfinder. Są to odbiorniki do szybkiego wyznaczania metodą kinematyczną pozycji punktów, linii i powierzchni z dokładnością 1-2 metrów. Odbiorniki te są używane do zakładania katastrów leśnych i rolnych; znajdują zastosowanie w tworzonych systemach informacji przestrzennej o terenie (GIS/LIS – Geographic/Land Information Systems).

## 7. Zalety i wady pomiarów GPS

Warto zastanowić się przez chwilę nad tym, jakimi zaletami i wadami w porównaniu z klasycznymi metodami pomiarowymi (triangulacja, trilateracja) odznaczają się technologie pomiarów satelitarnych GPS. Wymieńmy najpierw zalety:

- 1) Pomiary GPS są w zasadzie niezależne od warunków meteorologicznych na stanowiskach obserwacyjnych.
- 2) Techniki obserwacyjne GPS nie wymagają wzajemnej widoczności obserwowanych punktów; wymagają natomiast odkrytego nieboskłonu od wysokości 15° od horyzontu. Nie jest zatem wymagana budowa specjalnych wież i stanowisk podwyższonych, jak to miało miejsce przy stosowaniu klasycznych technik naziemnych. Punkty sieci GPS można i należy lokalizować nie na trudno dostępnych wzgórzach, lecz w łatwo dostępnych miejscach przy szlakach komunikacyjnych.
- 3) Pomiar satelitarny na stanowisku trwa bardzo krótko (pomiar statyczny dla punktów o znaczeniu lokalnym trwa około 45-60 minut, pomiar technologią szybką statyczną – 15-20 minut, zaś technologią „stop and go” tylko 1-2 minuty).
- 4) Dokładność pomiarów GPS jest na ogół wyższa od dokładności klasycznych metod obserwacyjnych. Przypomnijmy, że standardowa dokładność pomiarów względnych GPS wynosi  $10^{-6}$ .
- 5) Pomiar GPS na stanowisku jest w pełni zautomatyzowany.

Wstępne opracowanie danych polowych może być wykonane od razu w terenie. Przy odpowiednio przygotowanym i realizowanym harmonogramie prac terenowych pełne opracowanie sieci może być prowadzone sukcesywnie.

6) Wyniki pomiarów GPS uzyskuje się w jednolitym układzie współrzędnych globalnych. Poprzez nawiązanie pomiarów satelitarnych do istniejących punktów sieci krajowych uzyskuje się możliwość obliczenia parametrów transformacyjnych i współrzędnych wszystkich wyznaczonych punktów w układzie współrzędnych obowiązujących w danym kraju. Takie parametry transformacji są już wyznaczone dla układów współrzędnych obowiązujących w Polsce.

7) Wyznaczanie położenia punktów sieci metodami satelitarnymi GPS jest niezależne; nie występuje tu znane w klasycznej geodezji prawo przenoszenia się błędów w sieciach geodezyjnych.

8) Pomiar różnicowy GPS dostarcza jakościowo nowych elementów sieci, którymi są różnice współrzędnych DX, DY, DZ. Pomiar ten daje zatem możliwość wyznaczenia zarówno skali, jak i orientacji sieci.

9) Technologie pomiarów GPS są wysoce ekonomiczne. Koszt aparatury zwraca się bardzo szybko. Warto pamiętać, że koszt jednego odbiornika GPS wynosi tyle, ile kosztuje budowa 8-9 kilkunastometrowej wysokości wież triangulacyjnych.

Z wad pomiarów GPS należy wymienić następujące:

1) Degradacja sygnałów satelitów GPS powoduje znaczne zmniejszenie dokładności pomiarów bezwzględnych, a także różnicowych (względnych) w tych przypadkach, gdy użytkownik nie dysponuje odpowiednio zaawansowanymi odbiornikami, które mogą wyeliminować wpływ degradacji „anti-spoofing”.

2) Niektóre technologie GPS wymagają nieprzerwanej łączności z satelitami podczas całej sesji pomiarowej (np. technologia „stop and go”).

