PŘIHLÁŠKA VYNÁLEZU

zveřejněná podle § 31 zákona č. 527/1990 Sb.

(21) Číslo dokumentu:
2001 -4255

(13) Druh dokumentu: **A3**

(51) Int. Cl.[7]:
G 01 S 5/10
G 01 S 5/00
H 04 Q 7/38

(19) ČESKÁ REPUBLIKA

ÚŘAD PRŮMYSLOVÉHO VLASTNICTVÍ

(22) Přihlášeno: **01.06.2000**

(32) Datum podání prioritní přihlášky: **01.06.1999**

(31) Číslo prioritní přihlášky: **1999/9912724**

(33) Země priority: **GB**

(40) Datum zveřejnění přihlášky vynálezu: **15.05.2002**
(Věstník č. 5/2002)

(86) PCT číslo: **PCT/GB00/02105**

(87) PCT číslo zveřejnění: **WO00/73814**

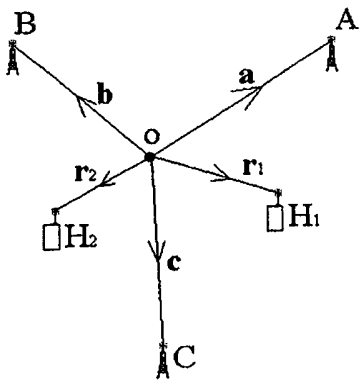
(71) Přihlašovatel:
CAMBRIDGE POSITIONING SYSTEMS LTD., Cambridge, GB;

(72) Původce:
Brice James Paul, Cambridge, GB;
Duffett-Smith Peter James, Cambridge, GB;
Hansen Paul, Somersham, GB;

(74) Zástupce:
PATENTSERVIS PRAHA a.s., Jivenská 1, Praha 4, 14000;

(54) Název přihlášky vynálezu:

Zlepšení rádiových systémů určování polohy



(57) Anotace:

Určuje se poloha nebo změna polohy nebo stavu pohybu přijímače nebo přijímačů (H_2, H_3....H_n), jejichž poloha nebo změna polohy nebo stav pohybu nejsou ještě známy, v síti přenosových zdrojů (A, B, C), jejichž některé nebo všechny polohy jsou známé. V prvním čase jsou měřeny vzájemné odchylky v čase, fázi, kmitočtu nebo jejich derivací vzhledem k sobě navzájem nebo vzhledem k referenčnímu zdroji (H_1), signálů přijatých prvním přijímačem (H_2) z více přenosových zdrojů (A, B, C). Ve vybraném druhém čase jsou měřeny vzájemné odchylky signálů přijatých prvním přijímačem (H_2) nebo druhým přijímačem (H_3), jehož poloha nebo stav pohybu nejsou ještě známy, z více přenosových zdrojů (A, B, C). Pak je počítána poloha přijímače nebo přijímačů (H_2, H_3.....H_n) v prvních nebo druhých časech nebo změny polohy prvního přijímače (H_2 mezi prvním a druhým časem nebo stav pohybu kteréhokoliv z obou přijímačů (H_2, H_3) ze vztahu mezi prvním a druhým souborem vzájemných odchylek.

CZ 2001 - 4255 A3

PV 2001-4255
11.02.02

Zlepšení radiových systémů určování polohy

Oblast techniky

Vynález se týká obecně zlepšení radiových systémů určování polohy a způsobů jejich činnosti a zejména použití nesynchronizovaných přenosových sítí bez potřeby přídavných monitorovacích přijímačů.

Dosavadní stav techniky

Dokument EP-A-0 303 371, jehož obsah je zde připojen odkazem, popisuje radiový navigační a sledovací systém, který využívá nezávislých radiových vysílačů zřízených pro jiné účely. Signály z každého vysílače, vzaty jednotlivě, jsou přijímány dvěma přijímacími stanicemi, jedné v pevném a známém místě a druhé namontované na pohyblivém objektu jehož poloha má být určena. Reprezentace signálů přijatých jednou přijímací stanicí je poslána spojem do procesoru na druhé přijímací stanici, kde jsou přijaté signály porovnány pro nalezení jejich fázového rozdílu nebo časového zpoždění. Tři taková měření provedená na třech od sebe vzdálených nezávislých vysílačích jsou postačující k určení polohy mobilního přijímače ve dvou rozměrech, tj. jeho polohy na zemi. Také je určen fázový nebo časový odstup mezi hlavními oscilátory ve dvou přijímačích.

„CURSOR" jak je systém popsaný v EP-A-0 303 371 označen, je radiový systém určování polohy, který může využít signály vysílané existujícími nesynchronizovanými vysílači pro určení polohy přenosného přijímače. Na rozdíl od některých jiných systémů, které využívají dočasné koherenční vlastnosti sítí účelově vybudovaných synchronizovaných vysílačů, CURSOR využívá prostorovou koherenci signálů vysílaných samostatnými vysílači. V dalším vývoji (viz EP-A-0 880 712 a WO-A-99/21028) byla tato technologie použita pro nalezení polohy mobilního telefonního přístroje v systému GSM nebo jiném digitálním telefonním systému a to jsou příklady způsobu zlepšeného sledování

časového rozdílu (E-OTD) používajícího sestupné signály vysílané sítí základnových stanic (BTS) telefonního systému.

Při použití digitálních mobilních telefonů popsaném v dokumentu EP-A-0 880 712, jehož obsah je zde připojen odkazem, signály z každé základnové stanice v dosahu přístroje jsou přijímány jednak přístrojem samotným a jednak pevným přijímačem, lokační měřicí jednotkou (LMU), jehož poloha je přesně známa. Reprezntace obdržených signálů jsou předávány do lokačního střediska radiové sítě kde jsou porovnávány pro nalezení časového rozdílu mezi nimi. Na obr. znázorňujeme geometrii standardního dvourozměrného systému. Počátek kartézských souřadnic x a y je položen do lokační měřicí jednotky umístěné do O. Orientace os je nepodstatná, ale může být konvenčně nastavena tak, že osa y leží v souřadnici severjih lokální mapy. Mobilní telefonní přístroj R je na poloze vektoru **r** vzhledem k poloze O lokační měřicí jednotky. Základnová stanice A je znázorněna na poloze vektoru **a**.

Uvažujme nejprve signály ze základnové stanice A. Časový rozdíl Δt_a měřený mezi signály přijatými v R a O je dán vztahem

$$\Delta t_a = \left(|\mathbf{r}-\mathbf{a}|-|\mathbf{a}|\right)/v+\varepsilon$$

kde v je rychlost radiových vln, ε je hodinová časová odchylka mezi hodinami v přijímačích v R a O, a svislé čáry po obou stranách vektorové veličiny označují že je to velikost vektoru, která je použita v rovnici. Hodnota ε představuje synchronizační odchylku mezi měřeními uskutečněnými mezi dvěma přijímači. Podobně může být napsán vztah pro další dvě základnové stanice (B a C) ve vektorových polohách **b** a **c** (neznázorněny):

$$\Delta t_b = \left(|\mathbf{r}-\mathbf{b}|-|\mathbf{b}|\right)/v+\varepsilon$$

$$\Delta t_c = \left(|\mathbf{r}-\mathbf{c}|-|\mathbf{c}|\right)/v+\varepsilon \qquad (1)$$

Hodnoty Δt_a, Δt_b, Δt_c jsou měřeny způsoby popsanými v dokumentu EP-A-0 880 712 a hodnoty **a**, **b**, **c** a **v** jsou známé. Rovnice (1) mohou být tudíž řešeny pro nalezení polohy mobilního přístroje **r** společně s hodnotou ε.

