

# GALILEO - SYSTÉM DRUŽICOVÉ NAVIGACE

František Vejražka,  
Petr Kačmařík

Fakulta elektrotechnická ČVUT, katedra radioelektroniky, Technická 2, 166 27 Praha 6  
[vejrazka@fel.cvut.cz](mailto:vejrazka@fel.cvut.cz)

## Abstrakt:

*V příspěvku se stručně zabýváme stavem družicového navigačního systému Galileo, použitými kmitočty a modulacemi a důvody pro jejich použití. Na základě našich experimentů s příjmem družic GIOVE se pokoušíme ukázat, proč by mělo Galileo dosahovat velké přesnosti určení polohy.*

## Úvod

Družicová navigace se po mnoho let nepřetržitě rozvíjí, není roku, kdy bychom nezaznamenali nějakou novinku. Rozvoj přináší zlepšení základních parametrů navigace, tj. přesnosti, spolehlivosti, integrity a kontinuity navigační informace. Jde především o

1. nové složité konstelace družic, např. takové, které se skládají z obíhajících družic (MEO), geostacionárních družic (GEO) a geosynchronních družic s inklinovanými drahami (IGSO), které usnadňují navigaci v obtížném, především zastavěném, prostředí
2. rozvoj technologie na palubě družic, tj. použití signálů s novými typy širokopásmových modulací, vysílání signálů umožňujících potlačit některé druhy chyb, zlepšování hardware družic (oscilátory), snižování jeho rozměrů, váhy a nároků na chlazení
3. vývoj systémů pro jiná kmitočtová pásma než je pásmo L
4. modernizaci řídicích středisek, jejímž důsledkem jsou přesnější údaje o parametrech drah družic, což vede ke zpřesnění měření polohy uživatele
5. dosažení interoperability systémů, tj. vysílání signálů společných všem systémům tak, že lze jedním přijímačem přijímat signály od družic různých systémů; to vede ke zlepšení přesnosti určení polohy a její spolehlivosti (snáze se uskuteční RAIM [Receiver Autonomous Integrity Monitoring]) a lze lépe potlačit event. záměrné rušení (spoofing)
6. rozvoj nových technologií přijímačů, koncipovaných jako softwarové rádio, a to jak jejich hardware, tak softwaru; jde o širokopásmové antény s adaptivní směrovou charakteristikou k potlačení rušičů a zdrojů spoofingu, vstupní díly, pokrývající široké pásmo kmitočtů, signálové procesory s velkým výkonem umožňujícím realizovat náročné algoritmy zpracování signálu a implementaci rozsáhlého programového vybavení, např. digitálních map
7. algoritmy zpracování umožňující využívat odražených signálů
8. multisystémové, resp. multikmitočtové, přijímače umožňující současný příjem signálů družic několika systémů (podobné interoperabilitě systémů)
9. využití součástek s nízkou spotřebou, což vede ke zmenšení rozměrů přijímačů a usnadňuje implementaci ve speciálních aplikacích

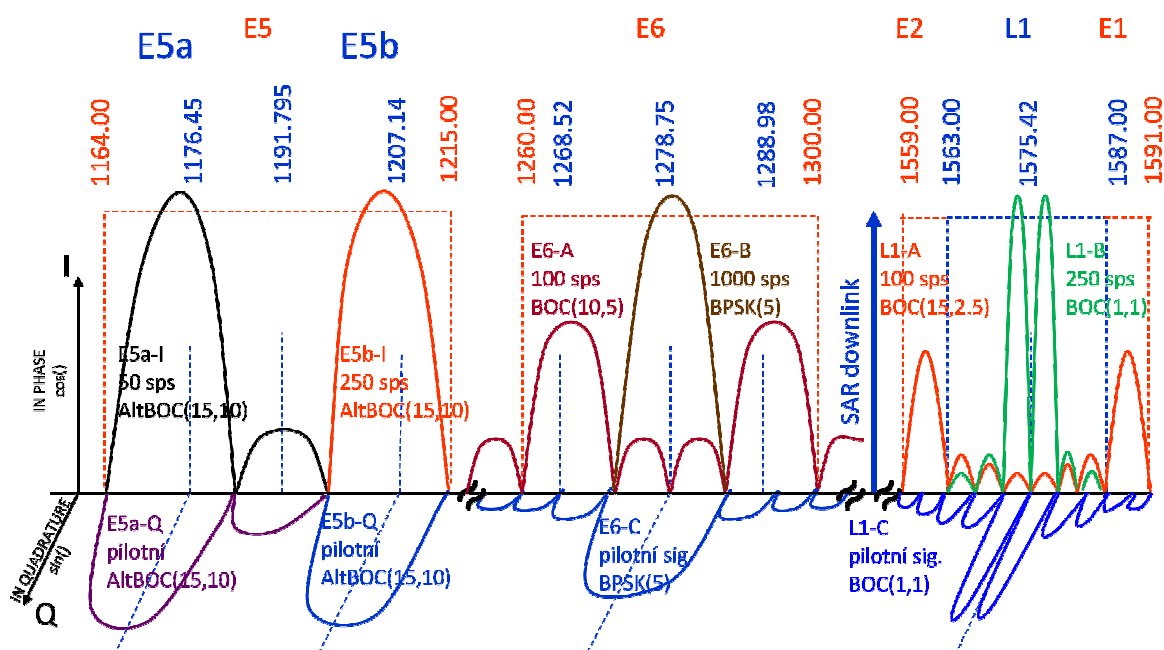
V den, kdy se koná rožnovský seminář, by měly být vypuštěny dvě družice systému Galileo. V našem příspěvku se proto na něj zaměříme, jako na jeden ze čtyř systémů, které

