



(12) **BREVET DE INVENȚIE**

Hotărârea de acordare a brevetului de invenție poate fi revocată
în termen de 6 luni de la data publicării

(21) Nr. cerere: **92-200391**

(61) Perfecționare la brevet:
Nr.

(22) Data de depozit: **27.04.1990**

(62) Divizată din cererea:
Nr.

(30) Prioritate: **28.04.1989 FI 892071;**
22.12.1989 FI 896219

(86) Cerere internațională PCT:
Nr. **FI 90/00122 27.04.1990**

(41) Data publicării cererii:
BOPI nr.

(87) Publicare internațională:
Nr. **WO 90/13794 15.11.1990**

(42) Data publicării hotărârii de acordare a brevetului:
30.06.2003 BOPI nr. **6/2003**

(56) Documente din stadiul tehnicii:
WO 87/00267; US 4192005; 4303984; 4549277

(45) Data eliberării și publicării brevetului:
BOPI nr.

(71) Solicitant: **LANGE ANTTI AARNE ILMARI, HELSINKI, FI**

(73) Titular: **LANGE ANTTI AARNE ILMARI, HELSINKI, FI**

(72) Inventatori: **LANGE ANTTI AATNE ILMARI, HELSINKI, FI**

(74) Mandatar: **ROMINVENT S.A., BUCUREȘTI**

(54) **APARAT ȘI METODĂ PENTRU CALIBRAREA UNUI SISTEM DE
SENZORI, UTILIZÂND FILTRAREA KALMAN RAPIDĂ**

(57) **Rezumat:** Invenția se referă la un aparat și la o metodă pentru calibrarea unui sistem de senzori, utilizând filtrarea Kalman rapidă. Aparatul de calibrare include o unitate logică (1) pentru recepționarea semnalelor de detecție necalibrate provenite de la un sistem de senzori (3) centralizat, precum și pentru citirea, respectiv, scrierea datelor din, și respectiv, într-o unitate de baze de date (2) ce conține informația de actualizare referitoare la toate aspectele legate de urmărirea și de performanțele senzorilor, informație adusă la intrările de control (4) ale aparatului de calibrare, pentru urmărirea sistemului de senzori (3). Pe baza acestei informații, unitatea logică (1) va putea furniza, în timp real sau cvasi-real, la ieșirile (5) aparatului, o calibrare optimă a senzorilor, prin utilizarea metodei de filtrare Kalman rapidă (FKF), în situația în care, condițiile de stabilitate ale filtrării Kalman standard se regăsesc în cadrul sistemului de senzori (3).

Revendicări: 3
Figuri: 4

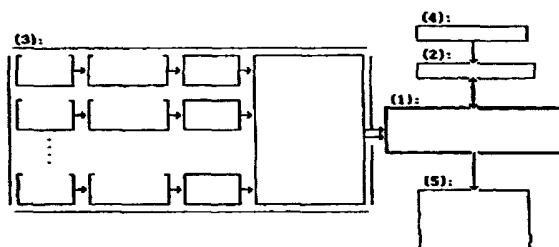


Fig. 3



Invenția se referă la un aparat și la o metodă pentru calibrarea unui sistem de senzori utilizând filtrarea Kalman rapidă. Invenția poate fi utilizată în general la procesarea semnalelor de detecție provenite de la senzori în cadrul unui sistem de senzori multipli, de mari dimensiuni, iar în mod particular, la calibrarea și standardizarea ieșirilor senzorilor.

Sistemele controlate prin mijloace electrice răspund, cel puțin în parte, la evenimentele externe. Sunt utilizate, în mod special, diferite tipuri de senzori, pentru a permite unor astfel de sisteme să supravegheze evenimentele externe dorite. La stimulii unui mediu specific, astfel de senzori furnizează răspunsuri electrice previzibile. Senzorii sunt alcătuiți din una sau mai multe componente, astfel de componente fiind precizate, de obicei, numai în cadrul unui domeniu de toleranță. Prin urmare, senzorii sunt calibrați înainte de instalare și de folosire.

Totuși, astfel de tehnici de calibrare sunt relativ costisitoare. În schimb, pentru fiecare senzor, poate fi creată o bază de date empirică în scopul de a relaționa ieșirile senzorilor respectivi cu influențele cunoscute ale mediului ambiant. Un astfel de aparat și o asemenea metodă pentru calibrarea unui senzor sunt cunoscute din cererea de brevet **PCT/US 86/00908**, nr. **WO87/00267** din 15 ianuarie 1987. Totuși, o bază de date complet empirică poate fi încă mult prea costisitor de creat și actualizat în timp real, pentru fiecare senzor, într-un sistem de senzori de mari dimensiuni.

Din fericire, s-a dovedit că rareori este absolut necesară o astfel de bază de date empirică, dacă sistemul de senzori însuși are o anumită redundanță privind datele, sau o supra-determinare în cadrul lui (a se vedea articolul "*A High-pass Filter for Optimum Calibration Observing System with Applications*", 1986, autor Antti A. Lange, din lucrarea "*Simulation and Optimization of Large Systems*", pag.311-327, editată de Andrzej J. Osiadacz și publicată de către Clarendon Press/Oxford University Press, Oxford, UK, 1988(a)).

Referitor la calibrarea sistemelor, relativ mici, de senzori, se cunoaște, de foarte mult timp, că acestea pot fi menținute în timp real, prin utilizarea diferitelor metode de calcul, cunoscute sub denumirea generală de filtrare Kalman (Kalman, 1960; și Kalman și Bucy, 1961). Totuși, anumite condiții de stabilitate trebuie să fie îndeplinite; în caz contrar, toate calibrările estimate, precum și alți parametri ceruți, pot să conducă la soluții false, când actualizarea este făcută în mod continuu.

Din fericire, anumite condiții privind posibilitatea de observare și control garantează stabilitatea unui filtru Kalman optimal. Aceste condiții, dublate de o optimizare strictă, necesită de obicei un ciclu de măsurare complet sau chiar câteva cicluri ale unui întreg sistem multisenzor, care să poată fi procesate și analizate la un anumit interval de timp. Totuși, acest lucru nu a fost posibil de realizat pentru aplicațiile mari în timp real. În schimb, filtrele Kalman, suboptimale și mult mai rapide, ce folosesc doar câteva măsurători la un anumit interval de timp, sunt exploatate în aplicații în timp real, în tehnologia de navigație și la comenzile de proces.

Din nefericire, tehnicile de calibrare în timp real, descrise anterior, sau creează sarcini grele de calculare în cazul filtrării Kalman optimale, sau stabilitatea lor este mai mult sau mai puțin incertă, așa cum se prezintă situația în cazul filtrării Kalman suboptimale și a filtrării "trece-sus" a lui Lange. Un algoritm de estimare Kalman, rapid, a fost prezentat în articolul "*Application of Fast Kalman Estimation to Adaptive Equalization*", autori Falconer și Lajung; 1978, din lucrarea "*IEEE Transactions on Communications*", Vol. COM-26, No.10, October 1978, pag.1439-1446, dar acesta se aplică unei arii de probleme restrânse.

Există necesitatea creării unui aparat și a unei metode de calibrare pentru sistemele mari de senzori, care oferă aplicații extinse și o mai bună viteză de calcul sau cel puțin egală, fiabilitate, precizie și avantaje privind costurile.

