

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6641893号
(P6641893)

(45) 発行日 令和2年2月5日(2020.2.5)

(24) 登録日 令和2年1月8日(2020.1.8)

(51) Int.Cl. F I
G O 1 D 18/00 (2006.01) G O 1 D 18/00

請求項の数 13 (全 22 頁)

(21) 出願番号	特願2015-215068 (P2015-215068)	(73) 特許権者	000005223 富士通株式会社 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号
(22) 出願日	平成27年10月30日(2015.10.30)	(74) 代理人	100107766 弁理士 伊東 忠重
(65) 公開番号	特開2016-91562 (P2016-91562A)	(74) 代理人	100070150 弁理士 伊東 忠彦
(43) 公開日	平成28年5月23日(2016.5.23)	(74) 代理人	100192636 弁理士 加藤 隆夫
審査請求日	平成30年7月6日(2018.7.6)	(72) 発明者	ウォーカー・ブレント イギリス国, ダブリュ13 8エイビー, イーリング, アーガイル ロード 6-1 O, スターリング コート 8号
(31) 優先権主張番号	14191553.8		
(32) 優先日	平成26年11月3日(2014.11.3)		
(33) 優先権主張国・地域又は機関	欧州特許庁 (EP)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 センサネットワークを管理する方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

センサネットワークを管理する方法であって、
各センサクラスタが複数のセンサを有する複数のセンサクラスタと、前記センサクラスタと通信する較正コーディネータと、を設けるステップと、
各センサクラスタにおいて、センサから1又は複数のパラメータの値の測定値を得て、前記測定値に対して第1の処理を実行して少なくとも1つの第1の結果を得て、前記較正コーディネータへ情報を転送するステップと、
前記較正コーディネータにおいて、前記センサクラスタから受信した前記情報に対して第2の処理を実行して、少なくとも1つの第2の結果を得て、前記第2の結果を前記センサクラスタに帰還するステップと、
各センサクラスタにおいて、前記第1及び第2の結果を用いることにより、前記センサの信頼性を評価するステップと、
を有し、
前記評価するステップは、各センサクラスタにおいて、各センサの環境依存性能劣化を決定するステップと、前記較正コーディネータへ送信される前記情報から、前記の決定により環境依存性能劣化の状態であると決定されたセンサの将来の測定値を除外するステップと、を有する、方法。

【請求項2】

前記較正コーディネータへ転送される前記情報は、

信頼できると評価された前記複数のセンサの中のセンサの各々からの前記測定値と、
前記 1 又は複数のパラメータの最良推定値と、
のうちの少なくとも 1 つを有する、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

前記第 2 の結果は、

前記センサクラスタの中の前記センサの位置における前記 1 又は複数のパラメータの最良推定値と、

前記センサのうちの少なくとも 1 つを較正し又は廃棄するための命令と、

のうちの少なくとも 1 つを有する、請求項 1 又は 2 に記載の方法。

【請求項 4】

前記第 1 の処理及び / 又は前記第 2 の処理は、前記測定値が期待範囲の中の値を有するか否かを決定するために、予測値を用いて前記センサからの測定値のセンサ融合を行うことを有する、請求項 1、2、又は 3 に記載の方法。

【請求項 5】

各センサクラスタにおいて、前記評価に依存して、センサを較正モードにするステップ、を更に有し、前記較正モードでは、前記センサは、測定値を生成し続けるが、該測定値は前記較正コーディネータへ送信される前記情報から除外される、請求項 1 乃至 4 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 6】

各センサクラスタにおいて、前記第 1 及び / 又は第 2 の結果を用いることにより、前記センサからの測定値に基づき較正の効果を求めるステップと、

前記の求めた効果に依存して、

前記センサを較正モードのままにするステップ、又は

前記センサを測定モードにするステップであって、前記測定モードでは、前記センサの測定値は前記較正コーディネータへ送信される前記情報に含まれる、ステップ、又は

前記センサを廃棄モードにするステップであって、前記廃棄モードでは、前記センサから更なる測定値が得られない、ステップ、

を更に有する、請求項 5 に記載の方法。

【請求項 7】

前記較正の効果を求めるステップは、前記測定値を前記第 1 及び / 又は第 2 の結果に基づく期待値と比較するステップを有し、前記センサは、所定数の連続する測定値が前記期待値と一致するとき、前記測定モードにされる、請求項 6に記載の方法。

【請求項 8】

前記第 2 の処理は、前記 1 又は複数のパラメータが特徴であるシステムのモデルを更新するために、前記センサクラスタからの前記情報を用いるデータ融合を有し、前記第 2 の結果は、各センサの前記 1 又は複数のパラメータの値の推定を有する、請求項 1 乃至 7のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 9】

複数のセンサクラスタであって、各センサクラスタは、複数のセンサとセンサカブラとを有する、センサクラスタと、

前記センサクラスタと通信する較正コーディネータと、

を有し、

各センサクラスタの前記センサカブラは、前記センサからの 1 又は複数のパラメータの値の測定値を得て、前記測定値に対して第 1 の処理を実行して少なくとも 1 つの第 1 の結果を得て、前記較正コーディネータに情報を転送するよう構成され、

前記較正コーディネータは、前記センサクラスタから受信した前記情報に対して第 2 の処理を実行して、少なくとも 1 つの第 2 の結果を得て、前記センサクラスタに前記第 2 の結果を帰還するよう構成され、

各センサクラスタにおいて、前記センサカブラは、前記第 1 及び第 2 の結果を用いて前記センサの信頼度を評価するよう構成され、前記の評価は、各センサクラスタにおいて、

10

20

30

40

50

前記センサカプラが、各センサの環境依存性能劣化を決定することと、前記較正コーディネータへ送信される前記情報から、前記の決定により環境依存性能劣化の状態であると決定されたセンサの将来の測定値を除外することと、を有する、

センサネットワーク。

【請求項 10】

装置であって、センサシステムの中のセンサカプラとして用いられ、クラスタを形成する複数のセンサに接続され、前記センサから 1 又は複数のパラメータの値の測定値を得るよう構成される受信手段と、

前記測定値に対して処理を実行して少なくとも 1 つの第 1 の結果を得て、外部装置へ情報を転送するよう構成される処理手段と、

を有し、

前記受信手段は、前記外部装置から前記情報を用いて導出された第 2 の結果を受信するよう更に構成され、

前記処理手段は、前記第 1 及び第 2 の結果を用いて前記センサの信頼度を評価するよう構成され、前記処理手段は、各センサの環境依存性能劣化を決定し、前記の評価において、前記の決定により環境依存性能劣化の状態であると決定されたセンサの将来の測定値を除外するよう更に構成される、

装置。

【請求項 11】

前記処理は、前記第 1 及び / 又は第 2 の結果により示される前記システムの期待状態に基づく、前記測定値のセンサ融合を有し、前記処理手段は、前記測定値と前記期待状態により示される 1 又は複数のパラメータの値との間の相違に基づき、センサに伴う問題を検出する、請求項 10 に記載の装置。

【請求項 12】

装置であって、センサシステムの中の較正コーディネータとして用いられ、前記センサシステムは、それぞれ複数のセンサを有する複数のセンサクラスタを有し、前記装置は、前記センサクラスタの各々に接続され、前記センサクラスタから情報を受信する受信手段と、

前記情報の処理を実行して、センサクラスタの中の特定のセンサの信頼度を示す少なくとも 1 つの処理結果を得るよう構成される処理手段であって、前記情報の処理において、各センサクラスタから受信した各センサの環境依存性能劣化を示す情報に基づき環境依存性能劣化の状態であると決定されたセンサの将来の測定値を除外する、処理手段と、

前記特定のセンサを較正し又は廃棄するために前記センサクラスタにメッセージを送信するよう構成される送信手段と、

を有する装置。

【請求項 13】

ネットワーク接続されたコンピューティング装置のプロセッサにより実行されると、請求項 1 乃至 8 のいずれか一項に記載の方法を実行するコンピュータ可読命令。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、センサネットワーク、より詳細には排他的ではなく環境センサネットワークの中のセンサを保守し較正する方法、及びセンサネットワーク自体、及びセンサネットワークの中で使用する装置に関する。