v současné době jsou velmi aktuální. Poznamenejme při tom, že jediným plně použitelným systémem družicové navigace je GPS, jehož provoz je garantován. Je možné, že v plném provozu bude v době konference i systém GLONASS po vypuštění nové družice 3. října tr.; družice se ověřuje a zjišťují se parametry její dráhy.

Nepominutelným systémem se stává čínský COMPASS, který má na oběžných drahách 9 družic vypuštěných v krátkém období čtyř let.

## Systém Galileo

Systém Galileo měl být podle původních plánů v provozu v r. 2008, dosud tomu tak není. Jeho prvopočátky sahají do r. 1994. Systém GPS tehdy směřoval k vyhlášení způsobilosti k provozu a systém GLONASS ukazoval první uspokojivé výsledky a navýšil počet družic z 16 na 26. Vznikala myšlenka na integraci obou systémů, případně vybudování nového celosvětového – „bezešvého“ (seemless) – systému. Nacházela plodnou půdu zejména ve Francii, která neuspěla s programem LOCSTAR, kombinujícím komunikační a navigační vybavení družic. Nepochybně šlo o to využít vybudovanou pozemskou infrastrukturu.



Obr. 1: Kmitočtové spektrum signálů systému Galileo (není v měřítku, na vodorovné ose je kmitočet v MHz)

V r. 1994 rozhoduje Evropská rada o budování systémů GNSS1 a GNSS2 (Global Navigation Satellite System). První měl být systém podpůrný pro GPS a GLONASS, druhý nový družicový systém pracující na jiných principech než GPS. Tento stav neprospívá dobrým vztahům mezi atlantickými spojenci a v r. 1997 mezi nimi dochází k hluboké roztržce na konferenci v Toulouse, kde francouzská delegace prohlašuje, že Francie spolu s evropskými partnery bude budovat nový systém, zcela nekompatibilní s GPS. Ukazuje se však záhy, že vědomostní, technologické a finanční požadavky na vybudování GNSS2 nejsou malé a v r. 1998 EU rozvažuje, zda spolupracovat s USA nebo s Ruskem a Japonskem, anebo budovat vlastní evropský systém. Výbor pro dopravu EU rozhoduje 17.6.1999, že to bude systém vlastní, evropský. Práce na něm se však v r. 2000 téměř zastavují. V březnu 2002 rozhoduje Evropská komise opětovně o pokračování ve výstavbě systému Galileo, ale projekt se záhy opět na jeden rok zastavuje. V r. 2003 se po schůzi rady pro dopravu EU vůdčí role v projektu ujímá Německo, vytváří se řídicí orgán Joint Undertaking sídlící v Bruselu a

vedený Němcem p. Grohe. V Mnichově sídlí Galileo Industries a Německo financuje 22% nákladů celého projektu.

