

(19)
ČESKÁ
REPUBLIKA



ÚŘAD
PRŮMYSLového
VLASTNICTVÍ

(21) Číslo přihlášky: **2000-1424**
(22) Přihlášeno: **26.10.1998**
(30) Právo přednosti: **03.11.1997 SE 1997/9704012**
(40) Zveřejněno: **16.08.2000**
(Věstník č. 8/2000)
(47) Uděleno: **15.06.2007**
(24) Oznámení o udělení ve Věstníku: **25.07.2007**
(Věstník č. 30/2007)
(86) PCT číslo: **PCT/SE1998/001927**
(87) PCT číslo zveřejnění: **WO 1999/023506**

(11) Číslo dokumentu:

298 223

(13) Druh dokumentu: **B6**

(51) Int. Cl.:
G01S 13/72 (2006.01)

(56) Relevantní dokumenty:

US 4713768 A; US 5313212 A; DE 3132009 A1.

(73) Majitel patentu:

Saab AB, Linköping, SE

(72) Původce:

Sviestins Egils, Sollentuna, SE

(74) Zastupce:

PATENTSERVIS Praha a.s., Jivenská 1273/1, Praha 4,
14021

(54) Název vynálezu:

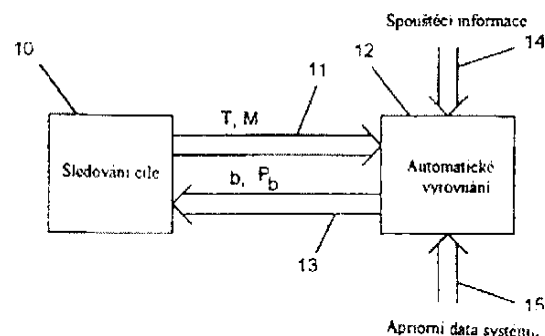
**Způsob odhadu systematické odchylky u
systému sledování cíle**

(57) Anotace:

Způsob zahrnuje kroky:

sběr hodnot drah (T) cíle a odpovídajících měření (M) ze
zmíněného systému sledování cíle, výpočet odhadů parametrů
(b) systematických odchylek založených na drahách (T) cíle a
odpovídajících měřeních (M), poskytnutí vypočtených odhadů
parametrů (b) odchylek systému sledování cíle, jehož
podstatou je výpočet, který zahrnuje kroky:
generování chybové funkce, která zahrnuje alespoň dva
výrazy, kde první výraz je závislý alespoň na velikosti
nesohody mezi měřeními a modelem měření, kde model měření
je modelem funkce neznámé polohy cíle a neznámých
parametrů systematické odchylky, a kde druhý výraz je závislý
na alespoň předem stanovených vyhodnoceníh apriorních
statistických rozdělení chyb systematické odchylky a
zmíněných neznámých parametrů systematické odchylky; a
minimalizace chybové funkce vzhledem k parametrům
systematické odchylky stejně jako k poloze cíle.
Opakovaně se generují odhady chyb vzniklých
systematickými odchylkami senzoru (b) tím, že minimalizuje
funkci danou na jedné straně zvyšování nepoměru mezi
naměřenými hodnotami (M) a měřicím modelem, kde měřicí
model je funkcí polohy neznámého cíle a neznámými
parametry systematické odchylky, a na druhé straně pomocí
parametrů systematických odchylek a jejich předem
stanovených statistických rozdělení (15). U provedení tohoto
vynálezu, kterému se dává přednost, se krok minimalizace
provádí pomocí linearizačních složek funkce okolo přibližné
polohy cíle normálně získané ze sledovacího zařízení (10) a
okolo nominálních, typicky nulových, chyb systematických
odchylek, přičemž funkce se následně minimalizuje s
přihlédnutím k polohám cíle a parametrům systematických

odchylek (b). Kromě toho se časová závislost parametrů
systematických odchylek modeluje zařazením provozního
šumu.



Způsob odhadu systematické odchylky u systému sledování cíle

Oblast techniky

5

Vynález se obecně týká sledování cílů pomocí naměřených hodnot z různých snímačů, zvláště se týká automatického vyrovnávání senzoru.

10 Dosavadní stav techniky

Sledování cíle je procesem, kterým je uživateli, například ve středisku velení a řízení, přidána informace o místě a pohybu objektů, například letadel, lodí a řízených střel. Detekce cílů je prováděna pomocí jednoho nebo více senzorů. Nejrozšířenějším senzorem zjišťování cílů je radar. 15 Radary však nepředstavují univerzální řešení, jelikož vykazují vážné základní nedostatky. U současných radarů je omezena především jejich přesnost. Kromě toho se nedají použít pod vodou. Další nevýhodou je, že vyzařují energii, a tím prozrazují místo svého umístění, čímž pro nepřítele představují snadný cíl. Podle konkrétní situace se místo radarů používají jiné typy senzorů, přičemž radar se může použít jaké doplňkové zařízení. Příkladem takových senzorů, které však 20 nepředstavují celou sadu možností, jsou například Global Navigation Satellite System (GNSS – Globální navigační satelitní systém) a jeho předchůdci GPS a GLONASS, Electronic Support Measures – elektronické podpůrné měření (ESM), elektro-optický senzor a jejich podtřída Infrared Search and Track (infračervené vyhledávání a sledování), Jam Strobe Detector (detektor výběrového rušení) a výškoměr na bázi měření tlaku zapojený přes sekundární radar (režim C). 25 Kromě těchto senzorů pouze některé radary (3D) a navigační data získaná přes satelit, poskytují plně trojrozměrné určení místa cíle. ESM, EO,IRST, ECM a pasivní sonary poskytují pouze směr k cíli. Takové přístroje se nazývají „snímače impulzů“ (strokes). Sensory provádí měření v pravidelných nebo nepravidelných intervalech. Naměřená hodnota je kusem informace o dosahu a azimutu cíle. Sledovač je zařízení, které vytváří soubor pro každý zjištěný cíl. Stopa je 30 soubor obvykle filtrovaných dat, které se týkají určitého cíle. Sledovač aktualizuje sledovací data přicházejícími vstupními hodnotami tak, že šum měření je s nížen odfiltrováním, přičemž směr cíle a jeho rychlost se vypočítává. Stopa je opatřena návěstím a je předána operátorovi. Dosavadní způsob sledování je dostatečně známý a lze ho nalézt v mnoha publikacích, například v práci S. S. Blackmana „Multiplet-Target Tracking with Radar Application“ (sledování více cílů 35 pomocí radaru), Artech House, Inc., MA, USA 1986, na str. 1–17 a 357–393.

Pro použití vícenásobných senzorů ke sledování cílů existuje mnoho důvodů. Kombinace pasivních senzorů, rozmístěných na více místech, umožňuje získat hodnotu vzdálenosti cíle. Použitím 40 několika radarů lze vyloučit mezery v pokrytí cílů, které existují při použití pouze jednotlivých radarů. Kromě toho, pokud jsou k dispozici data získaná pomocí satelitu, zjištění cíle je mnohem přesnější. ECM podává informaci i tehdy, jestliže cíl používá radarovou rušičku, která data získaná radarem znehodnocuje. Obecně platí, že použití několika senzorů umožňuje častější aktualizaci dat, lepší přesnost, vyšší poměr signál/šum a mnohem spolehlivější sledování.

45 Při kombinaci dat z různých senzorů však existuje vážný problém: chyby při vyrovnávání, rovněž známé jako systematické chyby, chyby zkreslení, nebo chyby při registraci cíle. Chyby zkreslení mohou způsobit dojem, že počet cílů je větší než skutečný počet, jelikož naměřené hodnoty jsou nahrazeny nějakým, a to často velmi důležitým množstvím. I když se dokonce sleduje pouze jeden cíl, přesnost bude zhoršená. Proto je vyhodnocení a kompenzace chyb zkreslení při sledování 50 velmi důležité.

Pro znázornění problému uvádíme jeden příklad. Obr. 1 znázorňuje jednu situaci při sledování. Sledovací systém umožňuje měření pomocí dvou senzorů 3D, D_1^3 a D_2^3 , které poskytují informaci o vzdálenosti a azimutu a výšce, dále jednoho pasivního senzoru D^1 , který měří úhel azimu- 55 muty. V oblasti pokryté systémem se nachází skutečný cíl X. Sensory vykazují jisté systematické

chyby. Místní souřadnicový systém senzoru D_1^3 není sladěn s obvyklým souřadnicovým systémem a vykazuje úhlovou odchylku α . Senzor D_2^3 vykazuje chybu v měření, což u hodnot vzdálenosti způsobuje vznik systematických chyb. U situace na obr. 1 senzor D_1^3 zjišťuje cíl ve směru skutečného úhlu azimutu A_{Ri}^3 , ale vlivem špatného vyrovnaní je zdánlivý úhel azimutu A_{Ai}^3 posunut o úhel α , čímž zdánlivá poloha zjištěného cíle je vyjádřena hodnotou M_1^3 . Chyba měření vzdálenosti senzoru D_2^3 způsobuje, že zdánlivá poloha cíle, měřená senzorem D_2^3 je vyjádřena hodnotou M_2^3 , přičemž dochází k vychýlení podél úhlu azimutu od skutečného cíle ve vzdálenosti r . Senzor D^1 měří skutečný úhel azimutu. V této situaci je pravděpodobné, že systém sledování cíle situaci vyhodnotí tak, jako by se vyskytovaly cíle dva, a to v místě M_1^3 a M_2^3 . Poloha M_1^3 odpovídá měření senzorů D_1^3 a D^1 , zatímco zjištěná poloha M_2^3 je jinde. Z uvedených příkladů je zřejmé, že existuje potřeba vyrovnávací procedury.

Ukazuje se, že vyhodnocení odchylky nebo automatické vyrovnaní je velmi obtížným úkolem, který je navíc komplikovaným posunem v elektronických a/nebo mechanických systémech, což vyžaduje opakovanou kalibraci systémů. Existující způsoby mají různá vážná omezení. Dále jsou popsány určité přístupy, které odpovídají dosavadnímu stavu techniky.

První přístup se týká vyhodnocení a kompenzace odchylek v souřadnicích x , y , a z , a to samostatně pro každou jednotlivou dráhu. Patent DE 3,132,009 uvádí příklad takového přístupu. Nedostatkem je, že vyhodnocovací proces je inicializován pro každou sledovanou dráhu, což vyžaduje značné množství času k tomu, aby sledování cíle bylo dostatečně přesné.

Většina jiných způsobů je zaměřena na modelování každého senzoru pomocí sady parametrů systematické odchylky. V tomto dokumentu je výraz „parametry systematické odchylky“ používán pro parametry, z nichž každý představuje technické charakteristiky, jako například polohovou chybu, vyrovnaní chyby způsobené odchylkou od skutečného severního pólu (magnetická deklinace– azimutová chyba)), odchylku vzdálenosti atd. Jiným výrazem používaným v literatuře, který vyjadřuje stejná opatření, je výraz „záznamové chyby“. Většina způsobů dosavadního stavu techniky operuje s velmi omezenou sadou typů senzorů a s velmi omezenou sadou parametrů.

Druhý přístup automatického vyrovnaní používá shora uvedený princip, který se aplikuje použitím srovnávacích referenčních cílů, u nichž je známá přesná poloha. Porovnáním sad měřených poloh se sadou skutečných poloh lze uzpůsobit parametry systematických odchylek tak, že jsou minimalizovány. Existuje však řada nevýhod. Polohy srovnávacích cílů se musí měřit velmi přesně. Poloha srovnávacího cíle by měla být optimálně umístěna do oblasti, kde se vyskytují normální cíle, což může být někde za mořem a dokonce i nad mezinárodními nebo národními teritorii. Pevné srovnávací cíle se správně definovanou polohou jsou běžně omezeny na pozemní cíle nebo na cíle blízko země, což významně stěžuje provádění kalibrace výšky a měření odchylek. Kromě toho lze srovnávací cíle nepřátelskou činností snadno zničit, nebo jinak s nimi manipulovat.