【背景技術】

【0002】

センサのネットワークは、航空学、気象学及び気候学のような多くの分野で歴史的に重要であり、高性能計測、自律走行車、及び無人空中輸送手段のような用途で益々重要になっている。

10

20

30

40

50

【 0 0 0 3 】

しかしながら、センサのネットワークの高い維持コストは、先進国及び後進国の両方でそれが広く展開される際に障害になる。個々のセンサは、正確な測定値を生成するために、周期的較正、修理又は交換を含む保守を必要とする。しかし、このような保守のコストは非常に高額になり得る。センサが配備されると、センサのネットワークを作動するために用いられる方法は、ネットワークにより提供され得る情報を最大化できない。

【 0 0 0 4 】

環境センサネットワークの一例として、図 1 に、雨水排水及び下水道を含む都市の排水システムを監視するセンサのネットワークが示される。(因みに、本願明細書では、用語「ネットワーク」は、センサの集合体を示すために用いられ、「システム」は通常、エンティティのために用いられ、そのパラメータがセンサにより監視されている。)

10

図 1 は、破線の収束点に濃い影付き円盤により示される中央ノード 20 (例えば、記載される実施形態の「較正コーディネータ」) に接続され(破線により示される)且つそれぞれ図中の明るい影付き円盤により示され複数のセンサグループ又は「センサクラスタ」10 を有するセンサネットワーク 1 を簡略化して示す。センサクラスタ 10 は、それら個々の位置で測定を行い、測定値を中央ノード 20 へ送信する。

【 0 0 0 5 】

図 1 で、センサクラスタ 10 は、センサが都市の様々な場所に配備されていることを示すために、都市地図に重ねて示される。本例では、市当局は、潜在的問題について中央ノード 20 を通じてネットワークを監視し、及び排水システム及びセンサネットワークの両方に必要に応じて保守作業を行う責任がある。

20

【 0 0 0 6 】

センサネットワークにより供給され得る情報を最大化するために、「センサ融合」は適用できる 1 つの技術である。センサ融合は、異なるセンサ(及び望ましくは異なる種類のセンサ)からのセンサデータを結合して、個々のセンサデータより多くの情報である結果を得ることである。(履歴データを含む)センサデータのみ「直接融合」と人間の入力のような他の種類の情報を組み込む「間接融合」との間の区別が引き出せる。融合が行われる場所も関連する。したがって、センサ融合は、局所的に(例えば、図 1 のセンサクラスタ 10 のレベルで)又は集中的に、又はその両方で生じ得る。センサ融合は、一種の「データ融合」である。2 つの用語は以下で用いられる。

30

【 0 0 0 7 】

センサ融合においてセンサデータを結合する方法は、カルマンフィルタ技術を含む。カルマンフィルタ技術は、それぞれ不確実性(ノイズ)の影響を受ける測定値の時系列から、単一の測定値だけに基づくよりも正確である傾向のある未知変数の推定を生成する。この技術は、予測及び更新フェーズを有する。予測フェーズでは、監視下にあるシステムのモデルに基づき、カルマンフィルタは、現在状態変数の推定を不確実性と共に生成する。全体システムの不確実性又は「共分散」も決定される。次に、更新フェーズでは、次の測定値が入力され、加重平均を用いて推定が更新される。ここで、大きな重みはより高い確実性を有する推定値に与えられる。繰り返し、本技術は、現在入力された測定値、及び不確実性を含む前に計算された状態のみを必要とする。

40

【 0 0 0 8 】

センサの交換又は手動再較正は、例えば排水システムに進入するガス及び有毒な又は他の危険な物質の集結により困難且つ危険であり得る。これらの理由から、このようなセンサネットワークの保守は高価である。しかしながら、良好な順序で排水システムを保守することは、都市領域で洪水を回避するのに重要なステップである。したがって、排水システムの状態を監視するセンサネットワークの価値は重要である。

【 0 0 0 9 】

標準的に、センサは、環境因子(熱又は低温度、日光への露出、又はバッテリー枯渇)により限られた寿命を有するので、時間の経過と共に交換する必要がある。センサの個々の履歴の記録を維持することは、幾つかのセンサが他のセンサより古いにも係わらず依然と

50

して満足できるように機能し得るとき、平均寿命又は予測障害時間のみを考慮する場合よりも、幾つかのセンサを長く使用できるようにする。さらに、センサ同士の相関は、機能的センサの可使時間を延長させ、時期尚早の廃棄を回避し得る。しかしながら、今まで、このような手段は広範な使用を見出していない。

【0010】

測定値の正しい管理における革新、較正及び決定は、将来のセンサネットワークの配備のために重要である。センサネットワークのより良い管理は、より多くの情報を与えられたセンサ分布から抽出し、コスト対利益の比がより好ましくなるようにする。退役されるべきセンサの識別、したがって、年代若しくは経験的故障率ではなく、個々のセンサ性能に基づくセンサ交換の優先順位付けも望ましい。

10

【0011】

したがって、環境センサネットワークのようなセンサネットワークにおけるセンサの管理を向上する必要がある。

【発明の概要】

【0012】

本発明の第1の態様によると、センサネットワークを管理する方法であって、各センサクラスタが複数のセンサを有する複数のセンサクラスタと、前記センサクラスタと通信する較正コーディネータと、を設けるステップと、各センサクラスタにおいて、センサから1又は複数のパラメータの値の測定値を得て、前記測定値に対して第1の処理を実行して少なくとも1つの第1の結果を得て、前記較正コーディネータへ情報を転送するステップと、前記較正コーディネータにおいて、前記センサクラスタから受信した前記情報に対して第2の処理を実行して、少なくとも1つの第2の結果を得て、前記第2の結果を前記センサクラスタに帰還するステップと、各センサクラスタにおいて、前記第1及び第2の結果を用いることにより、前記センサの信頼性を評価するステップと、を有する方法が提供される。

20

【0013】

言い換えると、前記センサは、2つの処理レベルに基づきチェックされる。つまり、センサクラスタにローカルな処理、及び、全てのセンサクラスタから情報を受信する較正コーディネータにおける処理である。

【0014】

上述の方法では、望ましくは、排他的ではなく、前記パラメータは環境パラメータであり、前記ネットワークは、水位、交通、大気若しくは水質汚染、等のようなパラメータを監視する環境センサネットワークである。

30

【0015】

前記1又は複数のパラメータの値は、時間と共に変動すると想定される。望ましくは、前記ネットワークは、連続する動作期間で動作する。各動作期間の間、「設けるステップ」の後の上述のステップが実行される。この期間の長さは、単に参照される変動を捕捉するために選択されても良い。

【0016】

第1の態様の発展によると、センサネットワークを管理する方法であって、各センサクラスタが複数のセンサを有する複数のセンサクラスタと、前記センサクラスタと通信する較正コーディネータと、を設けるステップと、各センサクラスタにおいて、センサから1又は複数のパラメータの値の測定値を得て、前記測定値に対して第1の処理を実行して少なくとも1つの第1の結果を得て、前記較正コーディネータへ情報を転送するステップと、前記較正コーディネータにおいて、前記センサクラスタから受信した前記情報に対して第2の処理を実行して、少なくとも1つの第2の結果を得て、前記第2の結果を前記センサクラスタに帰還するステップと、各センサクラスタにおいて、前記第1及び第2の結果を用いることにより、前記センサの信頼性を評価するステップと、を有し、各センサクラスタにおいて、各センサの環境依存性能劣化を決定するステップと、前記決定により示される場合、前記センサの将来の測定値を前記較正コーディネータへ送信する前記情報から

40

50

除外するステップ、を更に有する方法が提供される。

【0017】

ここで、望ましくは、前記環境依存性能劣化は、個々のセンサの各々に関連付けられた環境露出カウンタの使用により決定され、各カウンタは、前記環境条件及び前記個々のセンサの前記環境依存性能劣化を特徴付けるために較正される。

【0018】

環境露出カウンタは、望ましくは、高温、圧力及び湿度により引き起こされる個々のセンサの劣化の蓄積を測定する。これらの要因の各々は、蓄積される劣化の量に非線形の影響を与える。

