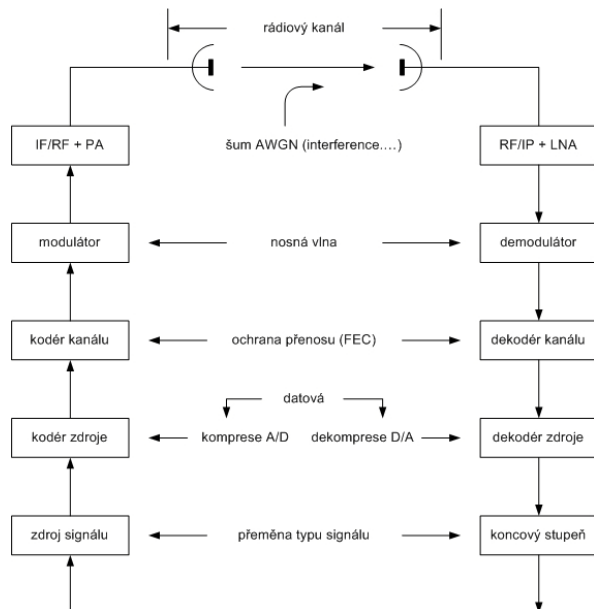


44. Základní koncepce rádiových vysílačů a přijímačů, softwarové rádio. Moderní radiokomunikační systémy: celulární telefony GSM, UMTS, družicové systémy.

Základní koncepce rádiových přijímačů

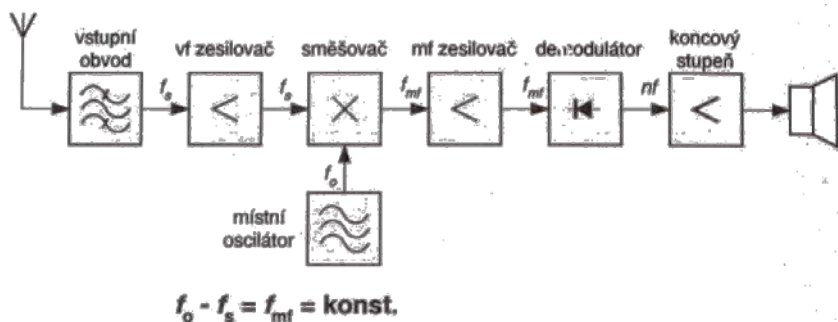
Obecné Shannonovo schéma radiokomunikačního systému



Přímozesilující přijímač

Od superheterodynního se liší chybějícími obvody směšovače a mf zesilovače. Realizace selektivního přesaditelného vysokofrekvenčního zesilovače se ziskem 50 až 100 dB a pokud možno s konstantním zesílením a s konstantní šířkou pásma je ovšem velmi náročná, a proto se dnes přímozesilující přijímače vyskytují spíše jen výjimečně.

Superheterodynní přijímač



Označuje se též jako přijímač s přeměnou, tj. transpozicí frekvence. Transpozici si vynutil především požadavek pokud možno konstantní citlivosti a konstantní šířky pásma při přeladování. Na vstupu superheterodynu je zařazen pasivní selektivní vstupní obvod, jehož úkolem je vybrat ze všech signálů

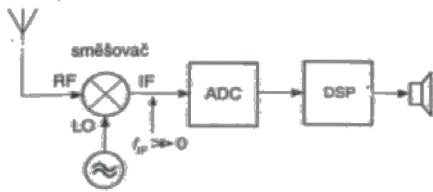
přicházejících na anténu žádaný signál o frekvenci f_s . V následujícím vf zesilovači je tento signál zesílen a současně jsou zde potlačeny zbytky rušivých signálů prošlých vstupním obvodem, zejména signálů ležících daleko od žádaného signálu. Ve směšovači se přijímaný signál směšuje se signálem místního oscilátoru, označovaného také jako *heterodyn*, který má frekvenci f_0 . Směšováním se obecně vytváří řada směšovaných produktů. Z nich je dále využíván rozdílový produkt, označovaný jako mezifrekvenční nebo krátce mezifrekvence f_{mf} určený vztahem $f_{mf} = f_0 - f_s$ pro $f_0 > f_s$, popřípadě $f_{mf} = f_s - f_0$ pro $f_0 < f_s$

