

Początki nawigacji satelitarnej

Z chwilą wystrzelenia radzieckiego Sputnika (pierwszy sztuczny satelita Ziemi – 1957 r.) rozpoczęły się badania nad wykorzystaniem satelitów do określenia pozycji obiektów znajdujących się na Ziemi.

MINITRACK

Pierwsze amerykańskie doświadczenia w dziedzinie nawigacji satelitarnej (przełom lat 50. i 60.) związane były ze śledzeniem orbit radzieckich satelitów. Do określania ich pozycji stworzono pasywny naziemny system MINITRACK (uruchomiony w 1958 r.), który wykorzystywał sygnały radiowe emitowane przez same satelity. W 1961 r. przemianowany został na NAVSPASUR (Naval Space Surveillance System), który funkcjonuje do dzisiaj, będąc jednym z podstawowych systemów kontrolujących przestrzeń nad Stanami Zjednoczonymi.

Jedna z anten systemu MINITRACK



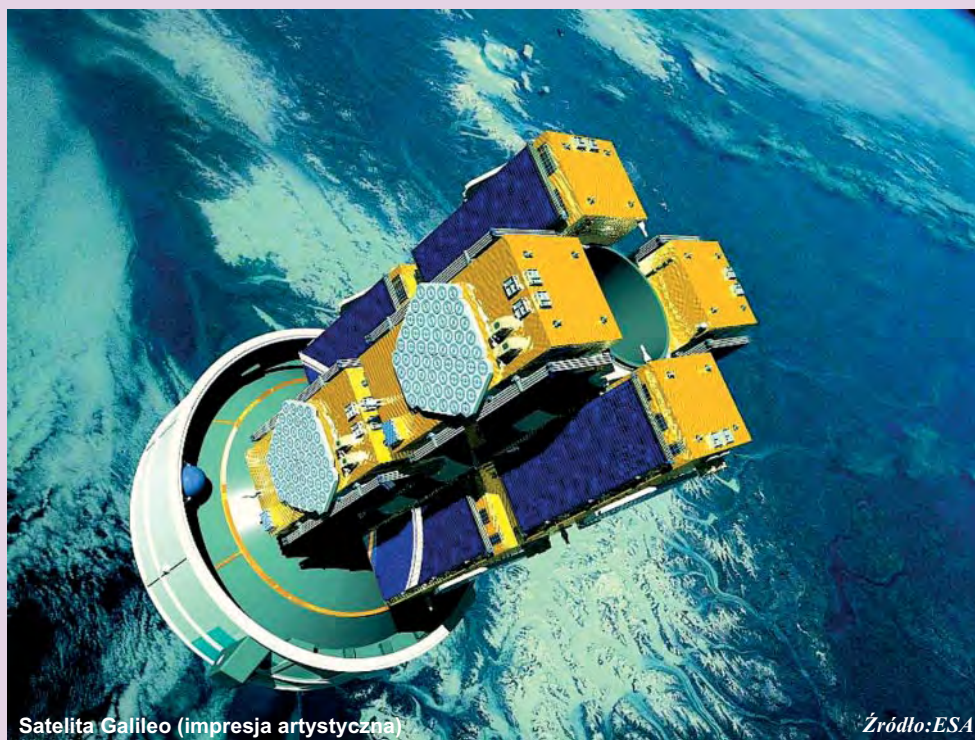
TRANSIT

17 września 1959 r. wystrzelono na orbitę pierwszego satelitę nawigacyjnego systemu TRANSIT (NavSat – Navy Navigation Satellite System), umożliwiającego określenie pozycji obiektów w dwóch wymiarach (długość i szerokość geograficzna). System ten wykorzystywany był przez amerykańską marynarkę i lotnictwo m.in. do określania pozycji rakiet balistycznych wystrzeliwanych z łodzi podwodnych i składał się (docelowo) z siedmiu satelitów krążących na niskich, okołobiegunowych orbitach oraz naziemnych stacji kontrolnych. Pozycję obiektu określano, wykorzystując przy pomiarze sygnałów nadawanych przez satelity zjawisko opisane już w 1842 r. przez fizyka Christiana Dopplera. Nowe praktyczne zastosowanie dla tej teorii odkryli naukowcy z Applied Propulsion Laboratory (USA) podczas śledzenia radzieckiego Sputnika. Zasada działania systemu sprowadzała się do wysyłania przez satelity sygnałów o stałych częstotliwościach w ściśle określonych interwałach czasu. Odbiornik na Ziemi zliczał różnice częstotliwości pomiędzy falą odbieraną z przemieszczającego się satelity a generowa-

Europejski system nawigacji

Czas na

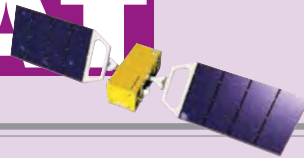
JERZY



Satelita Galileo (impresja artystyczna)

