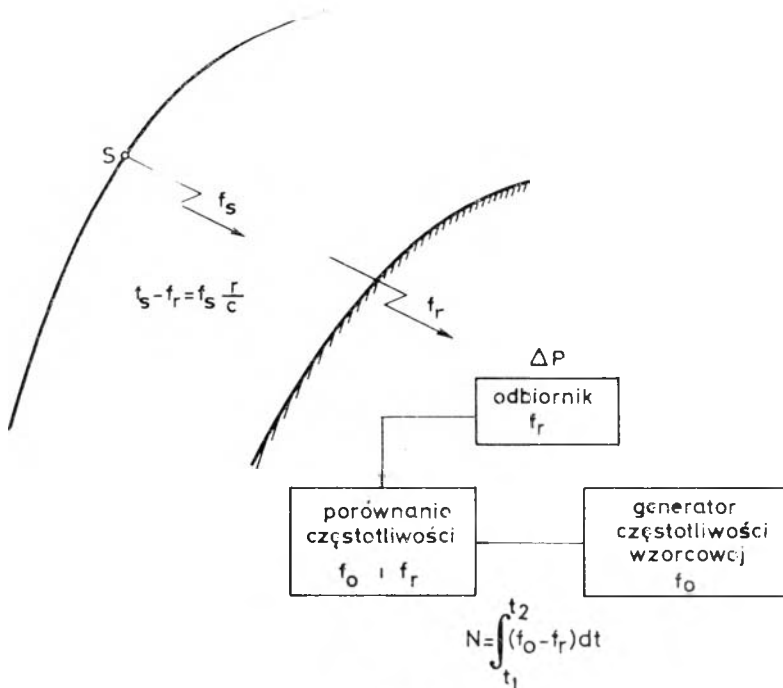


Technika satelitarnych pomiarów dopplerowskich i możliwości jej zastosowania do celów wyznaczania współrzędnych punktów

Jedną z najnowocześniejszych satelitarnych technik obserwacyjnych, która znalazła ostatnio szerokie zastosowanie do celów geodezyjnych i geodynamicznych, jest technika oparta na wykorzystaniu znanego zjawiska efektu Dopplera, polegającego na zmianie częstotliwości odbieranej fali w przypadku, gdy jej źródło i obserwator poruszają się względem siebie. Technika ta jest obecnie powszechnie używana w nawigacji morskiej do wyznaczania pozycji obiektów ruchomych na morzu, jednak ze względu na wysokie, osiągnięte już dzisiaj dokładności i możliwość całkowitego zautomatyzowania procesu obserwacyjnego i obliczeniowego jest stosowana coraz częściej do wyznaczania współrzędnych punktów geodezyjnych i do badania niektórych zjawisk geodynamicznych, np. wyznaczania przemieszczeń bieguna ziemskiego.



Rys. 1

Artykuł ten ma na celu zwrócenie uwagi na niektóre korzyści płynące ze stosowania techniki dopplerowskiej do unowocześnienia i udokładnienia podstawowych sieci geodezyjnych, nie jest jednak w tej mierze opracowaniem wyczerpującym. Ma za zadanie jedynie zapoznać polskiego czytelnika z istniejącymi systemami dopplerowskimi, osiąganymi dokładnościami i możliwościami zastosowania tej techniki w praktyce.

Zasadę satelitarnej techniki dopplerowskiej ilustruje schematycznie rysunek 1. Satelita S wysyła wysoce stabilną częstotliwość f_s , która na stacji naziemnej P zostaje odebrana jako częstotliwość f_r . Częstotliwość odebrana f_r zostaje następnie porównywana z częstotliwością wzorcową (standardową) f_0 , wytwarzaną przez generator w urządzeniu odbiorczym.

Częstotliwość f_s , wytwarzana przez aparaturę na satelicie, jest związana z częstotliwością f_r , odbieraną na ziemi, podstawową zależnością

$$f_s - f_r = f_s \frac{r}{c}, \quad (1)$$

gdzie r jest prędkością radialną satelity, zaś c jest prędkością światła w próżni.