Za směšovačem je zařazen mezifrekvenční zesilovač. Mění – li se frekvence přijímaného signálu, mění se u superheterodynu vhodně i frekvence místního oscilátoru, a to právě tak, aby

mezifrekvence f_{mf} byla stále konstantní. Díky tomu může být mezifrekvenční zesilovač naladěn trvale na tuto fixní frekvenci, což usnadňuje jeho konstrukci. Takový zesilovač může mít velké zesílení, zajišťující přijímači velkou citlivost, navíc lze u něho dosáhnout i velkou selektivitu a samozřejmě i konstantní šířku pásma. Tyto přednosti jsou ovšem velmi závažné a byly hlavním důvodem velkého rozšíření superheterodynů v celé přijímací technice. Za mezifrekvenčním zesilovačem následuje demodulátor, demodulovaný signál je poté zesilován v koncovém stupni. Nedostatkem superheterodynů je náchylnost k příjmu nežádoucích signálů nacházejících se v parazitních příjmových kanálech. Z nich nejzávažnější je především zrcadlový kanál ležící na zrcadlové frekvenci f_z , určené relacemi $f_z = f_o + f_{mf}$ ($f_o > f_z$), popřípadě $f_z = f_o$.

Softwarové rádio

Software defined radio (SDR) je radiokomunikační systém, který provádí *softwarovou* modulaci a demodulaci radiových signálů.



Rozlišujeme tři druhy SDR (blokové schéma je stejné):

- s vysokou mezifrekvencí $f_{IF} \gg 0$

Mezifrekvenční signál získávaný v analogovém směšovači je v převodníku ADC metodou pásmového vzorkování digitalizován a dále zpracován v digitálním procesoru DSP. Přímé (Nyquistovo) vzorkování zde není vhodné, neboť v důsledku vysoké IF a tedy i vzorkovací frekvence f_s by měl převodník ADC nedostatečný dynamický rozsah a velkou výkonovou spotřebu.

- s nulovou mezifrekvencí (homodyn) $f_{IF} = 0$

Vstupní signál RF je převáděn v analogovém směšovači přímo do základního pásma. Ve směšovači však vznikají problémy s jeho šumem $1/f$ a se stejnosměrným offsetem, způsobeným hlavně vlastním směšováním a také intermodulačními produkty 2. řádu. U některých přenosových formátů jsou navíc kladeny vysoké nároky na stabilitu místního oscilátoru MO.

- s nízkou mezifrekvencí $f_{IF} \rightarrow 0$

Vstupní signál RF se mění v analogovém směšovači na velmi nízkou mezifrekvenci, kterou již lze snadno v převodníku ADC digitalizovat. Kapacitní vazba na ADC zabraňuje šumu $1/f$ a stejnosměrnému offsetu vcházet na ADC. Požadavky na stabilitu oscilátoru LO jsou zde vesměs mírnější. Rušivé zrcadlové kanály lze potlačit například integrovaným polyfázovým filtrem.

Celulární telefony GSM

Systém **GSM** (Global System for Mobile Communication) patří do 2. generace veřejné pozemní radiokomunikace. Jedná se o plně digitální systém s celulární strukturou pokrytí daného území, který využívá frekvenčního FDMA a časového TDMA dělení rádiového prostoru. **FDMA** (Frequency Division Multiple Access) je metoda mnohonásobného přístupu frekvenčním dělením, kdy dané frekvenční pásmo rozdělíme do subpásem, každému takovému subpásmu odpovídá jeden rádiový kanál. Aby nedocházelo k nežádoucímu ovlivňování jednoho přenosu jinými přenosy, které by mohly používat stejná nebo blízká frekvenční pásma, je pro rádiové pokrytí velkého území používán celulární (buňkový) systém. Uvnitř každé buňky je jedna základnová stanice (BTS - Base Transciever Station) s určitou přidělenou skupinou kanálů a komunikující s mobilními účastníky, kteří se nacházejí pouze v této buňce. Princip **TDMA** (Time Division Multiple Access)