Źródło:ESA

Jeśli wszystko pójdzie zgodnie z planem, w 2008 roku pełną zdolność operacyjną osiągnie europejski system nawigacji satelitarnej Galileo. Będzie to trzecie takie rozwiązanie na świecie. O skali europejskiego opóźnienia w tej dziedzinie świadczy fakt, że pierwszego satelitę amerykańskiego GPS (Global Positioning System) umieszczono na orbicie okołoziemskiej ponad dwadzieścia lat temu (1978 r.), a cztery lata później w kosmosie znalazł się rosyjski GLO-NASS (Global Navigation Satellite System).



satelitarnej, cz. I – historia

Galileo

PRZYWARA

W końcu lat 50. prace badawcze nad systemami radionawigacyjnymi doprowadziły do odkrycia, że sygnał radiowy wysyłany z satelity nie napotyka na znane do tej pory przeszkody towarzyszące transmisji naziemnej, takie jak degradacja sygnału przez jonosferę (fale długie) czy ukształtowanie terenu (fale krótkie). Kwestią czasu było stworzenie systemów, które dzięki odpowiednio dokładnym pomiarom tych sygnałów, pozwoliłyby na precyzyjne usytuowanie dowolnego obiektu w przestrzeni. Nie bez powodu też nazwano je nawigacyjnymi.

● 0 nawigacji i nie tylko

Nawigacja to proces, a także wiedza o procesie prowadzenia jakiegoś obiektu (np. samochodu, statku, samolotu) po wyznaczonej trasie wraz z jej kontrolą oraz wiedza o urządzeniach służących temu celowi. W gruncie rzeczy zadanie nawigacji sprowadza się do określania pozycji obiektu w jakimś układzie odniesienia.

Dawniej żeglarz mógł odczytywać długość geograficzną z położenia Słońca, a szerokość z kąta wzniesienia Gwiazdy Polarnej. Gdy w XX wieku rozpowszechniła się radionawigacja, namierniki zainstalowane na statkach pozwalały na określenie charakterystyki sygnałów wysyłanych przez znajdujące się na lądzie radiolatarnie. Namiary do dwóch radiolatarni umożliwiają już określenie pozycji statku. Podobnie działają systemy radiolokacyjne dla lotnictwa, chociaż jedną z podstawowych metod tam stosowanych jest nawigacja inercjalna (bezwładnościowa), bazująca na zasadach dynamiki Newtona. Innym sposobem stosowanym w nawigacji lotniczej jest wykorzystanie efektu Dopplera.

Powstała w drugiej połowie XX wieku idea satelitarnych systemów wyznaczania pozycji, mimo swego wyjątkowego technologicznego zaawansowania, sprowadza się w istocie do prozaicznego pomiaru odległości. Wystarczy bowiem za-



nać przez jego własny oscylator. Metoda ta pozwalała na początku lat 60. na wyznaczenie pozycji obiektu z dokładnością kilkuset metrów. W okresie późniejszym można było uzyskać dokładności rzędu 10-30 m, rejestrując dane z przelotu jednego satelity. Satelity krążyły na wysokości ok. 1075 km, na której efekt Dopplera jest najwyraźniejszy.

Pierwsza (i to nieudana) próba wystrzelenia satelity w ramach programu TRANSIT miała miejsce 17 września 1959 r. Po niej nastąpiło kilka podobnych. Dopiero w 1964 roku konstelacja składająca się z 4 satelitów umożliwiła marynarce wojennej USA precyzyjne pozycjonowanie łodzi podwodnych wyposażonych w atomowe pociski POLARIS. Waga każdego z satelitów wynosiła zaledwie ok. 60 kg. W ramach programu TRANSIT umieszczono również na orbicie satelity serii TRIAD (1972, 1975), TIP (1976) i NOVA (1981, 1984, 1988), których zadaniem było m.in. testowanie silników raketowych umożliwiających manewrowanie pojazdem na orbicie. Ostatniego TRANSITA (oznaczonego O-25) wystrzelono w sierpniu 1988 r. W końcu 1996 r. satelity tej serii przestały służyć do nawigacji i były wykorzystywane do monitoringu jonosfery.

W roku 1960, gdy trwały pierwsze próby TRANSITA, korporacja Raytheon (USA) zaproponowała armii amerykańskiej budowę systemu nawigacyjnego umożliwiającego w pełni trójwymiarowe pozycjonowanie obiektów. Projekt o nazwie MOSAIC (Mobile System for Accurate ICBM) nie wszedł jednak do realizacji. Jego utworzenie związane było bowiem z programem budowy ruchomych wyrzutni rakiet balistycznych Minuteman, który zarzucono rok później.