V dokumentu WO-A-99/21028, jehož obsah je zde připojen odkazem, je popsáno jak mohou být některé časové odchylky měřeny s použitím následujících místně vytvořených šablon v telefonním systému GSM. Předpokládejme, že mobilní přístroj zaznamenal krátký shluk signálů GSM ze základnové stanice A. Tento záznam obsahuje rámcovací strukturu, synchronizační shluky a ostatní 'daná' data (nebo předem stanovené hodnoty) které jsou stálým znakem těchto přenosů. Procesor v mobilním přístroji může vytvořit odpovídající šablonu, založenou na známé struktuře síťových signálů. Přijaté signály mohou být porovnány s lokálně vygenerovanou šablonou. Když šablona nalezne shodu, korelační špička v poloze nejlepší shody odpovídá časové odchylce mezi přijatými signály a místními hodinami v mobilním přístroji. Pro signály vysílanými základnovou stanicí A je tato měřená časová odchylka Δf_{a1} dána vztahem

$$\Delta t_{a1} = \left(|\mathbf{r}-\mathbf{a}|\right)/v + \alpha_a + \varepsilon_1 ,$$

$$\Delta t_{b1} = \left(|\mathbf{r}-\mathbf{b}|\right)/v + \alpha_b + \varepsilon_1 ,$$

a

$$\Delta t_{c1} = \left(|\mathbf{r}-\mathbf{c}|\right)/v + \alpha_c + \varepsilon_1 . \qquad (2)$$

Stejná měření mohou být provedena lokační měřicí jednotkou, dávající

$$\Delta t_{a2} = \left(|\mathbf{a}|\right)/v + \alpha_a + \varepsilon_2 ,$$

$$\Delta t_{b2} = \left(|\mathbf{b}|\right)/v + \alpha_b + \varepsilon_2 ,$$

a

$$\Delta t_{c2} = (|c|)/v + \alpha_c + \varepsilon_2 , \qquad (3)$$

kde ε_2 je časová odchylka vnitřních hodin lokační měřicí jednotky vzhledem k stejným imaginárním univerzálním absolutním hodinám. Odečtením rovnic 3 od rovnic 2 dává

$$\Delta t_a = \Delta t_{a1} - \Delta t_{a2} = (|r - a| - |a|)/v + \varepsilon ,$$

$$\Delta t_b = \Delta t_{b1} - \Delta t_{b2} = (|r - b| - |b|)/v + \varepsilon ,$$

a

$$\Delta t_c = \Delta t_{c1} - \Delta t_{c2} = (|r - c| - |c|)/v + \varepsilon , \qquad (4)$$

kde $\varepsilon=\varepsilon_1-\varepsilon_2$. Je zřejmé, že rovnice 4 jsou shodné s rovnicemi 1 a mohou být řešeny stejným způsobem pro nalezení polohy mobilního zařízení **r** a hodnoty ε.

Výše popsané způsoby měří časové odchylky. Někdy je však užitečné měřit kmitočtové odchylky nebo derivace kmitočtových odchylek, jak bude popsáno později.

Podstata vynálezu

Je zřejmé že metoda CURSOR společně se všemi ostatními metodami, které používají signály z nesynchronizovaných vysílačů vyžaduje, aby v oblasti pokrytí telefonního systému byla ustavena síť lokačních měřicích jednotek. Tyto jednotky působí jako referenční body, na kterých jsou měřeny nesynchronizované signály vysílaně základnovými stanicemi pro porovnání se stejnými signály přijatými mobilním zařízením. V dalších patentových přihláškách (náš odkaz MJB06733WO) podaných současně ukazujeme jak celá síť základnových stanic může být pokryta použitím právě jedné „virtuální lokační měřicí jednotky", která působí jako servisní uzel pro všechna data

lokační měřicí jednotky. Přítomný vynález ukazuje jak může být aplikována metoda CURSOR (nebo jiný způsob zlepšeného sledování časového rozdílu) aniž by potřebovala síť reálných lokačních měřicích jednotek.

Podle prvního aspektu vynálezu je nabízen způsob určení polohy nebo změny polohy nebo pohybového stavu přijímače nebo přijímačů, jejichž poloha nebo změna polohy nebo stav pohybu nejsou ještě známy, v síti přenosových zdrojů jejichž některé nebo všechny polohy jsou známé, přičemž způsob obsahuje

a) v prvním čase, měření vzájemných odchylek v čase, fázi, kmitočtu nebo jejich derivaci vzhledem k sobě navzájem nebo vzhledem k referenčnímu zdroji signálů přijatých prvním přijímačem, jehož poloha nebo stav pohybu nejsou ještě známy, z více přenosových zdrojů;

b) ve vybraném druhém čase, měření vzájemných odchylek signálů přijatých stejným nebo druhým přijímačem, jehož poloha nebo stav pohybu nejsou ještě známy, z více přenosových zdrojů a

c) výpočet polohy přijímače nebo přijímačů v prvních nebo druhých časech nebo změny polohy prvního přijímače mezi prvním a druhým časem nebo stavu pohybu kteréhokoliv z obou přijímačů ze vztahu mezi prvním a druhým souborem vzájemných odchylek.

„Stavem pohybu" se rozumí funkce pohybu přijímače, včetně jeho rychlosti, zrychlení, rychlost změny zrychlení atd.

Poměrné odchylky v čase, fázi, kmitočtu signálů, přijatých prvním nebo druhým přijímačem z více přenosových zdrojů, nebo jejich derivace ve vzájemném vztahu nebo vzhledem k referenčnímu zdroji mohou být představovány odpovídajícími odchylkami nebo rozdíly ve vzdálenostech mezi přenosovými zdroji a prvním nebo druhým přijímačem.

Je třeba rozumět, že jestliže druhý čas je měřen na druhém přijímači, mohl by první a druhý čas být stejný.

Ve vybraných dalších časech mohou být měřeny odpovídající vzájemné odchylky v čase, fázi, kmitočtu signálů, nebo jejich derivace ve vzájemném vztahu nebo vzhledem k referenčnímu zdroji signálů přijatých prvním přijímačem nebo druhým přijímačem nebo jiným přijímačem nebo přijímači jejichž polohy, změny poloh nebo stavy pohybu jsou nebo nejsou ještě známé, z množství přenosových zdrojů; a poloha, změna polohy, nebo stav pohybu kteréhokoliv nebo všech přijímačů může být určena použitím měření a známých poloh přenosových zdrojů.

Ve výše uvedeném aspektu je třeba rozumět, že kterýkoliv z vybraných časů může být stejný jako kterýkoliv jiný z vybraných časů.

Vynález také zahrnuje zařízení pro vykonávání tohoto způsobu, který může obsahovat přijímače řízené vhodně programovanými počítači nebo mikroprocesory.

Přehled obrázků na výkresech

Příklady způsobu nebo zařízení podle vynálezu budou nyní popsány s pomocí připojených výkresů, na kterých:

obr. 1 znázorňuje geometrii standardní dvourozměrné soustavy;

obr. 2 je diagram představující plochu zemského povrchu (za předpokladu že je plochý) v blízkosti páru základnových stanic;

obr. 3 znázorňuje další geometrii standardní dvourozměrné soustavy;

obr. 4 znázorňuje digitální mobilní telefonní síť se dvěma mobilními přístroji a třemi základnovými stanicemi spojenou se systémem podle vynálezu;

obr. 5 znázorňuje digitální mobilní telefonní síť se třemi mobilními přístroji a pěti základnovými stanicemi spojenou se systémem podle vynálezu a

obr. 6 znázorňuje hypotetickou síť GSM se základnovými stanicemi a mobilními přístroji.