3) Występujące niekiedy zakłócenia w odbiorze sygnałów satelitarnych powodują przerwy w ciągłości pomiaru i tzw. utratę cykli. Fakt ten utrudnia opracowanie i wymaga dokonania najpierw rekonstrukcji cykli.

## 8. Uwagi końcowe

W artykule tym zawarte zostały podstawowe wiadomości o pomiarach GPS służących do wyznaczania położenia punktów geodezyjnych. Jeśli problematyka tych pomiarów zainteresowała Czytelników, to cel autora został osiągnięty. Należy jednak pamiętać, że szczegółowe poznanie lub tylko omówienie wszystkich zagadnień związanych z tą obszerną częścią nowoczesnej geodezji wymaga znacznie głębszych i bardziej zaawansowanych studiów. Niewątpliwie słuszny jest bowiem pogląd, że im technologia jest bardziej zaawansowana, tym poznanie wszystkich jej możliwości, zalet i zastosowań wymaga dłuższych i głębszych studiów. Z gruntu niesłuszny jest pogląd, że znacznie zautomatyzowane technologie mogą być stosowane przez osoby jedynie „przyuczone”, nie posiadające głębokiej wiedzy z danej dziedziny. Odbiornik geodezyjny nie może być „czarną skrzynką”, a do opracowania wykonanych obserwacji satelitarnych niezbędna jest gruntowna wiedza z zakresu geodezji wyższej. Ale te sprawy mogą być tematem innego dyskusyjnego artykułu.

*Autor jest profesorem i dyrektorem Instytutu Geodezji Wyższej i Astronomii Geodezyjnej Politechniki Warszawskiej.*

## Plotery Great Computer Corporation



Plotery piórowe tablicowe tajwańskiej firmy GCC są chętnie kupowane przez firmy geodezyjne ze względu na ich dobre parametry eksploatacyjne i bardzo atrakcyjną cenę.

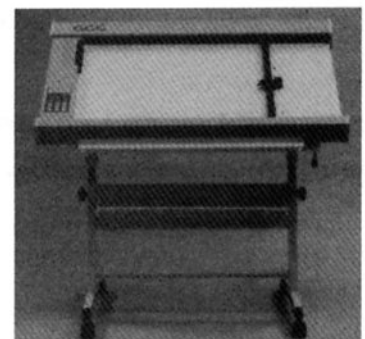
Najnowsza wersja **GX-3100 TechArt Plus** jest nadal najtańszym ploterem A1 na polskim rynku.

Parametry	TechArt GX-3100	Marksman GF-1060
Maksymalny obszar kreślenia	820 x 556 mm	864 x 594 mm
Ilość pisaków	8	10
Rozdzielczość	0,025 mm	0,0125 mm
Dokładność	0,2 mm	0,254 mm
Bufor danych	512 kB lub 2 MB	1 lub 4 MB
Format komend	HP-GL	HP-GL, HP-GL/2
Złącza	Centronix, RS-232C	Centronix, RS-232C
Cena	od 2 250 USD + VAT	od 2 950 USD + VAT

\* 2 lata gwarancji  
\* sprzedaż ratałna  
\* leasing

Nie wierzysz?  
Sprawdź!

WPP Evatronix Sp. z o.o., ul. 1 Maja 8, 43-300 Bielsko-Biała, tel/fax: (0-30) 225 96, fax: (0-30) 236 26



TechArt Plus GX-3100

Oto niektórzy z naszych zadowolonych klientów:

P.U.G. Sp. z o.o. tel. (0-30) 259 13  
GEO-UNIVERSAL tel. (0-87) 67 77 37  
PPU Geokomp tel. (0-30) 232 07  
GEOS tel. (0-30) 290 39 w. 126  
PUGiK PRYZMAT tel. (0-34) 452 600  
Eco\_Produkt tel. (0-12) 557 390  
FSE KONTAKT tel. (0-32) 526 21 w. 197  
ELTE-S tel. (0-12) 673 230