Při absenci srovnávacích cílů, zahrnuje třetí přístup určení jednoho ze senzorů jako srovnávací referenční senzor, a dále vyrovnaní ostatních senzorů se srovnávacím. Jeden příklad takového systému v dokumentu SPIE – The Interacional Society for Optical Engineering, díl. 2235, 1994 v článku R. Helmicka a spol., pod názvem „One – step fixed-lag IMM smoothing for alignment of asynchronous sensors“ (Jednokrokové IMM srovnávání s pevným zpožděním určené pro vyrovnaní asynchronních senzorů), str. 507-518. Zde je uveden způsob kompenzace množství 3D senzorů. Každý senzor má svůj vlastní sledovač, přičemž filtrovaná data jsou dodávána ve společném čase. Jeden senzor je vybrán jako hlavní senzor a dráhy dalších senzorů jsou porovnávány s dráhou hlavního senzoru za účelem výpočtu korekčního faktoru. Tento způsob vyžaduje 3D senzory, jelikož každý senzor má svoji vlastní kompletní dráhu. Kromě toho, výběr hlavního senzoru rovněž přináší problémy v případě, že má sám relativně velké systematické chyby, nebo nepracuje-li při různých příležitostech příliš správně, což představuje problémy společné všem

systemům pracujícím v souladu s tímto přístupem. Konečně, tento konkrétní způsob pojednává pouze o vzdálenosti, nastavení do severního směru, odchylkám a výškových chybách senzorů.

U popsaného příkladu na obr. 1 je zřejmé, že ani senzor D_1^3 , ani senzor D_2^3 není vhodný k použití jako srovnávací senzor. Kromě toho senzor D^1 nemůže být použit jako srovnávací senzor, jelikož sám není schopný poskytnout kompletní dráhu cíle.

U dosavadního stavu techniky existují způsoby, které nepoužívají jeden senzor jako srovnávací senzor, a které rovněž nepoužívají srovnávací cíl. Tyto způsoby mohou být shrnuty do čtvrtého přístupu. Parametry systematické odchylky se vyhodnocují u všech zainteresovaných senzorů. V dokumentu Mezinárodní konference o radaru, Paříž 3–6 května 1994, H. Leung uvedl způsob kompenzace systematické odchylky dat ze dvou 2D radarů. Vypočítají se hodnoty vzdálenosti a chyb azimutové odchylky, které poskytují nejmenší druhou mocninu neshody měření pomocí radaru. Mírně upravené systémy rovnic se řeší singulárním rozkladem hodnot. Hovoří se pouze o jednom páru 2D radarů, přičemž se kompenzuje pouze vzdálenost a magnetická odchylka.

V práci Daniel W. McMichaela a N. Okello „Maximum Likelihood Registration of Dissimilar Sensors“ (Nejpravděpodobnější záznam dat u nestejnorodých senzorů) na str. 31–34 a uvedené na prvním australském sympoziu o fúzi dat, (ADFS–96), konaném v Adelaide 21–22. listopadu 1996, se pojednává o jiném způsobu automatického vyrovnání podle tohoto přístupu. Způsob zahrnuje proceduru maximalizace pravděpodobnosti funkce používající přístup maximální pravděpodobnosti. Procedura se realizuje opakovaně za účelem získání požadované přesnosti. Nevýhoda tohoto konkrétního způsobu spočívá v tom, že neposkytuje žádné vodítko ke způsobu použití měření prováděných v různém časovém okamžiku. Tento způsob je off-line způsobem, jelikož neřeší znaky šíření v jakémkoliv čase.

Obecně platí, že systémy podle čtvrtého přístupu, které nemají srovnávací senzory, mají snahu předkládat vyhodnocovací problémy ve špatném stavu, tak jak to bude následně popsáno, proto je nutné být při výběru parametrů odchylek opatrný.

U dosavadního stavu techniky se vyskytují techniky, které jsou podobné myšlence tohoto vynálezu, ale netýkají se ho přímo. V patentu US 5 208 418 se pojednává o relativním vyrovnání senzorů pro různé zbraně. Uvádí se způsob kompenzace nevyrovnanosti mezi párem senzorů a zbraní. Tento způsob se však netýká sledování pomocí většího počtu senzoru. Patenty US 5 072 389 a US 5 245 909 uvádí způsob kompenzace dynamických a rychle se měnících chyb použitím akcelometrů, které však nejsou předmětem zájmu tohoto vynálezu.

Podstata vynálezu

Uvedené nedostatky jsou vyřešeny způsobem odhadu systematické odchylky u systému sledování cíle podle vynálezu, který zahrnuje sběr hodnot drah cíle a odpovídajících měření ze systému sledování cíle, výpočet odhadů parametrů systematických odchylek založený na drahách cíle a odpovídajících měřeních, poskytnutí vypočtených odhadů parametrů odchylek systému sledování cíle, jehož podstatou je krok výpočtu, který zahrnuje generování chybové funkce, obsahující alespoň dva výrazy, kde první výraz je závislý alespoň na velikosti neshody mezi měřeními a modelem měření, kde model měření je modelem funkce neznámé polohy cíle a neznámých parametrů systematické odchylky, a kde druhý výraz je závislý na alespoň předem stanovených v hodnoceních apriorních statistických rozdělení chyb systematické odchylky a zmíněných neznámých parametrů systematické odchylky, přičemž součástí kroku výpočtu je minimalizace chybové funkce vzhledem k parametrům systematické odchylky stejně jako k poloze cíle.

Další podstatou předloženého vynálezu je to, že zmíněná chybová funkce je dána rovnicí:

$$V = \sum_{i,s} (y_{i,s} - h_s(x_{i,s}, b))^T R_{i,s}^{-1} (y_{i,s} - h_s(x_{i,s}, b)) + f(v, b)$$

kde

- 5 i značí zkoumání systematické odchylky, to znamená cíl a odpovídající soubor měření získaných odlišnými senzory,
- s označuje senzor poskytující zmíněná měření daného cíle,
- $x_{i,s}$ znamená umístění cíle v čase, který odpovídá danému měření,
- b je vektorem, který obsahuje všechny parametry systematické odchylky všech senzorů,
- 10 h_s je projekční funkci vyjadřující polohu cíle v použitém systému souřadnic s uplatněnými senzory, kde se berou v úvahu účinky parametrů systematické odchylky,
- f je závislou funkcí matice,
- $y_{i,s}$ je měření senzoru s řečeného cíle, kde $R_{i,s}^{-1}$ je inverzí měření kovarianční matice pro řečený cíl a řečené měření, a
- 15 v je inverzí kovarianční matice popisující předem stanovené rozložení chyb.

Další podstatou předloženého vynálezu je to, že zmíněná chybová funkce je dána rovnicí:

$$V = \sum_{i,s} \left\| y_{i,s} - h_s(x_i + r_i(t_{i,s} - t_i), b) \right\|^2 + f(v, b)$$

20 kde

- $t_{i,s}$ je čas odpovídající zmíněnému měření,
- t_i je čas blízký rozdílu $t_{i,s}$,
- x_i je poloha cíle v čase t_i ,
- 25 $r_i(\cdot)$ je funkcí u které je poloha cíle v čase $t_{i,s}$ dána rovnicí $x_i(t_{i,s}) = x_i + r_i(t_{i,s} - t_i)$.

Další podstatou předloženého vynálezu je to, že chybová funkce je dána rovnicí:

$$V = \sum_{i,s} \left\| y_{i,s} - h_s(x_i + r_i(t_{i,s} - t_i), b) \right\|^2 + (b - \hat{b})^T v (b - \hat{b})$$

- 30 kde $\hat{b}$ je aproximací vektoru systematických odchylek.

Další podstatou předloženého vynálezu je to, že zmíněná dráha cíle a odpovídající měření jsou derivovány využitím informací z alespoň dvou senzorů.

- 35 Další podstatou předloženého vynálezu je to, že zmíněný krok minimalizace zahrnuje krok linearizace relevantních množství, s ohledem na polohu cíle a parametry systematické odchylky.

- Další podstatou předloženého vynálezu je to, že krok linearizace je realizován pomocí sérií Taylorových rozšíření hodnoty $h_{i,s}$, a to s přihlédnutím k poloze cíle okolo nominální polohy $\hat{x}_i$, a rovněž s přihlédnutím k parametrům systematické odchylky okolo aproximačního vektoru systematické odchylky $\hat{b}$, a to podle
- 40

$$h_i(x_i + r_i(t_{i,s} - t_i), b) \approx \hat{y}_{i,s} + H_{i,s} \cdot (x_i - \hat{x}_i) + A_{i,s} \cdot (b - \hat{b})$$

s

$$\hat{y}_{i,s} = h_i(\hat{x}_i + \hat{r}_i(t_{i,s} - t_i), \hat{b}),$$

$$H_{i,s} = \left. \frac{\partial h_i(x_i, \hat{b})}{\partial x_i} \right|_{x_i = \hat{x}_i, t_i = t_{i,s}}$$

$$A_{i,s} = \left. \frac{\partial h_i(\hat{x}_i + \hat{r}_i(t_{i,s} - t_i), b)}{\partial b} \right|_{b = \hat{b}}$$

a $\hat{r}_i(\cdot)$ je aproximací $r_i(\cdot)$.

- 5 Další podstatou předloženého vynálezu je to, že nominální poloha $\hat{x}_i$ stejně jako funkce aproximace $\hat{r}_i$ se získá ze stavu dráhy cíle.

Další podstatou předloženého vynálezu je to, že zmíněný krok minimalizace zahrnuje krok linearizace zmíněných parametrů systematické odchylky okolo nuly.

10

Další podstatou předloženého vynálezu je to, že krok výpočtu zahrnuje vytváření matic U a m a jejich inicializaci k nule a krok, ve kterém se provádí nové zkoumání systematické odchylky s výpočtem rovnic

$$m = \sum_{i,s} (A_{i,s} - \bar{A}_{i,s})^T u_{i,s} (d_{i,s} - \bar{d}_{i,s})$$

a

$$U_i = \sum (A_{i,s} - \bar{A}_{i,s})^T u_{i,s} (A_{i,s} - \bar{A}_{i,s})$$

15

pro všechny senzory s , kde

$$d_{i,s} = y_{i,s} - \hat{y}_{i,s}$$

$$\bar{d}_{i,s} = H_{i,s} \left(\sum_u H_u^T u_u H_u \right)^{-1} \sum_u H_u^T u_u d_u$$

$$\bar{A}_{i,s} = H_{i,s} \left(\sum_u H_u^T u_u H_u \right)^{-1} \sum_u H_u^T u_u A_u,$$

20

a přičtením U_i k U a m_i k m .

Další podstatou předloženého vynálezu je to, že krok výpočtu dále zahrnuje krok řešení systému rovnic:

25

$$(U + v)(b - \hat{b}) = m$$

pro b .

Další podstatou předloženého vynálezu je to, že krok řešení rovnic se realizuje pouze tehdy, je-li požadován spouštěcím signálem.

5 Další podstatou předloženého vynálezu je to, že zmíněný spouštěcí signál je závislý na čase.

Další podstatou předloženého vynálezu je to, že spouštěcí signál je zabezpečován operátorem.

10 Další podstatou předloženého vynálezu je to, že spouštěcí signál je poskytován v závislosti na počtu zkoumání systematické odchylky.

Další podstatou předloženého vynálezu je to, že krok poskytující vypočtené odhady dále zahrnuje krok zajištění $(U + v)^{-1}$ jako kovariantní matice poskytující nejistoty $b(P_b)$.

15 Další podstatou předloženého vynálezu je to, že krok výpočtu dále zahrnuje krok zavedení časové závislosti potlačením starých dat ve zmíněném souboru drah cíle a odpovídajících měření.