Příklady provedení vynálezu

Pro ilustraci jednoho příkladu, ve kterém vysílače a přijímače jsou částí digitální mobilní telefonní sítě, předpokládejme že mobilní přístroj je ve vektorové poloze $\mathbf{r}(t_1)$ v čase t_1. Rovnice (2) jsou pak

$$\Delta t_{a1}(t_1) = \left(\left|\mathbf{r}(t_1) - \mathbf{a}\right|\right)/v + \alpha_a(t_1) + \varepsilon_1(t_1),$$

$$\Delta t_{b1}(t_1) = \left(\left|\mathbf{r}(t_1) - \mathbf{b}\right|\right)/v + \alpha_b(t_1) + \varepsilon_1(t_1),$$

a

$$\Delta t_{c1}(t_1) = \left(\left|\mathbf{r}(t_1) - \mathbf{c}\right|\right)/v + \alpha_c(t_1) + \varepsilon_1(t_1). \qquad (5)$$

kde $\alpha_a(t_1)$ je časová odchylka přenosů základnové stanice z A, $\alpha_b(t_1)$ je časová odchylka z B, $\alpha_c(t_1)$ je časová odchylka z C a $\varepsilon_1(t_1)$ je časová odchylka vnitřních hodin mobilního přístroje, všechno měřeno v čase t_1 vzhledem k imaginárním univerzálním absolutním hodinám. Nyní, jestliže je mobilní přístroj v odlišné vektorové poloze $\mathbf{r}(t_2)$ v pozdějším čase t_2, rovnice (2) jsou pak

$$\Delta t_{a1}(t_2) = \left(\left|\mathbf{r}(t_2) - \mathbf{a}\right|\right)/v + \alpha_a(t_2) + \varepsilon_1(t_2),$$

$$\Delta t_{b1}(t_2) = \left(\left|\mathbf{r}(t_2) - \mathbf{b}\right|\right)/v + \alpha_b(t_2) + \varepsilon_1(t_2),$$

$$\Delta t_{c1}(t_2) = \left(\left|\mathbf{r}(t_2) - \mathbf{c}\right|\right)/v + \alpha_c(t_2) + \varepsilon_1(t_2). \qquad (6)$$

Odečtení rovnic (6) od rovnic (5) dává

$$\Delta t_{a1}(t_1) - \Delta t_{a1}(t_2) = \left(|r(t_1) - a| - |r(t_2) - a|\right)/v + (\alpha_a(t_1) - \alpha_a(t_2)) + (\varepsilon_1(t_1) - \varepsilon_1(t_2)),$$

$$\Delta t_{b1}(t_1) - \Delta t_{b1}(t_2) = \left(|r(t_1) - b| - |r(t_2) - b|\right)/v + (\alpha_b(t_1) - \alpha_b(t_2)) + (\varepsilon_1(t_1) - \varepsilon_1(t_2)),$$

$$\Delta t_{c1}(t_1) - \Delta t_{c1}(t_2) = \left(|r(t_1) - c| - |r(t_2) - c|\right)/v + (\alpha_c(t_1) - \alpha_c(t_2)) + (\varepsilon_1(t_1) - \varepsilon_1(t_2)). \qquad (7)$$

Jak bylo poznamenáno výše, vysílání základnových stanic v GSM nebo jiné digitální síti nejsou obvykle synchronizována. Ale základnové stanice jsou obvykle vybaveny vysoce stabilními oscilátory a signály jsou často svázány se společným referenčním časovacím zdrojem. Kde tomu tak je, signály udržují navzájem konstantní časový odstup, takže $\varepsilon_a(t_1) = \varepsilon_a(t_2)$, $\varepsilon_b(t_1) = \varepsilon_b(t_2)$ a $\varepsilon_c(t_1) = \varepsilon_c(t_2)$. (Dokonce i kde tomu tak není, signály základnových stanic jsou často dostatečně stabilní aby dovolovaly provést vyhodnocení těchto rozdílů v servisním uzlu nebo jiném síťovém prvku.) Nahrazení $\Delta t_a = \Delta t_a(t_1) - \Delta t_a(t_2)$, $\Delta t_b = \Delta t_b(t_1) - \Delta t_b(t_2)$, $\Delta t_c = \Delta t_c(t_1) - \Delta t_c(t_2)$ a $\varepsilon = \varepsilon_1(t_1) - \varepsilon_1(t_2)$, dává

$$\Delta t_a = \left(|r(t_1) - a| - |r(t_2) - a|\right)/v + \varepsilon,$$

$$\Delta t_b = \left(|r(t_1) - b| - |r(t_2) - b|\right)/v + \varepsilon,$$

$$\Delta t_c = \left(|r(t_1) - c| - |r(t_2) - c|\right)/v + \varepsilon. \qquad (8)$$

Rovnice (8) mohou být chápány graficky s využitím obr. 2 Diagram představuje plochu zemského povrchu (považovaného za rovinný) v blízkosti základnových stanic A a B. V první z rovnic výraz $|r(t_1) - a|$ představuje vzdálenost mobilního přístroje od A v čase t_1 a výraz $|r(t_2) - a|$ představuje jeho vzdálenost v čase t_2. První z rovnic (8) může být přepsána jako

$$|r(t_1) - a| - |r(t_2) - a| = v\Delta t_a - v\varepsilon,$$

která tedy představuje geometrická místa dvou soustředných kružnic se středem v A jejichž poloměry se liší o $v\Delta t_a - v\varepsilon$. Ty jsou na obr. 2 označeny 1 a 2. Výše uvedené rovnice neurčují poloměry kružnic ale pouze rozdíl mezi nimi. Sama o sobě tato rovnice tedy neurčuje polohu žádného z bodů $\mathbf{r}(t_1)$ nebo $\mathbf{r}(t_2)$. Na obr. 2 je vyznačen také druhý pár soustředných kružnic 3 a 4 se středem v B představující druhou z rovnic (8). Jejich poloměry nejsou určeny rovnicí, ale rozdíl mezi jejich poloměry musí být $v\Delta t_b - v\varepsilon$. Bod $\mathbf{r}(t_1)$ musí ležet na jednom z průsečíků kružnic 1 a 3 a bod $\mathbf{r}(t_2)$ musí ležet na jednom z průsečíků kružnic 2 a 4. Předpokládejme že hodnota ε je nula, tj. že vnitřní hodiny mobilního přístroje udržely naprosto přesný čas mezi měřeními, pak jestliže známe polohu bodu $\mathbf{r}(t_1)$, řekněme P na obr. 2, můžeme odvodit, že bod $\mathbf{r}(t_2)$ musí být v Q, protože tyto čtyři kružnice jsou určeny v prostoru a odtud plyne, že jsme změřili polohu mobilního přístroje v později uvedeném čase. V praxi nemůžeme předpokládat že ε je nula, takže musíme použít všechny tři rovnice (8) pro nalezení Q při daném P. Je zřejmé, že je zde také druhý průsečík Q′ kružnic 2 a 4, a tudíž nejednoznačnost v určení $\mathbf{r}(t_2)$. Jestliže tato nejednoznačnost nemůže být vyřešena jinými prostředky (například, protože mobilní přístroj je používán chodcem, který by se nemohl dostat z P do Q′ v čase t_2-t_1) pak mohou být použita čtyři měření zahrnující čtyři základnové stanice.

Jednou z výhod vynálezu je, že jestliže jednotlivý mobilní přístroj provádí měření signálů z minimálně tří geograficky oddělených základnových stanic ve dvou různých časech, pak je možné určit změnu polohy mobilního přístroje mezi těmito dvěma časy (bez zřetele na známý výchozí bod), za předpokladu, že alespoň tři ze základnových stanic jsou společné pro obě sady měření. Jestliže poloha mobilního přístroje byla v některém bodě předem určena, použití tohoto způsobu může zpřístupnit aplikace vyžadující autonomní navigaci mobilního přístroje, tj.

navigaci bez další potřeby systému CURSOR nebo jakéhokoliv dalšího systému zlepšeného sledování časových rozdílů.

Rozšíření vynálezu popsané později, ukazuje jak si časy t_1 a t_2 mohou být libovolně přiblíženy tak, aby měření poskytovala vyhodnocení rychlosti změny nebo derivace měřených hodnot.