Aparatura odbiorcza, porównująca częstotliwość odbieranego z satelity sygnału f_r z częstotliwością standardową f_0 , wykonuje całkowanie częstotliwości dudnienia $(f_0 - f_r)$ w ciągu określonego czasu $(t_2 - t_1)$ i podaje jako wynik liczbową charakterystykę przesunięcia dopplerowskiego częstotliwości

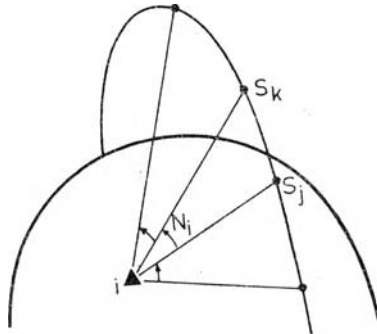
$$N = \int_{t_1}^{t_2} (f_0 - f_r) dt. \quad (2)$$

Zasada metody dopplerowskiej polega na praktycznym wykorzystaniu obu powyższych zależności. Praktyczna realizacja związku (2) stanowi podstawę utworzenia różnych systemów dopplerowskich w zależności od sposobu i wyznaczenia interwału czasu, w ciągu którego następować ma całkowanie częstotliwości $(f_0 - f_r)$. Obecnie znane są trzy techniki pomiarów dopplerowskich, różniące się między sobą przede wszystkim długością interwału czasu całkowania $(t_2 - t_1)$, sposobem realizacji sygnałów wyznaczających rozpoczęcie i zakończenie całkowania oraz sposobem liczenia liczby cykli dudnienia N . Omówimy krótko te techniki:

1. *Integrowane pomiary dopplerowskiej (Integrated Doppler Measurements).*

Czas całkowania w tej technice wynosi 120 sek, zaś granice całkowania wyznaczają sygnały otrzymywane z satelity. System ten jest systemem ciągłym, gdyż zliczany jest każdy cykl dudnienia (sygnał wyznaczający zakończenie jednego cyklu całkowania jest jednocześnie sygna-

łem rozpoczęcia całkowania następnego cyklu). Schematycznie system ten jest przedstawiony na rysunku 2. W systemie tym otrzymujemy co 2 min różnicę odległości do satelity; podczas jednego przelotu satelity możemy zatem wykonać 8÷9 dwuminutowych pomiarów wielkości N . Omawiany system jest stosowany najczęściej do wyznaczania pozycji punktów geodezyjnych.



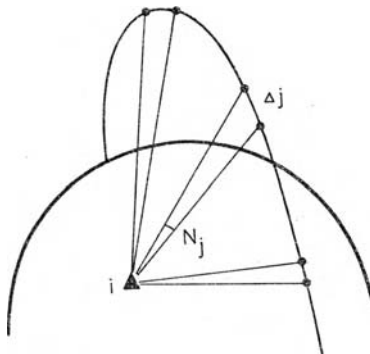
Rys. 2

2. Chwilowe pomiary dopplerowskie (*Instantaneous Doppler Measurements*).

Czas całkowania dla tej techniki wynosi około 1 sek; granice całkowania wyznaczają sygnały wytwarzane w odbiorniku. System ten należy do systemów nieciągłych, gdyż zliczane są nie wszystkie cykle częstotliwości dudnienia. W ciągu jednego przelotu satelity wykonuje się około 200 pomiarów. Rysunek 3 przedstawia schematycznie omawiany system.

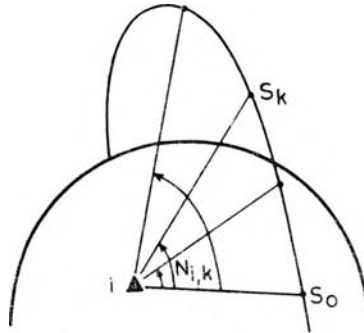
3. Ciągłe integrowane pomiary dopplerowskie (*Continuously Integrated Doppler Measurements*).

System ten polega na ciągłym całkowaniu częstotliwości, począwszy od pewnego momentu początkowego (rys. 4). Różnice odległości do satelity



Rys. 3

odniesione są do pewnej początkowej odległości do satelity w momencie rozpoczęcia procesu całkowania. Mówimy tu o tzw. względnym pomiarze odległości od satelity.



Rys. 4

Pierwsze dwie z opisanych powyżej technik dopplerowskich są najczęściej stosowane do wyznaczania pozycji stacji obserwacyjnych, przy czym technika integrowanych pomiarów dopplerowskich jest używana przez służbę cywilną, zaś technika chwilowych pomiarów dopplerowskich przez służbę wojskową USA. Wyznaczenie współrzędnych stanowiska obserwacyjnego w obu tych technikach polega na wykorzystaniu zależności pomiędzy pomierzonym dopplerowskim przesunięciem częstotliwości N i różnicą odległości do satelity w dwóch momentach czasu (technika pomiarów integrowanych) lub też radialną prędkością satelity (technika pomiarów chwilowych).