Aceste necesități sunt fundamental satisfăcute prin dispunerea aparatului și respectiv a implementării metodei pentru calibrarea unui sistem de senzori, în timp real sau cvasi-real, în conformitate cu prezenta descriere. Prin utilizarea acestui aparat și a metodei, anumite aspecte legate de lipsa fiabilității și de tehnicile de calibrare internă, mult prea costisitoare, pot fi eliminate de către senzori. În schimb, o bază de date este creată pornind aproape de la zero și actualizată în timp real pentru întregul sistem multisenzor. Pe lângă convergența și precizia procesului de măsurare, în sistemul de senzori, pot fi incluși senzori total necalibrați, dar pe de altă parte, predictibili dintr-un anumit punct de vedere.

În acord cu un prim obiect al prezentei invenții, un microcalculator sau alte elemente capabile să îndeplinească, în timp real sau cvasi-real, funcțiile logice specifice, primește semnale de ieșire de la un sistem cuprinzând mai multe unități de captare, accesează o bază de date și determină valorile citirilor efectuate de către unitățile de captare, dată fiind informația din baza de date, în vederea furnizării de ieșiri calibrate, standardizate, și actualizează informația din baza de date. În acord cu cel de-al doilea obiect al prezentei invenții, metoda, funcțiile logice se bazează pe inversarea filtrului "trece-sus" al lui Lange, pentru calibrarea optimă a sistemului de observare care transformă respectivul filtru, într-un filtru Kalman.

Aceste atribuții ale invenției, precum și altele asemenea, vor deveni mult mai clare, pe măsură ce se face parcurgerea completă și studiul prezentei descrieri, ce urmează a fi prezentată în legătură cu fig.1...4, care reprezintă:

- fig.1, schema bloc a unui sistem de senzori și a unei unități de calibrare, cunoscute în stadiul anterior al tehnicii;
- fig.2, schema bloc a unui aparat pentru calibrarea unui sistem de senzori de mari dimensiuni (bazat pe ceea ce se numește filtru Kalman decentralizat);
- fig.3, schema bloc a aparatului de calibrare, conform invenției (bazat pe ceea ce se numește filtru Kalman centralizat);
- fig.4, schema bloc de prezentare schematică a unui exemplu de realizare preferențială a aparatului conform invenției.

Înainte de prezentarea detaliată a prezentei invenții, ar fi utilă înțelegerea tehnicii de calibrare din stadiul tehnicii anterior, pentru sistemul de calibrare prezentat în fig.1. O unitate de calibrare prevăzută cu senzori specifici, cunoscuți, include o unitate logică 1 și o unitate de baze de date 12. Semnalul provenit de la senzorul unei unități de captare 13 trece direct printr-o unitate amplificatoare-transmițătoare 16 către o unitate de interfațare-ieșire 18. Intraerea de comandă (nereprezentată) a unității de baze de date 12 permite introducerea informației referitoare la reglările necesare calibrării. Pe baza comenzilor introduse și a informației conținute în unitatea de baze de date 12, unitatea logică 11 furnizează, la ieșirea 14 a sistemului de calibrare, o informație privind citirea calibrată a senzorului, pentru a fi utilizată după cum se dorește.

Referindu-ne acum la fig.3, în aceasta s-a făcut o prezentare schematică a aparatului conform invenției. Acesta cuprinde în general o unitate logică 1 și o unitate de baze de date 2, care funcționează împreună cu un sistem de senzori 3, de tip sistem multisenzor centralizat. Unitatea de baze de date 2 este prevăzută pentru stocarea tuturor informațiilor referitoare la cele mai recente comenzi efectuate și la aspectele legate de performanțele senzorilor, incluzând valorile de ieșire ale unor senzori tip sondă, dacă sunt prevăzuți astfel de senzori, și valorile corespondente ale evenimentelor externe, determinate empiric. Unitatea logică 1 primește, de la sistemul de senzori 3, semnalele de ieșire ale senzorilor și accesează unitatea de baze de date 2. Intrările de control 4, ale sistemului de calibrare, permit introducerea, în unitatea de baze de date 2, a informației referitoare la reglările necesare

calibrării. Pe baza comenzilor introduse, unitatea logică 1 furnizează, la ieşirile 5 ale sistemului de calibrare, semnale ce cuprind date actualizate privind calibrarea, citirile senzorilor şi informaţii privind supravegherea evenimentelor externe dorite. Înainte de explicitarea metodei de filtrare rapidă Kalman (FKF), conform invenţiei, urmărind modul în care unitatea logică 1 este utilizată, ar fi util să fie înţelese câteva elemente de bază referitoare la filtrul Kalman.

Un filtru optim recursiv este acela pentru care nu este necesară stocarea tuturor măsurătorilor efectuate anterior, în scopul de a calcula valorile curente estimative ale parametrilor de stare. Pentru aparatul de urmărire a curenţilor de aer (fig.4), coordonatele de poziţie ale balonului meteorologic şi, după cum se va vedea în continuare, toţi parametrii de calibrare, mai mult sau mai puţin necunoscuţi, inclusiv ai senzorilor de urmărire, sunt prezentate ca stări ale sistemului.

Procesul este descris de ecuaţiile (1) şi (3). Prima ecuaţie ne arată cum un vector de măsurare y_t depinde de un vector de stare s_t la un anumit moment de timp t , ($t = 0, 1, 2, \dots$). Aceasta este ecuaţia de măsurare linearizată (sau de observare):

$$y_t = H_t s_t + e_t \quad (1)$$

Matricea de referinţă H_t este, în mod tipic, alcătuită din derivatele parţiale ale ecuaţiei de măsurare curente. Cea de-a doua ecuaţie descrie evoluţia în timp, de exemplu, a zborului unui balon meteorologic, şi este ecuaţia de sistem (sau de stare):

$$s_t = s_{t-1} + u_{t-1} + a_t \quad (2)$$

(sau, mai general, $s_t = A s_{t-1} + B u_{t-1} + a_t$)

care ne arată cum poziţia balonului cuprinde poziţia anterioară s_{t-1} , precum şi incrementele u_{t-1} şi a_t . Aceste incremente sunt, în general cauzate, de către o mişcare uniformă cunoscută, şi respectiv, printr-o acceleraţie aleatorie necunoscută.

Erorile de măsurare, respectiv acceleraţia şi poziţia anterioară sunt, de obicei, necorelate mutual şi sunt descrise aici pe scurt, de către următoarea matrice de covarianţă:

$$R_{e_t} = \text{Cov}(e_t) = E(e_t e_t')$$

$$R_{a_t} = \text{Cov}(a_t) = E(a_t a_t')$$

şi

$$P_{t-1} = \text{Cov}(\hat{s}_{t-1}) = E\{(\hat{s}_{t-1} - s_{t-1})(\hat{s}_{t-1} - s_{t-1})'\} \quad (3)$$

Formula de recurenţă progresivă a lui Kalman oferă cele mai bune estimări liniare, imparţiale, a stării curente

$$\hat{s}_t = \hat{s}_{t-1} + u_{t-1} + K_t \{y_t - H_t (\hat{s}_{t-1} + u_{t-1})\} \quad (4)$$

şi matricea de covarianţă asociată

$$P_t = \text{Cov}(\hat{s}_t) = P_{t-1} - K_t H_t P_{t-1} \quad (5)$$

unde matricea de amplificare Kalman K_t este definită prin:

$$K_t = (P_{t-1} + R_{a_t}) H_t' \{H_t (P_{t-1} + R_{a_t}) H_t' + R_{e_t}\}^{-1} \quad (6)$$

RO 118549 B1

Vom proceda, în continuare, la detalierea vectorului de stare $\hat{s}_t$ estimat, și a matricei de covarianță P_t a acestuia, după cum urmează:

145

$$\hat{s}_t = \begin{bmatrix} b_t \\ c_t \end{bmatrix}, P_t = Cov(\hat{s}_t) = \begin{bmatrix} P_{b_t} & Cov(b_t, c_t) \\ Cov(c_t, b_t) & P_{c_t} \end{bmatrix} \quad (7)$$

150

unde:

b_t se referă la poziție estimată a balonului; și

c_t la parametri de calibrare estimați apreciați.