Výše uvedený rozbor ukazuje jak může být získána poloha mobilního přístroje v pozdějším čase měřeními podobnými měřením metody CURSOR na třech geograficky rozptýlených základnových stanicích, provedenými jak v pozdějším čase tak v dřívějším čase za předpokladu, (a) že poloha mobilního přístroje je známá v dřívějším čase a (b) že není vzájemný drift mezi signály vysílanými základnovými stanicemi v daném intervalu (nebo že takový drift je známý). Přesnost určení polohy závisí, jak na přesnosti s jakou je známá první poloha, tak na vzdálenosti pohybu mezi měřeními. Rovnice (8) ve skutečnosti obsahují pět neznámých veličin: souřadnice x a y každého ze dvou bodů P a Q a neznámý hodinový drift ε mobilního přístroje. Měření podobná metodě CURSOR na každé z pěti geograficky rozptýlených základnových stanic, jak v první, tak v druhé poloze, jsou tedy dostatečná k jednoznačnému určení jak P tak Q, jestliže se mobilní přístroj znatelně pohnul mezi oběma sadami měření.

Tak vynález poskytuje způsob zlepšeného sledování časových rozdílů pro nalezení polohy pohybujícího se mobilního přístroje v nesynchronizované digitální mobilní telefonní síti aniž by byla potřeba vůbec nějaká lokační měřicí jednotka. To může být zvláště užitečné pro sledování mobilního přístroje v síti, která nemá lokační systém.

Další výhodou vynálezu je schopnost využít známou polohu jednoho mobilního přístroje pro nalezení neznámé polohy druhého mobilního přístroje. Předpokládejme, že každý mobilní přístroj provádí měření v přibližně stejném čase při použití tří geograficky rozptýlených základnových stanic A, B, C (viz obr. 4). Rovnice 5 pro první mobilní přístroj H_1 jsou pak

$$\Delta t_{a1}(t_1) = \left(|\mathbf{r}_1(t_1) - \mathbf{a}|\right)/v + \alpha_a(t_1) + \varepsilon_1(t_1),$$

$$\Delta t_{b1}(t_1) = \left(|\mathbf{r}_1(t_1) - \mathbf{b}|\right)/v + \alpha_b(t_1) + \varepsilon_1(t_1),$$

$$\Delta t_{c1}(t_1) = \left(|\mathbf{r}_1(t_1) - \mathbf{c}|\right)/v + \alpha_c(t_1) + \varepsilon_1(t_1). \qquad (9)$$

kde $\mathbf{r}(t_1)$ je (známá) poloha H_1 a měření jsou provedena v čase t_1. Stejné rovnice pro druhý mobilní přístroj H_2 jsou

$$\Delta t_{a1}(t_2) = \left(|\mathbf{r}_2(t_2) - \mathbf{a}|\right)/v + \alpha_a(t_2) + \varepsilon_2(t_2),$$

$$\Delta t_{b1}(t_2) = \left(|\mathbf{r}_2(t_2) - \mathbf{b}|\right)/v + \alpha_b(t_2) + \varepsilon_2(t_2),$$

$$\Delta t_{c1}(t_2) = \left(|\mathbf{r}_2(t_2) - \mathbf{c}|\right)/v + \alpha_c(t_2) + \varepsilon_2(t_2). \qquad (10)$$

kde $\mathbf{r}(t_2)$ je (neznámá) poloha H_2 a měření jsou provedena v čase t_2. Odečtením rovnic (10) od rovnic (9) a zaznamenáním, že $\alpha_a(t_1) = \alpha_a(t_2)$, $\alpha_b(t_1) = \alpha_b(t_2)$ a $\alpha_c(t_1) = \alpha_c(t_2)$ a zápisem $\Delta t_a = \Delta t_a(t_1) - \Delta t_a(t_2)$, $\Delta t_b = \Delta t_b(t_1) - \Delta t_b(t_2)$, $\Delta t_c = \Delta t_c(t_1) - \Delta t_c(t_2)$ dostaneme

$$\Delta t_a = \left(|\mathbf{r}_1(t_1) - \mathbf{a}| - |\mathbf{r}_2(t_2) - \mathbf{a}|\right)/v + \varepsilon,$$

$$\Delta t_b = \left(|\mathbf{r}_1(t_1) - \mathbf{b}| - |\mathbf{r}_2(t_2) - \mathbf{b}|\right)/v + \varepsilon,$$

$$\Delta t_c = \left(|\mathbf{r}_1(t_1) - \mathbf{c}| - |\mathbf{r}_2(t_2) - \mathbf{c}|\right)/v + \varepsilon. \qquad (11)$$

které jsou formou identické s rovnicemi (8). Tudíž při daném $\mathbf{r}_1(t_1)$ což je poloha H_1 v čase t_1, můžeme vypočítat $\mathbf{r}_2(t_2)$ což je poloha H_2 v čase t_2. (Opět jsou potřebná měření na čtyřech základnových stanicích pro vyřešení jednoznačnosti v $\mathbf{r}_2(t_2)$, jestliže to nemůže být vyřešeno jinými prostředky. V tomto případě může být t_1 rovno t_2.

Stejná myšlenka může být rozšířena na mnoho mobilních přístrojů. V rovnicích (11) vektor $\mathbf{r}_1(t_1)$ odpovídá prvnímu

mobilnímu přístroji H_1 jehož poloha je známá, a vektor $r_2(t_2)$ odpovídá kterémukoliv druhému mobilnímu přístroji H_2 až H_n, možná představujícímu kterákoliv z velkého počtu mobilních přístrojů. Je tudíž možné použít, jako dočasné měřítko, první mobilní přístroj H_1 ve známé poloze, jako „lokační měřicí jednotku", nabízející možnost velmi rychlého vytvoření služby zlepšeného sledování časových rozdílů v nové oblasti.

Tento způsob může být použit dokonce i v oblasti pokryté lokačními měřicími jednotkami. Po použití normálního způsobu zlepšeného sledování časových rozdílů pro nalezení polohy mobilního přístroje H_n, mobilní přístroj může pak být sledován bez dalšího využívání lokační měřicí jednotky. Výpočet polohy mobilního přístroje může být prováděn v servisním uzlu (např. v lokační ústředně radiové sítě; MLC), v další lokalitě, nebo v mobilním přístroji samotném v závislosti na aplikaci.

Další zajímavé použití je pro systém mnoha mobilních přístrojů H_1 až H_n v oblasti, ve které není známa žádná z jejich poloh. Za předpokladu, že jakýkoliv pár dostatečně vzdálený může měřit stejných pět základnových stanic A až E (viz jako příklad obr. 5), jejich polohy mohou být určeny použitím pěti rovnic podobných jako jsou tři rovnice (8). Jinak, za předpokladu že oddělené páry mohou měřit alespoň tři ze čtyř společných základnových stanic, výpočty založené na mnoha takových měření pomocí párů mohou být během krátké doby dostačující pro určení poloh všech z nich.

Předpokládejme, například, sadu tří mobilních přístrojů H_1, H_2 a H_3 (viz obr. 5). Vzájemné polohy H_1 a H_2, H_2 a H_3, H_3 a H_1 mohou být vypočítány použitím měření tří ze čtyř základnových stanic, protože omezení zavedená rovnicemi na polohy vrcholů trojúhelníka $H_1H_2H_3$ mohou způsobit, že řešení je jednoznačné. V každém případě existují dobře známé statistické metody, např. založené na Bayesově teorému nebo na metodě maximální pravděpodobnosti, které mohou být použity pro řešení rovnic.