znamená, že o společný rádiový kanál se dělí více uživatelů v pevně stanoveném časovém sledu. Protože se uživatel s mobilní stanicí (MS) pohybuje, je nutné vyřešit problém předávání neboli handover. U celulárního systému GSM se používá handover řízený za spoluúčasti mobilní stanice, kdy mobilní stanice neustále měří kvalitu spojení (chybovost BER nebo poměr signál/šum) a výsledky předává na svoji základnovou stanici. Všechny základnové stanice v dosahu mobilní stanice také měří kvalitu spojení. Výsledky vzestupné a sestupné trasy se vyhodnotí v systému GSM a je-li třeba provést handover, zašle příslušná základnová stanice příkaz k přeladění. Handover netrvá déle než několik desetin sekundy a v hovoru je téměř nepostřehnutelný.

Pro standard GSM bylo nejprve určeno pásmo v okolí kmitočtu **900 MHz** (GSM 900), později s narůstající potřebou většího počtu účastníků bylo vyhrazeno i pásmo okolo **1800 MHz** (GSM 1800, DCS 1800). U GSM 900 je pro uplink (od MS k BTS) určeno 890 MHz – 915 MHz a pro downlink (od BTS k MS) 935 MHz – 960 MHz. Souhrnná šířka pásma u obou směrů je 25 MHz. Systém tedy umožňuje duplexní přenos (oba směry najednou) metodou frekvenčního dělení FDD. Nosné vlny mají odstup po 200 kHz, do 25 MHz se jich tedy vejde 125. Metodou FDMA tak vznikne 125 rádiových kanálů pro každý směr, přičemž pro zajištění okrajové rezervy se jich používá jen 124.

U GSM 1800 je pro uplink užíváno pásmo 1710 MHz – 1785 MHz, pro downlink 1805 MHz – 1880 MHz. Šířka pásma je větší než u GSM 900 a to 75 MHz.

FDMA a TDMA rozděluje fyzickou vrstvu do **fyzických kanálů**. Fyzickým kanálem se tedy rozumí kombinace přiděleného rádiového kanálu o šířce 200 kHz (označeného pomocí ARFCN) a časového intervalu (označené příslušným číslem 0-7). Některé fyzické kanály se nepoužívají a jsou vyhrazeny jako oddělovací. Do fyzických kanálů jsou procesem mapování vloženy **logické kanály**, pro hovor či data je určen provozní kanál TCH (Traffic Channel) pro signalizaci či řízení pak kanál CCH (Control Channel).

Je-li mobilní stanice daleko od základnové stanice, nelze již zanedbat dobu šíření elmag. vln. MS tedy vysílá s předstihem vůči příjmu o dobu kompenzující šíření vln v obou směrech. K základnové stanici totiž musí **bursty** (burst = signál vyplňující jeden časový úsek - timeslot) užívající sousední časové sloty dospět ve správném pořadí a vzájemně se nesmí překrývat (např. burst od jedné MS by překrýval jiný burst od jiné MS). MS vysílá o hodnotu časového předstihu (TA, Timing Advance) dříve. Hodnotu TA počítá BTS a signalizačními kanály ji předává MS. Leží v rozmezí 0 až 63 bit. Pro úplnost, hodnotou TA je určen maximální dosah GSM signálu cca 35 km a spolu s Doplerovským efektem a s ekvalizací i maximální rychlost vzájemného pohybu MS a BTS cca 240 km/h. Při větší rychlosti již neprobíhá správně handover.