Conform celor de mai sus, și celelalte mărimi vor fi atunci detaliate după cum urmează:

155

$$H_t = \begin{bmatrix} H_{b_t} & H_{c_t} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_t G_t \end{bmatrix}, \quad u_t = \begin{bmatrix} u_{b_t} \\ u_{c_t} \end{bmatrix}, \quad a_t = \begin{bmatrix} a_{b_t} \\ a_{c_t} \end{bmatrix},$$

160

și

$$R_{a_t} = \begin{bmatrix} R_{a_{b_t}} & Cov(a_{b_t}, a_{c_t}) \\ Cov(a_{c_t}, a_{b_t}) & R_{a_{c_t}} \end{bmatrix} \quad (8)$$

165

Formulele de recurență de la ecuațiile (4) la (6) conduc la obținerea unui vector de poziție filtrat (bazat pe parametri de calibrare actualizați):

170

$$b_t = b_{t-1} + u_{b_{t-1}} + K_{b_t} \{ y_t - H_t (\hat{s}_{t-1} + u_{u-1}) \} \quad (9)$$

175

și a vectorului de parametri de calibrare actualizat, fiind:

$$c_t = c_{t-1} + u_{c_{t-1}} + K_{c_t} \{ y_t - H_t (\hat{s}_{t-1} + u_{u-1}) \} \quad (10)$$

180

Matricele de amplificare Kalman sunt, respectiv:

$$K_{b_t} = (P_{b_{t-1}} + R_{a_{b_t}}) H_{b_t}' \{ H_t (P_{t-1} + R_{a_t}) H_t' + R_{e_t} \}^{-1} + \dots$$

185

$$K_{c_t} = (P_{c_{t-1}} + R_{a_{c_t}}) H_{c_t}' \{ H_t (P_{t-1} + R_{a_t}) H_t' + R_{e_t} \}^{-1} + \dots \quad (11)$$

Ecuția (9) este caracteristică unui filtru "trece-sus", deoarece suprimă, în coordonatele de poziție, toate efectele de "zgomot" care provin de la erorile de calibrare constante sau lent-variabile, ale senzorilor de urmărire. Răspunsul său în frecvență depinde de stabilitatea calibrării fiecăruia dintre senzori și acordul optim se obține în mod automat. În orice caz, este necesară utilizarea acelorși estimări de precizie pentru matricile de covarianță

$$P_{t=0}, R_{e_t} \text{ și } R_{a_t}$$

precum și a menținerii traseului de recalibrare sau a reglajelor

$$u_{c_{t-1}}$$

ale senzorilor în fiecare moment de timp $t, t = 1, 2, \dots$.

Ecuția (10) este caracteristică unui filtru "trece-jos", deoarece suprimă zgomotul aleator

$$a_{c_t}$$

al parametrilor de calibrare și poate fi utilizat pentru actualizarea vectorului de parametri de calibrare. Acesta se aseamănă cu un filtru de netezire exponențial, la care ponderile medii, mobile (oscilante), rezultă din ecuația (11).

Datorită faptului că parametrii de calibrare sunt în strânsă legătură cu măsurătorile, o matrice de referință H_t are, în general, vectori coloană linear dependenți. Acest lucru va cauza probleme de ordin numeric, în afară de cazul în care se vor lua măsuri adecvate, în acest sens. În primul rând, este necesară inițializarea unor prime estimări adecvate pentru vectorul de poziție $b_{t=0}$ și vectorul de calibrare $c_{t=0}$. Filtrul "trece-sus" al lui Lange (Lange, 1988(a)) poate extrage această informație de la toate sursele de date disponibile, cum ar fi, de exemplu, calibrare de instrumente, teste de laborator, intercomparații și măsurări arhivate. În al doilea rând, condițiile de stabilitate bine cunoscute ale filtrării Kalman ar trebui, de asemenea, să fie satisfăcute, altfel, erorile de trunchere și de rotunjire ar putea să afecteze, gradual, rezultatele filtrării (a se vedea, de exemplu, Gelb 1974: "Applied Optimal Estimation", MIT Press, pag.132).

Stabilitatea unui filtru Kalman se referă la comportamentul parametrilor estimați când măsurătorile sunt suprimate. Parametrii de calibrare sunt, în mod tipic, neobservabili pe durata mai multor evenimente externe. De fapt, numărul măsurătorilor trebuie să fie întotdeauna mai mare decât numărul total al parametrilor de stare necunoscuți. Acesta este un aspect de mare importanță practică pentru toate sistemele de observare în cadrul cărora va trebui să se facă estimarea mai multor parametri de calibrare. Condiția absolut necesară de observabilitate poate fi satisfăcută, de regulă, prin procesarea semnalelor furnizate de senzori, în loturi mari de date sau, în mod alternativ, utilizând probe pentru "nivelul de alb", pe serii reziduale e de lungă durată, și efectuând acțiuni de corectare, când se stabilesc. De fapt, pentru un filtru Kalman optim adevărat, atât matricile de amplificare Kalman (11), cât și volumul unui lot de date depind de parametrii de stare și de modelare dinamică. Metodele cunoscute în stadiul anterior al tehnicii folosesc formulele de recurenței Kalman de la ecuațiile (4) până la (6) pentru estimarea acestor parametri.

În continuare, va fi introdusă următoarea formă modificată a ecuației de stare:

$$\hat{s}_{t-1} + u_{t-1} = I s_t + (\hat{s}_{t-1} - s_{t-1}) - a_t \quad (12)$$

unde $\hat{s}$ reprezintă un volum estimat al vectorului de stare s . Această ecuație de măsurare (1) va fi combinată pentru a obține așa-numitul model extins:

$$\begin{bmatrix} y_t \\ \hat{s}_{t-1} + u_{t-1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H_t \\ I \end{bmatrix} s_t + \begin{bmatrix} e_t \\ (\hat{s}_{t-1} - s_{t-1}) - a_t \end{bmatrix} \quad (13)$$

adică $z_t = Z_t s_t + \varepsilon_t$

Parametrii de stare pot fi acum calculați prin folosirea soluției bine cunoscute a problemei de analizare prin regresie, dată mai jos, și care este utilizată în scopul actualizării:

$$\hat{s}_t = (Z_t^T V_t^{-1} Z_t)^{-1} Z_t^T V_t^{-1} z_t \quad (14)$$

Rezultatul, în formă algebrică, este echivalent cu utilizarea recurențelor Kalman, dar nu și în formă numerică (a se vedea, de exemplu: Harvey, 1981: "*Time Series Models*", Philip Allan Publishers Ltd, Oxford, UK, pag. 101-119). Pentru problema urmăririi balonului meteorologic cu un mare număr de senzori și cu calibrare în curs de stingere, matricea care se dorește a fi inversată cu ecuațiile (6) sau (11) este mai mare decât cea care se obține folosind formula (14).