Ve výše uvedených rozborech jsme učinili předpoklad, že stabilita sítě základnových stanic je dostatečně dobrá aby bylo možno předpovědět vzájemné odchylky mezi měřeními. Vynález je možné použít na síť, ve které signály jednotlivých základnových stanic probíhají navzájem volně, tj. síť, ve které není mezi vysíláními žádná synchronizace jakéhokoliv druhu. V tomto případě jsou požadovány alespoň dva mobilní přístroje, které mohou přijímat signály ze stejných pěti geometricky rozptýlených základnových stanic ve v podstatě stejném čase. Rovnice (11) pak přejdou na

$$\Delta t_a = \left(|\mathbf{r}_1(t_1) - \mathbf{a}| - |\mathbf{r}_2(t_1) - \mathbf{a}|\right)/v + \varepsilon,$$

$$\Delta t_b = \left(|\mathbf{r}_1(t_1) - \mathbf{b}| - |\mathbf{r}_2(t_1) - \mathbf{b}|\right)/v + \varepsilon,$$

$$\Delta t_c = \left(|\mathbf{r}_1(t_1) - \mathbf{c}| - |\mathbf{r}_2(t_1) - \mathbf{c}|\right)/v + \varepsilon,$$

$$\Delta t_d = \left(|\mathbf{r}_1(t_1) - \mathbf{d}| - |\mathbf{r}_2(t_1) - \mathbf{d}|\right)/v + \varepsilon,$$

$$\Delta t_e = \left(|\mathbf{r}_1(t_1) - \mathbf{e}| - |\mathbf{r}_2(t_1) - \mathbf{e}|\right)/v + \varepsilon, \qquad (12)$$

kde **a**, **b**, **c**, **d** a **e** jsou vektorové polohy pěti základnových stanic, $\mathbf{r}_1(t_1)$ je vektorová poloha prvního mobilního přístroje H_1 a $\mathbf{r}_2(t_2)$ je poloha druhého mobilního přístroje H_n, přičemž obě sady měření jsou provedeny v stejném čase t_1. Tento okamžik může být signalizován, například, zvláštním prvkem vysílání jako je zvláštní číslo rámce nebo zvláštní signál. V rovnicích (12) se časové odchylky vysílání signálů ze základnových stanic (veličiny α_a, α_b, α_c atd.) vyruší a neobjeví se za předpokladu, že měření jsou provedena dvěma mobilními přístroji dostatečně časové blízko sebe, a že odchylky jsou dostatečně malé, aby mohly být zanedbány. Pět měření v rovnicích (12) je postačující pro lokaci dvou mobilních přístrojů. Všimněte si, že v tomto případě není požadována žádná lokační měřicí jednotka nebo její ekvivalent.

V další společně vyřizované patentové přihlášce PCT (naše značka: MJB06733WO), jejíž obsah je zde zahrnut odkazem, je popsáno jak mohou být měření ze sítě lokačních měřicích jednotek shromažďována do jednoho seznamu, „virtuální" lokační měřicí jednotky (VLMU), jakoby všechny základnové stanice mohly být měřeny jednou virtuální lokační měřicí jednotkou. Rozšířením tohoto vynálezu je zavedení jedné nebo více virtuálních lokačních měřicích jednotek do GSM nebo jiné přenosové sítě, která nemá vůbec žádnou reálnou lokační měřicí jednotku. Časovací měření mobilními přístroji, jako jsou měření popsaná výše, zejména ve vztahu k rovnicím (5) až (12) mohou být zpracována do tabulky odchylek přijímacích časů signálů ze základnových stanic, které mohou být vedeny ve virtuálních lokačních měřicích jednotkách a použity v následných standardních polohových výpočtech systému CURSOR nebo jiného systému zlepšeného sledování časových rozdílů. Lze si také představit systém, ve kterém rozptýlené pokrytí reálných lokačních měřicích jednotek je rozšířeno o jednou nebo více virtuálních lokačních měřicích jednotek měřeními mobilních přístrojů pro dosažení stejné úrovně služby jako z úplné sítě reálných lokačních měřicích jednotek.

Činnost příkladného systému zahrnujícího vynález bude nyní popsána s pomocí simulovaných měření.

Na obr. 6 je hypotetická síť pěti základnových stanic B znázorněna vyplněnými kroužky. Prázdnými čtverečky jsou také vyznačeny polohy dvou mobilních přístrojů H ve vzájemné vzdálenosti kolem 2,2 km. Pro generování seznamu měření časových odchylek, která mohou být prováděna každým z obou mobilních přístrojů H, včetně přidání statického šumového prvku ekvivalentního 50 metrům efektivní hodnoty pro věrnější simulaci reálných podmínek byl použit počítačový program (který prakticky může běžet v mikroprocesoru v jednom nebo obou mobilních přístrojích). Každé základnové stanici B byla určena libovolná a odlišná časová odchylka α signálu vzhledem k

univerzálním absolutním hodinám, vybraná náhodně. Každému mobilnímu přístroji byla určena náhodná hodnota synchronizační chyby ε jeho vnitřních hodin. Vzdálenosti od každého mobilního přístroje ke každé základnové stanici byly pak použity k sestavení seznamu časových odchylek signálů přijatých každým mobilním přístrojem vzhledem k jeho vnitřním hodinám. Oba seznamy časových odchylek byly pak zpracovány počítačem naprogramovaným k řešení výše uvedených pěti rovnic (12). Výsledky jsou na obrázku označeny křížky X. Chyby ve směru k východu a k severu byly pro mobilní přístroj blíže dolního levého rohu -95 a -59 metrů a pro mobilní přístroj bližší hornímu prvému rohu byly chyby -100 a +30 metrů. Elipsy F obklopující označené polohy představují oblasti spolehlivosti, ve kterých leží skutečná poloha s pravděpodobností 67 procent. Hlavní poloosy oblastí měly délku 160 a 240 metrů.

Zajímavé je zjištění, že obecně existuje významná korelace mezi chybami poloh generovaných tímto způsobem, s tím výsledkem, že vzdálenost od jednoho mobilního přístroje k druhému je známa přesněji. Ve výše uvedeném příkladu byla skutečná vzdálenosti 2,2 km změřena s chybou, která byla menší než 90 m.

Nyní bude popsán druhý příklad systému podle vynálezu, ve kterém jsou použity různé rychlosti změn nebo derivací měřených veličin.

V první z rovnic 7 byl uvažován případ samotného mobilního přístroje provádějícího měření signálů ze základnové stanice A, $\Delta t_{a1}(t_1)$ v poloze $\mathbf{r}_1(t_1)$ v čase t_1 s pozorovanou časovou odchylkou $\Delta t_{a1}(t_2)$ v poloze $\mathbf{r}_2(t_2)$ v čase t_2. tato rovnice je reprodukována zde

$$\Delta t_{a1}(t_1) - \Delta t_{a1}(t_2) = \left(|\mathbf{r}(t_1) - \mathbf{a}| - |\mathbf{r}(t_2) - \mathbf{a}|\right)/v + (\alpha_a(t_1) - \alpha_a(t_2)) + (\varepsilon_1(t_1) - \varepsilon_1(t_2)) .$$

Pro následující popis je užitečné přijmout následující změny v našem označování:

t_1	přejde na	t
t_2	přejde na	$t+\Delta t$
$\Delta t_{a1}(t)$	přejde na	$T_a(t)$
$T(t+\Delta t)-T(t)$	přejde na	$\Delta T_a(t)$
ε_1	přejde na	ε .