Pomierzone na stanowisku i między momentami t_j i t_k dopplerowskie przesunięcie częstotliwości $N_{i,jk}$ związane jest z odległościami r_{ik} i r_{ij} do satelity w momentach t_j i t_k oraz z częstotliwością f_s , wytwarzaną na satelicie, i częstotliwością standardową f_0 , zależnością

$$N_{i,jk} = \frac{f_0}{c} (r_{ik} - r_{ij}) + (f_0 - f_s) (t_k - t_j). \quad (3)$$

Wyrażając odległość do satelity w funkcji współrzędnych satelity i współrzędnych stanowiska obserwacyjnego, otrzymamy

$$N_{i,jk} = \frac{f_0}{c} \{ [(x_k - x_i)^2 + (y_k - y_i)^2 + (z_k - z_i)^2]^{1/2} - [(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2 + (z_j - z_i)^2]^{1/2} \} + \Delta f \cdot \Delta t. \quad (4)$$

Równanie to jest równaniem obserwacyjnym, z którego wynika, że jeśli znamy współrzędne x , y , z satelity w znanych momentach t_k i t_j , oraz

częstotliwość f_s wytwarzaną na satelicie, i częstotliwość standardową f_0 , a także prędkość c rozchodzenia się fal, to możemy wyznaczyć współrzędne stanowiska obserwacyjnego x_i, y_i, z_i .

W równaniach obserwacyjnych (4), jako niewiadome dla poszczególnych przelotów satelity, przyjmujemy oprócz współrzędnych stanowiska obserwacyjnego również różnice (dryft) częstotliwości $\Delta f = f_0 - f_s$, gdyż nie mamy całkowitej pewności, czy częstotliwość f_s , wytwarzana przez aparaturę na satelicie, jest wystarczająco stabilna. Obserwacja jednego przelotu satelity dostarcza zatem $8 \div 9$ równań obserwacyjnych z 4 niewiadomymi. Obserwacja każdego następnego przelotu zwiększa liczbę niewiadomych o 1. Rośnie przeto szybko liczba obserwacji nadliczbowych.

W technice chwilowych pomiarów dopplerowskich podstawową zależnością wyznaczania położenia stacji obserwacyjnych jest zależność pomiędzy radialną prędkością \dot{r}_{ij} satelity i tzw. chwilową częstotliwością dudnienia f_j , którą definiujemy jako iloraz dopplerowskiego przesunięcia częstotliwości N_j przez bardzo krótki interwał czasu Δt_j , w ciągu którego następuje całkowanie częstotliwości

$$f_j(t_j) = \frac{N_j}{\Delta t_j} \quad (5)$$

Zależność ta ma postać następującą

$$\dot{r}_{ij}(t_j) = c \left[1 - \frac{f_0}{f_s} + \frac{f_j(t_j)}{f_s} \right]. \quad (6)$$

Podczas jednego przelotu satelity można wykonać około 200 obserwacji N , czyli możemy otrzymać tyle samo wartości \dot{r}_{ij} dla różnych momentów t_j . Metodą najmniejszych kwadratów wyznacza się następnie krzywą odpowiadającą wyznaczonym wartościom \dot{r}_{ij} oraz określa się moment $t_{n.z.}$, w którym wartość prędkości radialnej $\dot{r}_{ij} = 0$. Moment ten jest momentem największego zbliżenia satelity do stacji obserwacyjnej i satelita porusza się wówczas w kierunku prostopadłym do kierunku wektora r_{ij} . Odległość satelity od stacji obserwacyjnej w momencie największego zbliżenia satelity można wyznaczyć z wzoru na promień krzywizny w momencie $t_{n.z.}$