Další podstatou předloženého vynálezu je to, že krok zavedení časové závislosti zahrnuje omezení počtu zkoumání systematické odchylky použitých při výpočtech.

20 Další podstatou předloženého vynálezu je to, že krok zavedení časové závislosti obsahuje, v jistých časových intervalech Δt , zahrnutí kovariantní matice Q v U a m šumu, podle

$$U: (I + UQ)^{-1} U$$

$$m: (I + UQ)^{-1} m$$

25 kde I je matice identity.

Další podstatou předloženého vynálezu je to, že matice Q je diagonální maticí s prvky

$$Q_{kk} = \frac{\Delta t}{\tau_k v_{kk}}$$

30 kde τ_k je časová konstanta ká-tého parametru systematické odchylky, a v_{kk} je definován jako

$$\delta_k = (v_{kk})^{-1/2}$$

35 kde δ_k je zmíněné apriorní rozdělování chyby k systematické odchylky pro výpočet posunu parametrů systematické odchylky.

40 Další podstatou předloženého vynálezu je to, že zmíněný krok výpočtu dále zahrnuje krok výběru užitečných drah cíle a měření k použití v kroku minimalizace.

45 Další podstatou předloženého vynálezu je to, že zmíněný krok výběru je založen alespoň na jednom z následujících kritérií, kterými jsou jednoznačné přiřazení hodnot měření dráze, dráha cíle je dána rovnoměrným pohybem, hodnoty měření jsou v rámci zkoumání dobře agregovány, dráhy cíle jsou stejnoměrně rozděleny nad oblastí detekce.

Další podstatou předloženého vynálezu je to, že alespoň jeden z parametrů systematické odchylky je vybrán ze seznamu:

časového posunu,
50 výšky,

- východní polohy,
- severní polohy,
- odchylky osy od východu,
- odchylky osy od severu,
- 5 severního vyrovnání,
- odchylky vzdálenosti
- přírůstku vzdálenosti,
- natočení antény,
- rozteče antény,
- 10 režimu C systematické odchylky v různých polohách.

Cílem tohoto vynálezu je poskytnout způsob sensorového vyrovnání, které není omezeno použitím pevných srovnávacích senzorů nebo srovnávacích cílů, a který je aplikovatelný pro všechny kombinace senzorů, to znamená pro pasivní i aktivní.

- 15 Dalším cílem tohoto vynálezu je poskytnout způsob sensorového vyrovnání, který je schopný vyhodnotit velký soubor parametrů systematických odchylek.

- 20 Dalším cílem tohoto vynálezu je poskytnout způsob sensorového vyrovnání, který poskytuje aktualizaci hodnot kdykoliv se to požaduje, a to pravidelně nebo příležitostně.

Jiným cílem tohoto vynálezu je poskytnout způsob sensorového vyrovnání, který umožňuje manipulaci s každým parametrem systematické odchylky s individuální časovou charakteristikou.

- 25 Proces podle tohoto vynálezu opakovaně generuje odhady sensorových systematických chyb tím, že minimalizuje funkci danou na jedné straně velikostí rozporu mezi hodnotami měření a hodnotami měřicího modelu, kde měřicí model je funkcí neznámého místa cíle a parametrů neznámých systematických odchylek, a na druhé straně mezi parametry systematických odchylek a jejich předem stanoveného statického rozdělení. U provedení tohoto vynálezu, kterému se dává přednost, je krok minimalizace prováděn linearizací funkce okolo přibližné polohy cíle, normálně získané ze sledovače a okolo nominálních, obvykle nulových chyb systematických odchylek, přičemž funkce je následně minimalizována s přihlédnutím k poloze cíle a k parametrům systematických odchylek. Kromě toho je možné modelovat časovou závislost parametrů zařazením
- 30 provozního šumu.

35

Přehled obrázků na výkresech

- 40 Provedení podle tohoto vynálezu jsou podrobně prezentována v následujícím popisu s přihlédnutím k výkresům, na kterých

- obr. 1 znázorňuje situaci sledování, při které není použito automatické vyrovnávání,
- obr. 2 znázorňuje blokové schéma zobrazující tok informací ve sledovacím systému, který zahrnuje funkci automatického vyrovnávání podle tohoto vynálezu,
- obr. 3 znázorňuje situaci sledování představující fyzickou výjimečnost,
- 45 obr. 4 znázorňuje tok informací u provedení funkce automatického vyrovnávání podle tohoto vynálezu,
- obr. 5 znázorňuje tok informací u alternativního a preferovaného provedení funkce automatického vyrovnávání, a to podle tohoto vynálezu,
- obr. 6 znázorňuje příklad situace sledování s použitím automatického vyrovnávání, podle
- 50 tohoto vynálezu, jednoho přítomného cíle v oblasti detekce,

obr. 7 znázorňuje příklad situace sledování s použitím automatického vyrovnávání, podle tohoto vynálezu, několika cílů přítomných v oblasti detekce.

5 Příklady provedení vynálezu

U obecného sledovacího systému je dráha cíle běžně generována v některých stadiích procesu sledování. Dráha cíle je stanovena pomocí jistého počtu parametrů, například polohy, rychlosti, zrychlení atd., které jsou výsledkem jistého druhu procesu filtrace. Určitá měření z jednotlivých
10 senzorů je možné ztotožnit s určitou dráhou cíle. Předpokládá se, že dráhy cílů odpovídají skutečným cílům.

Způsob podle tohoto vynálezu, který bude dále podrobně popsán, poskytuje proceduru automatického vyrovnání, která zahrnuje mnoho atraktivních vlastností. Na obr. 2 znázorněný systém sledování cíle zahrnuje provedení podle tohoto vynálezu. Sekce 10 sledování cíle provádí sledování konkrétního cíle, a kromě jiného generuje dráhy T cíle a měření M odpovídající těmto dráham T . Tato informace 11 je přenášena do sekce 12 automatického vyrovnávání, která generuje vyhodnocené hodnoty parametrů b systematických odchylek a rovněž jejich přiřazené kovariance P_b . Tato informace 13 je znovu přenesena zpět do sekce 10 sledování cíle. Ačkoliv se při sledování používají kompenzační měření systematických odchylek, odpovídající měření M , vstupující do procedury vyrovnávání, obsahuje nekompensované hodnoty. Kromě výměny informací 11 a 13 jsou procedury vyrovnávání prováděny odděleně od sekce 10 sledování cíle, což znamená, že proces podle vynálezu může být použit společně s jakýmkoliv systémem sledování, který poskytuje dráhy T cíle s příslušnými měřeními M . Vedle rozdělování ze sekce 10 sledování cíle, zahrnuje vstup do sekce 12 automatického vyrovnávání různé spouštěcí informace 14 a prioritní
25 systémová data 15, která budou později popsána podrobněji.

Způsob podle tohoto vynálezu je založen na porovnávání hodnot měření poloh se skutečnými polohami v prostoru měření. Prostor měření je dán souřadnicemi používanými daným senzorem, které se týkají vzdálenosti a azimutu pro 2D radar, výšky nad zemí pro data režimu C, zeměpisnou šířku, délku a výšku pro navigační data satelitu atd. Správné polohy jsou z důvodu porovnání přenášeny do prostoru měření. Samozřejmě, že správné polohy jsou obecně neznámými polohami, a podle procedury tohoto vynálezu jsou tyto polohy považovány za parametry, které se budou eliminovat v procesu minimalizace.
35

Různé parametry v chybovém modelu se považují za parametry systematické odchylky. Nejdůležitější parametry mají tendenci se stát trvalou odchylkou u vzdálenosti u aktivních senzorů, magnetické odchylky u chyby umístění senzoru (sever, východ), u chyby časování a přírůstků chyb vzdálenosti. Trvalá odchylka vzdálenosti a přírůstek chyb může vést k tomu, že jsou zjištěná data dále či blíže k správné poloze, přičemž chyby polohy mohou data posunout ve směru sever–jih nebo východ–západ. Chyby odchylky od severu, magnetické odchylky, posunou data azimutu, přičemž chyba v časování způsobí, že data, která se mají časově zpozdit nebo časově dohnat, to učiní v nesprávnou dobu. Existují rovněž různé chyby ve vychýlení osy nebo senzoru, což může být důležité pro senzory s malým šumem při měření, například vychýlení osy sever, východ,
45 odchýlení antény nebo její rozteč. Chyby vychýlení osy způsobí, že se hodnoty dat zdají být příliš vysoké nebo nízké, a to ve směru sever–jih a východ–západ. Chyby rozteče antény způsobí, že se hodnoty dat elevace zdají být vysoké nebo nízké, přičemž chyba odchýlení antény posune data, při vysokých elevacích, ve směru nebo proti směru pohybu ručiček hodin. Data režimu C poskytnou nesprávné výšky, jelikož závisí na standardním tlaku vzduchu. Výběr parametrů systematické odchylky může být samozřejmě jiný, například parametry systematické odchylky polohy senzoru se mohou vyjádřit v jiném souřadnicovém systému než je systém východ–sever.
50

Pro každý senzor s se zavádí vektor parametrů systematické odchylky b_s , jehož složky jsou parametry například trvalá odchylka vzdálenosti atd., které se mají vyhodnotit. Vektory patřící různým senzorům nemusí být stejného typu, mohou mít různou velikost a různé složky.
55

Vhodné je sloučit všechny vektory b_s do jednoho velkého vektoru systematických odchylek

$$b = \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \end{pmatrix} \quad (1)$$

5

Soubor měření jednoho cíle, pocházející z různých senzorů se nazývá zkoumání systematické odchylky a má index i . Měření by se měla uskutečnit v téměř stejném čase, časové rozdíly by měly být menší než je perioda měření senzoru. Umístění pravého cíle, jestliže senzor s obdržel měření patřící do zkoumání systematické odchylky i , je zapsáno jako $x_{i,s}$. Poloha je mapována směrem do prostoru měření senzoru pomocí projekční funkce $h_s(x_{i,s}, b)$. Tato funkce tak vyjadřuje polohu cíle v prostoru měření, jestliže jsou zahrnuty systematické chyby. Jestliže vektor systematické odchylky zahrnuje chybu časování, projekční funkce by měla rovněž zahrnovat hodnotu rychlosti cíle. Toto nebude následně zapsáno. Měření bude rovněž vystaveno náhodnému rozmístění, šumu měření $\epsilon_{i,s}$, takže konkrétní měřenou polohou $y_{i,s}$ lze vyjádřit jako:

15

$$y_{i,s} = h_s(x_{i,s}, b) + \epsilon_{i,s} \quad (2)$$

Zde $y_{i,s}$ a funkce h_s jsou známé veličiny, zatímco $x_{i,s}$, b a $\epsilon_{i,s}$ jsou neznámé veličiny. Měřená poloha je srovnávána s modelem výrazu (2), přičemž hodnota b (implicitně $x_{i,s}$) je nalezena minimalizační procedurou. U tohoto provedení je užitečné použít známé rozdíly v měření šumu:

20

$$R_{i,s} = E(\epsilon_{i,s} \epsilon_{i,s}^T) \quad (3)$$

kde E je očekávaným operátorem a u šumu se předpokládá nulový význam. Pro účely tohoto vynálezu je vhodné použít jeho inverzní funkci, informační matici $u_{i,s} = R_{i,s}^{-1}$. Výhodou je, že senzor poskytující například pouze azimut, může poskytovat nulovou informaci jiným složkám, přičemž stejný algoritmus se může použít pro radary 2D a 3D a pro pasivní senzory 1D a 2D.