Inițializarea unui filtru Kalman optim, de mari dimensiuni, pentru soluționarea problemei calibrării senzorilor de urmărire a balonului meteorologic, poate fi realizată de către filtrul "trece-sus" al lui Lange. Acesta folosește o formulă analitică de inversare matricială dispersată (Lange, 1988(a)), pentru rezolvarea modelelor de regresie, având următoarea structură matriceală, numită structură unghiulară bloc, canonică:

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_K \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 & & & G_1 \\ & X_2 & & G_2 \\ & & \ddots & \vdots \\ & & & X_K & G_K \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b_1 \\ \vdots \\ b_K \\ c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ \vdots \\ e_K \end{bmatrix} \quad (15)$$

Aceasta este o reprezentare matriceală a ecuației de măsurare a unui experiment complet intercomparativ de detectare a curenților atmosferici, sau a zborului unui balon. Vectorii $b_1, b_2, \dots, b_K$ se referă, de regulă, la coordonatele consecutive ale poziției unui balon meteorologic, dar care, de asemenea, pot conține acei parametri de calibrare care au o variație semnificativă de timp sau de spațiu. Vectorul c se referă la alți parametri de calibrare ce sunt constanți în afara perioadei de explorare.

Actualizarea parametrilor de stare, incluzând în particular deviațiile de calibrare, este bazată pe filtrarea Kalman, optimă. În orice caz, recurențele Kalman vor necesita inversarea celor mai mari matrici din ecuațiile (6) sau (11), deoarece măsurările trebuie procesate în loturi mari de date, în scopul de a crea observabilitate pentru parametri de calibrare. Un lot de date poate fi, de regulă, un nou zbor al balonului.

Din fericire, abordarea prin regresie analitică conduce, practic, la aceeași structură matriceală unghiulară bloc, care se regăsește și în cadrul ecuației (15). Estimările optimele (•) ale vectorilor $b_1, b_2, \dots, b_K$ și c sunt obținute făcând următoarele inserări logice în formula (15), pentru fiecare moment de timp $t, t = 1, 2, \dots$:

285

$$y_k := \begin{bmatrix} y_{t,k} \\ b_{t-1,k} + u_{b_{t-1,k}} \end{bmatrix}; \quad X_k := \begin{bmatrix} X_{t,k} \\ \text{-----} \\ I \end{bmatrix};$$

290

$$G_k := \begin{bmatrix} G_{t,k} \\ \text{-----} \end{bmatrix}; \quad b_k := b_{t,k}; \quad \text{și}$$

295

$$e_k := \begin{bmatrix} e_{t,k} \\ (b_{t-1,k} - b_{t-1,k}) - a_{b_{t,k}} \end{bmatrix}; \quad \text{pentru } k=1, \dots, K;$$

și

300

$$y_{K+1} := c_{t-1} + u_{c_{t-1}}; \quad X_{K+1} := [\text{vid}];$$

$$G_{K+1} := [I]; \quad c := c_t; \quad e_{K+1} := (c_{t-1} - c_{t-1}) - a_{c_t} \quad (16)$$

305

Aceste inserări concentrează caracteristicile algoritmului FKF (Filtru Rapid Kalman) pentru integrarea lui în cadrul prezentei invenții, în scopul calibrării unui sistem de urmărire a curenților atmosferici (fig.4).

310

Un alt exemplu preferațional de aplicare a invenției este Sistemul de Observare Globală al Vegheii Meteorologice Mondiale (*World Weather Watch*). Aici, vectorul y_k conține diferite incoerențe observate și erori sistematice ale buletinelor meteorologice (de exemplu, diferențele dintre valorile presiunii între zi și noapte, care ar trebui să fie în jur de zero) de la un sistem radiosondă "k" sau de la un ansamblu omogen de stații radiosondă al unei țări (Lange, 1988(a), și respectiv, 1988(b): "*Determination of the radiosonde biases by using satellite radiance measurements*", WMO Instruments and Observing Methods Report No. 33, 201-206). Vectorul de deviație a calibrării b_k ne informează asupra condițiilor nefavorabile și asupra întinderii acestora. Vectorul de deviație a calibrării c se referă la erorile de tip general care sunt mai mult sau mai puțin comune pentru toate sistemele de observare (de exemplu, diferențele între radiațiile de satelit și în funcțiile lor de ponderare verticală, sau în efectele atmosferice provocate de marea).

320

Pentru toate sistemele multisenzor, de mari dimensiuni, matricile de referință H ale acestora, sunt, de regulă, dispersate. Astfel, în mod uzual pot fi calculate diferențiat, următoarele:

325

$$s_t = \begin{bmatrix} b_{t,1} \\ \vdots \\ b_{t,K} \\ c_t \end{bmatrix} \quad y_t = \begin{bmatrix} y_{t,1} \\ y_{t,2} \\ \vdots \\ y_{t,K} \end{bmatrix} \quad H_t = \begin{bmatrix} X_{t,1} & & G_{t,1} \\ & X_{t,2} & G_{t,2} \\ & & \vdots \\ & & X_{t,K} & G_{t,K} \end{bmatrix} \quad (17)$$

330

unde c_t reprezintă în mod tipic parametri de calibrare la un moment de timp t , și,
 $b_{t,k}$ reprezintă toți ceilalți parametri de stare în intervalul temporal și/sau spațial.

Dacă diferențierea nu este evidentă, se poate încerca să se facă acest lucru automat, folosind un algoritm specific, care convertește fiecare sistem linear dispersat sub forma
 unei structuri unghiulare bloc canonice (Weil and Kettler, 1971, "Rearranging Matrices to
 Block-angular Form for Decomposition (and other) Algorithms", Management Science,
 vol.18, No.1, Septembrie 1971, pag.98-107).

Modelul extins pentru cazul unui interval spațial: a se vedea ecuațiile (15) și (16).

Modelul extins pentru un interval mobil în timp (lungime L):

$$\begin{bmatrix} y_t \\ \hat{s}_{t-1} + u_{t-1} \\ y_{t-1} \\ \hat{s}_{t-2} + u_{t-2} \\ \vdots \\ y_{t-L+1} \\ \hat{s}_{t-L} + u_{t-L} \\ C_{t-1} + u_{c_{t-1}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H_t & & & F_t \\ & I & & \\ & & H_{t-1} & F_{t-1} \\ & & & I \\ & & & & \ddots \\ & & & & & H_{t-L+1} & F_{t-L+1} \\ & & & & & & I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_t \\ s_{t-1} \\ \vdots \\ s_{t-L+1} \\ C_t \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_t \\ (\hat{s}_{t-1} - s_{t-1}) - a_t \\ e_{t-1} \\ (\hat{s}_{t-2} - s_{t-2}) - a_{t-1} \\ \vdots \\ e_{t-L+1} \\ (\hat{s}_{t-L} - s_{t-L}) - a_{t-L+1} \\ (C_{t-1} - C_{t-1}) - a_{c_t} \end{bmatrix} \quad (18)$$

$$\text{adică } Z_t = Z_t S_t + e_t$$

și în care, vectorul c_t reprezintă toți acei parametri de calibrare care sunt constanți într-un
 interval mobil. Ca și mai înainte se va face actualizarea:

$$\hat{S}_t = \{Z_t' V^{-1} Z_t\}^{-1} Z_t' V^{-1} z_t \quad (19)$$

A se observa, cum matricea gigant Z ia forma unei structuri unghiulare bloc canonice
 supraetajate, când se adaugă domeniul spațiu. Filtrul "trece-sus" al lui Lange poate fi revizuit,
 în așa fel încât să poată face față tuturor acelor dispersări ale modelelor extinse.