Rovnice pak přejde na

$$\Delta T_a(t) = \left(|r(t+\Delta t)-a| - |r(t)-a|\right)/v + \alpha_a(t+\Delta t) - \alpha_a(t) + \varepsilon(t+\Delta t) - \varepsilon(t) . \quad (13)$$

Opět se předpokládá, že stabilita vysílání základnové stanice v síti je taková, že hodnoty α se výrazně nemění v době měření Δt, (která může být libovolně zkrácena). Tak je $\alpha_a(t+\Delta t) = \alpha_a(t)$ a rovnice 13 může být zjednodušena. Úplná soustava pro pět základnových stanic přejde na:

$$\Delta T_a(t) = \left(|r(t+\Delta t)-a| - |r(t)-a|\right)/v + \varepsilon(t+\Delta t) - \varepsilon(t)$$

$$\Delta T_b(t) = \left(|r(t+\Delta t)-b| - |r(t)-b|\right)/v + \varepsilon(t+\Delta t) - \varepsilon(t)$$

$$\Delta T_c(t) = \left(|r(t+\Delta t)-c| - |r(t)-c|\right)/v + \varepsilon(t+\Delta t) - \varepsilon(t)$$

$$\Delta T_d(t) = \left(|r(t+\Delta t)-d| - |r(t)-d|\right)/v + \varepsilon(t+\Delta t) - \varepsilon(t)$$

$$\Delta T_e(t) = \left(|r(t+\Delta t)-e| - |r(t)-e|\right)/v + \varepsilon(t+\Delta t) - \varepsilon(t) . \quad (14)$$

Tyto rovnice mohou být řešeny přesně stejným způsobem jako rovnice 12, aby daly jak $r(t+\Delta t)$, tak $r(t)$ bez odkazu na síť lokačních měřicích jednotek. Jestliže se hodnota Δt blíží nule, pak rychlost změny nebo derivace veličin jsou následující:

$$\frac{dT_a}{dt} = |\mathbf{v}|\cos\theta_a / v + \frac{d\varepsilon}{dt}$$

$$\frac{dT_b}{dt} = |\mathbf{v}|\cos\theta_b / v + \frac{d\varepsilon}{dt}$$

$$\frac{dT_c}{dt} = |\mathbf{v}|\cos\theta_c / v + \frac{d\varepsilon}{dt}$$

$$\frac{dT_d}{dt} = |\mathbf{v}|\cos\theta_d / v + \frac{d\varepsilon}{dt}$$

$$\frac{dT_e}{dt} = |\mathbf{v}|\cos\theta_e / v + \frac{d\varepsilon}{dt} \qquad (15)$$

kde **v** je rychlost mobilního přístroje ($\mathbf{v} = d\mathbf{v}/dt$), θ je úhel mezi vektorem rychlosti a vektorem od základnové stanice k mobilnímu přístroji (viz obr. 3) a $d\varepsilon/dt$ je rychlost změny vnitřních hodin mobilního přístroje, tj. kmitočtová odchylka krystalového oscilátoru mobilního přístroje od jeho nominální hodnoty. Tyto rovnice jsou matematicky stejné jako rovnice 14 a mohou být řešeny, aby daly jak polohu **r** mobilního přístroje, tak rychlost **v** bez odkazu na síť lokačních měřicích jednotek.

Jestliže se zároveň předpokládá, že mobilní přístroj se pohybuje konstantní rychlostí, pak další derivace mohou být vyhodnoceny následovně:

$$v\frac{d^2T_a}{dt^2} = \frac{|\mathbf{v}|^2}{|\mathbf{r}-\mathbf{a}|}\sin^2\theta_a,$$

$$v\frac{d^3T_a}{dt^3} = -3\frac{|\mathbf{v}|^3}{|\mathbf{r}-\mathbf{a}|^2}\cos\theta_a\sin^2\theta_a, \qquad (16)$$

měřeno pro obě základnové stanice B a C, pak jako před tím mohou být rovnice řešeny bez odkazu na síť lokačních měřicích jednotek, aby daly polohu a rychlost mobilního přístroje.

V předchozím příkladu systému podle vynálezu byla použita měření časových odchylek, například pro propočet rychlosti změny časové odchylky. To je ekvivalentní měření kmitočtové odchylky signálů ze základnové stanice a to může být dosaženo přímo měřením a analýzou signálů základního pásma z přijímače. Například, digitalizované datové vzorky I a Q odpovídající tak řečeným synchronizačním shlukům v GSM (jejichž forma je známá předem) mohou být transformovány do kmitočtové oblasti s použitím dobře známého způsobu jako je rychlá Fourierova transformace a kmitočet identifikovaných znaků porovnán s očekávanými hodnotami pro získání kmitočtové odchylky signálů.

Tento způsob byl simulován na počítačovém programu pro testování účinku poměru signálu k šumu (S/N) na přesnost, s kterou rychlost mobilního přístroje může být měřena tímto způsobem. Přesnost závisí také na počtu vzorků N v šabloně použité k porovnání s kmitočtovým spektrem. Výsledky jsou následující:

poměr S/N	N=64	N=128	N=256
10	38,4	12,8	4,8
30	12,8	4,3	1,6
100	3,8	1,3	0,5

Tato tabulka udává chybu v kilometrech za hodinu spojenou s odpovídajícími hodnotami poměru S/N a délky šablony.

PATENTOVÉ NÁROKY

1. Způsob určování polohy nebo změny polohy nebo stavu pohybu přijímače nebo přijímačů, jejichž poloha nebo změna polohy nebo stav pohybu nejsou ještě známy, v síti přenosových zdrojů jejichž některé nebo všechny polohy jsou známé, přičemž způsob obsahuje

a) v prvním čase, měření vzájemných odchylek v čase, fázi, kmitočtu nebo jejich derivaci vzhledem k sobě navzájem nebo vzhledem k referenčnímu zdroji signálů přijatých prvním přijímačem, jehož poloha nebo stav pohybu nejsou ještě známy, z více přenosových zdrojů;

b) ve vybraném druhém čase, měření vzájemných odchylek signálů přijatých stejným nebo druhým přijímačem, jehož poloha nebo stav pohybu nejsou ještě známy, z více přenosových zdrojů a

c) výpočet polohy přijímače nebo přijímačů v prvních nebo druhých okamžicích nebo změny polohy prvního přijímače mezi prvním a druhým časem nebo stav pohybu kteréhokoliv přijímače ze vztahu mezi prvním a druhým souborem vzájemných odchylek.

2. Způsob podle nároku 1, vyznačující se tím, že druhý čas se měří na druhém přijímači a první a druhý čas jsou stejné.

3. Způsob podle nároku 1 nebo 2, vyznačující se tím, že ve vybraných dalších časech, jsou měřeny příslušné vzájemné odchylky v čase, fázi, kmitočtu nebo jejich derivací, vzhledem k sobě navzájem nebo vzhledem k referenčnímu zdroji, signálů přijatých prvním přijímačem nebo druhým přijímačem nebo dalším přijímačem nebo přijímači, jejichž poloha, změna polohy nebo stav pohybu není nebo nejsou ještě známy, z přenosových zdrojů a poloha, změna polohy, stav pohybu kteréhokoliv přijímače nebo všech uvedených přijímačů jsou určeny s použitím uvedených měření a známých poloh přenosových zdrojů.

4. Způsob podle nároku 3, vyznačující se tím, že kterýkoliv z vybraných časů je stejný jako kterýkoliv jiný z vybraných časů.

5. Způsob podle kteréhokoliv z nároků 1 až 4, vyznačující se tím, že uvedené přijímače jsou mobilní přístroje systému GSM a že jeden nebo každý mobilní přístroj má své časování tak pokročilé, že je v synchronizaci s obslužnou základnovou stanicí.

6. Způsob podle nároku 3, vyznačující se tím, že dále zahrnuje

d) měření, v prvním čase, poměrných časových, fázových, kmitočtových odchylek signálů, přijatých prvním mobilním přístrojem z neobslužné základnové stanice, nebo jejich derivací a to v jejich vzájemném vztahu nebo vzhledem k referenčnímu zdroji;

e) měření, ve vybraném druhém pozdějším čase, vzájemných odchylek v čase, fázi nebo jejich derivaci signálů přijatých stejným nebo druhým přijímačem z neobslužné základnové stanice, a to v jejich vzájemném vztahu nebo vzhledem k referenčnímu zdroji

f) výpočet polohy kteréhokoliv z obou mobilních přístrojů nebo změny polohy prvního mobilního přístroje mezi prvním a druhým časem nebo stav pohybu kteréhokoliv z obou mobilních přístrojů v prvém nebo druhém čase ze vztahu mezi prvním a druhým souborem dat.