25

Cílem optimalizace je nalézt hodnotu b (a $x_{i,s}$), která minimalizuje rozpor mezi měřením $y_{i,s}$ a projektovaným umístěním cíle. Kandidátem minimalizovaného výrazu s přihlédnutím k hodnotě b a $x_{i,s}$ je

30

$$V = \sum_{i,s} \|y_{i,s} - h_s(x_{i,s}, b)\|^2 \quad (4)$$

Norma je definována tak, že pro každý vektor q , $\|q\|^2 = q^T u q$, ačkoliv různé hodnoty $x_{i,s}$ patřící ke stejnému zkoumání systematické odchylky, nejsou nezávislými hodnotami. Mohou se vyjádřit jako:

$$x_{i,s} = x_i + r_i(t_{i,s} - t_i) \quad (5)$$

40

kde $t_{i,s}$ je doba měření, t_i je nominální doba v blízkosti $t_{i,s}$, přičemž x_i je pravá poloha v čase t_i , a $r_i(\cdot)$ je funkce, o které se předpokládá, že je známou funkcí. Tak na příklad při rovnoměrném pohybu lze rovnici (5) psát jako $x_{i,s} = x_i + x_i(t_{i,s} - t_i)$.

Výsledkem kombinace výrazů (4) a (5) je rovnice

45

$$V = \sum_i \left\| y_{iS} - h_s(x_i + r_i(t_{iS} - t_i), b) \right\|^2 \quad (6)$$

5 která bude takto minimalizována spíše s přihlédnutím k x_i než je x_{i-1} . Je zde však jeden vážný problém. Výsledky minimalizující procedury nebudou obecně jednoznačné, což se může později
 10 projevit ve formě singulárních matic a ve značné nestabilitě. Tato singularita je fyzikální singularitou, přičemž dekompozice singulární hodnoty problém řešit nepomůže. Pro ilustraci této potíže bude popsán krátký případ s odvoláním na obr. 3. Předpokládejme, že umístění radaru jsou
 15 v rámci parametrů systematických odchylek. Jestliže radar A umístí hodnotu měření M_A na rozdíl od radaru B M_B o jeden kilometr výhodněji, lze to vysvětlit tak, že je radar umístěn jeden kilometr východněji od své nominální polohy, zatímco radar B je umístěn správně. Interpretace může
 20 však být taková, že umístění radaru je správné a radar B je umístěn jeden kilometr západněji od své nominální polohy. Může to však být i tak, že radar A je umístěn 50 km východně a radar B 49 km východně atd. Všechny podobné kombinace by minimalizovaly kandidátní výraz (6). Je zřejmé, že kombinace kilometrů 50/49 je nesmyslný a je žádoucí aby to algoritmus bral v úvahu.
 25 Smysl zahrnutí takové informace do způsobu tohoto vynálezu je apriorní nutností. Uživatel má informaci o něčem co standardní algoritmus nebere v potaz, jmenovitě očekávané variace různých parametrů systematické odchylky. Zahrnutí apriorních nejistot je důležitou součástí tohoto vynálezu. Podle tohoto vynálezu má minimalizovaný výraz hodnotu:

$$V = \sum_i \left\| y_{iS} - h_s(x_i + r_i(t_{iS} - t_i), b) \right\|^2 + (b - \hat{b})^T v (b - \hat{b}) \quad (7)$$

20

kde v je matice, obvykle diagonální, jejíž složky jsou inverzemi druhých mocnin apriorních standardních odchylek odpovídajících parametrů. Zde b představuje apriorní hodnotu parametrů systematické odchylky. U většiny aplikací b může mít nulovou hodnotu. Všimněte si, že zařazením
 25 apriorních podmínek je možné minimalizovat výraz (7) dokonce i vynecháním měření.

Pro ilustraci dosaženého zlepšení ve stabilitě se znovu vracíme k příkladu znázorněnému na obr. 3. Algoritmus podle tohoto vynálezu umístí radar A 0,5 km směrem na východ a radar B 0,5 km směrem na západ za předpokladu, že apriorní informace poskytne stejné nejistoty oběma radaram.
 30 Právě hodnoty samozřejmě nelze získat bez dalších dat, ale to je rozumné řešení, které omezuje relativní systematické odchylky. Vliv uvedení apriorních nejistot parametrů systematických odchylek je nyní zřejmý. Apriorní nejistoty zavádí do systému „měkké mezní podmínky“. Tímto způsobem jsou jinak očekávané singularity vynechány, a to současně s možností volné změny všech důležitých parametrů.

35

Jedním ze způsobů nalezení minimální hodnoty výrazu (7) je aplikace některých numerických metod, například techniky Levenberg-Marquardt, viz William H Press „Numerical Recipes in Pascal“ (Numerická řešení v Pascalu, Cambridge University Press 1989, str. 574–580). U aplikací
 40 v reálném čase se dává přednost použití neiterativních metod založených na linearizaci h_s . U provedení, kterému se dává přednost je chybová funkce rozšířena o nominální polohu cíle $\hat{x}_i$ a o apriorní vektor systematické chyby $\hat{b}$. Účinnost algoritmu bude záležet na hodnotě expanze dle Taylora okolo těchto hodnot.

Tento vynález pracuje ve spojení se sledovacím systémem. Sledovací zařízení je vhodné
 45 k poskytování nominální polohy k provedení Taylorovi expanze. Uvažovat se může i o jiných prostředcích, například o výpočtu hodnoty přímo z naměřených hodnot zprůměrováním nebo triangulací. Jediným požadavkem je, aby hodnota $\hat{x}_i$ byla blízko pravé poloze cíle x_i , tak aby expanze byla platná. Jestliže se měření časově nekryjí, požaduje se provést aproximace $\hat{r}_i$ funkce r_i . Lze to získat ze stavu dráhy při použití rychlosti

$(\hat{r}_i \ (\Delta t = \hat{x}_i \cdot \Delta t))$ nebo řádově vyšší výrazy.

První řádová expanze h_s probíhá takto:

$$h_s(x_i + r_i(t_{i,s} - t_i), b) \approx \hat{y}_{i,s} + H_{i,s} \cdot (x_i - \hat{x}_i) + A_{i,s} \Delta b \quad (8)$$

kde

$$\hat{y}_{i,s} = h_s(\hat{x}_i + \hat{r}_i(t_{i,s} - t_i), \hat{b}), \quad (9)$$

to znamená nominální poloha projektovaná do měřeného prostoru.

$$H_{i,s} = \left. \frac{\partial h_s(x_i, b)}{\partial x_i} \right|_{x_i = \hat{x}_i + r_i(t_i - t_{i,s})} \quad (10)$$

kde Jacobiánské hodnoty poskytují standardní projekční matici:

$$A_{i,s} = \left. \frac{\partial h_s(\hat{x}_i + \hat{r}_i(t_{i,s} - t_i), b)}{\partial b} \right|_{b = \hat{b}} \quad (11)$$

která se nazývá „projekční matice“ a

$$\Delta b = b - \hat{b} \quad (12)$$

Nyní je možné zapsat minimalizovaný výraz takto:

$$V = \sum_{i,s} \|K_{i,s} - H_{i,s} x_i\|^2 + \Delta b^T v \Delta b \quad (13)$$

kde

$$K_{i,s} = d_{i,s} + H_{i,s} \hat{x}_i - A_{i,s} \Delta b \quad (14)$$

a

$$d_{i,s} = y_{i,s} - \hat{y}_{i,s} \quad (15)$$

Nyní minimalizace výrazu (13) vzhledem ke všem x_i , tzn. řešením

$$\Delta x_i, V = 0 \quad (16)$$

dává

$$H_{i,s} x_i = \bar{K}_{i,s} \quad (17)$$

kde označení jakéhokoliv vektoru q horním příčnícem je definováno jako

$$\bar{q}_{i,s} = H_{i,s} \left(\sum_i H_{i,i}^T u_{i,i} H_{i,i} \right)^{-1} \sum_i H_{i,i}^T u_{i,i} q_{i,i} \quad (18)$$

- 5 Může se vyskytnout situace, kdy je geometrie taková, že inverzi ve výrazu (18) nelze vypočítat. Takové případy by se měly následně ze součtu vyloučit. Vložením výrazu (17) do výrazu (13) výraz chybové funkce vypadá takto:

$$V = \sum_{i,s} \|K_{i,s} - \bar{K}_{i,s}\|^2 + \Delta b^T v \Delta b \quad (19)$$

10

a musí se minimalizovat vzhledem k Δb . Explicitní vyjádření (19) vypadá takto:

$$V = \sum_{i,s} \|d_{i,s} - \bar{d}_{i,s} + H_{i,s} \hat{x}_i - \overline{H_{i,s} \hat{x}_i} - A_{i,s} \Delta b + \overline{A_{i,s} \Delta b}\|^2 + \Delta b^T v \Delta b \quad (20)$$

- 15 Nyní po ověření $\overline{H_{i,s} \hat{x}_i} = H_{i,s} \hat{x}_i$, vše co zůstává je:

$$V = \sum_{i,s} \|d_{i,s} - \bar{d}_{i,s} - (A_{i,s} - \bar{A}_{i,s}) \Delta b\|^2 + \Delta b^T v \Delta b \quad (21)$$

Minimalizací výrazu vzhledem k Δb nakonec dostáváme Δb jako řešení

20

$$(U + v) \Delta b = m \quad (22)$$

kde

$$U = \sum_{i,s} (A_{i,s} - \bar{A}_{i,s})^T u_{i,s} (A_{i,s} - \bar{A}_{i,s}) \quad (23)$$

a

$$m = \sum_{i,s} (A_{i,s} - \bar{A}_{i,s})^T u_{i,s} (d_{i,s} - \bar{d}_{i,s}) \quad (24)$$

25

- a nakonec $b = \hat{b} + \Delta b$. Struktura výrazů (23) a (24) ulehčuje zpracování v režimu on-line: jestliže je k dispozici zkoumání systematické odchylky i , přidávají se k matici odpovídající data na levou stranu a do seskupení na pravé straně výrazu (22). Systém rovnic lze nyní řešit pro Δb , pokud je to nutné, jelikož všechny požadované informace jsou již aktualizované. Jelikož se předpokládá, že b se mění pomalu, nebývá obvykle nutné hledat řešení při každém pozorování systematické odchylky i . Lze se rozhodnout pro řešení rovnic v pravidelných časových intervalech, nebo je provést pomocí vnějšího spouštěče. Tím není nutné řešit zmíněné rovnice pravidelně. Operátor může zasahovat mechanismem automatického spouštěcího zařízení a požadovat další aktualizace parametrů systematické odchylky. Řešení je dále zasláno do sledovacího systému, přičemž lze pokračovat v aktualizaci levé a pravé strany výrazu (22).
- 30
- 35

Tak jako inverze v je apriorní maticí s očekávanými hodnotami, přiřazené kovariance P_b očekávaných parametrů systematických odchylek jsou dány výrazem $(U + v)^{-1}$, přičemž tato množství

sledovací systém snadno zvládne. Pro většinu praktických účelů je dostačující brát diagonální prvky výrazu $(U + v)^{-1}$ jako druhou mocninu nejistot odpovídajícího parametru.

Průběh výpočtu je znázorněn na obr. 4. Proces začíná v kroku 100 přidělením matice. Je-li celkový počet parametrů systematických odchylek n_1 , přiděluje se $n \times n$ matic pro U a $n \times 1$ matic pro m . V kroku 100 jsou matice rovněž vyplněny nulami.

Jakmile dráha a její naměřené hodnoty vstoupí do vyhodnocovače odchylek, navržená matice $A_{1,s}$, projekční matice $\Pi_{1,s}$ a jiné hodnoty požadované výrazem (23) a (24) jsou vypočítány v kroku 104. Tyto se přidají k U a m . Opakuje se to pro každý odpovídající senzor. Matice U a m jsou tím progresivně zaplněny stále větším počtem dat.

