

Co nového v přírodních vědách**Globální poziční systém (GPS)**

JAN HORSKÝ

I

Jistě alespoň v televizním filmu čtenář uviděl na palubní desce luxusního automobilu uhánějícího například Tokiem nevelkou obrazovkou kterou řidič pečlivě sledoval, udržoval nejkratší směr jízdy a za optimálně krátkou dobu dojel až třeba na předměstí, kde nikdy nebyl, a poté rychle zastavil právě před domem, o kterém nikdy nevěděl, kde se právě tento dům nachází.

Je ale také možné, že se náš čtenář, milující například turistiku, právě chystá třeba navštívit prodejnu a zakoupit zde turistický GPS přijímač.

Můžeme ovšem potkat i skupinu geodetů, kteří pomocí GPS přijímačů, ale podstatně kvalitnějších než používají turisté, velmi přesně vytváří velmi kvalitní systém nových základních triangulačních sítí.

A mohli bychom pokračovat, využívání GPS je vskutku velmi široké a velmi bohaté. GPS je systém složený ze tří částí, ze tří segmentů, ze tří sektorů: satelitního, uživatelského a kontrolního. Satelitní sektor je tvořen 24 družicemi s oběžnými dobami 12 hodin. Tyto družice se pohybují ve výši o málo převyšující 20 000 km. Jsou rozmístěny v šesti rovinách, v libovolný okamžik jsou alespoň čtyři z těchto družic viditelné z kteréhokoliv místa na zemské kouli. Každá družice je vybavena vysoce přesnými atomovými hodinami a s nimi spojeným vysíláním časových signálů. (Viz obrázek).

Kontrolní segment se skládá z řady pozemských stanic, které průběžně monitorují, upřesňují a sledují charakteristiky elektromagnetických vln nesoících zakódované časové údaje z družic. Kontrolní stanici v Brně máme. Z takových kontrolních stanic odchází jejich informace do centrální stanice v Coloradu a odtud přímo ke družicím. Tak se neustále udržuje perfektní synchronizace vysoce přesných atomových hodin umístěných na družicích. Například cesiové atomové hodiny umístěné na palubách jednotlivých satelitů jsou natolik přesné, že jejich maximální nepřesnost během jednoho dne je asi 10^{-15} s.

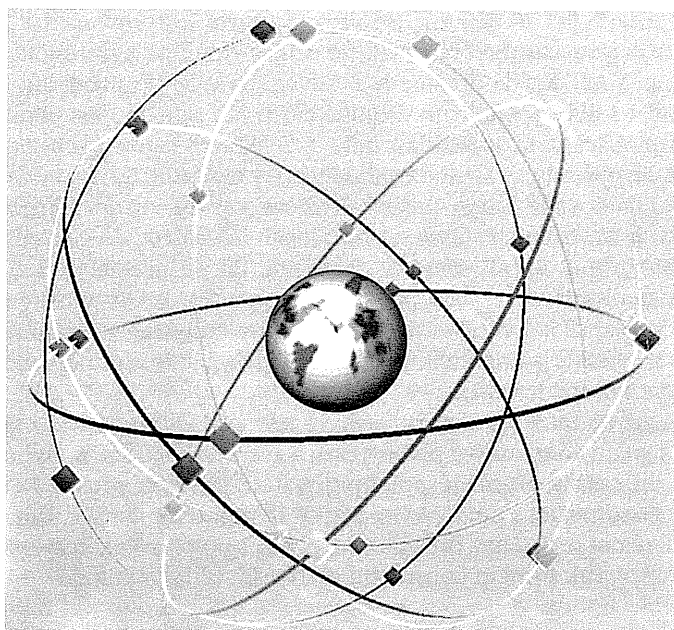
Konečně uživatelský segment sestává ze všech uživatelů, kteří využívají příjmu signálu k určení své polohy, času a rychlosti, s níž se pohybují. Princip určení času a okamžité polohy uživatele je velmi prostý. Necht' pozemský pozorovatel s polohovým vektorem registruje časový signál t . Tento signál necht' je vyslán z družice v časech t_n s polohovými vektory \vec{r}_n , kde $n = 1, 2, 3, 4$. Pak princip konstantní rychlosti světla implikuje