7. Systém pro určování polohy nebo změny polohy nebo stavu pohybu přijímače nebo přijímačů, jejichž poloha nebo změna polohy nebo stavu pohybu není ještě známá, v síti přenosových zdrojů jejichž některé nebo všechny polohy jsou známé, přičemž systém obsahuje

a) prostředky pro měření, v prvním čase, vzájemných odchylek v čase, fázi kmitočtu nebo jejich derivacích, vzhledem k sobě navzájem nebo vzhledem k referenčnímu zdroji signálů přijatých prvním přijímačem, jehož

poloha nebo stav pohybu nejsou ještě známé, z více přenosových zdrojů;

b) prostředky pro měření, ve vybraném druhém čase, vzájemných odchylek signálů přijatých stejným nebo druhým přijímačem, jehož poloha nebo stav pohybu nejsou ještě známé, z více přenosových zdrojů;

c) prostředky pro výpočet polohy přijímače nebo přijímačů v prvém nebo druhém času změny polohy prvního přijímače mezi prvním a druhým časem nebo stavu pohybu kteréhokoliv z obou přijímačů ze vztahu mezi první a druhou sadou vzájemných odchylek.

8. Systém podle nároku 8, vyznačující se tím, že dále obsahuje

prostředky pro měření, ve vybraných dalších časech, příslušné vzájemné odchylky v čase, fázi, kmitočtu nebo jejich derivacích vzhledem k sobě navzájem nebo vzhledem k referenčnímu zdroji signálů přijímaných prvním přijímačem nebo druhým přijímačem nebo přijímači jejichž poloha, změna polohy nebo stav pohybu nejsou ještě známé, z více přenosových zdrojů;

prostředky pro výpočet polohy, změny polohy nebo stavu pohybu kteréhokoliv nebo všech přijímačů při použití uvedených měření a známých poloh přenosových zdrojů.

9. Systém podle nároku 7 nebo 8, vyznačující se tím, že uvedené měřicí prostředky a uvedené výpočetní prostředky zahrnují mikroprocesor v jednom nebo více z uvedených přijímačů.

10. Systém podle kteréhokoliv z nároků 7 až 9, vyznačující se tím, že obsahuje složku nebo složky systému GSM.

11. Systém podle nároku 10, vyznačující se tím, že zahrnuje jeden nebo více mobilních přístrojů z nichž jeden nebo každý má své časování tak pokročilé, že je v synchronizaci s obslužnou základnovou stanicí.

12. Systém podle nároku 8, vyznačující se tím, že dále obsahuje

d) prostředky pro měření, v prvním čase, vzájemných odchylek v čase, fázi kmitočtu nebo jejich derivacích, vzhledem k sobě navzájem nebo vzhledem k referenčnímu zdroji signálů přijatých prvním mobilním přístrojem z neobslužné základnové stanice;

e) prostředky pro měření, ve vybraném druhém čase, vzájemných odchylek v čase, fázi kmitočtu nebo jejich derivacích, vzhledem k sobě navzájem nebo vzhledem k referenčnímu zdroji signálů přijatých stejným nebo druhým přijímačem z neobslužné základnové stanice;

f) prostředky pro výpočet polohy kteréhokoliv z obou mobilních přístrojů nebo změny polohy prvního mobilního přijímače mezi prvním a druhým časem nebo stavu pohybu kteréhokoliv z obou mobilních přístrojů v prvním nebo druhém času ze vztahu mezi první a druhou sadou dat.