Jestliže přijde spouštěcí signál 106, a to buď manuálně nebo automaticky, indikující potřebu aktualizovaného vektoru systematických chyb v kroku 108, potom systém rovnic $(U + v)\Delta b = m$ je řešením pro Δb v kroku 110. Pokud se to požaduje, rovněž inverze $U + v$ je vypočítána tak, aby poskytla rozdíly týkající se b . V kroku 112, jsou hodnoty b a jejich nejistoty dodávány do sledovacího systému.

V kroku 120 se očekává příští zkoumání systematické odchylky a pokud se tak stane, proces se vrací ke kroku 104 k novému opakování.

Je nutné poznamenat, a to ve spojení s otázkou výběru nominální pravé polohy x , že se v některých případech může stát, že polohy pravých cílů jsou skutečně známé. Může se tak stát v případě, že jsou k dispozici kalibrační místa, nebo jsou-li navigační data satelitu tak přesná, že mohou být považována za pravdivá. V tomto případě lze za pravé polohy považovat x_i , důsledkem je, že se nemusí minimalizovat, pokud jde o x_i , a následné výpočty jsou dostatečně zjednodušeny.

Takto popsaná procedura je omezena tím, že lze manipulovat pouze s kompletními statickými parametry systematické odchylky. Systém zakládá své odhady na kompletní historii dat, což znamená, že předchozí nedávné změny budou mít na odhady pouze malý dopad. Jedním ze způsobů manipulace s nestabilními (driftovými) parametry systematické odchylky by mohlo být opětovné nastartování procesu v krátkých intervalech, například hodině. Nevýhodou tohoto způsobu je to, že některé senzory neposkytují data bez přerušení, a proto některé odhady mohou být zapomenuty. Kromě toho by pro rychle se měnící parametry měly být dávky co nejkratší, zatímco by měly být dlouhé, aby se získaly spolehlivé odhady tam, kde je k dispozici málo dat. Jsou to protichůdné požadavky.

Provedení tohoto vynálezu, kterému se dává přednost, zahrnuje proces, který postupně potlačuje stará data. Provedení, kterému se dává přednost, zahrnuje „provozní šum“ k modelování časové závislosti parametrů. Výsledkem je, že systém postupně zapomíná minulá data. Časovou konstantu lze individuálně volit pro každý parametr. Některé parametry se budou pravděpodobně měnit pomalu, například umístění pevného senzoru, některé parametry se budou měnit rychle, například časová zpoždění způsobená vlivem zahlcení datové komunikace. U pravidelných časových intervalů jsou pravé a levé strany výrazu (22) modifikovány tak, aby zahrnovaly provozní šum. Potom je důležité zařadit v pouze před řešením výrazu (22), jinak se apriorní data budou ztrácet.

Zařazení provozního šumu u provedení, kterému se dává přednost, vede k přičtení kovariantní matice hluku Q ke kovariantní matici U^{-1} . Výsledná hodnota U je vyjádřena jako

$$\tilde{U} = (U^{-1} + Q)^{-1} = [U^{-1}(I + UQ)]^{-1} = (I + UQ)^{-1}U \quad (25)$$

kde vlnovka označuje množství po přičtení šumu.

Řešení $Ub = m$ by se při přičtení šumu nemělo měnit, takže pravá strana se musí vynásobit stejnou hodnotou jako U :

$$\tilde{m} = (I + UQ)^{-1} m \quad (26)$$

Obecně není hodnota U invertibilní. Ačkoliv motivace výrazů (25) a (26) požaduje invertibilitu, konečné výsledky ji nepožadují, což je předpokladem pro to, že jsou platné ve všech případech. Otázka je definovat Q stále zůstává. Nejsnazší cestou řešení je definovat časovou konstantu τ pro každý parametr systematické odchylky. Jestliže má apriorní nejistota pro tento parametr hodnotu

$$\hat{\sigma}_i = (v_{ii})^{-1/2} \quad (27)$$

potom předpoklad, že přidaná změna během časového intervalu Δt je

$$Q_{ii} = \frac{\Delta t}{\tau_i} \frac{1}{v_{ii}}, \quad (28)$$

což znamená že změna roste lineárně s časem.

Jelikož zařazení provozního šumu způsobuje inverzi velké matice, nemělo by se toto zařazení provádět častěji než je to nutné. Řád velikosti časového intervalu pro výpočet provozního šumu by měl být stejný jako konstanta nejkratšího času zařazených parametrů systematických odchylek. Spouštěcím mechanismem pro zavedení provozního šumu může být automatický nebo ruční mechanismus, ale i jejich kombinace, přednostně pravidelným mechanismem.

Při praktické realizaci tohoto vynálezu by se obecně neměly využívat všechny přicházející hodnoty měření. U provedení, kterému se dává přednost, by se měly přicházející hodnoty měření měly tříditi pomocí sady filtrů. Filtrace u provedení, kterému se dává přednost, se týká následujících problémů.

Je třeba se ujistit, že měření jsou správně ztotožněna s dráhami. Pokud se vyskytne případ nejasného ztotožnění, zjištěného algoritmem ztotožnění ve sledovacím zařízení, hodnoty měření by se neměly brát v úvahu. Sledovací zařízení často poskytuje informace o kvalitě ztotožnění, takže porovnání hodnoty měření s prahovou hodnotou je v tomto případě dostačující.

Kromě toho, dráha by se měla nacházet ve stavu spolehlivého sledování a rozumného jednotného pohybu. Tento požadavek je stanoven za účelem ujistění se, že daná nominální poloha a rychlost se blíží k pravým hodnotám.

Je nutné se ujistit, že žádné hodnoty měření se nepoužijí dvakrát, to znamená ve dvou různých sadách i . Kromě toho by se neměla brát v úvahu příliš stará data. Měření zahrnuté v sadě i by se měla konat v dostatečně blízkém časovém odstupu. Tím se zajistí, že procedura poskytující sadu v obvyklém nominálním čase, popsaném již dříve, je platná.

Ve skutečnosti se může stát, že se v jedné oblasti vyskytnou nadbytečná měření, například okolo letiště, zatímco v jiných oblastech je měření příliš málo. V tomto případě algoritmus má snahu optimalizovat výsledky odhadů systematických odchylek v sadě měření, a to spíše než nad zcela pokrytou oblastí. Mohlo by být žádoucí, aby systém poskytoval dobré odhady týkající se toho, zda je provoz hustý nebo malý. Je-li tomu tak, značná důležitost se věnuje měření v oblasti s malým provozem, například v tom, že se nepoužijí příchozí data z oblasti hustého provozu.

Jako konečné ujištění se, že ztotožněná měření patří stejnému cíli, jistá část asi 10 % zkoumání systematických odchylek by neměla být brána v úvahu, a to na základě velikosti, to například množství $d_{i,n}^2 = \|d_{i,n} - \bar{d}_{i,n} - (\bar{A}_{i,n} - \bar{A}_{i,n})[h - \hat{h}]\|^2$ v rovnici (21), u které nyní hodnota h platí spíše pro současnou hodnotu vektoru systematické chyby, než pro hodnotu neznámé.

Po realizaci filtračního procesu, podle již uvedených návrhů, zbývající filtrovaná sada měření a drah se chová dobře, což na druhé straně zajišťuje, že použité aproximace jsou platné.

U provedení, kterému se dává přednost, uvedené kroky zavedení časové závislosti a filtrování hodnot měření jsou zahrnuty do vyrovnávacího procesu. Obr. 5 v takovém případě znázorňuje tok informací. Tento tok informací je velmi podobný toku na obr. 4, a proto budou popsány pouze rozdíly mezi oběma toky informací.

Pokud má sekce automatického vyrovnání k dispozici hodnoty měření, proces vstoupí do kroku 102. V tomto kroku probíhá zmíněné filtrování hodnot měření, přičemž dodané informace do matic v kroku 104 jsou filtrované a dobře se chovající informace.

Když zmíněný proces prošel bodem, ve kterém se požaduje odhad systematické odchylky, to znamená kroky 108 – 112, může do procesu vstoupit hodnota časové závislosti. Jelikož výpočty zabírají jistý čas, nemusí se tato část provádět vždy, když se proces dostane do zmíněného bodu. V kroku 116 proces určí, zda byl vznesen požadavek pro zařazení časové závislosti do hodnot měřených dat. Je to určeno spouštěcím signálem 114, který se dodává automaticky nebo ručně. V tomto případě proces vstupuje do kroku 118, který potlačuje starší data podle již popsaných rutin. Konkrétněji, hodnoty U a m jsou znovu vypočítány použitím výrazů (25) a (26). Tok dále pokračuje do kroku 120.

Příklad

Jednoduchý příklad podle obr. 6 objasní algoritmus a zobrazí některé vlastnosti vynálezu. Uvažuje se o situaci, při které jsou tři pasivní senzory umístěné na plochém území popsaném karteziánským systémem souřadnic ξ, η . Každý senzor měří směr θ k cíli. Tak jak je to obvyklé, θ se měří od osy η ve směru pohybu hodinových ručiček. U každého senzoru s se uvažuje o třech parametrech systematické odchylky: chyby polohy senzoru $h_{s\xi}$ a $h_{s\eta}$, a chyba azimutu, magnetická odchylka $h_{s\theta}$. Všechny parametry systematické odchylky jsou součástí vektoru systematických odchylek:

$$h = (h_{1\xi} \ h_{1\eta} \ h_{1\theta} \ h_{2\xi} \ h_{2\eta} \ h_{2\theta} \ h_{3\xi} \ h_{3\eta} \ h_{3\theta})^T$$

Nominální spodní index snímač s je označen jako $x_{s0} = (\xi_{s0}, \eta_{s0})$. Transformace $h_s(x, h)$, která přivádí polohy cíle $x = (\xi, \eta)$ dolů do prostoru měření senzoru s má hodnotu

$$h_s(x, h) = \arctan\left(\frac{\xi - (\xi_{s0} + h_{s\xi})}{\eta - (\eta_{s0} + h_{s\eta})}\right) - h_{s\theta} \quad (27)$$

kde se rozumí, že výraz $\pm\pi$ lze vložit, aby se hodnota θ dostala do pravého kvadrantu.

Předpokládají se následující podmínky. Nominální polohy senzorů jsou tyto:

$x_{10} = (-10, 5)$, $x_{20} = (20, 0)$, $x_{30} = (0, -10)$ kilometrů. Šum měření dosahuje hodnoty 0,005 radiánů pro všechny senzory, což znamená, že informační matice měření u_{is} mají hodnotu $4 \cdot 10^4 \text{ rad}^2$.

Apriorní nejistoty systematických odchylek mají pro všechny polohy hodnotu 0,1 km a hodnotu

0,02 radiánů pro všechny azimutové odchylky, takže apriorní informační matice má hodnotu $v = \text{diag}(100 \ 100 \ 2500, \ 100 \ 100 \ 2500 \ 100 \ 100 \ 2500)$. Skutečné chyby systematických odchylek mají všechny nulovou hodnotu kromě azimutové chyby senzoru 1, b_3 , která má hodnotu 0,02 rad. (Je to poněkud přehnaně znázorněno na obr. 6). Pro zjednodušení jsou všechna měření, týkající se stejné události prováděna ve stejném čase, přičemž vektor systematických odchylek, který se zvětšuje, se rovná nule.