Formulele filtrului Kalman rapid (FKF) în cazul etapei de recurență în oricare moment
 de timp t , sunt conform celor ce urmează:

$$\hat{s}_{t-l} = \{X_{t-l}' V_{t-l}^{-1} X_{t-l}\}^{b-1} X_{t-l}' V^{-1} (Y_{t-l} - G_{t-l} c_t) \quad \text{pentru } l=0,1,2,\dots,L-1$$

$$c_t = \left\{ \sum_{l=0}^L G_{t-l}' R_{t-l} G_{t-l} \right\}^{-1} \sum_{l=0}^L G_{t-l}' R_{t-l} Y_{t-l} \quad (20)$$

unde, pentru $l = 0, 1, 2, \dots, L-1$,

$$R_{t-l} = V_{t-l}^{-1} \left\{ I - X_{t-l} \{X_{t-l}' V_{t-l}^{-1} X_{t-l}\}^{-1} X_{t-l}' V_{t-l}^{-1} X_{t-l} \right\}$$

$$V_{t-1} = \begin{bmatrix} \text{Cov}(e_{t-1}) & \\ & \text{Cov}\{(\hat{s}_{t-1-1} - s_{t-1-1}) - a_{t-1}\} \end{bmatrix}$$

$$Y_{t-1} = \begin{bmatrix} y_{t-1} \\ \hat{s}_{t-1-1} + u_{t-1-1} \end{bmatrix}$$

$$X_{t-1} = \begin{bmatrix} H_{t-1} \\ I \end{bmatrix}$$

$$G_{t-1} = \begin{bmatrix} F_{t-1} \end{bmatrix}$$

și, de exemplu, pentru $l=L$,

$$R_{t-L} = V_{t-L}^{-1}$$

$$V_{t-L} = \text{Cov}\{(C_{t-1} - C_{t-1}) - a_{c,l}\}$$

$$G_{t-L} = I$$

$$Y_{t-L} = C_{t-1} + u_{c,l-1}$$

410

Când vectorii de stare sunt, de asemenea, diferențiați în domeniul spațiu, acele subsisteme vor fi indicate de către ecuațiile (17), (16) și (15). De fapt algoritmul filtrului "trece-sus", revizuit de Lange, după cum este specificat în formulele (20), va rezolva totul dintr-o dată, numai dacă substructurile detaliate sunt permutate pentru a fi în conformitate cu forma globală a structurii unghiulare bloc a ecuației (18).

415

Pentru un Filtru Kalman continuu:

$$u_t = F(t) \Delta t b_t \text{ (Gelb 1094, pp.122-124).}$$

420

Referindu-ne acum la fig.2, se va face în continuare prezentarea unui exemplu specific a unui sistem de navigație cunoscut în stadiul anterior al tehnicii ce folosește tehnica filtrării Kalman descentralizate. În conformitate cu schema bloc, filtrarea generalizată (Neal A. Carlsin, 1988: "Federated Filter for Fault-Tolerant Integrated navigation Systems", Proceeding of the IEEE 1988 PLANS, IEEE AES Society, a se vedea fig.1 de la pag.111) este o tehnică de procesare de date, în două etape, în care semnalele de ieșire ale filtrelor locale **30** ce sunt asociate senzorilor sunt în continuare procesate folosind un filtru principal **31**, de mari dimensiuni. Fiecare filtru local **30** este dedicat unui subsistem de senzori **29**, separat. Unul sau mai multe filtre locale **30** pot, de asemenea, să utilizeze datele de la un

425

sistem de referință comun 28, de exemplu, un sistem de navigație inerțial (INS). Avantajele privind tehnica de filtrare Kalman centralizată, cunoscută din stadiul anterior al tehnicii, constau în creșterea randamentului global al sistemului prin funcționarea în paralel a filtrelor locale 30, precum și în creșterea randamentului sistemului, prin utilizarea filtrelor locale 30 pentru compresia datelor. Abordările de acest tip au fost absolut necesare pentru marile sisteme multi-senzor de navigație, datorită cerințelor de calculare cu viteze ridicate. Din punct de vedere al filtrului Kalman centralizat, cunoscut în stadiul tehnicii anterior, al unui sistem mare de senzori, aceste abordări privind creșterea vitezei de calcul se încadrează în două mari categorii ale metodelor de aproximare, de exemplu, privind stările de decuplare (de întrerupere) și prefiltrare pentru compresia de date (a se vedea, de exemplu, Gelb, 1974: "Applied Optimal Estimation", MIT Press, pag 289-291). Dezavantajele constau în aceea că un Filtru Kalman aproximat nu este niciodată strict optimal și, în consecință, stabilitatea acestuia devine mai mult sau mai puțin nesigură. În orice caz, obținerea stabilității este mult mai dificilă de realizat în sens riguros tehnic.

Referindu-ne acum la fig.3, se va face în continuare prezentarea schemei bloc a aparatului, conform invenției, care utilizează o metodă teoretică aplicabilă în practică a filtrării centralizate Kalman.

După cum se poate vedea din fig. 1 și 3, prin comparație, unitatea logică 1 din alcătuirea aparatului, conform invenției (fig.3), are o legătură de comunicație bidirecțională cu unitatea de baze de date 2, în timp ce unitatea logică 11 din stadiul tehnicii anterior (fig.1) poate efectua operația de citire numai de la unitatea de baze de date 12. Pentru ca senzorul cunoscut în stadiul tehnicii anterior și unitatea de calibrare să funcționeze în mod adecvat, unitatea de baze de date 12 trebuie să aibă o bază corespunzătoare de date privind performanțele senzorilor unităților de captare 13. Astfel de informații trebuie să fie stabilite empiric și adesea această operație trebuie să fie reluată la intervale de timp adecvate, individual pentru fiecare din senzorii unităților de captare 13, prin expunerea succesivă a senzorului fiecărei unități de captare 13 la un număr de evenimente externe cunoscute, de intensitate cunoscută. Acest lucru nu este posibil în multe dintre cazurile de importanță practică, de exemplu, considerând un senzor radiometric al unui satelit meteorologic care se află pe orbită. În contrast, unitatea logică 1 din alcătuirea aparatului, conform invenției (fig.3) are capacitatea de extindere și de actualizare a informației de calibrare stânsă în cadrul unității de baze de date 2 presupunând doar, că o anumită condiție de observabilitate a filtrării Kalman este satisfăcută.

După cum se poate vedea din fig. 2 și 3, prin comparație, soluția filtrului Kalman globalizat este aceeași cu cea a unui filtru Kalman individual, centralizat, numai în cazul în care operațiile de separare și de strângere a informațiilor sunt executate după fiecare ciclu de actualizare a măsurătorilor pentru fiecare filtru local (și atunci când filtrul principal (*master*) va putea rezolva problema filtrării Kalman pe scară largă, fără a interveni în vreun fel stările de decuplare (de întrerupere)). Astfel, soluția din stadiul anterior al tehnicii, prezentată în fig.2, este teoretic inferioară, deoarece aceasta este soluția filtrului Kalman complet centralizat, din fig.3, ce dă rezultate optime, așa cum a fost demonstrat de Kalman, în 1960, sau de fapt, de Gauss și Markov, ceva mai devreme de 1800. În orice caz, volumul de calcul a unui filtru Kalman centralizat, din stadiul anterior al tehnicii, este proporțional cu n^2 , unde n este numărul de parametri de stare, de exemplu numărul tuturor mărimilor necunoscute ce trebuie soluționate în vederea actualizării estimării parametrilor de proces.

În fig.4 este prezentată schema bloc a aparatului de calibrare, conform invenției, pentru un sistem de urmărire a curenților atmosferici din straturile superioare ale aerului, așa cum este descris în prezenta invenție. O radiosondă 21, a unui balon meteorologic, recepționează semnale de navigație Omega/VLF, pe care le retransmite la un receptor terestru și

apoi la o unitate de preprocesare 24. Niște dispozitive optice și/sau radioelectrice, de căutare a direcției, se conectează la sistemul PC 26, prevăzut cu software de filtrare Kalman rapidă (FKF). La ieșirea 27, a sistemului, sunt furnizați parametri de calibrare optimă, pentru corecția erorilor de dezaliniament și de azimut, ce este rezolvată printr-o mai bună acuratețe care depinde de conținutul informației datelor de intrare.