【0019】

各センサクラスタにより前記較正コーディネータに転送される前記情報は、望ましくは、少なくとも信頼できると評価されたセンサクラスタの中のセンサからの測定値、前記1又は複数のパラメータの最良推定値、のうちの少なくとも1つを有する。

【0020】

前記第2の結果は、前記較正コーディネータによる前記第2の処理の中で得られ、前記センサクラスタの中の前記センサの位置における前記1又は複数のパラメータの最良推定値と、前記センサのうちの少なくとも1つを較正し又は廃棄するための推奨又は命令と、のうちの少なくとも1つを有する。

【0021】

このように、前記ネットワークは、センサクラスタ及び較正コーディネータの両方のレベルにおける処理の結果を使用でき、センサが信頼できるか否か（つまり、センサの測定値が信頼できるか）を評価する。つまり、（センサクラスタにけるセンサ融合で、又は較正コーディネータにおけるデータ融合で）所与のセンサ値がシステムモデルからの期待値に合致しない場合、このセンサは、較正又は廃棄とマークされる。ここで、「システム」は、1又は複数のパラメータがセンサにより検知されるエンティティ（例えば都市域排水システム）を表す。

【0022】

前述のように、各センサクラスタは、望ましくは、各センサの環境依存性能劣化を評価し、前記評価により示される場合、第1の処理（センサ融合）から前記センサを除外する。

【0023】

センサは、較正モードにされても良い。較正モードでは、センサは、測定値を生成し続けるが、このような測定値は、前記較正コーディネータへ送信される情報から除外される。しかしながら、測定値は、特にセンサの較正が成功したか否かを判断するために、センサクラスタにより内部で使用されても良い。

【0024】

前記センサからの測定値に基づく較正の効果は、前記第2の結果を用いることにより、時間に渡り監視されても良く、前記結果に依存して、前記センサクラスタは、前記センサを較正モードのままにし、又は前記センサを測定モードにし、前記測定モードでは、前記センサの測定値は前記第1の処理に含まれ、又は前記センサを廃棄モードにし、前記廃棄モードでは、前記センサから更なる測定値が得られない。

【0025】

ここで、望ましくは、前記較正の効果監視するステップは、動作の複数の時間間隔について、前記測定値を前記第1及び/又は第2の結果に基づく期待値と比較するステップを有し、前記センサは、所定数の連続する測定値が前記期待値と一致するとき、前記測定モードにされる。

【0026】

上述の任意の方法において、前記第1の処理は、望ましくは、（除外されない限り）前記センサの測定値を前記センサクラスタの中のシステムモデルと結合して、前記較正コーディネータへ転送する情報の一部（又は全部）として各センサの1又は複数のパラメータ

10

20

30

40

50

の値の最良推定値を生成するセンサ融合を有する。前記第1の処理は、較正モードのセンサからの測定値を有し、同じクラスタの中のセンサの信頼性を評価するために上述の「第1の結果」を得るセンサ融合を有しても良い。したがって、以上で言及された「第1の結果」は、必ずしも前記較正コーディネータに供給される情報と同じではない。

【0027】

同様に、第2の処理は、望ましくは、センサクラスタから転送された情報のデータ融合を有し、第2の結果は、各センサ/センサクラスタの1又は複数のパラメータの値の最良推定値を有する。(用語「データ融合」は、ここでは、混乱を避けるために「センサ融合」の代わりに用いられる。しかしながら、融合処理は、センサクラスタにおけるセンサ融合より高いレベルではあるが、それと概念的に類似している。)つまり、望ましくは、センサクラスタ及び較正コーディネータの両者は、各センサがシステムの動作の各時間間隔で測定すると期待される値を推定できる。このように、較正コーディネータは、これがセンサカプラにより失われたとしても、特定のセンサの較正の必要を検出できる。較正コーディネータは、センサシステムの外部にある情報源からの可能性情報及び/又は人間の入力を含むより多くの情報にアクセスしているので、較正コーディネータからの推定値はより正確であり得る。

【0028】

ここで、前記データ融合は、望ましくは、1又は複数のパラメータが特徴であるシステムのモデルを用い、前記第2の処理は、前記第1の結果を前記モデルに組み込むステップを有する。この種の技術の一例は、導入部で言及されたカルマンフィルタリングである。

【0029】

いかなる場合にも、第2の処理は、受信した情報に基づきセンサクラスタに関して問題が存在することを検出するステップを有し、前記較正コーディネータは、前記問題の指示に関連する前記センサクラスタに帰還する。この指示は、前述のように前記センサを較正し又は廃棄する命令の形式であっても良い。

【0030】

本発明の第2の態様によると、複数のセンサクラスタであって、各センサクラスタは、複数のセンサとセンサカプラとを有する、センサクラスタと、前記センサクラスタと通信する較正コーディネータと、を有し、各センサクラスタの前記センサカプラは、前記センサからの1又は複数のパラメータの値の測定値を得て、前記測定値に対して第1の処理を実行して少なくとも1つの第1の結果を得て、前記較正コーディネータに情報を転送するよう構成され、前記較正コーディネータは、前記センサクラスタから受信した前記情報に対して第2の処理を実行して、少なくとも1つの第2の結果を得て、前記センサクラスタに前記第2の結果を帰還するよう構成され、各センサクラスタにおいて、前記センサカプラは、前記第1及び第2の結果を用いて前記センサの信頼度を評価するよう構成され、前記の評価は、前記センサの将来の測定値を、前記較正コーディネータへ送信する情報に取り入れるか否かを決定するステップを含むことができ、特に、前記センサカプラは、各センサの環境依存性能劣化を決定し、前記決定により示される場合、前記センサの将来の測定値を前記較正コーディネータへ転送される情報から除外するよう構成される、センサネットワークが提供される。

【0031】

上述のネットワークは、本発明の方法に関して上述した特徴のうちの任意の特徴を有しても良い。

【0032】

本発明の第3の態様によると、装置であって、センサネットワークの中のセンサカプラとして用いられ、クラスタを形成する複数のセンサに接続され、前記センサからシステムの1又は複数のパラメータの値の測定値を得るよう構成される受信手段と、前記測定値に対して処理を実行して少なくとも1つの第1の結果を得て、外部装置へ情報を転送するよう構成される処理手段と、を有し、前記受信手段は、前記外部装置から前記情報を用いて導出された第2の結果を受信するよう更に構成され、前記処理手段は、前記第1及び第2

10

20

30

40

50

の結果を用いて前記センサクラスタの中の前記センサ各々の信頼度を評価するよう構成され、例えば各センサの環境依存性能劣化を決定し、前記決定により示される場合、前記センサの将来の測定値を前記外部装置へ送信される情報から除外するよう構成される、装置が提供される。

【0033】

望ましくは、上述の「処理」は、先に定めた方法におけるように、前記第1及び/又は第2の結果により示される前記システムの期待状態に基づく、前記測定値のセンサ融合を有し、前記処理手段は、前記測定値と前記期待状態により示される1又は複数のパラメータの値との間の相違に基づき、センサに伴う問題を検出する。

【0034】

本発明の第4の態様によると、装置であって、センサシステムの中の較正コーディネータとして用いられ、前記センサシステムは、それぞれ複数のセンサを有する複数のセンサクラスタを有し、前記装置は、前記センサクラスタの各々に接続され、前記センサクラスタから情報を受信する受信手段と、前記情報の処理を実行して、センサクラスタの中のセンサの信頼度を示す少なくとも1つの処理結果を得るよう構成される処理手段と、前記センサを較正し又は廃棄するために前記センサクラスタにメッセージを送信するよう較正される送信手段と、を有する装置が提供される。

【0035】

上述の「メッセージ」は、全てのセンサクラスタから受信した情報に対するデータ融合の結果のような処理結果、及び/又は障害と決定されたセンサに関する命令、を有しても良い。

【0036】

本発明の第5の態様によると、ネットワーク接続されたコンピューティング装置のプロセッサにより実行されると、上述のいずれかの方法を実行するコンピュータ可読命令が提供される。