První zkoumání má původ v cíli, který se nachází v poloze $x_1 = (30, 20)$. Pro zjednodušení zápisu bude index zkoumání $i = 1$ vynechán. Hodnoty měření jsou dány rovnicí (27) a jsou aplikované na pravou polohu a na pravý vektor systematické odchylky a následně zkreslené šumem při měření. U tohoto příkladu se šum měření nezahrnul. Výsledky se tímto způsobem budou snadněji interpretovat a přidáním dlouhé sekvence měření se vliv šumu tak jako tak vytratí. Obdržené hodnoty měření lze vypočítat jako $y_1 = 1,192$, $y_2 = 0,464$, $y_3 = 0,785$ radiánů. Systému není známa pravá poloha, ale předpokládá se, že je k dispozici nominální poloha:

$$\hat{x} = (30,1, 19,8) \text{ km.}$$

Projekční matice se vypočítá derivací rovnice (27) u nominální polohy cíle, a to za předpokladu nulového vektoru systematických odchylek

$$H_1 = (0,008 \ -0,022)$$

$$H_2 = (0,04 \ -0,02)$$

$$H_3 = (0,017 \ -0,017)$$

Podobně se vypočítávají derivací (27) projektové matice, a to s ohledem na parametry systematických odchylek:

$$A_1 = (-0,008 \ 0,022 \ -1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0)$$

$$A_2 = (0 \ 0 \ 0 \ -0,04 \ 0,02 \ -1 \ 0 \ 0 \ 0)$$

$$A_3 = (0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ -0,017 \ 0,017 \ -1)$$

Rovněž nominální polohy v prostoru měření se vypočítají pomocí rovnice (27) aplikované na nominální polohu cíle v prostoru cíle x a s nulovým vektorem systematických odchylek:

$$\hat{y}_1 = 1,217$$

$$\hat{y}_2 = 0,472$$

$$\hat{y}_3 = 0,79$$

Rozdíly mezi skutečnými a nominálními hodnotami:

$$d_1 = -0,025$$

$$d_2 = -0,008$$

$$d_3 = -0,005$$

Další vyžaduje (viz.(18))

$$\left(\sum H_i^T u H_i \right)^{-1} = \begin{pmatrix} 0,044 & 0,047 \\ 0,047 & 0,072 \end{pmatrix}$$

Přitom lze vypočítat verze d_s a A_s s příčnickem:

$$\bar{d}_1 = -0,022$$

$$\bar{d}_2 = -0,006$$

$$\bar{d}_3 = -0,012$$

$$\bar{A}_1 = (-0,007 \ 0,018 \ -0,835 \ 0,005 \ -0,002 \ 0,113 \ -0,006 \ 0,006 \ -0,353)$$

$$\bar{A}_2 = (0,0009 \ -0,002 \ 0,113 \ -0,037 \ 0,019 \ -0,922 \ -0,004 \ 0,004 \ -0,243)$$

$$\bar{A}_3 = (-0,003 \ 0,008 \ -0,353 \ -0,01 \ 0,005 \ -0,243 \ -0,004 \ 0,004 \ -0,242)$$

Tím se získalo vše potřebné pro výpočet U z (23) a m z (24). Rovnici (22) lze nyní řešit s výsledkem:

$$b = (0,0006 \ -0,002 \ 0,003 \ 0,002 \ -0,001 \ 0,002 \ -0,003 \ 0,003 \ -0,007)^T$$

Parametry polohy mají malou hodnotu, takovou, jakou mají mít, ale složky azimutu (b_3 , b_6 a b_9) se mohou na první pohled jevit jako chybné. Ale podle obr. 6, otáčení snímacího impulzu ze senzoru 1 a 2 ve směru pohybu hodinových ručiček a otáčením snímacího impulzu z třetího senzoru proti směru pohybu hodinových ručiček, může vskutku kompenzovat chyby systematických odchylek, které jsou v této situaci vidět. Tento jediný soubor naměřených hodnot nemůže výlučně určit parametry, což rovněž vyplývá ze skutečnosti, že zde existuje devět neznámých parametrů a pouze tři naměřená množství hodnot. Algoritmus hledá hodnoty parametrů které způsobí, že snímací impulzy budou vyhovovat nejlevnějšímu způsobu za podmínek konzistence s apriorními daty.

Pro získání lepších odhadů je nutné získat více dat. Obr. 7 znázorňuje další dvě zkoumání systematických odchylek, přičemž se nyní jeví mnohem jasněji, že jsou to snímací impulzy ze senzoru 1, které potřebují korekci. Polohy pravého cíle mají hodnoty $x_2 = (20; -50)$ a $x_3 = (-25; -5)$ km, hodnoty nominální polohy $\hat{x}_2 = (20,2; -50,1)$ a $\hat{x}_3 = (-24,9; -5,2)$. Toto jsou potřebná data pro již uvedené výpočty. Po přidání dalších údajů do U a m a společným řešením s, v, dostaneme výsledek:

$$b = (-0,008 \ -0,001 \ 0,015 \ -0,004 \ 0,001 \ -0,002 \ 0,012 \ -0,0004 \ -0,004)^T$$

což jasně vyčleňuje b_3 s hodnotou 15 mrad (pravá hodnota 20 mrad). Přidáváním stále většího a většího množství dat lze dosáhnout zlepšení odhadů.

Nejistoty lze najít inverzí $U + v$ a druhou odmocninou diagonálních prvků. Těmito nejistotami jsou:

$$\delta b = (0,099 \ 0,100 \ 0,010 \ 0,099 \ 0,099 \ 0,008 \ 0,097 \ 0,099 \ 0,010)^T$$

Tím měření udělala velmi málo k zlepšení odhadů polohy mimo apriorních dat, zatímco nejistoty azimutových odchylek byly sníženy faktorem 2. Tak například hodnota h_3 byla zúžena v rozmezí od 0 ± 20 mrad do 15 ± 10 mrad.

- 5 Tento vynález poskytuje způsob, který zahrnuje několik atraktivních vlastností. Ovládá několik senzorů s různými charakteristikami. Pracuje dokonce i tehdy, jestliže jsou senzory pasivního typu. Způsob používá příležitostné cíle pro odhad a proto není nutné používat speciální kalibrační cíle. Kromě toho způsob nevyžaduje, aby kterýkoliv ze senzorů byl používán jako referenční (srovnávací) senzor. Tento vynález poskytuje aktualizované odhady tak, jak je systém sledování
10 požaduje. Odhady jsou zlepšovány tím, že do systému vstupuje více měřených hodnot. Navíc způsob umožňuje definovat časovou konstantu pro každý parametr systematické odchylky, ovládá historii měření, a to tak, že některé parametry považuje téměř za stacionární, zatímco se jiné mohou měnit velmi rychle. Samotné hodnoty měření nemohou nakonec vždy obsahovat dosti informací pro jednoznačné odhady systematických odchylek, což se často odráží v singularitách a
15 numerické nestabilitě u tradičních způsobů. Vynález využívá apriorní data, která tento problém odstraňují.

Ačkoliv provedení tohoto vynálezu, kterému se dává přednost, bylo popsáno podrobně, neměl by se rozsah vynálezu omezovat pouze na toto provedení, ale měl by být omezen význakovou částí
20 následujících nároků.

25 PATENTOVÉ NÁROKY

1. Způsob odhadu systematické odchylky u systému sledování cíle zahrnuje kroky:
sběr hodnot drah (T) cíle a odpovídajících měření (M) ze zmíněného systému sledování cíle,
30 výpočet odhadů parametrů (b) systematických odchylek založený na drahách (T) cíle a odpovídajících měřeních (M);
poskytnutí vypočtených odhadů parametrů (b) odchylek systému sledování cíle,
vyznačující se tím, že krok výpočtu zahrnuje kroky:
generování chybové funkce, která zahrnuje alespoň dva výrazy, kde první výraz je závislý ales-
35 poň na velikosti neshody mezi měřeními a modelem měření, kde model měření je modelem funkce neznámé polohy cíle a neznámých parametrů systematické odchylky, a kde druhý výraz je závislý na alespoň předem stanovených vyhodnoceních apriorních statistických rozdělení chyb systematické odchylky a zmíněných neznámých parametrů systematické odchylky; a
minimalizace chybové funkce vzhledem k parametrům systematické odchylky stejně jako k polo-
40 ze cíle.
2. Způsob odhadu systematické odchylky podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že zmíněná chybová funkce je dána rovnicí:

$$V = \sum_{i,s} (\mathbf{y}_{is} - \mathbf{h}_s(\mathbf{x}_i, \mathbf{b}))^T \mathbf{R}_s^{-1} (\mathbf{y}_{is} - \mathbf{h}_s(\mathbf{x}_i, \mathbf{b})) + f(\mathbf{v}, \mathbf{b})$$

45

kde

- i značí zkoumání systematické odchylky, to znamená cíl a odpovídající soubor měření (M)
50 získaných odlišnými senzory,
 s označuje senzor poskytující zmíněná měření (M) daného cíle,

- $x_{i,s}$ znamená umístění cíle v čase, který odpovídá danému měření (M),
 b je vektorem, který obsahuje všechny parametry systematické odchylky všech senzorů,
 h_s je projekční funkci vyjadřující polohu cíle v použitém systému souřadnic s uplatněnými senzory, kde se berou v úvahu účinky parametrů (b) systematické odchylky,
 f je závislou funkcí matice,
 $y_{i,s}$ je měření senzoru s řečeného cíle, kde $R_{i,s}^{-1}$ je inverzí měření kovarianční matice pro řečený cíl a řečené měření, a
 v je inverzí kovarianční matice popisující předem stanovené rozložení chyb.
3. Způsob odhadu systematické odchylky podle nároku 2, **v y z n a č u j í c í s e t í m**, že zmíněná chybová funkce je dána rovnicí:

$$V = \sum_{i,s} \left\| y_{i,s} - h_s(x_i + r_i(t_{i,s} - t_i), b) \right\|^2 + f(v, b)$$

- kde
 $t_{i,s}$ je čas odpovídající zmíněnému měření,
 t_i je čas blízký rozdílu $t_{i,s}$,
 x_i je poloha cíle v čase t_i ,
 $r_i(\cdot)$ je funkci u které je poloha cíle v čase $t_{i,s}$ dána rovnicí $x_i(t_{i,s}) = x_i + r_i(t_{i,s} - t_i)$.
4. Způsob odhadu systematické odchylky podle nároku 3, **v y z n a č u j í c í s e t í m**, že chybová funkce je dána rovnicí:

$$V = \sum_{i,s} \left\| y_{i,s} - h_s(x_i + r_i(t_{i,s} - t_i), b) \right\|^2 + (b - \hat{b})^T v (b - \hat{b})$$

- kde $\hat{b}$ je aproximací vektoru systematických odchylek.
5. Způsob odhadu systematické odchylky podle kteréhokoliv z předchozích nároků, **v y z n a č u j í c í s e t í m**, že zmíněná dráha (T) cíle a odpovídající měření (M) jsou derivována využitím informací z alespoň dvou senzorů.
6. Způsob odhadu systematické odchylky podle kteréhokoliv z předchozích nároků, **v y z n a č u j í c í s e t í m**, že zmíněný krok minimalizace zahrnuje krok linearizace relevantních množství, s ohledem na polohu cíle a parametry (b) systematické odchylky.
7. Způsob odhadu systematické odchylky podle nároku 6, **v y z n a č u j í c í s e t í m**, že krok linearizace je realizován pomocí sérií Taylorových rozšíření hodnoty $h_{i,s}$, a to s přihlédnutím k poloze cíle okolo nominální polohy $\hat{x}_i$, a rovněž s přihlédnutím k parametrům systematické odchylky okolo aproximačního vektoru systematické odchylky $\hat{b}$, a to podle

$$h_i(x_i + r_i(t_{i,s} - t_i), b) \approx \hat{y}_{i,s} + H_{i,s} \cdot (x_i - \hat{x}_i) + A_{i,s} \cdot (b - \hat{b})$$

s

$$\hat{y}_{i,s} = h_i(\hat{x}_i + \hat{r}_i(t_{i,s} - t_i), \hat{b}),$$

$$H_{i,s} = \left. \frac{\partial h_i(x_i, \hat{b})}{\partial x_i} \right|_{x_i = \hat{x}_i + \hat{r}_i(t_{i,s} - t_i)}$$

$$A_{i,s} = \left. \frac{\partial h_i(\hat{x}_i + \hat{r}_i(t_{i,s} - t_i), b)}{\partial b} \right|_{b = \hat{b}}$$

a $\hat{r}_i(\cdot)$ je aproximací $r_i(\cdot)$.