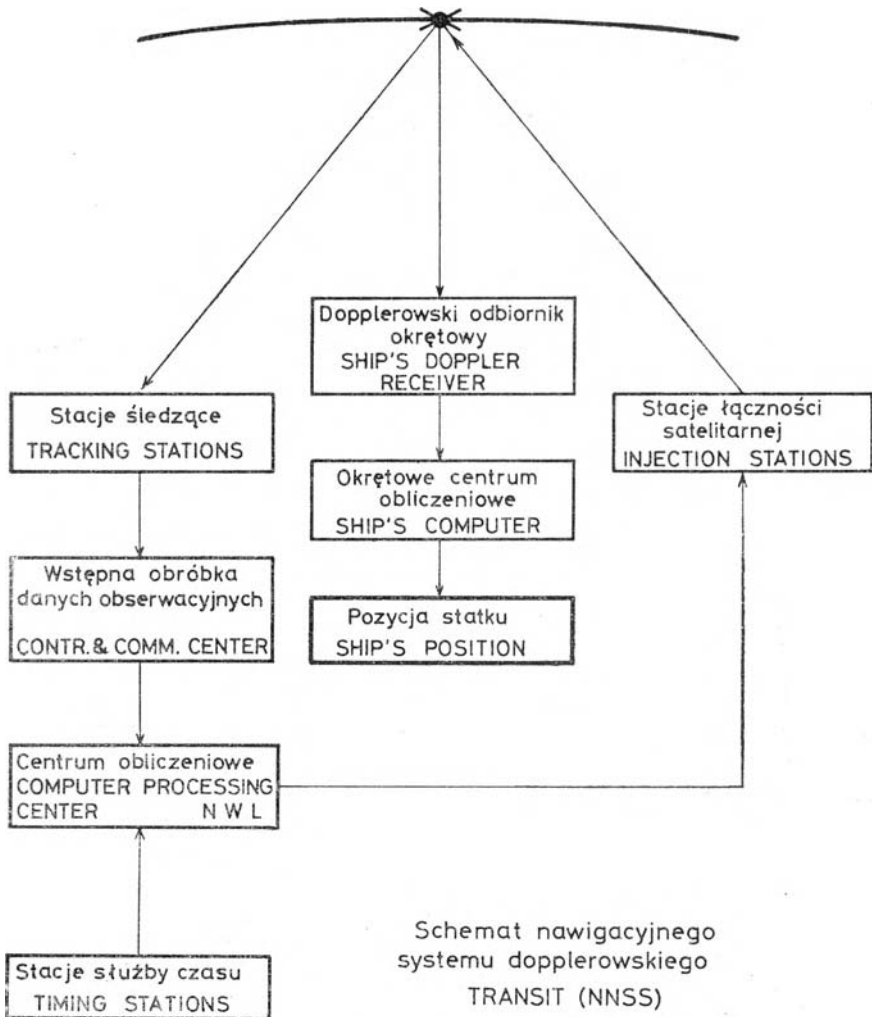
$$r_{ij}(t_{n.z.}) = \frac{v^2(t_{n.z.})}{\dot{r}_{ij}(t_{n.z.})}. \quad (7)$$

We wzorze tym $v(t_{n.z.})$ oznacza prędkość satelity w momencie $t_{n.z.}$, którą można obliczyć znając elementy orbity i przybliżone położenie stacji obserwacyjnej, zaś \dot{r}_{ij} jest przyspieszeniem radialnym satelity, które może być obliczone analitycznie lub wyznaczone graficznie na podstawie nachylenia stycznej do krzywej na wspomnianym wyżej wykresie prędkości ra-

dalnych r_{ij} w punkcie odpowiadającym największemu zbliżeniu satelity do obserwatora.

Znajomość odległości $r_{ij}(t_{n.z.})$ satelity w momencie $t_{n.z.}$ oraz prędkości satelity w tym momencie wystarczą do geometrycznego wyznaczenia położenia stacji obserwacyjnej. Stacja obserwacyjna leży w płaszczyźnie prostopadłej do kierunku prędkości satelity w momencie $t_{n.z.}$ na przecięciu z powierzchnią Ziemi łuku zakreślonego ze środka satelity promieniem $r_{ij}(t_{n.z.})$.

Opisana zasada wyznaczania położenia punktów na powierzchni Ziemi na podstawie dopplerowskich pomiarów integrowanych została zastosowa-



Rys. 5

wana w roku 1964 do utworzenia światowego systemu nawigacyjnego, znanego pod nazwą TRANSIT. System ten, przeznaczony początkowo dla celów nawigacyjnych amerykańskiej marynarki wojennej, został udostępniony od roku 1967 również służbom cywilnym i jest obecnie znany także pod nazwą US Navy Navigation Satellite System (NNSS). Zasadę działania tego systemu przedstawia schematycznie rysunek 5. System ten stosuje się obecnie powszechnie również do celów wyznaczania współrzędnych punktów geodezyjnych.

Elementy systemu TRANSIT (NNSS) stanowią:

1. Zespół satelitów (NNSS Satellites).
2. Sieć stacji śledzących (efemerydalnych) (Tracking Network), których zadaniem jest wykonywanie obserwacji służących do wyznaczenia elementów orbit satelitów systemu.
3. Stacje bazy czasowej (Timing Stations).
4. Centrum obliczeniowe (Computer Processing Center).
5. Stacje łączności satelitarnej — (Injection Stations), które obliczone elementy orbity satelitów NNSS przekazują co 12 godz. do pamięci elektronicznych tych satelitów.