【0037】

このようなコンピュータ可読命令は、1又は複数の非過渡的コンピュータ可読記録媒体に格納されても良い。

【図面の簡単な説明】

【0038】

単に例として、添付の図面を参照する。

【図1】都市排水監視のための較正コーディネータに接続されるセンサクラスタの簡略ネットワークを示す。

【図2】局所環境の環境条件に依存して、精度及び感度の劣化を含む異なるレートのセンサ劣化のグラフである。

【図3】センサシステム較正及び測定のための一実施形態に従う装置を示す。

【図4】センサクラスタの中の測定値の収集及び評価するステップを示す。

【図5】センサクラスタの中の測定値セットのセンサ融合評価を実行するステップを示す。

【図6】外部機関から得た任意の測定値、予測、及び予報を示す、実施形態において使用され得るデータ融合の原理を示す。

【図7】較正コーディネータで実行されるデータ融合動作におけるデータフローを示す。

【図8】新しい測定値がセンサクラスタから受信されるとき、異常値を検出するために較正コーディネータで実行される追加動作を示す。

【図9】センサクラスタの較正モードにおいて実行されるステップを示す。

【発明を実施するための形態】

【0039】

センサネットワークの管理を向上する目的で、本発明の実施形態は、較正、保守及び交換を行うためにアクセスすることが困難な及び/又は高価な遠隔地に設置された多数のセンサを使用するとき生じ得る3種類のエラーを解決する。

10

20

30

40

50

【0040】

- (i) センサ較正の損失
- (ii) センサ測定値に内在するランダムエラー
- (iii) センサの環境依存損傷/劣化

実施形態は、望ましくは異なる種類のセンサの複数のグループ(「センサクラスタ」)を有するネットワーク(「センサネットワーク」)を提供する。ここで、センサクラスタは、識別される必要がない。つまり、各クラスタは、必ずしも同じ番号又は種類のセンサを有する必要はない。測定を行うためにネットワーク全体に較正を実行し及びネットワーク全体の情報を使用する方法も提供される。方法は、少なくとも部分的に、以後「較正コーディネータ」と呼ばれる、ネットワークの中央ノードで実行されても良い。

10

【0041】

時間の経過と共に、各センサは、較正されていない状態になり、不正確な測定値を与え得ると想定される。各種のセンサは、個々に較正され、他の種類のセンサのうちの1又は複数に関連する情報を与え得ることが更に想定される。つまり、各センサ種類が異なるパラメータの値を検知する場合、後述するようにこれらのパラメータは相関され得る。

【0042】

都市全体の排水システムを監視するネットワークの場合、例えば、センサクラスタの中の個々のセンサは、流速、毒性、及びガスレベルを測定し得る。

【0043】

本発明は、各々の個々のセンサを、時間と共に変化し環境の(例えば温度、圧力、及び湿度により)影響を受ける、センサが測定した量に対する応答曲線を有するとして、モデル化する。応答曲線は、特定の知られている非較正化応答を含む多数の異なる方法で変化し得る(例えば、センサが低温を測定するために時間と共に予測可能な方法で精度を失うことが知られている)。図2は、終身履歴(及び、センサが配備されてから、センサが晒された条件)に応じた劣化の個々の特性を示す

20

図2は、局所環境の環境条件に依存して、センサがどのように、精度及び感度の劣化を含む異なるレートのパフォーマンス劣化を経験するかを概念レベルで示すグラフである。図2に示すように、センサのパフォーマンスがもはや許容できない(つまり、もはや使用できるほど正確ではない)パフォーマンス劣化の閾レベルがある。厳しい環境にある(例えば地上で風又は低温度に晒される)センサは、(筐体に保護された又は地下にあるような)もっと好適な環境にある別のセンサよりも早く、この閾レベルに達する。この概念を実用レベルまで落とすために、各センサは、例えば0から上昇し例えば許容できないパフォーマンスを表す100の閾値を有する劣化カウント又は「スコア」を割り当てられても良い。次に、各々のセンサについてカウントを維持することにより、センサの有効寿命を追跡することが可能になる。

30

【0044】

因みに、日光若しくは寒気への露出のような特定の特性を有する、センサが設置される周囲を意味するセンサの局所環境と、監視下にある環境システムを広く意味する「環境」と、の間の区別が引き出され得る。センサは、センサネットワークが環境パラメータを測定するためのものか否かにかかわらず、環境を有する。他方で、2種類の「環境」は、関連付けられても良い。例えば、配水管の中に沈められ得るセンサの場合、それ以来、該センサの局所環境は監視される広域環境も示すからである。

40

【0045】

集合データ同化及び分析アプローチは、不正確なセンサを識別し、劣化したセンサ性能でも最良の測定値を生成させるために用いられる。これは、利用可能な情報の使用効率を増大することにより、センサネットワークの保守コストを低減する。このアプローチは、センサクラスタ及び較正コーディネータレベルの両方でセンサ融合を用いる。較正コーディネータにおける融合処理は、センサクラスタにおける融合処理(「センサ融合」と区別するために、「データ融合」として参照される。しかし、概念的に、両者は、導入部で概略を述べたようにセンサ融合の形式である。

【0046】

50

実施形態の特徴は以下を含む。

【0047】

・予測又はモデル化システムに結合されるセンサのネットワーク全体からの予測により補強される、センサ融合技術（従来知られているように、異なる物理パラメータが互いにクロスチェックを提供できる）を用いた異なるセンサ間の内部一貫性の評価及び監視。

【0048】

・センサの個々の終身履歴が維持され、知られているセンサ融合技術は、特定の条件に露出される場合、センサ応答がどのように変化するか知識により更に補強できる。

【0049】

・センサ誤動作のモデルに基づく検出は、再較正を行わせる。

10

【0050】

センサ評価コンポーネントは、2つのレベル又は段階を有すると考えられる。

【0051】

(i) 各センサクラスタの中のセンサ融合。これは、重大な問題を早期に警告することが期待できる。

【0052】

(ii) 潜在的に洗練されたモデルから得られた不確実性を用いた較正コーディネータによるデータの信頼性のより厳格な評価としての、較正コーディネータにおけるデータ融合。これも、センサ融合の形式であるが、センサクラスタにおいて実行される処理と区別するために「データ融合」と称される。センサ融合が特定のセンサを伴う問題を検出し、これらのセンサの測定値が較正コーディネータへ送られる情報から除外される場合でも、較正コーディネータは、より正確なシステムモデルのお陰で、他のセンサに伴う問題を依然として検出できる。

20

【0053】

これらの段階を、以下に更に詳細に記載する。先ず、図3は、センサクラスタと較正コーディネータとの間の全体的相互作用を示す。

【0054】

図3の左側に、1つのセンサクラスタ10が概略的に示される。センサクラスタ10は、複数のセンサ11、12、13、14と、センサカプラ15と、を有する。センサカプラ15は、環境露出を監視し、センサ融合を実行し、較正コーディネータ20（図3の右側）と通信する。1つのセンサクラスタのみが示されるが、現実には、（図1に示すような）都市又は領域に渡り分散される多くのセンサクラスタが存在しても良い。センサクラスタ10は、較正コーディネータ20よりも（処理能力及びエネルギー消費の点で）軽量の装置であると予想される。

30

【0055】

センサ11～14の各々は、所与の時間に、1又は複数の環境パラメータの値を測定するよう構成される。都市全体の排水システムの例では、測定されるパラメータは、センサの位置における水位を含み得る。したがって、最も単純な例では、ネットワークは、1つのパラメータのみの値を測定し得る。より標準的には、1つより多いパラメータが測定され、複数のパラメータに基づきセンサ融合及び/又はデータ融合を可能にしても良い。例えば、排水システムの場合、周囲温度は、別の関連パラメータであり得る。更なるパラメータは、排水の透明度又は濁度、排水の特定の化学成分の存在又は不存在、等を有しても良い。標準的に、センサ値は、それらを測定したセンサの識別子と結合され、特定のセンサデータの生成元のセンサ（及びセンサクラスタ）を辿ることができる。

40

【0056】

望ましい、しかし必須ではない、センサクラスタの構成は、センサクラスタの各々について、パラメータ毎に1つのセンサを有し、全てのセンサクラスタが同じパラメータを監視することである。