Galileo Galilei (Galileusz), ur. 15 lutego 1564 r. w Pizie, zm. 8 stycznia 1642 r., włoski fizyk, astronom i filozof, twórca eksperymentalno-matematycznych metod badawczych w przyrodznawstwie. Studiował medycynę, filozofię i matematykę. Profesor matematyki na uniwersytetach w Bolonii, Pizie, Padwie. Autor wielu odkryć i wynalazków, m.in. prawa swobodnego spadania ciał (ok. 1602 r.). Zbudował lunetę, którą pierwszy zastosował do obserwacji astronomicznych. Odkrył góry na Księżycu, księżycy Jowisza, fazy Wenus i plamy na Słońcu. Uznawał teorię Kopernika, co spowodowało proces przed trybunałem inkwizycji. Zmuszony do publicznego odwołania swych poglądów, miał wyrzec słynne słowa: *eppur si muove – a jednak się kręci*.

wg *Wielkiej Encyklopedii Powszechnej PWN*,
Warszawa 2002



■ CYKLON

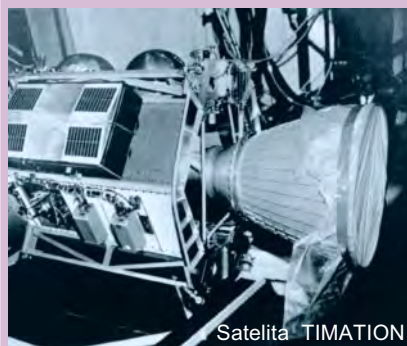
Powstanie tego dopplerowskiego systemu, podobnie jak w przypadku TRANSITA, zdeterminowane było potrzebami armii – tym razem radzieckiej, także dysponującej atomowymi łodziami podwodnymi. W 1962 r. gotowy był zarys projektu eksperymentalnego satelity nawigacyjnego określonego nazwą CYKLON. Start pierwszego satelity tej serii nastąpił 15 maja 1967 r. Testy przeprowadzone na Morzu Czarnym nie dały jednak zadowalających rezultatów. Pozycję można było wyznaczyć zaledwie z dokładnością 3 km. Potrzebne były lepsze modele opisujące trajektorię satelitów i dokładne mapy anomalii pola grawitacyjnego Ziemi. W 1969 roku osiągnięto już precyzję rzędu 100 m. Fazę testowania operacyjnego rozpoczęto dopiero w 1974 r. Ostatniego satelity tej serii (ważącego 920 kg) wyniesiono na orbitę 27 lutego 1978 r

■ CYKADA

System nawigacyjny drugiej generacji powstał w wyniku współpracy marynarki wojennej, Akademii Nauk i Ministerstwa Żeglugi ZSRR na bazie dopplerowskiego CYKLONA. Prace rozpoczęto w 1974 r. 15 grudnia 1976 r. pierwszy testowy satelita (o wadze 810 kg) został umieszczony na orbicie o perygeum 952 km i apogeum 1003 km. Kilkanaście miesięcy później (31 marca 1978 r.) wystrzelono pierwszego satelity operacyjnego tej serii (Kosmos 1000). W 1979 roku zezwolono na korzystanie z serwisu nawigacyjnego marynarki wojennej i statkom rybackim (w ramach COSPAS-SARSAT). Jednak dopiero od 1987 r. możliwe było wykorzystywanie systemu na terenie całego globu przez statki handlowe i rybackie. Ogółem umieszczono na orbicie 22 satelity CYKADA, ostatni – 5 lutego 1995 r.

■ TIMATION

Znaczny krok w rozwoju nawigacji satelitarnej zrobiono w maju 1967 r., gdy w kosmosie znalazły się satelity serii TIMATION



Satelita TIMATION

rejestrować dane z czterech satelitów, by uzyskać trzy współrzędne lokalizujące odbiornik w przestrzeni. Nad tym prostym z pozoru zadaniem pracowały (i pracują nadal) najlepsze ośrodki naukowe na świecie.

● Odpuszczanie

Przyczyną budowy zarówno GPS, jak i GLONASS były głównie względy natury militarnej. Właścicielem obu systemów są odpowiednio USA i Rosja, jedyne państwa dysponujące techniką satelitarną od prawie pół wieku. Amerykańskim GPS

zarządza Interagency GPS Executive Board, w skład którego wchodzi sześć cywilnych instytucji, ale przewodniczą mu Departament Obrony i Departament Transportu, a sam system znajduje się w strukturach Air Force. Z kolei GLO-NASS-em kieruje Koordynacyjne Centrum Informacji Naukowej Ministerstwa Obrony.

Dość szybko okazało się, że pasywny w swych założeniach system może być niezwykle przydatny w pozamilitarnych zastosowaniach. I chociaż pierwszeństwo w dostępie do nowej technologii mieli

Dziedziny zastosowań nawigacji satelitarnej

Transport lotniczy: precyzyjna nawigacja bez względu na warunki pogodowe, monitorowanie położenia statków powietrznych (lokalne, jak i globalne), zarządzanie ruchem w przestrzeni lotniczej oraz w portach lotniczych, nawigacja na obszarach okolicy lotniczych (gdzie nie mogą być używane kompasy), możliwość lokalizacji samolotu w przypadku katastrofy, analiza trasy lotu, szkolenie pilotów i obsługi naziemnej.