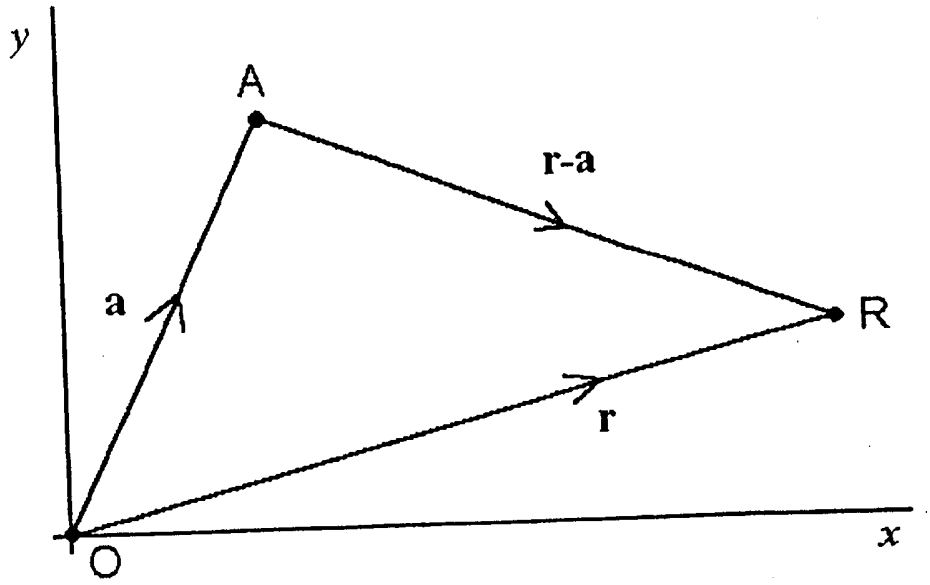


Figure 1

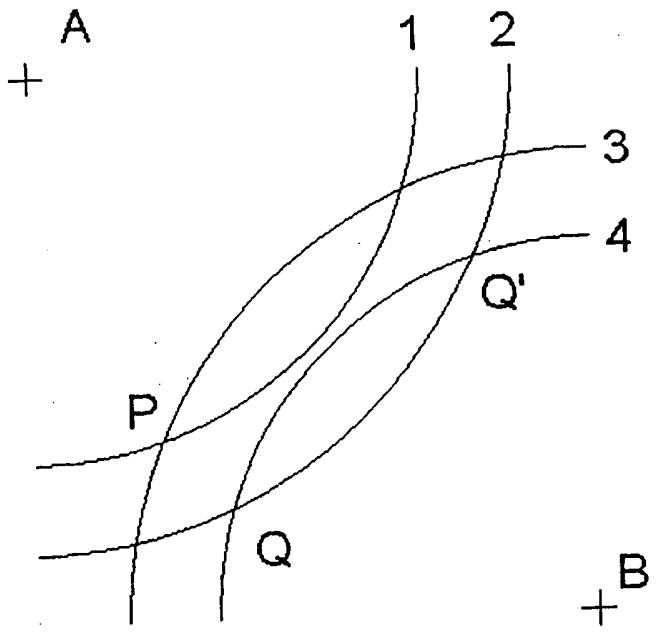


Figure 2

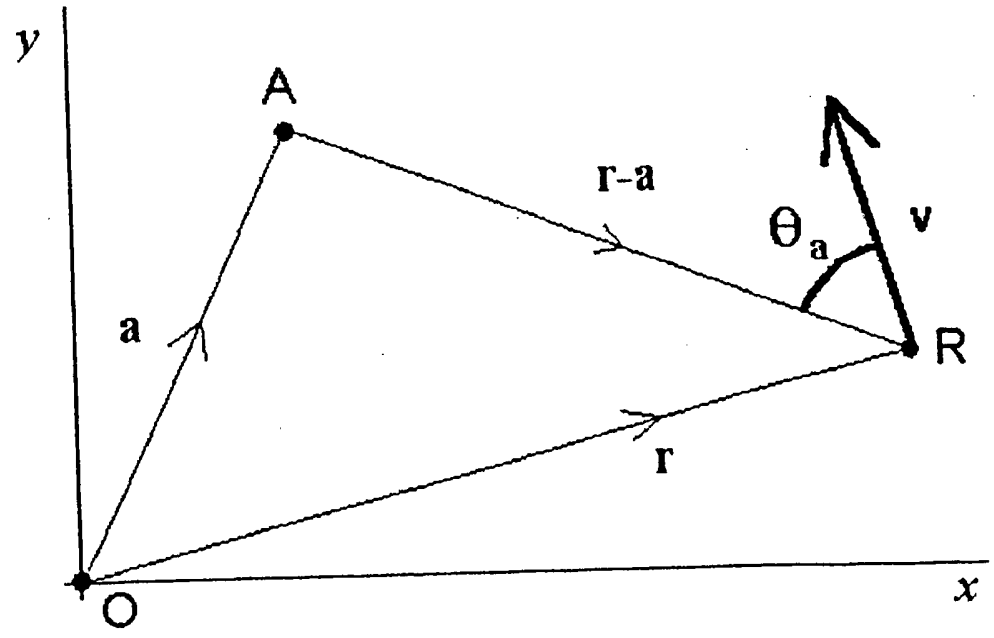


Figure 3

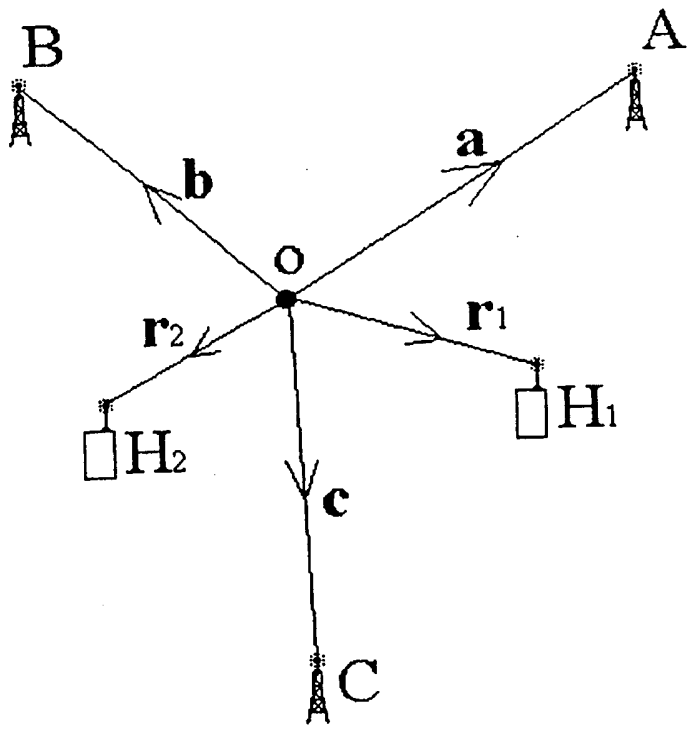


Figure 4

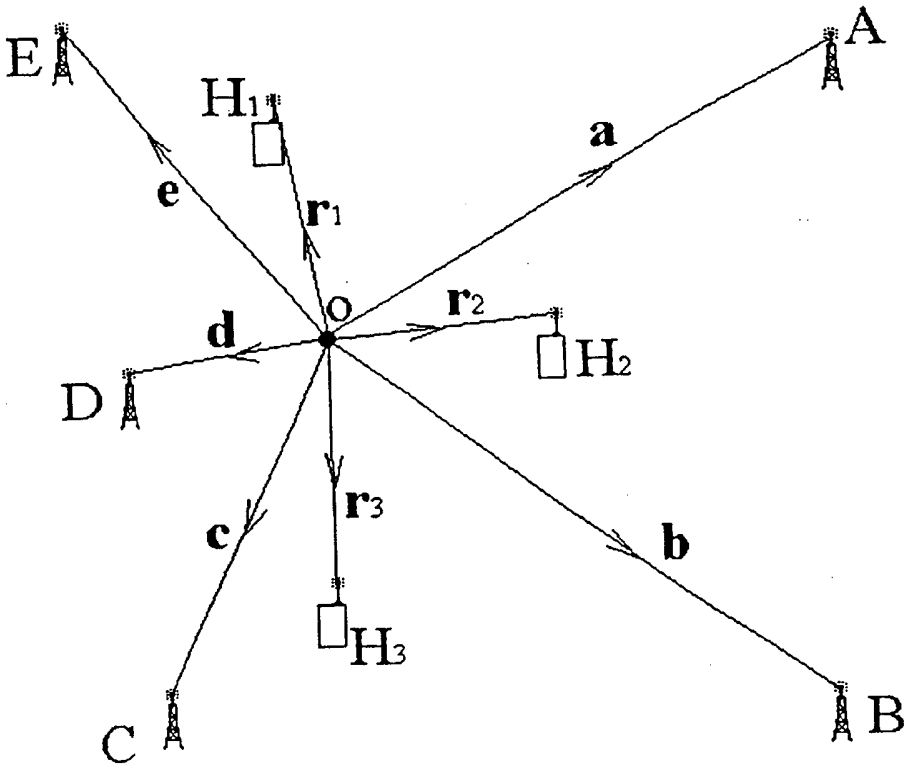


Figure 5

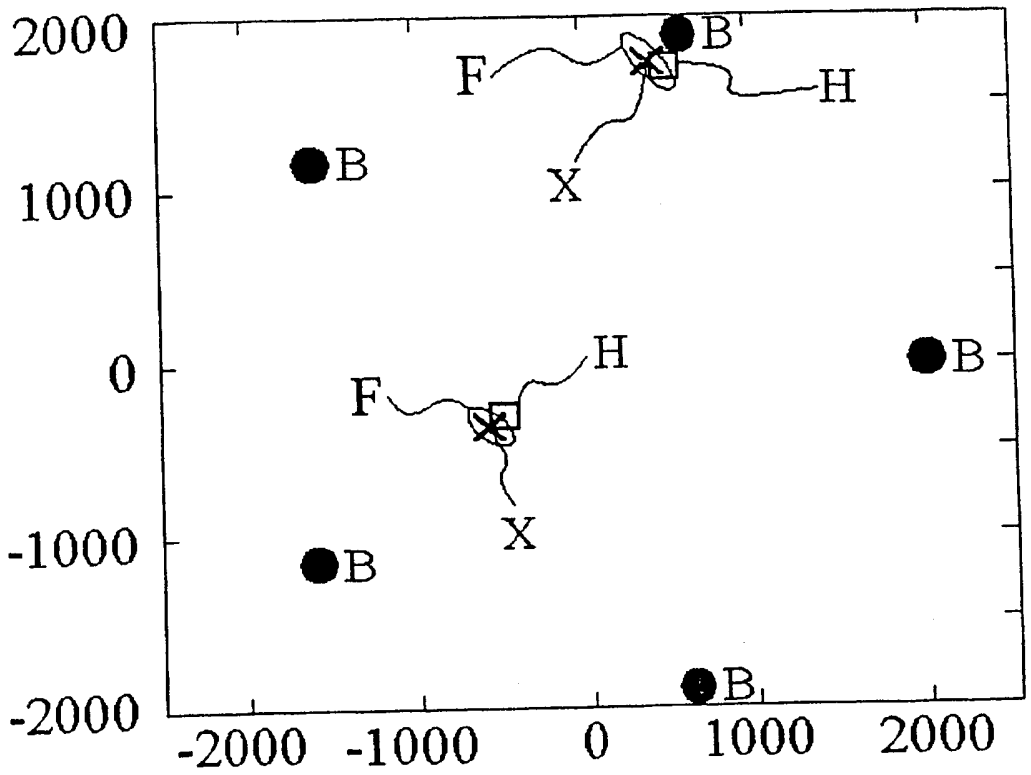


Figure 6