【0057】

標準的に、各センサは、毎時1回又は毎分1回のような所定の時間間隔で読み取り値を

50

供給するよう構成され、1つのセンサクラスタの（及び望ましくは全てのセンサクラスタの）センサからの測定値のセットが同じ時間間隔又は時点に適用できるようにし得る。代替で又は追加で、幾つかのセンサは、アドホックベースで、例えば読み取り値がセンサカプラに警告メッセージを強制する「緊急」閾を超える場合、測定値を供給するよう構成されても良い。

【0058】

センサカプラ15は、有線又は無線手段により、クラスタの中のセンサ11～14の各々に接続される。センサカプラ15は、環境露出カウンタ16と、センサ融合モジュール17と、較正コーディネータ20から受信した予測を格納するメモリ18とを含む機能ユニットを有する。

10

【0059】

環境露出カウンタ16は、個々のセンサ11～14の各々と関連付けられる。各カウンタは、環境条件を特徴付け、センサのうちの個々の1つの環境依存性能劣化（図2）を特徴付けるよう構成される。前述のように、カウントは維持されても良く、各センサの累積環境露出（エージング）を表し、ゼロで開始し、上向きに計数する。センサ当たり1つより多いカウンタが存在しても良い。例えば、1つの特定のセンサについて、センサが摂氏40度より高い温度に露出された時間数を数えるカウンタ、及び該センサが水に接触した時間数を数える別のカウンタがあっても良い。

【0060】

代替で、1つの特定のセンサについて、それぞれ蓄積される損傷/劣化の量に非線形な影響を与える要因である高温、圧力及び湿度の組合せにより引き起こされる（任意のユニットで測定される）損傷/劣化の蓄積を測定するカウンタが存在しても良い。例えば、極度の温度（例えば凍結損傷）は、日常の温度変動と比べて比較的高いスコアを割り当てられても良い。

20

【0061】

留意すべきことに、環境依存性能劣化を特徴付けるために用いられるパラメータは、センサ（又はデータ）融合で用いられる環境パラメータと同じではない。例えば、温度露出がセンサに与える影響は、温度が監視されているシステムの関連環境パラメータではない場合でも、センサカプラの内部に記録されても良い。

【0062】

各センサカプラ15は、較正モード、測定モード、又は廃棄モードで動作しても良い（これらのモードは以下に詳述する）。各々の個々のセンサ11～14も、前述のモードのうちの1つで動作する。標準的に、センサカプラは、少なくとも1つの付属センサが較正モードである場合、較正モードである。

30

【0063】

少なくとも、センサカプラ15が測定モードであるとき、センサ融合モジュール17は、センサ11～14から測定値（生センサ値）を取り込み、それらを特定の方法で処理して、処理結果（請求項の中では「第1の結果」として参照される）を得る。最も単純な例では、モジュール17における処理は、関連する時間間隔に適用可能な単一の値に達するために、同じ種類のセンサの個々の測定値の平均化又は平滑化である。

40

【0064】

例えば、センサの各々が配水管に沿って異なる地点で水位を監視する場合、水が管に沿って流れるときの渦又は波紋により、各センサにおける瞬間レベルは、平均レベルの近くで変化し得るが、複数のセンサからの読み取り値を平均化することにより、このような変動が取り除くことができる。代替又は追加で、同じセンサからの同じ時間間隔の範囲内にある複数の読み取り値も、平均化されても良い。したがって、平均化/平滑化された値は、測定されているパラメータについて及びその時間間隔について、センサクラスタの「最良推定」になる。この平均化した値は、情報として較正コーディネータへ更に送られても良い。

【0065】

50

しかしながら、望ましくは、センサ融合モジュール17における処理は、これよりも洗練され、「第1の結果」を生成するために個々のセンサからの読み取り値の特定の形式の（名前により示唆されるように）センサ融合を含む。導入部で述べたように、複数のパラメータの測定値は合成され、直接的検知のために可能又は実用的でないかも知れない別のパラメータの最良推定値のような、較正コーディネータにとってもっと直接的に役立つ情報を得る。

【0066】

センサクラスタにおけるセンサ融合の別の重要な使用は、後述するように、個々のセンサの較正及び/又は廃棄の必要を検出することである。したがって、センサクラスタの中でセンサ融合を実行することは、その結果が較正コーディネータに供給されない場合でも、有利である。これは、センサ融合モジュールが2つの異なる種類の処理を実行し得ることを意味する。つまり、内部目的で較正の必要なセンサを検出するために行われ、上述の「第1の結果」を得る（場合によってはデータ融合を含む）処理と、結果が較正コーディネータにより消費されることを意図される「最良推定」を含む（「第1の結果」に組み込まれても良く組み込まれなくても良い）情報である（これも場合によってはセンサ融合を含む）処理と、である。前者の処理は、通常、全てのセンサを伴うが、後者の処理は、通常、信頼できると判断されるセンサ値のみを伴う。

【0067】

図3に示すように、センサカブラ15は、最良推定値又は生センサ値、又はその両者を較正コーディネータ20へ送信する。較正コーディネータ20は、（必ずしもその位置ではなく、ネットワークアーキテクチャの観点で）ネットワーク1の中央ノードを形成し、したがって、最も都合の良いことに単一ノードである。しかしながら、これは、分散型較正コーディネータ、又は複数の較正コーディネータを調整する全体管理ノードを有する複数の較正コーディネータの可能性を排除しない。

【0068】

同様に図3に示す較正コーディネータ20は、センサクラスタ10から測定値を受信し一時的に格納する受信機21と、データ融合モジュール22と、予測システム23と、を含む機能ユニットを有する。

【0069】

受信機21は、無線及び有線手段の組合せを介して複数のセンサクラスタ10と通信する。一例として、較正コーディネータ20は、インターネットに接続されるコンピュータにより提供されても良い。各センサクラスタ10は、始めに自身の測定値を無線通信ネットワークへ無線で送信する。次に、無線通信ネットワークは、該測定値を有線IPネットワークを介して較正コーディネータへ転送する。

【0070】

較正コーディネータ20は、環境監視に積極的に関与する（つまり、センサカブラ15が測定モードで動作している）全てのセンサクラスタ10からの測定値を蓄積し、センサカブラの位置における1又は複数のパラメータの真の値について及び望ましくは個々のセンサの各々について、推定を計算する。データ融合モジュール22は、望ましくは、センサカブラの位置の周囲の真の値を予測するためにシミュレーションコードを有する。これは、導入部で概説したように知られているデータ融合技術を用いて行うことができる。システムモデル及び既存のシステム状態を知ることに基づき、データ融合モジュール22は、次の時間間隔におけるシステム状態を予測し、各センサ位置におけるパラメータの値について推定を生成できる。予測は、次に、モデルを更新するために、実際の測定値と比較される。処理は、システムの仮名で所定の時間間隔毎に、望ましくはリアルタイムに繰り返され、検査中のシステムが絶えず監視され得るようにする。

【0071】

排水システムを監視するセンサネットワークの上述の例では、システムの中のフローを記述する水力学モデルが適切であり得る。センサネットワークが気候監視目的で大気又は環境変数を測定していた場合、較正コーディネータは、（気象研究及び予測（Weather R

10

20

30

40

50

research and Forecasting: WRF) モデルシステムのような) 数値気象予測 (numerical weather prediction: NWP) 機能を有しても良い。NWP 機能は、将来への短期間 (例えば、向こう 1 時間) のセンサカブラの位置における温度、圧力、風速を予測する。図 3 の太い矢印により示すように、較正コーディネータ 20 は、較正モードでセンサカブラ 15 に、任意で測定モードでセンサカブラ 15 に、予測値を供給する。

【 0 0 7 2 】

較正モードのセンサカブラは、予測値を用いて、個々のセンサを較正する。センサカブラ 15 は、知られているセンサ融合技術と、供給された予測値とを用いて、正しい測定値の推定を計算する。較正コーディネータ 20 は、知られているデータ融合技術及び予測システムを用いて、各々のセンサクラスタについて、センサクラスタのセンサカブラに利用可能なより多くのデータを用いて、正しい測定値の推定を計算する。この推定は、関連するセンサクラスタに帰還される前述の「第 2 の結果」を構成しても良い。