Satelity NNSS poruszają się po orbitach kołowych, biegunowych na wysokości ok. 1100 km od powierzchni Ziemi. Okres obiegu wokół Ziemi takich satelitów wynosi ok. 107 minut. 4÷6 satelitów zabezpiecza możliwość nawiązania stosunkowo częstej łączności satelity z dowolnym punktem na powierzchni Ziemi (co około 30÷100 minut). Satelity NNSS nadają 3 rodzaje informacji, a mianowicie:

1. Dwie stabilne częstotliwości (399,968 MHz i 149,988 MHz) wykorzystywane do pomiarów przesunięć dopplerowskich. Stabilność tych częstotliwości jest bardzo wysoka, dryft pokładowego generatora kwarcowego jest rzędu $2 \div 20 \cdot 10^{-11}/1^d$, a przypadkowe wahania wynoszą $3 \div 7 \cdot 10^{-11}/1^s$.

2. Sygnały czasu, wyznaczające granice całkowania częstotliwości dopplerowskiej. Sygnały te są nadawane o każdej parzystej minucie czasu uniwersalnego.

3. Ekstrapolowane elementy orbity, dające możliwość wyznaczenia pozycji satelity na momenty transmitowania sygnałów czasu. Ekstrapolowane elementy orbity otrzymuje satelita z Centrum Obliczeniowego za pośrednictwem stacji łączności satelitarnej co 12 godzin. Pozwalają one wyznaczyć pozycję satelity z dokładnością 20÷30 metrów.

Zauważmy, że dla wyznaczenia współrzędnych stanowiska obserwacyjnego potrzebna jest znajomość dokładnych elementów orbity lub współrzędnych przestrzennych satelity. Współrzędne te dla momentów obserwacji można otrzymać później z Centrum Obliczeniowego US Defence

Mapping Agency. Jeśli nie dysponujemy dokładnymi współrzędnymi satelity, musimy stosować taką metodę wyznaczania położenia stacji obserwacyjnych, która nie wymaga dokładnej znajomości pozycji satelity w momencie obserwacji.

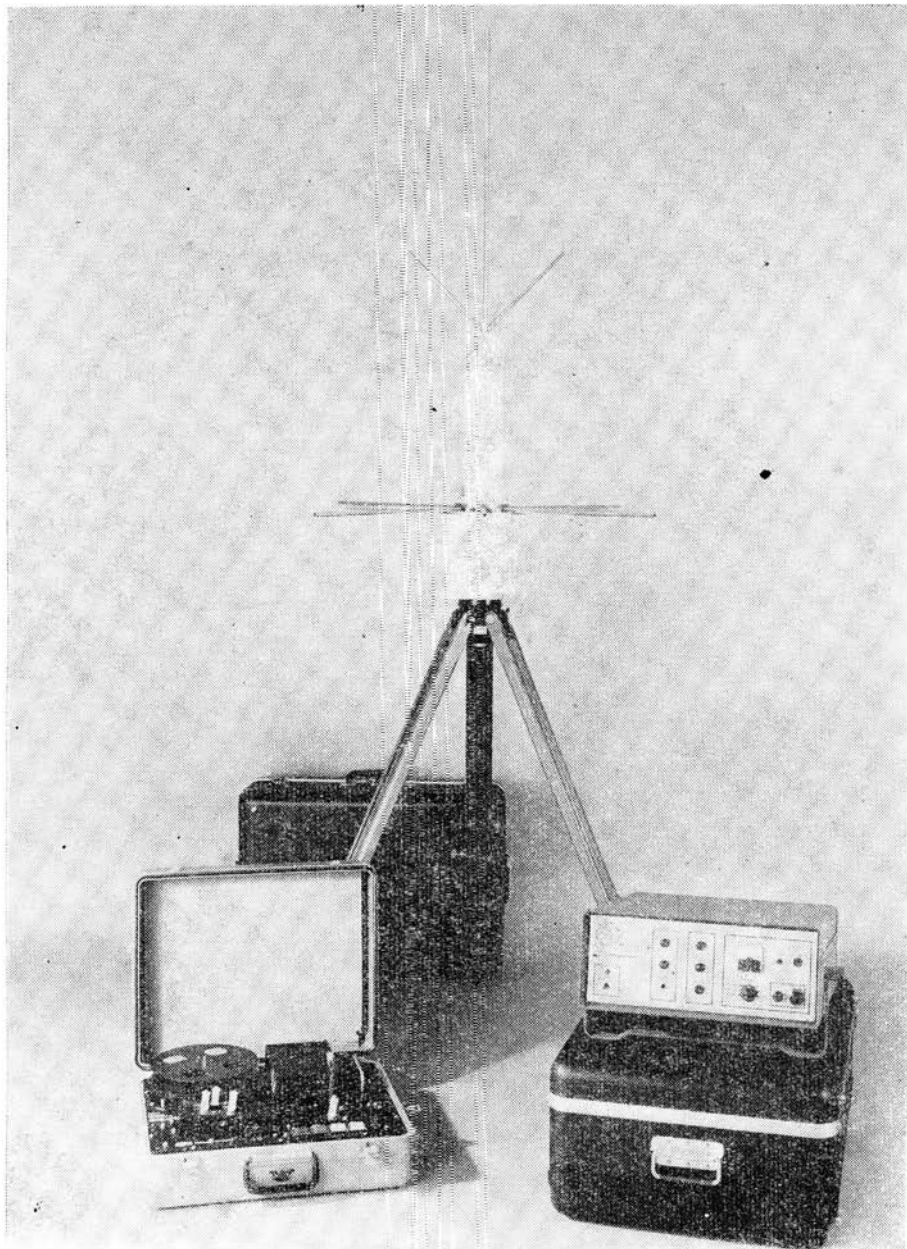
Znane są następujące sposoby wyznaczania współrzędnych stacji dopplerowskich:

1. Wyznaczanie pozycji pojedynczego punktu (single point positioning). Sposób ten odpowiada procesom opisanym poprzednio i jest oparty na bezpośredniej realizacji podstawowych zależności matematycznych, wynikających ze stosowania techniki pomiarów integrowanych lub techniki pomiarów chwilowych. Sposób ten wymaga znajomości dokładnych współrzędnych satelity lub dokładnych elementów jego orbity w momencie obserwacji.

2. Wyznaczanie różnic współrzędnych dwóch punktów (translocation method). Sposób translokacji polega na jednoczesnym obserwowaniu przelotów satelitów z dwóch stacji dopplerowskich i daje możliwość wyznaczenia z większą dokładnością różnic współrzędnych tych stacji. Przy zastosowaniu takiej metody obserwacji błędy elementów orbity wpływają w przybliżeniu w taki sam sposób na wyznaczenie współrzędnych obu punktów i eliminują się w znacznym stopniu przy obliczaniu różnic tych współrzędnych. Stosowanie metody translokacji uniezależnia więc proces wyznaczania współrzędnych punktów od potrzeby otrzymywania dokładnych współrzędnych satelity; wystarczą w tym wypadku współrzędne otrzymywane za pośrednictwem przekazu z satelity.

3. Jednoczesne wyznaczanie współrzędnych punktów tworzących zamknięte figury sieci (simultaneous point positioning). Sposób ten wymaga współdziałania kilku (najczęściej trzech) stacji dopplerowskich, wykonujących jednoczesne obserwacje dopplerowskie tych samym przelotów satelity. Przy opracowaniu wyników obserwacji możemy tu wykorzystać warunki geometryczne wynikające z kształtu figur, jakie tworzą punkty obserwacyjne. Metoda ta nie wymaga również znajomości dokładnych efemeryd obserwowanych satelitów, lecz dla jej stosowania potrzebne jest posiadanie kilku odbiorników dopplerowskich. Najkorzystniejsze jest posiadanie jednego odbiornika stacyjnego i 2÷3 odbiorników przenośnych. Odbiorniki takie (rys. 6) produkuje obecnie kilka firm amerykańskich i kanadyjskich, jak np. Magnavox Research Laboratory, Canadian Marconi Company, International Telephone and Telegraph Corporation (ITT), JMR-Instruments. Odbiorniki te (GEOCEIVER, CMA-722 itp.) są odbiornikami przenośnymi, składającymi się z anteny, głównego odbiornika, zawierającego generator częstotliwości standardowej (stabilność ok. $8 \cdot 10^{-12}$) i aparaturę zliczającą ilość cykli częstotliwości dopplerowskiej i podającą wynik w postaci cyfrowej, oraz z aparatury perforacyjnej, umożliwiają-

cej otrzymanie danych wyjściowych w formie taśm perforowanych. Waga całego odbiornika wynosi ok. 40 kg. Aparatura jest przystosowana do odbioru częstotliwości nawigacyjnych 150 i 400 MHz lub częstotliwości 162 i 324 MHz sygnałów satelitów geodezyjnych.