Transport drogowy: zarządzanie flotą samochodową (TIR-y, autobusy, taksówki), planowanie tras przejazdu z uwzględnieniem warunków pogodowych, robót drogowych itp., śledzenie i planowanie tras przejazdu pojazdów specjalnych, lokalizacja pojazdu w przypadku awarii, kradzieży, napadu, analiza ruchu drogowego i wypadków drogowych.

Transport kolejowy: monitorowanie trasy przejazdu i ostrzeganie o możliwości kolizji, śledzenie ładunków specjalnych.

Transport morski i śródlądowy: lokalizacja jednostek wysyłających sygnał SOS, stała dwukierunkowa łączność i monitorowanie położenia statków przez służby na lądzie, zarządzanie ruchem jednostek w portach, lokalizacja ładunków (np. kontenerów), prowadzenie prac przy pogłębianiu torów wodnych i basenów portowych, lokalizacja przeszkód podwodnych, gór lodowych itp., lokalizacja jednostek rybackich w strefach połowowych, określanie wielkości przyływów i prądów morskich, badania dna morskiego, określanie miejsc odwiertów.

Górnictwo: lokalizacja wyrobisk w kopalniach odkrywkowych, określenie miejsca odwiertów, sterowanie maszynami.

Telekomunikacja: precyzyjne określenie sygnału czasu dla operatorów sieci telefonicznych i komputerowych, energetycznych, radiowych i telewizyjnych oraz dostawców internetu, uwiaryzalnianie transmisji przez korporacje bankowe.

Budownictwo: pomiary przy budowie autostrad, obiektów przemysłowych, kanałów irygacyjnych itp., precyzyjne sterowanie maszynami budowlanymi, badanie przemieszczeń i osiadań konstrukcji.

Rolnictwo: precyzyjna nawigacja maszynami rolniczymi, monitorowanie parku maszynowego, analiza stanu prac polowych, określenie miejsca i poziomu nawożenia (lub spryskiwania środkami ochrony roślin), monitorowanie systemów irygacyjnych.

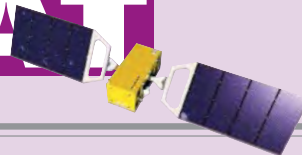
Leśnictwo: określanie rejonów wycięcia lasów, lokalizacja pożarów i kierunków ich rozprzestrzeniania, śledzenie kierunków migracji zagrożonych gatunków zwierząt.

Bezpieczeństwo: lokalizacja miejsca wypadku (katastrofy), określenie trasy najlepszego dojazdu do miejsca wypadku (katastrofy), planowanie akcji ewakuacyjnych, śledzenie skradzionych pojazdów, monitorowanie trasy poruszania się VIP-ów, ustalenie zakresu szkód powstałych w wyniku katastrof spowodowanych działalnością człowieka i naturalnych, monitorowanie więźniów, analiza popełnianych przestępstw.

Ochrona środowiska i nauka: badanie płytów kontynentalnych, monitorowanie terenów sejsmicznych i wulkanicznych, określanie obszarów zagrożeń epidemiologicznych, lokalizacja i kontrola terenów zanieczyszczonych i skażonych, kontrola wycięcia lasów, monitorowanie promieniowania ultrafioletowego i innych zagrożeń dla rozwoju fitoplanktonu, badania klimatu, monitorowanie rurociągów naftowych.

Rekreacja: określenie pozycji i planowanie trasy przez posiadacza odbiornika, możliwość monitoringu lub powiadomienia o niebezpieczeństwie.

Geodezja: pomiary osnów, pomiary inwentaryzacyjne i realizacyjne (na terenach otwartych), pomiary przemieszczeń i osiadań, określenie położenia obiektów dla celów GIS, permanentne stacje GPS. ■



wojskowi, coraz śmielej zaczęli się onia upominać cywile. Z ich punktu widzenia istotne było to, że już na początku lat 80. zdecydowano, iż z tej technologii może korzystać nie tylko armia. Stało się to możliwe, gdy NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) opublikowała w 1984 r. standardy umożliwiające korzystanie z danych transmitowanych przez satelity systemu. Na udostępnienie technologii nie miały wpływu też zestrzelenie przez Rosjan 1 września 1983 r. koreańskiego samolotu rejsowego nad terytorium ZSRR. Po tym incydencie prezydent USA ogłosił, że również cywilni użytkownicy z całego świata będą mogli wykorzystywać GPS do celów nawigacyjnych. W 1991 r. Międzynarodowa Organizacja Lotnictwa Cywilnego (ICAO) poinformowała, że GPS będzie dostępny od 1993 r. bezpłatnie dla społeczności międzynarodowej przez okres 10 lat (oferta ta była w 1995 r. potwierdzona przez ówczesnego prezydenta USA Billa Clintona). Z początku system umożliwiał uzyskanie bezwzględnej pozycji z dokładnością rzędu 500, później (1983 r.) – około 100 m. Dzięki wyłączeniu w maju 2000 r. S/A, czyli celowej degradacji sygnału, możliwa jest dzisiaj 10-metrowa precyzja lokalizacji. W odtajnieniu swego systemu nawigacyjnego nie pozostali bierni także Rosjanie. W 1988 r. władze ZSRR zapowiedziały udostępnienie służbom cywilnym danych oraz informacji o GLO-NASS-ie. W dużej mierze przyczyniły się do tego odpowiednie dekrypty premiera Rosji Wiktora Czernomyrdina z 1997 r. i prezydenta Borysa Jelcyna z 1999 r. Nadeszła więc pora na cywilne zastosowania.