10

【 0 0 7 3 】

計算された推定に基づき、取り入れられた測定値が意図する用途のために十分に信頼できない又は正確ではない場合、較正コーディネータ 20 又は個々のセンサカブラ 15 は、固有センサ又はセンサクラスタ全体を廃棄モードにできる。したがって、図 3 に示す「最良推定値」に加え、較正コーディネータは、例えば廃棄目的で、各センサクラスタに命令を供給しても良い。

【 0 0 7 4 】

両者の場合に、種々の機能モジュールは、マイクロプロセッサ、DSP (digital signal processor)、ASIC (application-specific integrated circuit)、FPGA (field-programmable gate array)、又は記載される種々の機能を実行するようプログラムされた若しくは構成された他の論理回路を用いて実装されても良い。

20

【 0 0 7 5 】

図 4 は、センサクラスタの中の評価手順の動作を示す。図示のように、センサは、ネットワークの中の動作の所定の時間間隔の各々における自身の生センサ値を、センサカブラ 15 のセンサ融合モジュール 17 に供給する。センサ融合モジュール 17 は、センサにより与えられた測定値に伴う問題を検出するロジックを適用する。より詳細には、図 3 に示すような較正コーディネータから供給される、前の時間間隔からのシステムの予測状態は、現在の時間間隔で適用すると期待され得る値 (又は値の範囲) を予測するために用いられる。図示のように、生センサ値が予測されたものと一致する場合 (図 4 で「No」) (言い換えると、予測範囲の範囲内である、又は予測値と異なるが所与の許容範囲内である)、センサ値は信頼できると評価される。次に、センサ値は、生センサ値として直接に及び/又は処理の結果として較正コーディネータに渡される。他方で (図 4 で「Yes」)、所与のセンサの生センサ値が予測したものと大きく異なる場合、センサ融合モジュールは、所与のセンサに関して問題が存在すると決定する。言い換えると特定のセンサが信頼できないと評価されるつまり、予測と大きく異なる生センサ値は、真の読み取り値ではなく、センサの中の障害の結果である可能性が高いと想定される。この例では、関連するセンサは較正モードに置かれる。この例では、生センサ値は、通常、較正コーディネータに渡されない、又は較正コーディネータによる消費のために (平均化/平滑化又はデータ融合のような) 任意の処理で用いられない。

30

40

【 0 0 7 6 】

図 5 は、この処理を、P1、P2、P3 とラベル付けされた 3 つのパラメータの間の相関を用いる例で示す。

【 0 0 7 7 】

まず、ステップ S10 で、センサカブラは、センサクラスタの中のセンサから、パラメータの値 P1、P2、P3 の測定値を受信する。次に、ステップ S12 で、センサ融合モジュール 17 は、生センサ値を比較し、センサのうちの 1 つが P2 の P1 との標準相関の外側にある P2 の測定値を供給したと決定する。標準相関は、センサ融合モジュールが初期に格納したものである (S12 の下のグラフを参照)。しかしながら、ステップ S14

50

で、センサ融合モジュール17は、P3のP2との期待相関の範囲内にあるべき同じセンサ値を見付ける(S14の下のグラフを参照)。センサ融合モジュールは、これから、P2を供給したセンサが校正を必要としていると結論づける。ステップS16で、関連するセンサは校正モードに置かれる。

【0078】

センサ自体は、比較的簡易であることが期待されるので、このステップに起因する計算オーバーヘッドは少量であるべきであると期待される。

【0079】

(別個に検討される又はセンサ融合に組み込まれる)上述の処理への更なる入力として、環境露出カウンタ16からの値が用いられる。例えば、所与のセンサのカウンタ値が閾値を超える場合、該センサの後続のセンサ値は、信頼性の評価に係わらず最良の推定の決定から除外され、又は第1の閾を超えると、センサ融合処理で減少した重みがそのようなセンサからの値に適用され、第2の閾を超えると、より高い閾が即時廃棄を促しても良い。

10

【0080】

しかしながら、センサは、該センサの環境露出値が要求閾に達しない限り、単に設計寿命の超過によっては廃棄(使用中止)されない。

【0081】

図6は、校正コーディネータのコンポーネントを示す。既に図3に示したコンポーネントに加えて、図6は、校正コーディネータ20が、前述のような測定モードでセンサからの(生センサ値又は第1の処理結果のような)入力21に加えて、どのように任意測定値24、及び/又は外部機関から取り入れた予測及び予報25を受信するかを示す。校正コーディネータのデータ融合モジュール22は、ここでは、2つのサブモジュール26及び27を有するとして示される。ここで、モジュール26は、バックグラウンドからの距離及び測定値からの距離に基づき結合メトリックを準備し、モジュール27は、モジュール26からの結果を最適化して、センサクラスタに帰還するために前述の最良の推定値を供給する(太い矢印により示す)。図3に関して既に述べたように、データ融合は、シミュレーション及び予測に基づきバックグラウンドモデル状態を提供する予測システム23により通知される。

20

【0082】

したがって、エラー及びメトリックは、データ融合モジュール22の中で準備され、センサクラスタにより測定された量の真の値の最良推定値を生成するために、知られている最適化方法が用いられる。数値気象予測では、データ融合ステップは「データ同化」であり、最良推定値は集散的に「分析」として知られている。

30

【0083】

図7は、データ融合の間のデータの流に特に関連して、校正コーディネータの動作を更に示す。センサクラスタ10-1及び10-2は、データ融合モジュール22に測定値(生センサ値及び/又は処理結果)を供給するとして示される。これらは、モデル又は先に測定されたデータの時系列に由来し得る外部情報と一緒にデータ融合技術を用いて評価される。

40

【0084】

測定値がネットワークの中のセンサクラスタから受信され、予測及び/又は他の情報と比較されるとき(図中23に示される)、データ融合モジュール22は、受信した測定値のいずれかに問題があるか否かを決定する。図4におけるように、「問題?」は、受信した測定値が、図5に示した種類の標準相関の範囲内のような期待範囲の中にあるか否かのチェックを意味する。チェックの結果が「No」の場合(つまり、問題がない)、正しく動作していると考えられるセンサからのデータは、既存のデータと結合され、最良推定値のセットを提供する。他方で、結果が「Yes」の場合(つまり、問題がある)、信号又は命令が関連するセンサクラスタへ送信され、被害センサを校正モードにする。校正コーディネータに利用可能な情報の量に依存して、信号又は命令は、注意を求める特定のセン

50

サを識別しても良く、又はセンサカプラが調査すべきセンサクラスタに全体として単に問題を警告しても良い。

【 0 0 8 5 】

したがって、データ融合モジュール 2 2 は、測定モードで、温度、フローレート、及びガスレベルのような測定値をセンサから受信する。各固有センサの劣化レベルも受信されても良い。予測システム 2 3 は、全てのセンサを含む広域地理領域の中の期待値を、及び特に各センサクラスタ位置にあるパラメータの各々の期待値を、不確実性推定と共に、供給する。気象予測の場合には、不確実性推定は、集合体シミュレーションにより生成される値の範囲から導出され得る。他の種類のモデルでは、使用中の予測モデルに特有の不確実性を推定する代わりに使用され得る適切な方法が利用可能である場合、不確実性の推定は、モデル入力に摂動 (perturbations) を適用し及びモデル予測の対応する感度を評価することにより (適用される摂動の大きさは、特に各センサクラスタの劣化レベルを考慮に入れる)、同様の方法で実行され得る。

10

【 0 0 8 6 】

一実施形態では、予測値は、センサクラスタに直接的に送信され得る。第 2 の実施形態では、データ同化 (data assimilation: DA) フェーズが生じる。DA フェーズは、予測を、センサから来るデータと結合し、良好な推定に到達する。DA ステップで受信した測定値を用いる前に、測定値が期待範囲の外側にあるか否かを識別する手順が実行される。図 8 は、受信した測定値が外れ値であるか否かを決定するアルゴリズムを示す。