Řečový signál je vzorkován frekvencí 8 kHz a 13 bitově kvantován. Získaný datový tok 104 kbps se **zdrojovým kódováním** (kompresí) redukuje na 13 kbps. Výstupem komprese je signál rozdělený na segmenty o 260 bitech na každých 20 ms původního analogového signálu. Toto snížení datové rychlosti je dosaženo řečovým kodekem RPE-LTP, jež zachovává srozumitelnost řeči se snížením kvality.

Kodér kanálu k signálu úmyslně přidá redundantní složku. Jedná se o ochranné bity, které při kanálovém dekódování pomohou určit původní signál. Celkem 156,25 bitů vytváří normální datový burst, jež je přenášen v jednom časovém slotu o době trvání 0,577 ms. Tento **normální datový burst** je v GSM základní jednotkou pro přenos hlasu i dat. V GSM existují kromě normálního datového burstu ještě další bursty užívané pro režii, označují se SCH (synchronizační burst), FCCH (burst pro kmitočtovou korelaci), RACH (přístupový burst). Jeden burst vyplňuje jednu časovou štěrbinu TDMA (neboli slot TDMA). Spojením 8 bursů vzniká rámeček TDMA, jenž má délku trvání 4,615 ms. Spojením 26 rámečků TDMA vzniká multirámeček. Ještě existují označení pro další jednotky v této hierarchii, superrámeček a hyperrámeček.

Pro VF přenos signálu se v GSM používá dvoustavová modulace **GMSK** (Gaussian Minimum Shift Keying) s normalizovanou šířkou pásma $BT = 0,3$ a s modulační symbolovou rychlostí kolem 271 kbps. GMSK modulace je založena na modulaci MSK (Minimum Shift Keying), která má konstantní obálku nosné vlny a informace je obsažena ve změnách fáze. Při logické 1 se přičte

k fázi nosné 90° za každý bit a při log 0 se odečte od fáze nosné 90° za každý bit. Fázová změna je vytvořena okamžitou změnou frekvence nosné, MSK je tedy speciální případ FSK modulací.

Přijímací část mobilní stanice je realizována jako superheterodyn s dvojitým směřováním, s první mezifrekvenčí 400 MHz a s druhou mezifrekvenčí nulovou. Vstupní signál je zesilován nízkošumovým zesilovačem LNA s řízeným ziskem. Přijímač je konstruován tak aby byl schopen obnovit přijímaný signál do -102 dBm (-100 dBm pro GSM 1800) s **chybovostí BER** menší než 1 chybný bit ze 100 přijatých. S klesající úrovní přijímaného signálu chybovost prudce narůstá. Na chybovost mají vliv mimo jiné odražené a zrcadlové signály, interference, Dopplerovský efekt pohybující se MS, rychlé úniky atd. Lokální oscilátory LO mohou odvozovat frekvenci z referenčního oscilátoru. Duplexní odstup vysílaného a přijímaného signálu je vždy 45 MHz a odstup časových slotů vysílaného a přijímaného signálu vždy 3 časové šterbiny.

Podle specifikací GSM je **řízení výkonu** (power control) u MS povinné a u BTS doporučené. Je zavedeno z důvodů zmenšení interferencí v sousedních rádiových kanálech a šetření baterie MS. O řízení rozhoduje BTS a příkaz k přeladění vysílaného výkonu MS zasílá signalizačními kanály. Rozhoduje se na základě měření intenzity signálu u MS i u BTS.

Celulární telefony UMTS

Systém **UMTS** (Universal Mobile Telecommunication System) patří do 3. generace veřejné pozemní radiokomunikace. V UMTS došlo k přestavbě rádiového rozhraní. Toto rozhraní umožňuje mnohem účinnější správu rádiových zdrojů, než je tomu u GSM. V řešení UMTS rádiového rozhraní je využito principu paralelních přístupů CDMA (Code Division Multiple Access). V UMTS se používají 5 MHz frekvenční pásma. To je důvod, proč se pro UMTS v některých zemích používá označení WCDMA (Wideband CDMA, širokopásmové CDMA). Mnohonásobný přístup pomocí W-CDMA u UMTS může být dále kombinován s TDMA (Time Division Multiple Access) a FDMA (Frequency Division Multiple Access).