● Pogoda dla cywili

Patrząc z dzisiejszej perspektywy, trudno przypuszczać, aby mogło stać się inaczej. Każdy, kto musi mieć w amerykańskiej armii odbiornik GPS – już go pewnie ma. Najnowocześniejsze systemy informatyczne śledzą oraz integrują działanie poszczególnych formacji, pododdziałów lub pojedynczych żołnierzy. Z kolei precyzja, z jaką trafiają w cel współczesne pociski samosterujące, doszła do granic absurdu. W zastosowaniach militarnych powoli kończą się nowe pomysły dla wykorzystania tej techniki. Ale trzeba pamiętać, że jeszcze w latach 80. GPS był bardzo drogą „zabawką”, nawet dla wojskowych. W sukurs wszystkim potencjalnym użytkownikom przyszedł niespodzie-

wany rozwój elektroniki i informatyki w latach 90. oraz... olbrzymie zamówienia z armii. W 1994 r. oszacowano, że do końca XX wieku, tylko na zaopatrzenie amerykańskiego lotnictwa potrzeba będzie 17 tys. odbiorników, a dla sił lądowych – aż 60 tys. Potrzeby te były szczególnie widoczne w czasie wojny w Zatoce Perskiej (1990-91), podczas której technika GPS oddała nieocenione usługi wojskom koalicji. Ponieważ założono, że każdy pojazd amerykański musi posiadać taki odbiornik, pośpiesznie zamówiono ich wtedy na rynku aż 10 tysięcy.

Wielkie nakłady na prace badawcze, miniaturyzacja układów elektronicznych oraz udoskonalenie oprogramowania umożliwiły budowę odbiorników przeznaczonych dla zupełnie innego klienta. Koszt ich wytworzenia poleciał w latach 90. na łeb na szyję. O ile cena pierwszego komercyjnego odbiornika wynosiła w 1983 r. około 150 tys. dolarów (ważył on ponad 50 kg), to dzisiaj w każdym supermarkecie na Zachodzie za 100 dolarów można kupić GPS-owski „gadżet” wielkości telefonu komórkowego wyznaczający pozycję z 10-metrową dokładnością.

Już w połowie lat 90., poza 15 agencjami (głównie wojskowymi z krajów sprzymierzonych z USA), które miały zapewnić dostęp do serwisu precyzyjnego GPS (PPS), coraz większą rolę zaczęły odgrywać użytkownicy cywilni, korzystający bezpłatnie z najmniej dokładnego serwisu (SPS). Na ich potrzeby pracowały setki cywilnych przedsiębiorstw. W roku 1992 produkcją elementów do GPS zajmowało się 109 firm, a pięć lat później było ich już 307. Gwałtowny rozwój rynku nawigacji satelitarnej nastąpił jednak dopiero w drugiej połowie lat 90., gdy uaktywniły się liczne pozamilitarne zastosowania technologii GPS oraz kiedy okazało się, że do zarobienia jest olbrzymia góra pieniędzy.

● Geodeci pierwsi

Pierwszymi cywilami wykorzystującymi w pracy odbiorniki nowej generacji byli geodeci. Zastrzeżoną technologię GPS udostępniono im w 1984 r. Początkowo posługiwano się GPS przy pomiarach geodezyjnych ograniczając się (podobnie jak w pomiarach dopplerowskich) jedynie do wyznaczania współrzędnych punktów osnowy. Nowe metody pomiaru, nielimitowany czas pracy, szybkość i wysoka precyzja systemu znalazły uznanie tej grupy zawodowej. Szybko okazało się, że wysokie nakłady na niezwykle wtedy drogi

Naziemna ruchoma stacja odbiorcza

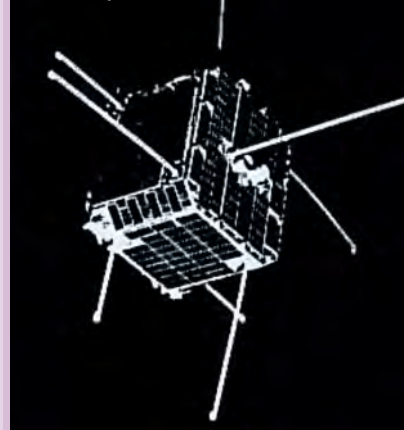


(Time Navigation). Nowy system zbudowany został przez amerykańską marynarkę i również pozwalał na określenie pozycji w dwóch wymiarach. W satelitach tych do generowania sygnałów o bardzo stabilnej częstotliwości zastosowano oscylator kwarcowy, a w dwóch ostatnich (NTS-I – 1974 r., NTS-II – 1977 r.) po raz pierwszy wypróbowano generatory kwarcowe, rubidowe i cezowe. Do idei, na jakiej oparto działanie systemu GPS, był tylko krok.