【 0 0 8 7 】

20

図 8 は、較正コーディネータ 2 0 の中で実行されるステップを示す。ステップ S 2 0 で、新しい測定値がセンサクラスタ 1 0 から受信されると、予測システム 2 3 で用いられるモデルは、関連する不確実性と一緒により予測を供給する。不確実性は、ステップ S 2 2 でデータ融合モジュールに供給され、ステップ S 2 4 で新しい測定値が含まれると期待される範囲を定めるために用いられる。S 2 5 で、新しい測定値が期待範囲の中にある場合 (「Yes」)、新しい測定値は、外れ値ではないと考えられ、モデルを更新するためにデータ同化 (S 2 7) で用いられる。集団気象予測モデルの場合には、データ同化 (DA) 手順は、構成要素の各々を更新し、新しい最良推定値 (つまり、構成要素に渡る関心パラメータの平均値) を、不確実性 (DA 更新手順の後に構成要素に渡るパラメータ値の広がり) と一緒に供給する。図 8 に提示したストラテジはやや単純であるが、予測における不確実性を得るために用いられる手順は、必要に応じて洗練されたものであっても良い。他方で、新しい測定値が期待範囲の中にある場合 (S 2 6、「No」)、測定値はモデルを更新するために用いられず、較正コーディネータは、ステップ S 2 8 で、較正又は廃棄モードに入るようセンサカプラに指示しても良い。

30

【 0 0 8 8 】

図 9 を参照して、センサクラスタにおける較正モードを更に幾らか説明する。

【 0 0 8 9 】

(センサクラスタの範囲内の) センサ融合又は (較正コーディネータの中の) データ融合処理がセンサに伴う起こり得る問題を検出すると、センサは、較正モードに置かれる。図 9 は、較正フェーズの間に行われる可能なステップのセットを示す。

40

【 0 0 9 0 】

図 9 で、チェックマークは有効な又は「成功した」と決定された測定値を示し、十字形は信頼できない又は誤っている (「失敗」) であると考えられる測定値を示す。ステップ S 1 4 で、起こり得る問題が特定のセンサと共に識別されると、センサは較正モードにされる。センサクラスタ 1 0 は、被害センサから測定値を収集し続ける。センサがこの例で較正モードを出るときを決定するストラテジは、成功又は失敗の連続数を調べることである。連続する失敗のシリーズの場合 (S 1 5)、センサは非アクティブにされる (廃棄される)。所定数の成功のシリーズが生じると、センサは、再び正常に動作していると決定され、測定モードに戻される (S 1 6)。合格又は失敗の連続するセットが受信されない場合 (つまり、成功及び失敗の交互に生じるセットが記録される、ステップ S 1 7)、セ

50

ンサは、非アクティブにされる前に最大ステップ数の間、校正モードのままである（S 18）。

【0091】

センサが校正モードになると、該センサは、もはやデータ融合処理に貢献しない。つまり、該センサのセンサデータは、もはや校正コーディネータに供給されず、又は校正コーディネータに供給される情報を生成するときに使用されない。センサカプラは、より正確な読み取り値を与えるために、センサを校正しようとする。可能な範囲内で、これは、介入を必要とせずに自動的に行われる。例えば、センサが過度の低温度又は湿気により劣化していると検出される又は疑われるとすると、センサカプラは、該センサの観点から該センサを暖め及び/又は乾かすためにヒータを作動しても良い。他の場合には、人間の介入が必要であっても良い。この場合、センサカプラは、無線通信ネットワークに支援のために要求を送信するよう装備されても良い。

10

【0092】

校正処理が、最良の利用可能情報に基づく予測値との比較により判断されるとき、測定値の改善をもたらさない場合、センサは、廃棄モードに置かれ、手動校正又は交換の候補としてマークされる。例えば、センサクラスタは、該クラスタの中のセンサが廃棄されるときはいつも、代用品センサの要求を送信しても良い。

【0093】

本発明は、適用可能な多くの種類のセンサにより実証されるように広範囲の用途を有する。

20

【表 1】

センサ種類	コメント
サーモメータ	温度を測定する
湿度計	空気中の水分含有量を測定する
雨量計	液体降水量を測定する
気圧計	気圧を測定する
音圧計	音圧レベルを測定する
高度計	高度を測定する
海底圧力センサ	海又は海底の圧力を測定する
検潮器	基準より高い海水位を測定する
ファゾメータ	水深を測定する
地震計	地面の動きを測定する
加速度計	線形加速度を測定する
ジャイロ스코ープ	方位を測定する
コンパス	磁北を示す
磁気探知器	磁界の強度及び可能な方向を測定する
ジャイロコンパス	真北を示す
流速計	流体速度を測定する
光電子増倍管	光子を検出する
シンチレーションカウンタ	電離放射線を測定する
画像センサ	様々な波長の光を測定する
アンテナ	電磁波を測定する
比重計	液体の比重を測定する
粘度計	液体の粘度を測定する
重力計	重力場の強度を測定する
クロノメータ	正しい時間を測定する
電流計	電流を測定する
複合センサ	例えば、GPS受信機、湿度センサ

10

20

30

【0094】

ここで、「複合センサ」は、同じパッケージの中に1種類より多いセンサを内蔵するセンサを示す。留意すべきことに、上述のセンサのうちの任意のセンサは、環境露出カウンタ16の目的のために、追加センサ/検出器で増補されても良い。例えば、センサは、温度がセンサシステムにより正式に監視されているパラメータではない場合でも、高温又は低温損傷を記録する温度検出器を備えても良い。

40

【0095】

纏めると、本発明の実施形態は、複数のセンサクラスタ10であって、各センサクラスタは複数のセンサ11~14及びセンサカプラ15を有する、複数のセンサクラスタ10と、センサクラスタ10と通信する較正コーディネータ20と、を有する環境センサネットワーク1を提供する。各センサクラスタのセンサカプラ15は、自身のクラスタのセンサ11~14から1又は複数の環境パラメータの値の測定値を得て、該測定値に対して第

50

1の処理を実行して少なくとも1つの第1の結果を得て、(場合によっては第1の結果を含む)該測定値から抽出し又は生成した情報を較正コーディネータ20へ送る。較正コーディネータは、センサクラスタ10のうちから受信した情報に対して第2の処理を実行し、少なくとも1つの第2の結果を得て、第2の結果をセンサクラスタ10に帰還する。次に、センサクラスタ10は、第1及び第2の結果を用いて、それらの信頼性及び精度の観点からセンサを評価する。より詳細には、第1及び第2の結果は、環境パラメータの期待値を示し、各センサカプらは、測定値の期待値との一致の程度に依存して、センサの測定値を第1の処理に組み込むか否か、及びどのように組み込むかを決定する。センサカプらは、期待値に基づき信頼できないと決定されたセンサを較正し又は廃棄し又は交換しても良い。

10

【0096】

本発明の実施形態は、センサが正常に動作しているとき又はセンサがそれらの環境への露出及び経年効果によって劣化した性能を示すとき、センサのネットワークから得られる情報量を増大する。

【0097】

個々のセンサの平均寿命を超えて信頼できる情報が収集できるので、センサネットワークの保守コストは減少する。また、センサの遠隔較正は、個々の較正の労働コストを低減する。劣化したセンサは、必要ならば手動再較正のために優先順位を付けられ、廃棄又は交換のために優先順位を付けられ、これらの動作が必要な場合にのみ適時行われるようにする。これは、性能の精度及び劣化についての十分な注意がなくても、定期的に予定された再較正及び交換に比べてコストを節約する。本発明を展開するコストは、本発明を有しない手順の高い保守コストを回避することから生じる節約において回収されることが期待される。

20

【0098】

本発明の範囲内で種々の変更が可能である。

【0099】

各センサクラスタから較正コーディネータへ転送される情報は、センサクラスタにおける処理の結果(それぞれ「第1の結果」として先に参照された)を有しても良く、又は単に少なくとも信頼できると決定されたセンサの生センサデータを有しても良い。

【0100】

上述の実施形態では、センサクラスタの中の信頼できないとして評価されたセンサのセンサデータは、較正コーディネータへ転送される情報から除外された。代替の実施形態では、全てのセンサの読み取り値は、較正コーディネータへ送信され、較正コーディネータに各センサクラスタの中で行われる決定を調べさせる。上述のように、センサデータは、発生元センサ(及びセンサクラスタ)の識別子でラベル付けされ、較正コーディネータにセンサデータを区別させる。望ましくは、本例では、センサクラスタの中で信頼できないと判断された生センサ値も、それらの値が較正コーディネータデータ融合に組み込まれる危険を回避するために、ラベル付けされるべきである。