UMTS dále umožňuje režim ve dvou základních režimech odělení uplinku a downlinku TDD a FDD:

- FDD (Frequency Division Duplex) – spojení mezi základnovou stanicí a telefonem v uplink a downlink na oddělených frekvencích
- TDD (Time Division Duplex) – uplink i downlink na stejné frekvenci, střídání na základě různých time slotů tzv. „Ping-Pong“

Kmitočtový plán:

- Párové kmitočty (FDD) 1920 – 1980 MHz uplink (Rx) a 2110 – 2170 MHz downlink (Tx)
- Nepárové kmitočty (TDD) 1900 – 1920 MHz a 2010 – 2025 MHz
- Družicové párové kmitočty 1980 – 2010 MHz a 2170 - 2200 MHz

Družicové systémy

Družicové navigační systémy

Družicové navigační systémy patří k tzv. globálním systémům, tj. k systémům, které s několika málo majáky (vysílači) umožňují určovat polohu kdekoli na Zemi. Hlavní předností globálních navigačních systémů je, že určují polohu v souřadném systému, který je společný pro celou zeměkouli.

Definice polohy

Poloha předmětu na Zemi a v jejím okolí se určuje souřadnicemi ve zvoleném (geodetickém) souřadnicovém systému. Geodetických souřadnicových systémů je celá řada. Souřadnice stejného bodu se v různých systémech od sebe liší až o stovky metrů a proto je třeba při různých měřeních používat stále stejný systém. Ten musí být zvolen tak, aby vyhovoval metodě měření polohy.

Důvod pro existenci různých geodetických systémů spočívá v tom, že Země je nepravidelné těleso. Nahrazujeme ji geoidem, rovněž nepravidelným tělesem, jehož povrch je však v každém bodě kolmý na směr tíže.

Se vznikem globálních systémů určování polohy, které umožňují určit přesnou polohu libovolného bodu kdekoli na Zemi a v jejím okolí, vznikl požadavek vytvořit referenční elipsoid aproximující celý geoid. Uživatel navigačního systému musí dát pozor, v jakém geodetickém systému pracuje. Pokud např. využívá přijímač družicové navigace systému GPS a má mapy, které nejsou v systému WGS 84, nebude jeho skutečná poloha souhlasit s polohou na mapě.

Principy družicových navigačních systémů

Metody určení polohy:

- dopplerovská (využívá Dopplerův kmitočet)
- dálkoměrná (využívá zpoždění signálu přepočítané na vzdálenost)

Nejčastěji používaná je metoda dálkoměrná. Družice vysílají signály a uživatel zjišťuje čas jejich příjmu. Z doby τ_i , která uplynula mezi vysláním a příjmem signálů určuje vzdálenosti d_i k družicím. Z nich a z polohy družic určí uživatel svou polohu. Polohu družic vypočte z vysílaných parametrů drah. Uživatel se pak nachází na průsečíku kulových ploch jejichž poloměry odpovídají vzdálenostem d_i .

Chyby družicových navigačních systémů

Ionosférická refrakce

Signál družice prochází na své cestě k uživateli ionosférou, ve které dochází k jeho ohybu, k ionosférické refrakci. Signál se tedy dostává k uživateli po cestě delší než je skutečná vzdálenost od družice. Refrakce se potlačuje např. tím, že se v přijímači vytvoří model ionosféry, s jehož použitím se chyba koriguje. Družice vysílají koeficienty tohoto modelu. Ionosférickou refrakci lze potlačit i dvoukmitočtovou metodou. Každá družice vysílá dva signály na dvou různých kmitočtech. Nekorigovaná ionosférická refrakce způsobuje největší přirozené chyby družicových navigačních systémů. Vliv ionosféry se mění v závislosti na sluneční aktivitě. Další metodou potlačení ionosférické refrakce je diferenční měření.