Rys. 6

Dokładność wyznaczenia pozycji stacji obserwacyjnej za pomocą techniki dopplerowskiej zależy od:

- 1) sprawności działania aparatury zainstalowanej na satelicie (stabilność częstotliwości, dokładność sygnałów czasu),
- 2) sprawności działania aparatury odbiorczej (stabilność częstotliwości wzorcowej, błędy odfiltrowywania sygnałów),
- 3) stosowanej metody wyznaczania współrzędnych,
- 4) dokładności użytych efemeryd satelity (w przypadku wyznaczania położenia pojedynczego punktu),
- 5) sposobu eliminacji wpływów refrakcyjnych, głównie troposferycznych; zastosowanie dwóch częstotliwości praktycznie usuwa wpływ błędów refrakcji jonosferycznej, natomiast wprowadzanie poprawek ze względu na refrakcję troposferyczną wymaga stosowania pewnych wzorów empirycznych i określonych modeli atmosfery,
- 6) liczby obserwowanych przelotów satelitów.

W latach 1971—73 wykonano wiele pomiarów doświadczalnych, które miały na celu określenie realnych dokładności osiąganych za pomocą techniki dopplerowskiej i wykazanie przydatności tej techniki do prac geodezyjnych. Najwięcej eksperymentów przeprowadzono w Stanach Zjednoczonych i w Kanadzie. W USA pomiary wykonywano wzdłuż transkontynentalnego ciągu geodezyjnego Transcontinental High-Precision Geodimeter Traverse oraz na poligonach doświadczalnych, m. in. w okolicach Waszyngtonu. W Kanadzie prace badawcze prowadzi głównie Uniwersytet w New Brunswick. Doświadczenia wykazały, że przy zastosowaniu metody translokacji i wykorzystaniu efemeryd emitowanych przez satelitę możliwe jest dzisiaj osiągnięcie dokładności ok. 1 m wyznaczenia różnicy współrzędnych punktów, w zasadzie niezależnie od odległości pomiędzy punktami. Tę samą dokładność można otrzymać przy wyznaczaniu położenia pojedynczych punktów, używając precyzyjnych efemeryd. Przy wyznaczaniu współrzędnych tylko na podstawie kilkunastu przelotów satelity można uzyskać błąd wyznaczenia współrzędnych punktów ok. ± 3 m.

Po okresie prób przystąpiono w wielu krajach do wykorzystania techniki dopplerowskiej do praktycznych celów geodezyjnych. Technikę tę stosuje się zarówno do unowocześnienia lub uzupełnienia istniejących sieci geodezyjnych (np. USA, Kanada, Włochy, Australia), jak też do zakładania nowych podstawowych osnów geodezyjnych (np. kraje Ameryki Południowej, Afryka). Szacuje się, że ok. roku 1980 na świecie będzie pomierzonych ok. 1000 punktów dopplerowskich, związanych ze sobą z dokładnością nie gorszą jak $\pm 4,0$ m (różne typy instrumentów, różne programy obserwacyjne itd.).

Metoda pomiarów dopplerowskich może być z dużym powodzeniem stosowana do prac mających na celu nawiązywanie różnych sieci (ukła-

dów) geodezyjnych. Wykorzystanie pomiarów dopplerowskich w sieciach triangulacyjnych wydatnie zmniejsza potrzebę zakładania dużej liczby baz triangulacyjnych i pomiaru azymutów w sieci. Wyznaczanie współrzędnych stacji obserwacyjnych za pomocą techniki dopplerowskiej jest niezależne, szybkie, ekonomiczne i w pełni zautomatyzowane. Rozwojowi tej techniki sprzyja ponadto stosunkowo nieduży koszt precyzyjnej aparatury odbiorczej i liczącej.

Wydaje się bezsprzecznie celowe podjęcie również i w Polsce badań nad wykorzystaniem satelitarnej techniki dopplerowskiej do celów geodezyjnych i szerzej niż dotychczas do celów nawigacji morskiej i lotniczej. Technika ta może być wykorzystana z powodzeniem do unowocześnienia podstawowej krajowej sieci geodezyjnej i ujednolicenia sieci geodezyjnych na większych obszarach. Zdobycie doświadczeń w zakresie stosowania tej techniki jest niezwykle korzystne również ze względu na prace eksportowe, prowadzone przez Polskę w krajach pozaeuropejskich.