Aparatul de calibrare, conform invenției, este destinat calibrării unui sistem de senzori, folosind filtrarea Kalman rapidă. Aparatul poate fi conceput a fi utilizat împreună cu un sistem de urmărire a curenților, cuprinzând subsisteme, mijloace de control și o unitate de procesare, dintre care cel puțin unele dintre acestea sunt părți componente ale sistemului de urmărire a curenților, cuprinzând:

A - unul sau mai multe subsisteme de comandă prin curenți, prevăzute cu:

(i) mijloace de captare semnale pentru a realiza captarea semnalelor de localizare a poziției;

(ii) mijloace de emisie semnale pentru transmisia semnalelor menționate;

B - unul sau mai multe subsisteme receptoare, prevăzute cu:

(i) mijloace de recepție semnale pentru a recepționa semnalele transmise;

(ii) mijloace de conectare pentru conectarea la unitatea de procesare menționată;

C - unitatea de procesare menționată, prevăzută cu:

(i) mijloace de achiziție a datelor pentru achiziționarea valorilor semnalelor transmise;

(ii) mijloace tip baze de date pentru stocarea informației privind calibrarea subsistemelor menționate, precum și a diferențelor dintre respectivele valori ale semnalelor transmise, menționate, și niște valori de anticipație ale acestora;

(iii) mijloace de calcul pentru calcularea, pentru diferite configurații alternative ale subsistemelor menționate, a traiectoriei curenților, pornind de la valorile semnalelor captate cu ajutorul respectivelor, unul sau mai multe, subsisteme de comandă prin curenți, mijloacele de calcul servind, de asemenea, la calcularea valorilor de anticipație ale semnalelor transmise, pornind de la traiectoriile calculate, precum și la calcularea diferențelor menționate și a actualizărilor privind calibrarea prin procesarea respectivelor diferențe, la calcularea cărora este folosită, pentru efectuarea unei prime calibrări în cazul existenței unor subsisteme complet necalibrate, filtrarea "trece-sus" a lui Lange și apoi filtrarea Kalman rapidă; și D - mijloacele de control menționate, prevăzute cu:

(i) mijloace de reconfigurare pentru modificarea configurației dispozitivului de calibrare menționat prin cuplarea, și respectiv, decuplarea fiecăruia din subsistemele menționate la, și respectiv, de la dispozitivul de calibrare menționat;

(ii) mijloace de achiziție pentru achiziționarea, de la subsistemele menționate, a datelor de precalibrare, de precizie și de zgomot, ale sistemului;

(iii) mijloace de comunicație pentru comunicarea cu unitatea de procesare;

(iv) mijloace de monitorizare pentru urmărirea stabilității actualizărilor privind calibrarea calculată, pentru fiecare dintre respectivele configurații alternative; și

(v) mijloace de selectare pentru alegerea uneia dintre respectivele configurații alternative ale căror actualizări privind calibrarea calculată prezintă o convergență adecvată, asigurându-se prin aceasta o calibrare stabilă pentru toate acele părți componente ale sistemului de urmărire a curenților, ce este cuplat la dispozitivul de calibrare menționat.

Aparatul de calibrare, conform invenției, poate fi de asemenea folosit pentru calibrarea unui sistem de senzori de mari dimensiuni, caz în care aparatul poate fi conceput pentru a fi utilizat împreună cu un sistem de aflare a stării, cuprinzând subsisteme, mijloace de

RO 118549 B1

control și o unitate de procesare (1), dintre care cel puțin unele dintre acestea sunt părți componente ale sistemului de aflare a stării, care împreună exploatează simultan mai mult de 50 de semnale de detecție, astfel:

- A - subsisteme de senzori, prevăzute cu: 525
- (i) mijloace de captare pentru captarea de semnale;
 - (ii) mijloace de emisie pentru transmisia semnalelor captate;
- B - unul sau mai multe subsisteme receptoare, prevăzute cu:
- (i) mijloace de recepție semnale pentru a recepționa semnalele transmise;
 - (ii) mijloace de conectare pentru conectarea la unitatea de procesare menționată; 530
- C - unitatea de procesare menționată, prevăzute cu:
- (i) mijloace de achiziție date pentru achiziționarea valorilor semnalelor transmise;
 - (ii) mijloace tip baze de date pentru stocarea informației privind calibrarea subsistemelor menționate și diferențele dintre respectivele valori ale semnalelor transmise menționate și niște valori de anticipație ale acestora; 535
 - (iii) mijloace de calcul pentru calcularea parametrilor de stare, a valorilor de anticipație pornind de la parametri calculați, a diferențelor menționate și a actualizărilor privind calibrarea, prin procesarea respectivelor diferențe, la calcularea cărora este folosită, pentru efectuarea unei prime calibrări în cazul existenței unor subsisteme complet necalibrate, filtrarea "trece-sus" a lui Lange și apoi filtrarea rapidă Kalman; și 540
- D - mijloacele de control menționate, prevăzute cu:
- (i) mijloace de cuplare pentru cuplarea fiecăruia dintre subsistemele menționate la aparatul de calibrare;
 - (ii) mijloace de achiziție date pentru achiziționarea, de la subsistemele menționate, a datelor de precalibrare, de precizie, și de zgomot al sistemului; 545
 - (iii) mijloace de comunicație pentru comunicarea cu unitatea de procesare;
 - (iv) mijloace de monitorizare pentru urmărirea stabilității actualizărilor privind calibrarea utilizând informația de precizie obținută folosind inversarea matricială dispersată a lui Lange pentru filtrele Kalman rapide, menționate;
 - (v) mijloace de selectare pentru a efectua alegerea acelor dintre subsistemele menționate, ale căror actualizări privind calibrarea prezintă o convergență adecvată, asigurându-se, prin aceasta, o calibrare stabilă pentru părțile componente, selectate, ale sistemului de urmărire a curenților ce este cuplat la dispozitivul de calibrare menționat. 550
- Metoda conform invenției este destinată calibrării unui sistem de senzori, folosind filtrarea Kalman rapidă, putând fi aplicată în cadrul unui aparat de calibrare, pentru calibrarea citirilor unui sistem de senzori centralizat de mari dimensiuni, folosindu-se niște unități de ieșire ale senzorilor care asigură semnalele, ca răspuns la niște evenimente externe, în care, numărul valorilor semnalului de ieșire al senzorilor, prelucrate simultan, este mai mare de 50, metoda cuprinzând următoarele faze:
- a) dispunerea unei unități de baze de date (2) pentru stocarea informației privind: 560
 - o multitudine de valori ale semnalului de ieșire al senzorului tip sondă, pentru anumiți senzori dintre cei menționați, precum și o multitudine de valori pentru evenimentele externe menționate, corespunzătoare valorilor de ieșire ale senzorului tip sondă;
 - serii de citiri făcute simultan în timp, la senzori adiacenți, în scopul comparării;
 - respectivele citiri, împreună cu valorile și parametrii lor de calibrare pentru evenimentele externe menționate, corespunzătoare unei anumite situații; și 565
 - controlul respectivilor senzori și ale modificărilor survenite în evenimentele externe menționate, corespunzătoare unei noi situații;