Mnohacestné šíření

Signál od družice se k anténě uživatelova přijímače šíří jednak přímou cestou, jednak, pokud nastal jeho odraz od předmětů v okolí přijímače, po delší cestě. Vzdálenost od družice při přítomnosti odrazů potom nemusí být správně změřena. Říkáme, že vzniká chyba způsobená mnohacestným šířením signálu. Na chybě určení polohy se podílejí i další příčiny jako je šum, nepřesnost určení efemerid družic, nestabilita hodin systému, troposférická refrakce a další.

SA

Provozovatel systému GPS – armáda Spojených států, vkládal a může kdykoli znovu vložit do signálů GPS záměrné rušení označované jako SA (Selective Availability). SA bylo většinou nastaveno tak, aby s pravděpodobností 0,95 způsobovalo horizontální chybu 100 m. Toto rušení může potlačit pouze přijímač autorizovaného uživatele. Neautorizovaný uživatel může vliv záměrného rušení SA potlačit jen pomocí diferenčního měření. Záměrné rušení bylo 2. 5. 2000 rozhodnutím prezidenta USA vypnuto.

Systém GPS

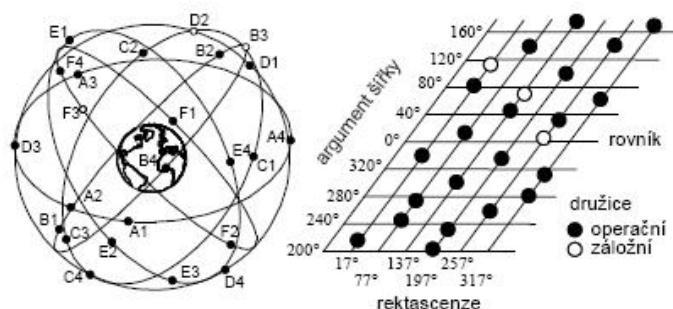
Počátkem sedmdesátých let zahájen vývoj systému GPS (Global Positioning System) označovaný také jako NAVSTAR (Navigation System using Time And Range). Ten měl sloužit všem složkám ozbrojených sil USA. Koncem sedmdesátých let jsou vypuštěny první družice, které umožňují testování systému. V dalším desetiletí pokračuje vývoj systému a vypouštění družic. V roce 1993, bylo dosaženo počátečního operačního stavu systému IOC (Initial Operational Capability). Znamenalo to, že v systému operuje předepsaných 24 družic a že provozovatel oznamuje event.

změny provozního stavu uživatelům (civilním) 48 hodin předem. Operačního stavu FOC (Full Operational Capability) bylo dosaženo v roce 1995 po důkladných prověrkách systému.

Systém GPS je tvořen třemi tzv. segmenty:

- kosmickým,
- řídicím,
- uživatelským.

Kosmický segment tvoří družice, které obíhají ve výšce přibližně 20 200 km na kruhových drahách s inklinací 55°. Doba oběhu je přibližně 11 h 58 min. Navigační signály družice vysílají na kmitočtech 1 575,42 MHz a 1 227,6 MHz.



Rozložení družic GPS na oběžných drahách. Na každé z šesti drah jsou 4 družice. Jejich poloha není pravidelná, ale je určena optimalizací vedoucí k co nejlepšímu pokrytí zemského povrchu signálem družic.

Řídicí segment (Control Segment) tvoří hlavní řídicí stanice (Master Control Station MCS), monitorovací stanice a stanice pro komunikaci s družicemi. Monitorovací stanice pasivně sledují družice a přijímají jejich data, která předávají MCS, kde jsou vypočteny parametry drah družic (efemeridy) a parametry hodin družic. Tyto parametry jsou pomocí komunikačních stanic předány družicím, které je vysílají uživatelům.