■ 621 B i SECOR

Do stworzenia satelitarnego systemu nawigacyjnego obejmującego cały świat, zmierzała nie tylko marynarka wojenna USA, ale i lotnictwo. Równoległe z TIMATION powstała więc koncepcja rozwiązania o nazwie System 621B. Zakładała ona utworzenie globalnego systemu pozwalającego na wyznaczenie trzech współrzędnych obiektu. Własne prace prowadziły również siły lądowe USA. W 1962 r. umieściły one na orbicie pierwszego geodezyjnego satelitę (Anna-1B) systemu SECOR (Sequential Correlation of Range). W latach 1964-69 wystrzelono 13 kolejnych satelitów (owadze 17-20 kg). System funkcjonował do lat 70.

Satelita systemu SECOR



NAVSTAR GPS

W 1968 r. Departament Obrony USA zdecydował o utworzeniu komitetu składającego się z reprezentantów każdej ze służb (NAVSEG – Navigation Satellite Executive Group), który miał pokierować całością prac i określić jedną wspólną koncepcję.

Po pięciu latach badań, w 1973 r., zdecydowano, że wiodącą instytucją będzie Air Force, która wkrótce przedstawiła założenia nowego systemu. Połączył on w sobie elementy z niezależnie prowadzonych projektów. Jego cechą podstawową jest transmisja precyzyjnego sygnału czasu. W grudniu tego samego roku program zatwierdzono do realizacji. Po kolejnych pięciu latach testów i badań, 22 lutego 1978 r., wystrzelono pierwszego satelitę z tzw. Bloku I (skła-

Satelita GPS



dającego się z 6 satelitów krążących na trzech orbitach o nachyleniu 63° do płaszczyzny równika).

Tak zrodził się NAVSTAR GPS (Navigation System with Time And Ranging), popularnie zwany GPS, składający się dzisiaj z 24 operacyjnych satelitów poruszających się po sześciu orbitach na wysokości ponad 20 tys. km i okrążających Ziemię w ciągu niespełna 12 godzin. W ramach Bloku I (eksperymentalnego) w latach 1978-85 pracowało łącznie 11 satelitów. Dla satelitów GPS przewidziano też inną rolę. Poza aparaturą do celów nawigacyjnych, od kwietnia 1980 r. zabierają one w kosmos również czujniki promieni X, radiometri optyczne i detektory fal radiowych, umożliwiające zarejestrowanie wybuchów nuklearnych na Ziemi i w atmosferze.

W następnych latach Amerykanie umieszczali na orbitach kolejne generacje satelitów w ramach Bloków: II, IIA (od 1993) i IIR (od 1999), wymieniając zużyte satelity na coraz to doskonalsze i powiększając ich liczbę. Całkowitą zdolność operacyjną system osiągnął jednak dopiero w 1995 r., gdy