8. Způsob odhadu systematické odchylky podle nároku 7, **vyznačující se tím**, že nominální poloha $\hat{x}_i$ stejně jako funkce aproximace $\hat{r}_i$ se získá ze stavu dráhy (T) cíle.

9. Způsob odhadu systematické odchylky podle kteréhokoliv nároku 6, 7 nebo 8, **vyznačující se tím**, že zmíněný krok minimalizace zahrnuje krok linearizace zmíněných parametrů systematické odchylky okolo nuly.

10

10. Způsob odhadu systematické odchylky podle kteréhokoliv nároku 7, 8 nebo 9, **vyznačující se tím**, že krok výpočtu zahrnuje kroky:

vytváření matic U a m a jejich inicializaci k nule,

a krok, ve kterém se provádí nové zkoumání systematické odchylky s výpočtem rovnic

15

$$m = \sum_{i,s} (A_{i,s} - \bar{A}_{i,s})^T u_{i,s} (d_{i,s} - \bar{d}_{i,s})$$

a

$$U_i = \sum (A_{i,s} - \bar{A}_{i,s})^T u_{i,s} (A_{i,s} - \bar{A}_{i,s})$$

20 pro všechny senzory s , kde

$$d_{i,s} = y_{i,s} - \hat{y}_{i,s}$$

a přičtením U_i k U a m_i k m .

25

11. Způsob odhadu systematické odchylky podle nároku 10, **vyznačující se tím**, že krok výpočtu dále zahrnuje krok řešení systému rovnic:

$$(U + \gamma)(b - \hat{b}) = m$$

30

pro b .

12. Způsob odhadu systematické odchylky podle nároku 11, **vyznačující se tím**, že krok řešení rovnic se realizuje pouze tehdy, je-li požadován spouštěcím signálem (14).

35 13. Způsob odhadu systematické odchylky podle nároku 12, **vyznačující se tím**, že zmíněný spouštěcí signál (14) je závislý na čase.

14. Způsob odhadu systematické odchylky podle nároku 12, **v y z n a ě u j í c í s e t í m**, že spouštěcí signál (14) je zabezpečován operátorem.

15. Způsob odhadu systematické odchylky podle nároku 12, **v y z n a ě u j í c í s e t í m**, že spouštěcí signál (14) je poskytován v závislosti na počtu zkoumání systematické odchylky.

16. Způsob odhadu systematické odchylky podle kteréhokoliv z nároků 11 až 15, **v y z n a ě u j í c í s e t í m**, že krok poskytující vypočtené odhady dále zahrnuje krok zajištění $(U + v)^{-1}$ jako kovariantní matice poskytující nejistoty $b(P_b)$.

17. Způsob odhadu systematické odchylky podle kteréhokoliv z předchozích nároků, **v y z n a ě u j í c í s e t í m**, že krok výpočtu dále zahrnuje krok zavedení časové závislosti potlačením starých dat ve zmíněném souboru drah (T) cíle a odpovídajících měření (M).

18. Způsob odhadu systematické odchylky podle nároku 17, **v y z n a ě u j í c í s e t í m**, že krok zavedení časové závislosti zahrnuje omezení počtu zkoumání systematické odchylky použitých při výpočtech.

19. Způsob odhadu systematické odchylky podle nároku 18, **v y z n a ě u j í c í s e t í m**, že krok zavedení časové závislosti obsahuje, v jistých časových intervalech Δt , zahrnutí kovariantní matice Q v U a m šumu, podle:

$$U: (I + UQ)^{-1} U$$

$$m: (I + UQ)^{-1} m$$

kde I je matice identity.

20. Způsob odhadu systematické odchylky podle nároku 19, **v y z n a ě u j í c í s e t í m**, že matice Q je diagonální maticí s prvky

$$Q_{kk} = \frac{\Delta t}{\tau_k v_{kk}}$$

kde τ_k je časová konstanta k -tého parametru systematické odchylky, a v_{kk} je definováno jako

$$\delta_k = (v_{kk})^{-1/2}$$

kde δ_k je zmíněné apriorní rozdělování chyby k systematické odchylky pro výpočet posunu parametrů systematické odchylky.

21. Způsob odhadu systematické odchylky podle kteréhokoliv z předchozích nároků, **v y z n a ě u j í c í s e t í m**, že zmíněný krok výpočtu dále zahrnuje krok výběru užitečných drah (T) cíle a měření (M) k použití v kroku minimalizace.

22. Způsob odhadu systematické odchylky podle nároku 21, **v y z n a ě u j í c í s e t í m**, že zmíněný krok výběru je založen alespoň na jednom z následujících kritérií:

jednoznačné přiřazení hodnot měření (M) dráze (T);

dráha (T) cíle je dána rovnoměrným pohybem;

hodnoty měření (M) jsou v rámci zkoumání dobře agregovány,

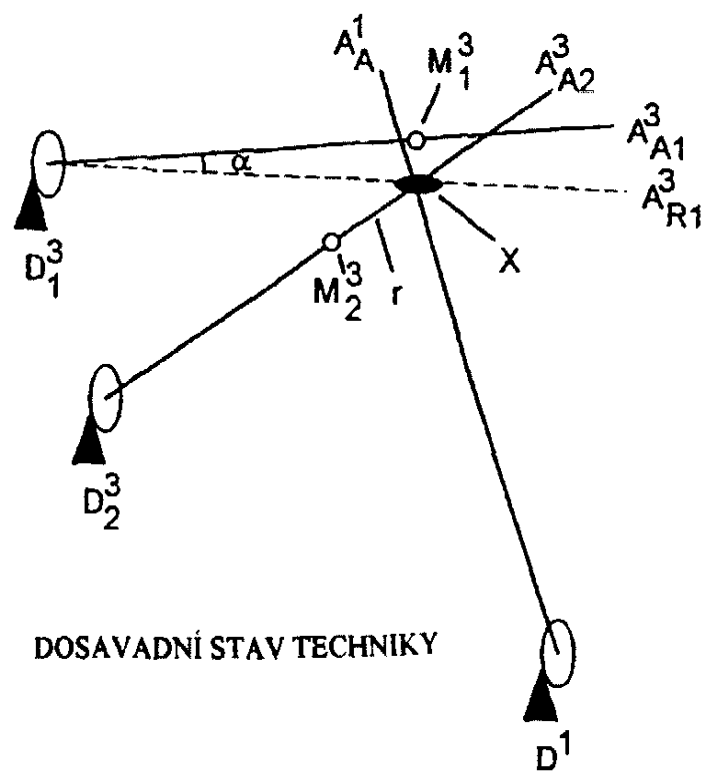
dráhy (T) cíle jsou stejnoměrně rozděleny nad oblastí detekce.

23. Způsob odhadu systematické odchylky podle kteréhokoliv z předchozích nároků, **v y z n a -**
č u j í c í s e t í m, že alespoň jeden z parametrů (b) systematické odchylky je vybrán ze sezna-
mu:

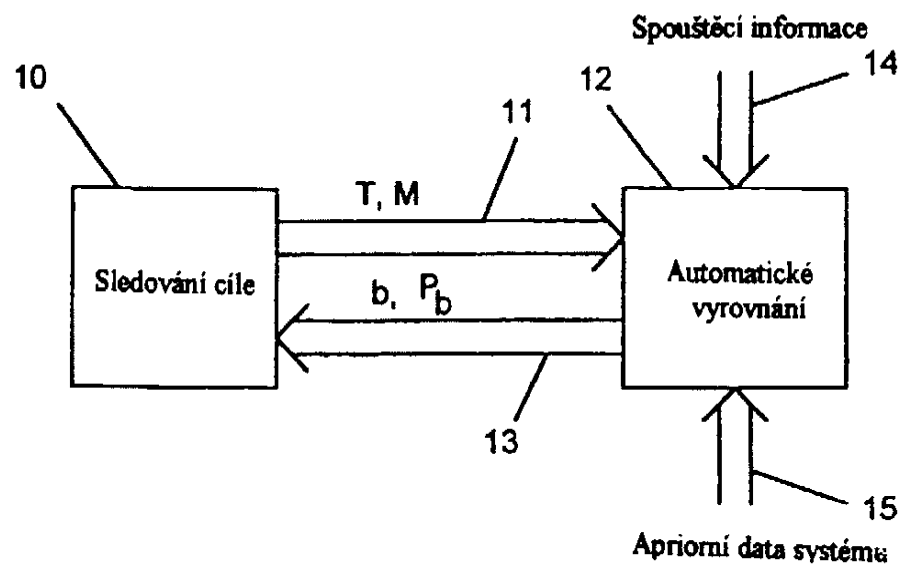
- časového posunu,
- 5 výšky,
- východní polohy,
- severní polohy,
- odchylky osy od východu,
- odchylky osy od severu,
- 10 severního vyrovnání,
- odchylky vzdálenosti,
- přírůstku vzdálenosti,
- natočení antény,
- rozteče antény,
- 15 režimu C systematické odchylky v různých polohách.