$$c^2(t - t_n)^2 = |\vec{r} - \vec{r}_n|^2$$

Řešením těchto čtyř rovnic pak obdržíme čtyři hledané veličiny (r, t) . Stojí zato alespoň poznačit, že z předchozí rovnice plyne i cesta z druhé strany. Jestliže totiž nějaká událost nastala řekněme poblíž zemského povrchu a byly z ní vyslány elektromagnetické pulzy, které alespoň čtyři družice zaregistrovaly, pak může být tato událost přesně určena jak svou polohou, tak svým časem na družicích uvažovaného systému GPS.

II

Užili jsme termínu „synchronizace atomových hodin“. Ze střední školy si patrně vzpomeneme na to, jak nás pan profesor či paní profesorka fyziky upozorňovali při výuce speciální teorie relativity na to, že synchronizovat hodiny značí, že musíme vědět, co značí současnost dvou událostí. Současnost dvou událostí je objektivně relativní, jsou-li například dvě nesusmírné události současné v (inerciální) soustavě S' , víme, že již nebudou současné v soustavě S . V soustavě S vznikne pro tyto v S' současné události jistý časový rozdíl, který vypisovat nebudeme. Faktem je, že bude-li se rychlost systému S' vůči S rovnat 4 km/s, bude tento časový interval roven přibližně 10^{-7} s. Pokud bychom v soustavě S chtěli dosáhnout přesnosti určení polohy bodu řekněme, menší než je 10 m, museli bychom mít v S'



hodiny jdoucí s přesností kolem 10^{-8} s. Musí to tedy na družicích být vskutku atomové hodiny špičkově kvalitní.

Speciální teorie relativity nás neinformuje o gravitačním poli, gravitační pole je v ní „vypnuto“. Gravitační pole, ve kterém se družice pohybují, musíme prostě umět započítat. Je nutno, stručně řečeno, přejít k příslušným korekcím diktovaným obecnou teorií relativity, která je soudobou teorií gravitačního pole. Počítat tyto korekce je ovšem podstatně složitější. Ty základní z nich jsou řádu 10^{-14} s a mají jak kladné, tak záporné znaménko. Již jsme uvedli, že přesnost cesiových atomových hodin je 10^{-15} s, obecně relativistické korekce musí tedy být a také jsou respektovány. Bez jejich respektování by navigační systém po několika hodinách přestal pracovat, jak se také kdysi v „miminkovském věku“ pozičního systému GPS prokázalo.

III

Je docela zajímavé, že to bylo právě vypuštění Sputniku a měření změn frekvencí, která přivedla americké námořnictvo k rychlé konstrukci prvního úspěšného navigačního systému Transit (1960). Poté nastala doba velmi rychlého vývoje a testování GPS včetně povolení možností jeho užívání i pro nevojenské účely. Civilní přesnost určení polohy se vesměs udává kolem jednoho metru i méně, pro geografy a geodety je lepší, vojenská přesnost se pohybuje kolem centimetru. Píše se již o blízkých realizacích nejnovější řady GPS kde by mohlo jít o přesnosti v řádu několika milimetrů. Pro takovou přesnost bude nutné započítávat i další, ještě jemnější obecně relativistické korekce.

Sluší se alespoň poznamenat, že GPS není jediným fungujícím pozičním systémem. Existuje například GLONAS a Evropská unie chystá svůj systém GALILEO. Vhodné je též uvést, že GPS je i skvělou fyzikální laboratoří.

Dnes nejstarší a stále ještě fungující satelit GPS byl vypuštěn v roce 1989, zatím poslední satelity tohoto systému byly vypuštěny v září roku 2005. Průběžná modernizace je vzhledem k závažnosti stále bohatších aplikací samozřejmá.