Třetím segmentem jsou všechny přijímače uživatelů. Autorizovanému uživateli je dostupná přesná navigační služba PPS (Precision Positioning Service), ostatním uživatelům je poskytována standardní navigační služba SPS (Standard Positioning Service).

Popis signálu

Každá družice vysílá na dvou kmitočtech

$L1 = 1\,575,42\text{ MHz}$, $L2 = 1\,227,6\text{ MHz}$.

K oddělení signálů se využívá kódového multiplexu (CDMA) spočívajícího v tom, že všechny družice sice vysílají na nosné vlně se stejným kmitočtem, ale kód je pro každou družici jiný.

Navigační zpráva obsahuje následující údaje:

- čas vysílání počátku zprávy,
- keplerovské efemeridy družice,
- údaje umožňující korigovat přesně čas vysílání družice,
- almanach,
- koeficienty ionosférického modelu,
- stav družice (health).

Navigační zpráva tedy umožňuje stanovit přesný čas a vypočítat polohu družice. Dále je možné na základě přijatých dat vypočítat korekce na ionosférickou refrakci, pokud se nepoužije příjmu na dvou kmitočtech. Stav družice informuje uživatele o závadách družice, zda je možné ji použít, příp. s jakými omezeními. Almanach nese informaci o poloze ostatních družic – méně přesné efemeridy – a informaci o jejich stavu. To umožňuje stanovit dostatečně přesnou polohu družic pro jejich další vyhledávání a sledování tak, aby nebylo třeba hledat i družice, které jsou za obzorem.

Přijímač

Uživatelské zařízení, přijímač GPS, zpracovává signály družic a na jeho výstupu získáváme polohové souřadnice.

Přijímač obvykle tvoří následující bloky

- anténa a bloky anténní elektroniky,
- rádiová část přijímače,
- navigační počítač (RPU – Receiver & Processor Unit),
- řídicí a zobrazovací jednotka (CDU – Control & Display Unit),

z nichž některé mohou chybět. U starších konstrukcí existovaly tyto bloky fyzicky – byly umístěny do oddělených skříní. U nových konstrukcí jsou zpravidla bloky RPU a CDU sloučeny do jedné jednotky, která se instaluje na palubní desku, příp. funkci řídicí a zobrazovací jednotky zastává palubní počítač a používá se jeho klávesnice a zobrazovací jednotka.

Hlavním požadavkem na anténu je hemisférická směrová charakteristika. Antény špičkových přijímačů GPS bývají připojeny přes blok anténní elektroniky, který někdy bývá integrován do jednoho celku s anténou. Levnější zařízení tento blok nemají, nebo je jednoduchý a pracuje jen jako zesilovač. Úkolem bloku anténní elektroniky je zesílit přijímaný signál na dostatečnou úroveň a kompenzovat ztráty kabelu mezi AE a RPU, potlačovat filtrační rušení, provádět autonomní testování přijímače a případně převést signál na vhodný mezifrekvenční kmitočet.

Blok přijímače a počítače provádí zpracování signálu. RPU zajišťuje výpočet zeměpisné polohy přijímače a případně další potřebné činnosti, které závisí na účelu zařízení. Kromě řídicí a zobrazovací jednotky CDU mohou být připojeny k jednotce RPU i jiné navigační systémy. Data těchto systémů vstupují do Kalmanova filtru určujícího polohu zařízení GPS. Takovýmto zpracováním dat od různých systémů se dosahuje vyšší spolehlivosti a větší přesnosti. V leteckých aplikacích se takto nejčastěji připojuje k zařízení GPS inerciální systém, který umožní dosáhnout vysoké přesnosti navigace a překlenout krátkodobé výpadky signálů od družic způsobené např. náklonem letadla ap. Dále se k systému GPS pro zvýšení spolehlivosti a přesnosti připojují např. systém LORAN, barometrický výškoměr, rychloměr a měřič kursu. Mluvíme pak o integraci systémů.