20

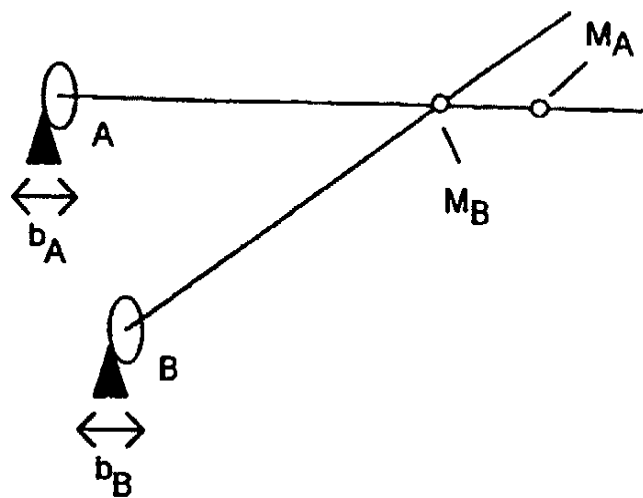
6 výkresů



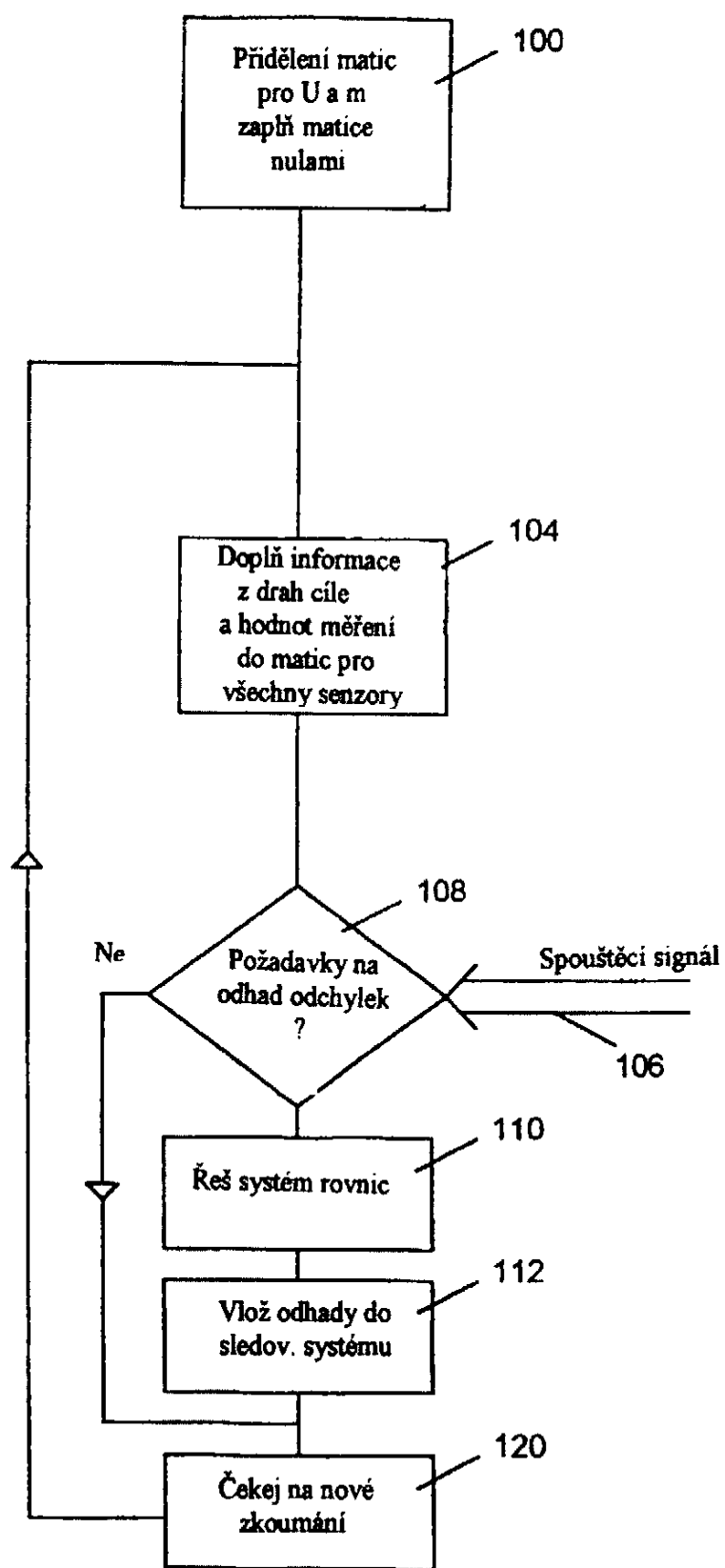
Obr.1



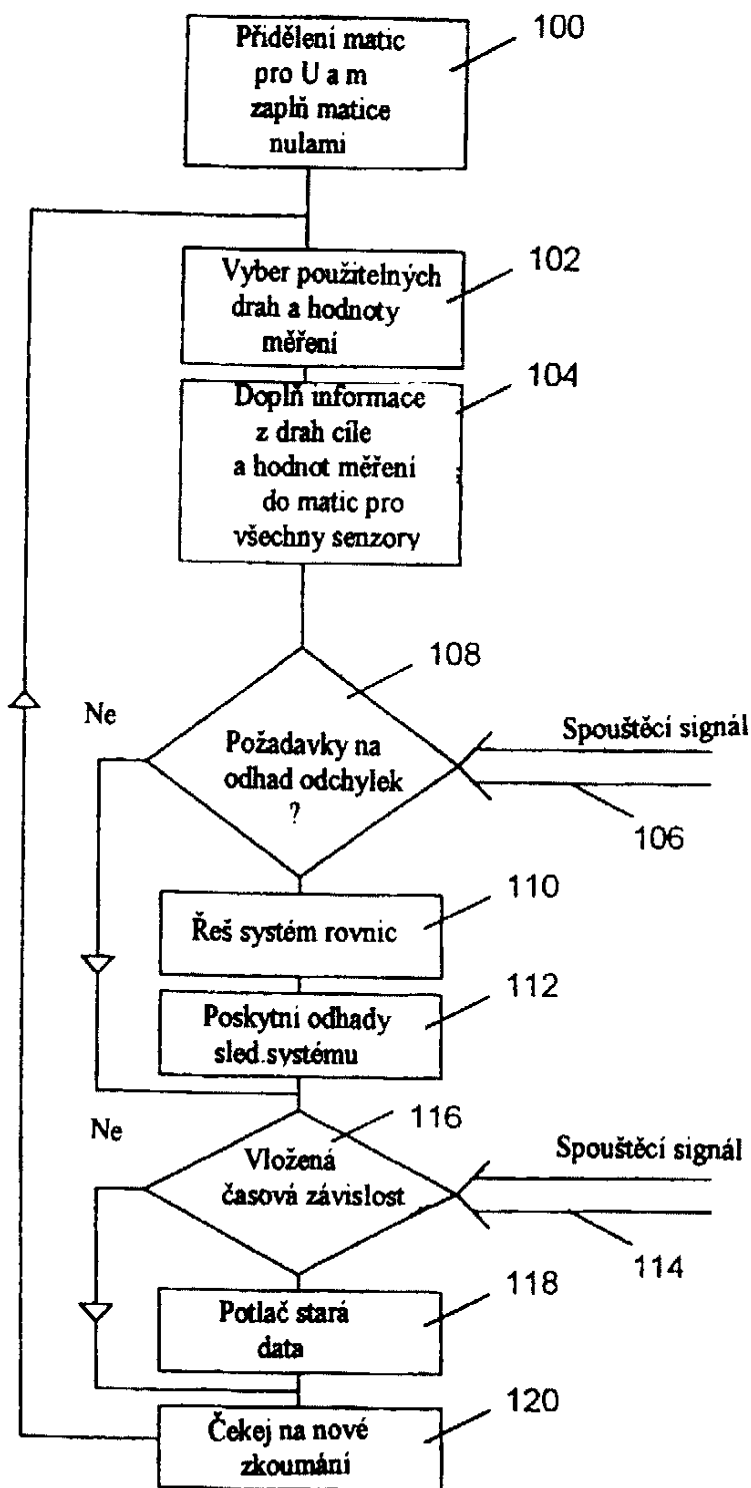
Obr.2



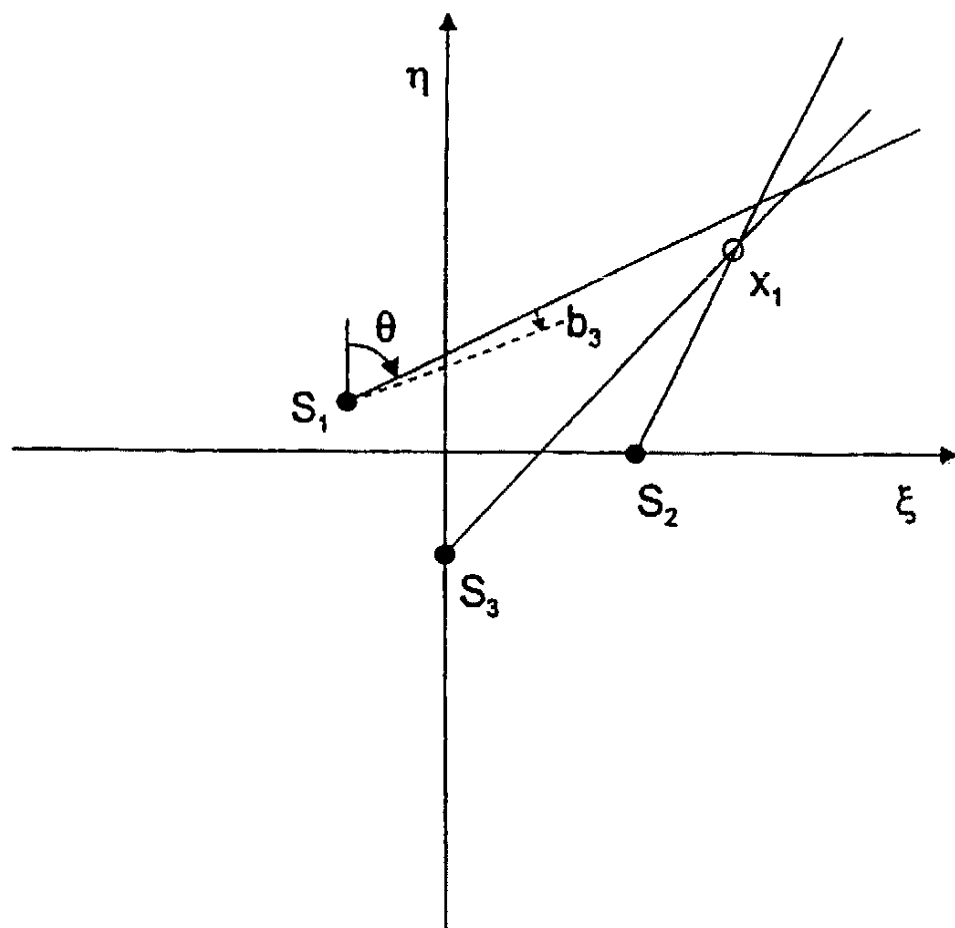
Obr.3



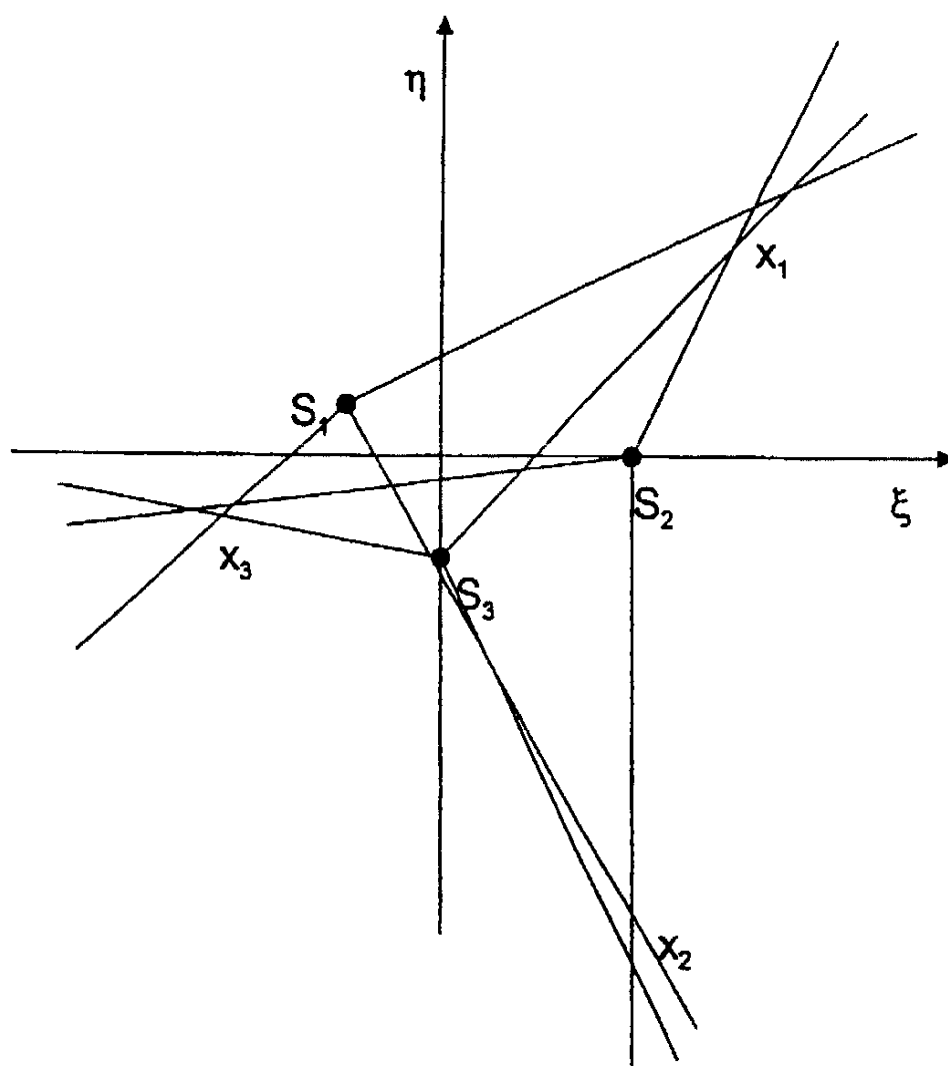
Obr.4



Obr.5



Obr.6



Obr.7

Konec dokumentu