L I T E R A T U R A

- [1] *Krakiwsky E.J., Wells D.E., Thomson D.B.*: Geodetic Control from Doppler Satellite Observations for Lines under 200 km. Dept. of Surv. Eng. Univ. of New Brunswick Fredericton. Canada, No 22, Nov. 1972.
- [2] *Strange W.E., Hothem L.D., White M.B.*: The Satellite Doppler Station Network in the United States Rep. presented to the IUGG, XVI Gen. Ass., Grenoble, France, Aug. 1975.
- [3] *Sledziński J.*: Geodezja satelitarna. Wyd. Politechniki Warszawskiej, 1971.
- [4] *Wells D.E.*: Doppler Satellite Control. Dept. of Surv. Eng. Univ. of New Brunswick, Fredericton, Canada, No 29, Sep. 1974.
- [5] *Wells D.E.*: Orbital Information from the U.S. Navy Navigation Satellite System. Dept. of Surv. Eng. Univ. of New Brunswick, Fredericton, Canada, No 19, May 1971.

Recenzował prof. dr hab. inż. Julian Radecki

Rękopis złożono w Redakcji w styczniu 1976 r.

ЯНУШ СЛЕДЗИНСКИ

ТЕХНИКА СПУТНИКОВЫХ ДОППЛЕРОВСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ И ВОЗМОЖНОСТЬ ЕЁ ПРИМЕНЕНИЯ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ ПУНКТОВ

Резюме

В статье рассматривается коротко принцип спутниковой доплеровской техники, описаны существующие доплеровские системы и способы их использования для определения позиции наблюдательных станций. Основные математические соединения (1) и (2) доплеровского метода разрешают вводить функциональные зависимости (3) и (4) или (5), (6), (7), на основе которых можно определить координаты места наблюдения. Рассмотрены основные черты техники интегрированных доплеровских измерений (рис. 2), мгновенных интегрированных доплеровских измерений (рис. 4). Представлено также действие навигационной системы TRANSIT (рис. 5) и способы определения позиции геодезических пунктов для случая единичного пункта, пар пунктов (метод транслокации), а также для случая пунктов составляющих замкнутые фигуры сети.

Проанализированы также источники ошибок спутниковых доплеровских измерений (исправность наземной аппаратуры и установленной на спутнике, стабильность частоты f_s , создаваемой на спутнике, и стандартной f_0 на Земле, ошибки эфемерид, остаточное рефракционное влияние). Применение метода транслокации и использование эфемерид эмиттированных спутником разрешает получить точность около 1 м определения разницы координат пунктов в основном независимо от расстояния между пунктами.

В заключении статьи автор обращает внимание на достоинства доплеровской техники и пользу, вытекающую из её применения. Техника эта разрешает на полную автоматизацию наблюдательного и редуционного процесса.

Использование доплеровских измерений в триангуляционных сетях значительно уменьшает потребность заложения большого числа баз триангуляции и измерений азимутов в сети. Определение координат пунктов станции с помощью доплеровской техники является независимым, быстрым и экономным.

Доплеровские измерения могут быть использованы как для модернизации существующих геодезических сетей, так и при заложении новых геодезических основ.

TECHNIQUE OF SATELLITE DOPPLER MEASUREMENTS
AND POSSIBILITIES OF ITS APPLICATION FOR DETERMINATION
OF POINTS COORDINATES

S u m m a r y

The principle of satellite Doppler technique is shortly discussed in this paper. Doppler systems which have been already developed and their application for determination of the station positions are also described here. The essential mathematical relations (1) and (2) of Doppler method enable to determine functional dependence (3) and (4) or (5), (6), (7) on the basis of which coordinates of an observation station can be determined. There are discussed some basic characteristic of the Doppler systems: Integrated Doppler Measurements (Fig. 2), Instantaneous Doppler Measurements (Fig. 3) and Continuously Integrated Doppler Measurements (Fig. 4). Operation of navigation system TRANSIT (Fig. 5) and methods of geodetic points positioning in the case of single point, pairs of points translocation method and in the case of the points forming geometric figures of the net are discussed in this paper.

Sources of satellite Doppler measurement errors have been analysed such as: efficiency of the earth apparatus and the apparatus placed in a satellite, frequency stability f_s generated on a satellite and standard earth-receiver frequency f_0 , errors of ephemerides and residual refraction influences. Application of the translocation method and the use of the ephemerides transmitted by a satellite allows to reach the approximate accuracy of 1m of the points coordinates difference determination which does not in principle depend on the distance between the points.

In the concluding part of this paper the author pays attention on the merits of the Doppler technique and advantages resulting from its application.

The application of Doppler measurements in triangulation nets considerably lowers the need of establishing large number of triangulation baselines and the measurement of the azimuths in a net. Geodetic points positioning through Doppler technique is independent, quick, economic and fully automatic. Doppler measurements can be used both to modify the existent main geodetic nets and to establish new ones.