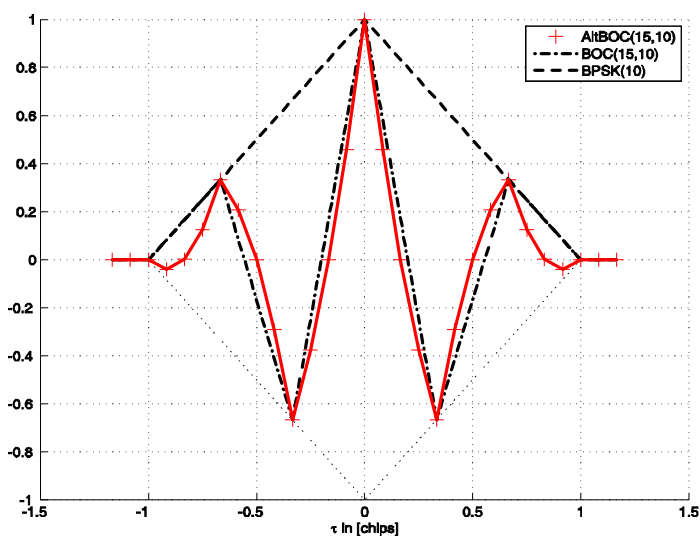
Nevyplácí se nejasněná koncepce systému, která se stále upřesňuje ve střetu mnoha názorů členských zemí. V tomto kvasu pomalu dochází platnost přihlášky systému u Mezinárodní telekomunikační unie a proto je urychleně 29.12.2005 vypuštěna pokusná družice GIOVE A (Galileo In Orbit Validation Element). První zprávy říkají, že se na ní testují některé bloky systému Galileo, později se ukazuje, že ji lze programovat a postupně vysílá jakýsi předobraz navigačních signálů. Po řadě odkladů je 24.4.2008 vypuštěna druhá pokusná družice GIOVE B.

O rok později je navýšena cena projektu o 3,4 mld Euro a ukazuje se, že ani tato částka nestačí. Projekt se proto upravil, do r. 2014 má být vypuštěno pouze 18 družic a do r. 2019 by měla být konstelace úplná, tj. 30 družic na středních oběžných drahách a 3 družice geostacionární. V den konání rožnovského semináře (20.10.2011) by mělo dojít k vypuštění dvou družic ze základny v Kourou ve Francouzské Guyaně. Vynést je má ruská raketa Sojuz. V polovině roku 2012 je mají následovat další dvě družice. Tyto družice spolu s již vypuštěnými družicemi GIOVE vytvoří program IOV (In Orbit Validation) k ověření koncepce systému Galileo. Úspěšný výsledek IOV má vést k vyhlášení způsobilosti systému FOC (Full Operational Capability) [1].

Struktura signálů systému Galileo je složitá a je naznačena na obr. 1. Tvoří ji 11 dílčích signálů, jejichž spektrum se rozkládá v šesti kmitočtových pásmech. Použití mnoha kmitočtů umožňuje korigovat ionosférickou refrakci a velká šířka pásma přispívá k potlačení šumu. Je rovněž usnadněno oddělení čtyř služeb, které bude Galileo poskytovat.

Pilotní signály nejsou modulované daty a umožňují integraci signálů a navigaci v obtížných podmínkách (budovy, vegetační příkrov).

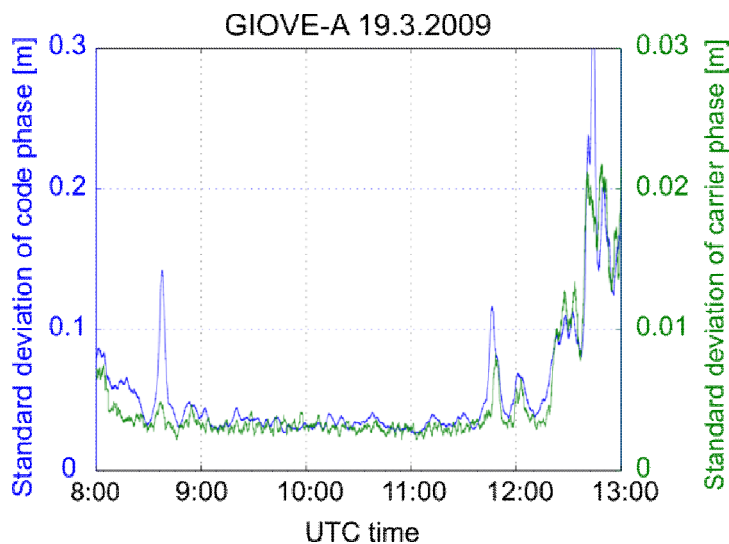
Signály jsou modulovány modulacemi BOC (Binary Offset Carrier), resp. AltBOC a BPSK. Podstatné jsou signály modulované BOC, resp. AltBOC, protože při měření zpoždění signálů přicházejících od družic, z nichž určujeme polohu, využíváme korelační funkci, které má pro BOC modulaci ostré maximum a tím se dosahuje vysoké přesnosti měření vzdálenosti. Na obr. 2 je korelační funkce takto modulovaných signálů porovnávána s modulací BPSK(10), kterou využívá P-kód systému GPS umožňující měření s vysokou přesností.