b) dispunerea unei unități logice (1) cu parametri de calibrare menționați, în scopul accesării respectivelor citiri, unitatea logică menționată având o legătură de comunicație bidirecțională cu unitatea de baze de date menționată, și calcularea valorilor inițiale pentru parametri de calibrare necunoscuți și a estimărilor preciziei acestora, prin folosirea, conform necesităților, a filtrării "trece-sus" a lui Lange;

c) furnizarea, de la senzorii menționați la respectiva unitate logică (1), a valorilor semnalului de ieșire detectat, după cum acestea sunt disponibile;

d) furnizarea, la unitatea de baze de date (2), a informației privind modificările și controlul, menționate;

e) accesarea valorilor curenților ale respectivelor parametri de calibrare și calcularea, în cadrul unității logice (1) menționate, folosind formula pentru filtrarea Kalman rapidă, obținută din formula de inversare matricială dispersată, a lui Lange, a actualizărilor parametrilor de calibrare menționați, a valorilor evenimentelor externe și a preciziei acestora, corespunzător cu noua situație;

f) urmărirea stabilității filtrării Kalman, menționată, prin monitorizarea, în cadrul unității logice (1) menționate, a respectivelor estimări referitoare la precizie, și prin indicarea necesității preluării de noi date, de la sondă, a necesității comparării sau a reconfigurării de sistem;

g) calibrarea acelor citiri efectuate la senzor pentru care parametri de calibrare stabili sunt disponibili.

În conformitate cu utilizarea aparatului și a metodei, este suficientă utilizarea senzorilor elementari, necostisitori, fără a necesita o prea mare preocupare pentru calitatea calibrării interne și a vitezei de procesare a unităților logice. În pofida utilizării senzorilor complet necalibrați, dar predictibili, vor putea fi obținute, cu acuratețe, rezultate, în cadrul unor aplicații în timp real, prin utilizarea metodei de calibrare și standardizare, precum și a aparatului dezvăluit în cadrul prezentei descrieri.

Metoda utilizând filtrarea Kalman rapidă (FKF), care stă la baza invenției, se bazează pe principiul general al stării de decuplare (de întrerupere). Utilizarea metodei analitice de inversare a matricelor extinse ale lui Lange este determinantă pentru prezenta invenție (a se vedea, de exemplu Lange 1988(a)). Datorită faptului că soluția este extrem de simplă și exactă, optimizarea unui filtru Kalman, centralizat, folosit pe scară largă, se obține cu o eficiență de calcul dificil de ameliorat.

Persoanele de specialitate în domeniu, vor aprecia că mai multe variante ar putea fi realizate în ceea ce privește prezenta invenție descrisă mai sus, fără a se îndepărta de principiul de bază al invenției. Totuși, trebuie să se înțeleagă că obiectul invenției nu trebuie să fie considerat ca fiind limitat la exemplul de realizare descris, exceptând cazul în care revendicările pot să includă, în mod specific, astfel de limitări.

Revendicări

1. Aparat de calibrare a unui sistem de senzori, utilizând filtrarea rapidă Kalman, destinat utilizării împreună cu un sistem de urmărire a curenților, care cuprinde subsisteme, mijloace de control și o unitate de procesare, dintre care cel puțin unele sunt părți componente ale sistemului de urmărire a curenților, **caracterizat prin aceea că** are în alcătuire:

A - unul sau mai multe subsisteme de comandă prin curenți, incluzând:

(i) mijloace de captare semnale pentru a realiza captarea semnalelor de localizare a poziției;

(ii) mijloace de emisie semnale pentru transmisia semnalelor menționate;

B - unul sau mai multe subsisteme receptoare, incluzând:

RO 118549 B1

- (i) mijloace de recepție semnale pentru a recepționa semnalele transmise;
 - (ii) mijloace de conectare pentru conectarea la unitatea de procesare menționată;
- C - unitatea de procesare menționată, incluzând:
- (i) mijloace de achiziție date pentru achiziționarea valorilor semnalelor transmise; 620
 - (ii) mijloace tip baze de date pentru stocarea informației privind calibrarea subsistemelor menționate, precum și a diferențelor dintre respectivele valori ale semnalelor transmise menționate și niște valori de anticipație ale acestora;
 - (iii) mijloace de calcul pentru calcularea, pentru diferite configurații alternative ale subsistemelor menționate, a traiectoriei curenților, pornind de la valorile semnalelor captate cu ajutorul respectivelor, unul sau mai multe, subsisteme de comandă prin curenți, mijloacele de calcul servind, de asemenea, la calcularea valorilor de anticipație ale semnalelor transmise, pornind de la traiectoriile calculate, precum și la calcularea diferențelor menționate și a actualizărilor privind calibrarea prin procesarea respectivelor diferențe, la calcularea cărora este folosită, pentru efectuarea unei prime calibrări în cazul existenței unor subsisteme complet necalibrate, filtrarea "trece-sus" a lui Lange și apoi filtrarea rapidă Kalman; și 625
- D - mijloacele de control menționate, incluzând:
- (i) mijloace de reconfigurare pentru modificarea configurației dispozitivului de calibrare menționat prin cuplarea, și respectiv, decuplarea fiecăruia din subsistemele menționate la, și respectiv, de la dispozitivul de calibrare menționat; 635
 - (ii) mijloace de achiziție pentru achiziționarea, de la subsistemele menționate, a datelor de precalibrare, de precizie și de zgomot, ale sistemului;
 - (iii) mijloace de comunicație pentru comunicarea cu unitatea de procesare;
 - (iv) mijloace de monitorizare pentru urmărirea stabilității actualizărilor privind calibrarea calculată, pentru fiecare dintre respectivele configurații alternative; și 640
 - (v) mijloace de selectare pentru alegerea uneia dintre respectivele configurații alternative ale căror actualizări privind calibrarea calculată prezintă o convergență adecvată, asigurându-se prin aceasta o calibrare stabilă pentru toate acele părți componente ale sistemului de urmărire a curenților, ce este cuplat la dispozitivul de calibrare menționat.
2. Aparat de calibrare a unui sistem de senzori, utilizând filtrarea Kalman, rapidă, pentru calibrarea unui sistem de senzori de mari dimensiuni, aparat destinat utilizării împreună cu un sistem de aflare a stării, **caracterizat prin aceea că are în alcătuire subsisteme, mijloace de control și o unitate de procesare (1)**, dintre care cel puțin unele sunt părți componente ale sistemului de aflare a stării, care, împreună exploatează simultan mai mult de 50 de semnale de detecție: 645
- A - subsisteme de senzori incluzând:
- (i) mijloace de captare pentru captarea de semnale;
 - (ii) mijloace de emisie pentru transmiterea semnalelor captate;
- B - unul sau mai multe subsisteme receptoare, incluzând:
- (i) mijloace de recepție semnale pentru a recepționa semnalele transmise; 655
 - (ii) mijloace de conectare pentru conectarea la unitatea de procesare menționată;
- C - unitatea de procesare menționată, incluzând:
- (i) mijloace de achiziție date pentru achiziționarea valorilor semnalelor transmise;
 - (ii) mijloace tip baze de date pentru stocarea informației privind calibrarea subsistemelor menționate și diferențele dintre respectivele valori ale semnalelor transmise menționate și niște valori de anticipație ale acestora; 660
 - (iii) mijloace de calcul pentru calcularea parametrilor de stare, a valorilor de anticipație pornind de la parametrii calculați, a diferențelor menționate și a actualizărilor privind calibrarea, prin procesarea respectivelor diferențe, la calcularea cărora este folosită, pentru efectuarea unei prime calibrări în cazul existenței unor subsisteme complet necalibrate, filtrarea "trece-sus" a lui Lange și apoi filtrarea Kalman rapidă; și 665

D - mijloacele de control menționate, incluzând:

(i) mijloace de cuplare pentru cuplarea fiecăruia dintre subsistemele menționate la aparatul de calibrare;

670 (ii) mijloace de achiziție date pentru achiziționarea, de la subsistemele menționate, a datelor de precalibrare, de precizie, și de zgomot al sistemului;

(iii) mijloace de comunicație pentru comunicarea cu unitatea de procesare;

(iv) mijloace de monitorizare pentru urmărirea stabilității actualizărilor privind calibrarea utilizând informația de precizie obținută folosind inversarea matricială dispersată a lui Lange pentru filtrele Kalman rapide, menționate;

(v) mijloace de selectare pentru a efectua alegerea acelor dintre subsistemele menționate, ale căror actualizări privind calibrarea prezintă o convergență adecvată, asigurându-se, prin aceasta, o calibrare stabilă pentru părțile componente, selectate, ale sistemului de urmărire a curenților ce este cuplat la dispozitivul de calibrare menționat.