Główni udziałowcy na rynku technologii GPS

Rynek	Świat wartość/liczba sztuk	Europa wartość/ liczba sztuk
LOTNICTWO	200 mln dol./brak danych	45 mln euro/brak danych
■ systemy pokładowe	■ Honeywell (USA) ■ Collins (USA) ■ Smith (USA) ■ Litton (USA) ■ Lockheed Martin (USA)	■ Sextant Avionique (Francja) ■ BEA (Wlk. Brytania)
■ systemy naziemne	■ Raytheon (USA) ■ Lockheed Martin (USA) ■ Northrop-Grumman (USA)	■ Alenia-Marconi (Włochy) ■ BAE (Wlk. Brytania) ■ Airsys (Wlk. Brytania)
NAWIGACJA MORSKA	57 mln dol./28 tys.	15 mln euro/6 tys.
■ systemy nawigacyjne	■ Furuno (Japonia) ■ Leica Geosystems (USA, Szwajcaria – CH) ■ Koden (Japonia) ■ Raytheon (USA) ■ JRC (Japonia) ■ Trimble (USA) ■ Leica Geosystems (USA, CH)	■ Simrad (Norwegia) ■ DSNP* (Francja) ■ MRL* (Francja) ■ SAAB TransponderTech AB (Szwecja)
■ stacje referencyjne		
SYSTEMY NAWIGACJI SAMOCHODOWEJ	2200 mln dol./2 mln	600 mln euro/0,5 mln
■ odbiorniki i podzespoły elektroniczne	■ Trimble (USA) ■ Motorola (USA) ■ Rockwell (USA) ■ SiRF (USA)	■ DSNP* (Francja)
■ mapy cyfrowe	■ NavTech (USA)	■ Tele Atlas (Belgia)
SERWIS TELEMATYCZNY	brak danych/brak danych	80 mln euro/brak danych
ZARZĄDZANIE FLOTA	170 mln dol./125 tys.	40 mln euro/20 tys.
■ odbiorniki i podzespoły elektroniczne	■ Motorola (USA) ■ Rockwell (USA) ■ Trimble (USA) ■ JRC (Japonia) ■ SiRF (USA)	
TRANSPORT KOLEJOWY	2 mln dol./1 tys.	1 mln euro/0,5 tys.
POMIARY GEODEZYJNE, MAPY	225 mln dol./15 tys.	45 mln euro/3 tys.
■ odbiorniki i oprogramowanie	■ Trimble (USA) ■ Leica Geosystems (USA, CH) ■ Topcon (Japonia) ■ Magellan* (USA)	■ DSNP* (Francja)
ROLNICTWO	25 mln dol./2,5 tys.	5 mln euro/0,6 tys.
■ odbiorniki i podzespoły elektroniczne	■ Trimble (USA) ■ Ashtech* (USA) ■ Rockwell (USA)	■ Thomson Racal* (Wlk. Brytania)
■ oprogramowania systemowe	■ AgLeader (USA) ■ John Deere (USA) ■ CNH (USA)	■ Claas-Agrocom (Niemcy)
SERWIS GPS	brak danych/brak danych	45 mln euro/brak danych
TELEFONIA KOMÓRKOWA	brak danych/283,6 mln	brak danych/93,5 mln
■ podzespoły elektroniczne (GPS)	■ Motorola (USA) ■ Trimble (USA) ■ Rockwell (USA) ■ SiRF (USA) ■ JRC (Japonia)	
■ telefony komórkowe	■ Motorola (USA) ■ Panasonic (Japonia)	■ Nokia (Finlandia) ■ Siemens (Niemcy) ■ Alcatel (Francja) ■ Ericsson (Szwecja) ■ Philips (Holandia)

* obecnie Thales (Francja)

sprzęt zwracały się z nawiązką z uwagi na niebagatelne przyspieszenie prac. Stwierdzono, że korzystając z GPS, zwiększa się wydajność nawet o kilkaset procent. Około 80 tysięcy wyprodukowanych do tej pory dopplerowskich Geocieverów i JMR-ów zaczęły zastępować GPS-owskie Macrometry, Trimble i Leiki.

Współczesne zastosowania GPS

Global Positioning System pozwala na uzyskanie informacji o położeniu obiektu i jego prędkości oraz niejako dodatkowo (choć w rzeczywistości jest odwrotnie) superprecyzyjnego sygnału czasu. Przez wiele lat beneficjentami tego systemu była niewielka grupa specjalistów. Zasady działania wyrafinowanych układów elektronicznych, znajomość zagadnień z zakresu astronomii i geodezji wyższej oraz skomplikowane obliczenia były ich domeną. Gdy rozwój techniki umożliwił „ukrycie” prawie wszystkiego, co trudne do zrozumienia, za mniej lub bardziej efektywnym obrazem na ekranie komputera, technologia ta stała się dostępna prawie dla każdego. Nic dziwnego, że w ostatnich latach nastąpił jej ostry zwrot w stronę tzw. masowego odbiorcy. Możliwości wykorzystania wspomnianych wcześniej informacji są dzisiaj prawie nieograniczone (zwłaszcza po wyłączeniu w 2000 r. S/A): od bezpieczeństwa publicznego, komunikacji, ochrony środowiska, rolnictwa po rekreację, budownictwo i będącą dzisiaj gdzieś w tle tego wszystkiego geodezję (patrz tabela na s. 8).

Dominuje jednak nawigacja, zarówno w czystej formie, jak i w połączeniu z innymi technikami. Osobną grupę zastosowań, mało widocznych na co dzień, stanowi profesjonalne wykorzystanie emitowanego przez system sygnału czasu. Pojawienie się technologii RTK (Real Time Kinematic) i późniejsze zdobycze telefonii komórkowej umożliwiają obecnie określenie pozycji odbiornika w czasie rzeczywistym zarówno przez jego posiadacza, jak i przez odpowiednio wyposażone centrum monitorowania.

Chipy o wymiarach 2,5 x 2,5 cm, które uzupełniają telefon komórkowy czy palmtopa o funkcję GPS, produkuje jednak niewiele firm. Jeszcze mniej jest w stanie zbudować satelity i zegary atomowe. Wyrzutnie rakiet ma zaledwie kilka państw, a właścicielem jedyne (w miarę pewnego) systemu nawigacji satelitarnej jest tylko jedno z nich. I to za oceanem.