Obr. 2: Autokorelační funkce různých dálkoměrných signálů [2]

Na obr. 3 uvádíme směrodatné odchylky měření zdánlivé vzdálenosti [3]. Experimentálním přijímačem EGR [4] byla měřena zdánlivá vzdálenost k družici GIOVE A jak na kódu, tak na nosném signálu a výsledky byly statisticky vyhodnocovány. Směrodatná odchylka dosahovala

centimetrových, resp. milimetrových hodnot. To potvrdilo, že by mělo být možné určovat polohu s řádově centimetrovou přesností. Je však třeba si uvědomit, že na přesnost bude mít vliv ještě řada dalších jevů, např. přesnost určení efemerid družic, a způsob jejich zobrazení v tzv. navigační zprávě.



Obr. 3: Směrodatné odchylky měření zdánlivé vzdálenosti k družici GIOVE A

## Závěr

Systém Galileo je jedním ze čtyř perspektivních družicových navigačních systémů. Skutečnost, že je budován „na zelené louce“ je výhodou, protože umožňuje hned od startu prvních družic využít těžce nabytých poznatků z výstavby jiných systémů, takže je od počátku potenciálně přesnější. Tuto výhodu však Galileo ztrácí, protože jeho dokončení se posunulo o více jak deset let. V době jeho dokončování bude v plném tempu další modernizace systému GPS družicemi tzv. bloku III, které budou vysílat signál L1C kompatibilní se signálem systému Galileo.

Ovšem budují se, resp. modernizují, i další dva systémy, GLONASS a COMPASS, jejichž výkonnosti budou, vzhledem k podobným fyzikálním vlastnostem signálů, přibližně srovnatelné

Družicové navigační systémy se staly důležitou součástí mnoha odvětví lidského života a jejich použití se stále rozšiřuje. Očekává se rozvoj obchodu s uživatelskými zařízeními a službami, který by měl v r. 2020 dosáhnout obrátu 221 mld € a jeho nárůst by měl v dalších letech činit 11% ročně. Je proto žádoucí, aby se na aplikacích intenzivněji podílel i český průmysl.

Perspektivy jsou rovněž ve vývoji a výzkumu. Je účelné hledat efektivnější algoritmy zpracování signálů v multisystémových a multikmitočtových uživatelských zařízeních [5] a usilovat o jejich realizaci u tuzemských, či dokonce zahraničních, výrobců.

## Poděkování

Príspevek vznikl jako součást prací prováděných v rámci grantu TA01030124 Technologické agentury České republiky.

## Literatura

[1] [http://download.esa.int/docs/Galileo\\_IOV\\_Launch/IOV\\_factsheet\\_20110728.pdf](http://download.esa.int/docs/Galileo_IOV_Launch/IOV_factsheet_20110728.pdf)

- [2] Kovář, P.; Kačmařík, P.; Vejražka, F.: High performance Galileo E5 correlator design. In *Proceedings of 13th IAIN World Congress* [CD-ROM]. Bergen: Nordic Institute of Navigation, 2009, s. 1-8.
- [3] Vejražka, F., Kovář, P., Kačmařík, P. Galileo AltBOC E5 Signal Characteristics for Optimal Tracking Algorithms. In *Proceedings TransNav 2009, Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*. Leiden: CRC Press/Balkema, 2009, s. 123-126. ISBN 978-0-415-80479-0.
- [4] [4] Kovář, P., Seidl, L., Špaček, J., Vejražka, F. Software GNSS Receiver for Signal Experiments. In *IAIN/GNSS 2006. 12-th IAIN World Congress. Proceedings, vol. 2*. Jeju: Korean Institute of Navigation and Port Research, 2006, s. 391-394.
- [5] Kovář, P., Jakubov, O. Witch Navigator - softwarový GNSS přijímač pro výzkum a výuku. In *Radiokomunikace 2011*. Pardubice: Unit, 2011. V tisku.