680 3. Metodă pentru calibrarea unui sistem de senzori, utilizând filtrarea Kalman rapidă, aplicată la aparatul de calibrare de la revendicarea 2, **caracterizată prin aceea că**, în scopul calibrării citirilor pentru un sistem de senzori centralizat de mari dimensiuni, se utilizează niște unități de ieșire ale senzorilor ce asigură semnale, ca răspuns la niște evenimente externe, în care, numărul valorilor semnalului de ieșire al senzorilor, prelucrate simultan, este mai mare de 50, metoda cuprinzând următoarele faze:

a) dispunerea unei unități de baze de date (2) pentru stocarea informației privind:

- o multitudine de valori ale semnalului de ieșire al senzorului tip sondă, pentru anumiți senzori dintre cei menționați, precum și o multitudine de valori pentru evenimentele externe menționate, corespunzătoare valorilor de ieșire ale senzorului tip sondă;

690 - serii de citiri făcute simultan în timp, la senzori adiacenți, în scopul comparării;

- respectivele citiri, împreună cu valorile și parametrii lor de calibrare pentru evenimentele externe menționate, corespunzătoare unei anumite situații; și

- controlul respectivelor senzori și ale modificărilor survenite în evenimentele externe menționate, corespunzătoare unei noi situații;

695 b) dispunerea unei unități logice (1) cu parametrii de calibrare menționați, în scopul accesării respectivelor citiri, unitatea logică menționată având o legătură de comunicație bidirecțională cu unitatea de baze de date menționată, și calcularea valorilor inițiale pentru parametrii de calibrare necunoscuți și a estimărilor preciziei acestora, prin folosirea, conform necesităților, a filtrării "trece-sus" a lui Lange;

700 c) furnizarea, de la senzorii menționați la respectiva unitate logică (1), a valorilor semnalului de ieșire detectat, după cum acestea sunt disponibile;

d) furnizarea, la unitatea de baze de date (2), a informației privind modificările și controlul menționate;

705 e) accesarea valorilor curenților ale respectivelor parametri de calibrare și calcularea, în cadrul unității logice (1) menționate, folosind formula pentru filtrarea rapidă Kalman, obținută din formula de inversare matricială dispersată a lui Lange, a actualizărilor parametrilor de calibrare menționați, a valorilor evenimentelor externe și a preciziei acestora, corespunzător cu noua situație;

710 f) urmărirea stabilității filtrării Kalman menționate, prin monitorizarea, în cadrul unității logice (1) menționate, a respectivelor estimări referitoare la precizie, și prin indicarea necesității preluării de noi date, de la sondă, a necesității comparării sau a reconfigurării de sistem;

g) calibrarea acelor citiri efectuate la senzor, pentru care parametrii de calibrare stabili sunt disponibili.

Președintele comisiei de examinare: **ing. Popescu Livia**

Examinator: **ing. Apostol Cristina**

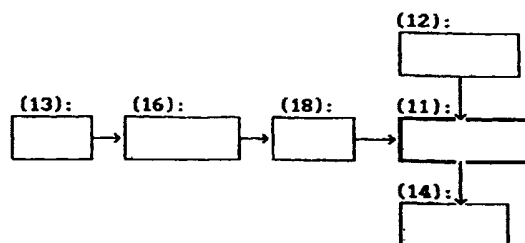


Fig. 1

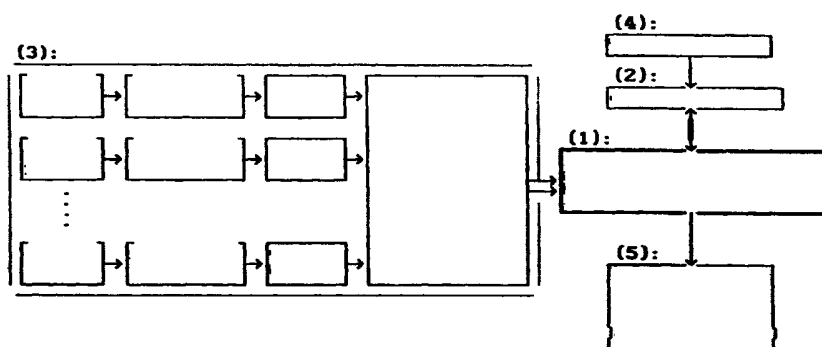


Fig. 3

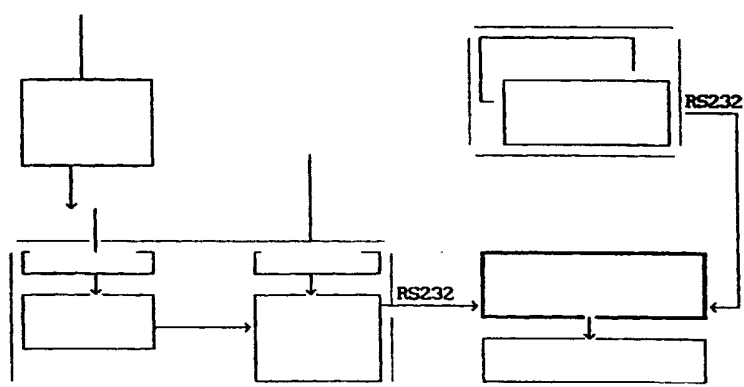


Fig. 4

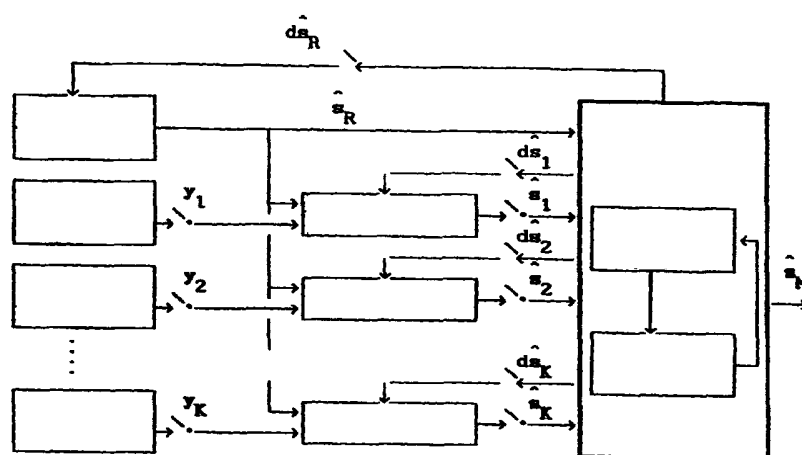


Fig. 2