Co na to Europa?

Europa się budzi

Szczegółowa analiza przeprowadzona w 2000 r. na zlecenie Europejskiej Agencji Kosmicznej (ESA) przez znaną firmę konsultingową Technomar GmbH z Monachium jednoznacznie wykazała, że czołową rolę w rozwoju technologii satelitarnej wyznaczania pozycji odgrywają Stany Zjednoczone. Europa i reszta świata stały się z jednej strony klientami firm amerykańskich, z drugiej w dużym stopniu są zakładnikami systemu GPS. Co prawda Amerykanie oferują sygnał bezpłatnie, ale w przyszłości nie jest wykluczone pobieranie opłat od krajów korzystających z GPS. Nie przewidują oni także, by współwłaścicielami systemu stały się inne państwa. Ten swoisty monopol pozwala na kontrolę nie tylko nad zarządzaniem systemem i jego infrastrukturą, ale również nad jego użytkownikami. Kiedy przestudiowano trendy na najbliższe dziesięciolecie, okazało się, że jeśli stary kontynent nie zrobi niczego dla stworzenia własnego systemu nawigacji satelitarnej, za ocean odpłynie morze pieniędzy, a o tym, czy np. miliony samochodów w Europie będą mogły korzystać z nawigacji satelitarnej, decydować będzie jeden facet w Colorado Springs (centrum kontroli GPS) z palcem na klawiszu wyłączającym sygnał nadawany na cały świat.

Tylko nieliczne europejskie i japońskie przedsiębiorstwa są dzisiaj liczącymi się dostawcami sprzętu i oprogramowania w tej dziedzinie. Szacowany w 2000 r. na 14 mld dolarów (2010 r. – 50 mld) rynek dostaw jest zdominowany przez firmy zza Atlantyku. Począwszy od produkcji elementów dla satelitów i wyposażenia stacji odbiorczych, na systemach śledzących, odbiornikach i oprogramowaniu narzędziowym skończywszy. Co najważniejsze, gdyby zaniechano stworzenia takiego systemu, to w ciągu najbliższych 20-30 lat Europa straciłaby swą niezależność w dziedzinie obrony. Bo przecież technologia ta – czy się to komuś podoba czy nie – realizuje w pierwszej kolejności cele militarne (inaczej: szeroko pojęte bezpieczeństwo). Dopiero za nimi podąża cała wymieniona w tabeli na s. 8 reszta. Świadomość tego stanu rzeczy pozwoliła wreszcie krajom Unii Europejskiej na podjęcie decyzji o budowie europejskiego systemu nawigacji satelitarnej, który nazwano Galileo.

cdn.

Materiały źródłowe w drugiej części artykułu

w kosmosie znalazły się 24 satelity Bloku II i IIA. Tym samym dobiegał końca nawigacyjny żywot dopplerowskiego TRANSITA (1996 r.).

GLONASS

W czasie, gdy testowano dopiero system CYKADA (1968-69), w ZSRR zdecydowano o stworzeniu jednego satelitarnej systemu nawigacyjnego, umożliwiającego precyzyjniejsze i natychmiastowe wyznaczenie pozycji (czego nie zapewniała CYKADA). Do prac koncepcyjnych zaangażowano instytuty naukowe marynarki wojennej, Ministerstwa Obrony i Akademii Nauk. Mniej więcej w tym samym czasie nad tym samym problemem pracowały więc dwa sztaby naukowców po obu stronach Atlantyku. W grudniu 1976 roku wystartował pierwszy testowy



satelita nowego systemu o nazwie GLONASS. Zarys projektu budowy gotowy był dwa lata później. Zakładano wypuszczenie najpierw 4-6 prototypowych satelitów, następnie (do 1984 roku) umieszczenie w kosmosie konstelacji 10-12 satelitów i pełną zdolność operacyjną (z 24 satelitami) w 1987 r.

W październiku 1982 r. rakieta Proton wyniosła na orbitę pierwsze trzy satelity (Kosmos 1413-15) systemu będącego odpowiednikiem GPS. Do października 1986 r. umieszczono w kosmosie 25 satelitów. I chociaż żywot ich nie był zbyt długi (od kilku dni do 2,5 lat), a trudności finansowe uniemożliwiały planowe wystrzeliwanie kolejnych rakiet, prace nad rozwojem systemu trwają. Faktem jednak pozostaje, że do dzisiaj GLONASS nie osiągnął zaplanowanej liczby (24) satelitów. W listopadzie 2002 r. konstelacja składała się z 9 czynnych satelitów, choć wcześniej bywało ich już nawet kilkanaście. Waga pierwszych GLONASS-ów wynosiła 1250 kg i krążyły 19 100 km nad powierzchnią globu w płaszczyźnie nachylonej pod kątem 65° do równika. ■