30

【0101】

上述の実施形態では、各センサクラスタは、環境露出カウンタ16を有し、各センサの環境依存性能劣化を自力で決定する。しかしながら、これは必須ではなく、好適な場合には、各センサクラスタは、較正コーディネータの中のこれらのカウンタを維持するために必要な追加データを較正コーディネータへ送信し得る。較正コーディネータは、次に、環境露出に基づき、所与のセンサがその寿命を超えたという決定を帰還し得る。代替で、(センサ/データ融合によりセンサ信頼性の評価に追加される)この特徴は、完全に省略されても良い。

40

【0102】

上述の実施形態では、センサカプらが、信頼できないと分かった特定のセンサを較正する又は廃棄するために、較正コーディネータからの命令又は推奨により作動することが示唆された。しかしながら、ランダム(繰り返さない)エラーを扱うために、センサカプら

50

は、センサに関して動作を行う前に、問題の繰り返しの間、待っても良い。

【産業上の利用可能性】

【0103】

先に記載した都市当局による排水システムの管理の例に加えて、本発明は、局所的な使用又は他の気象及び気候予報システムへの入力のために気象変数を測定する携帯電話基地局において（特に後進国での配置のために）展開されても良い。都市の中の他の種類の監視は、交通レベル、及び大気及び水路の汚染を含む。

【0104】

本発明は、地震及び津波早期警告システムで使用されるセンサと一緒に展開されても良い。

【0105】

他の関連技術分野は、航空エンジン及び機体の監視を含む工業技術に含まれる機械の監視を含む。

【符号の説明】

【0106】

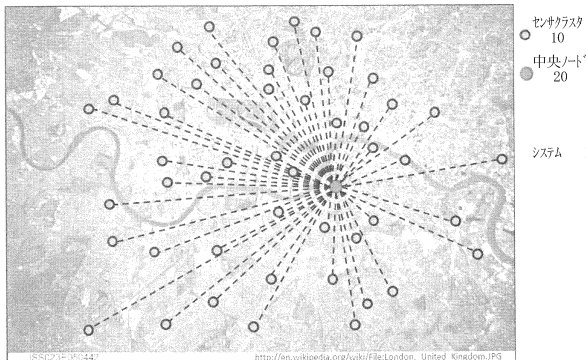
- 1 システム
- 10 センサクラスタ
- 11 ~ 14 センサ
- 15 センサカバー
- 16 環境露出カウンタ
- 17 センサ融合
- 20 中央ノード、校正コーディネータ
- 22 データ融合
- 23 予測システム

10

20

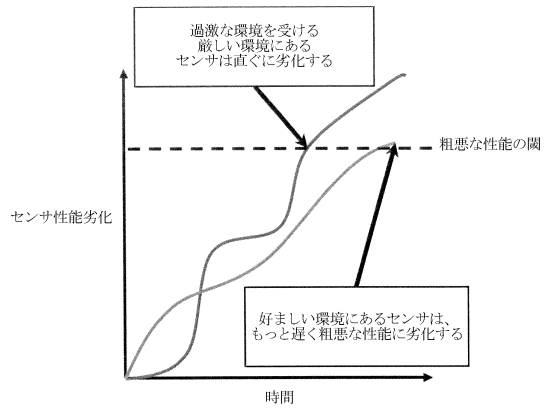
【図1】

都市排水監視のための校正コーディネータに接続されるセンサクラスタの簡略ネットワークを示す図



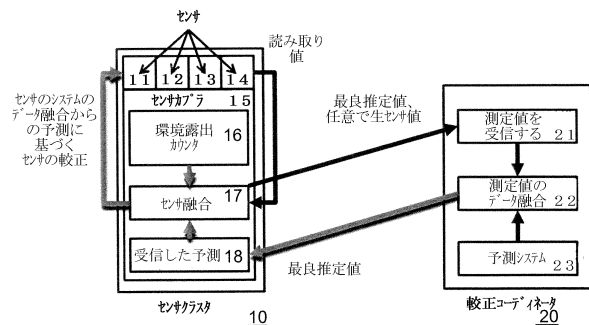
【図2】

局所環境の環境条件に依存して、精度及び感度の劣化を含む異なるレートでのセンサ劣化のグラフ



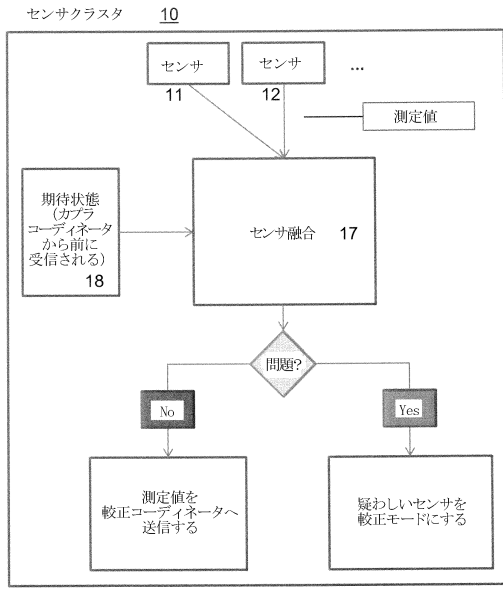
【図3】

センサシステム校正及び測定のための一実施形態に従う装置を示す図



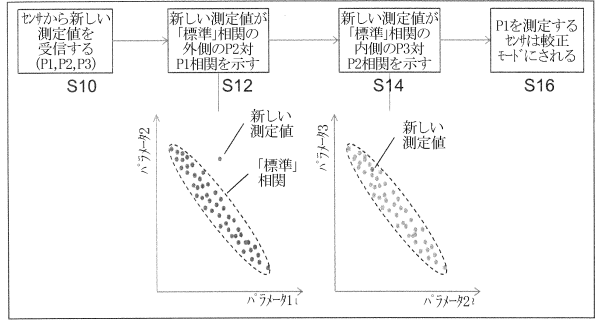
【図4】

センサクラスタ中の測定値の収集及び評価するステップを示す図



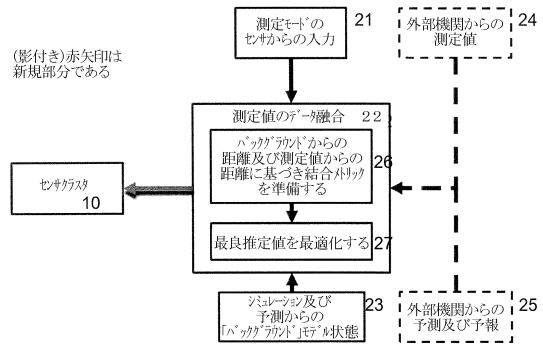
【図5】

センサクラスタ中の測定値セットのセンサ融合評価を実行するステップを示す図



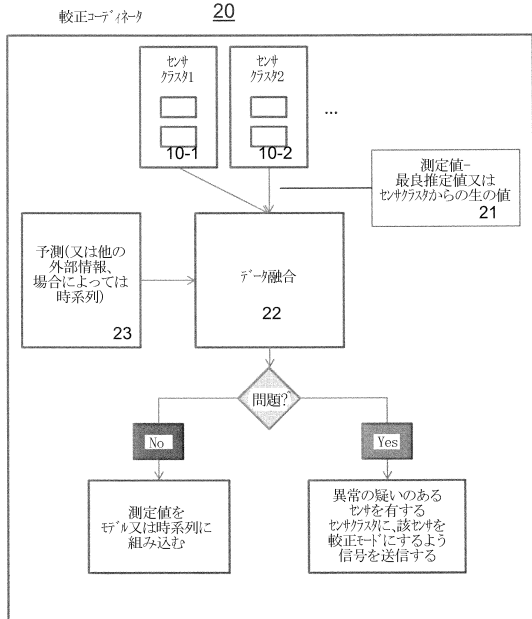
【図6】

外部機関から得た任意の測定値、予測、及び予報を示す、実施形態において使用され得るデータ融合の原理を示す図



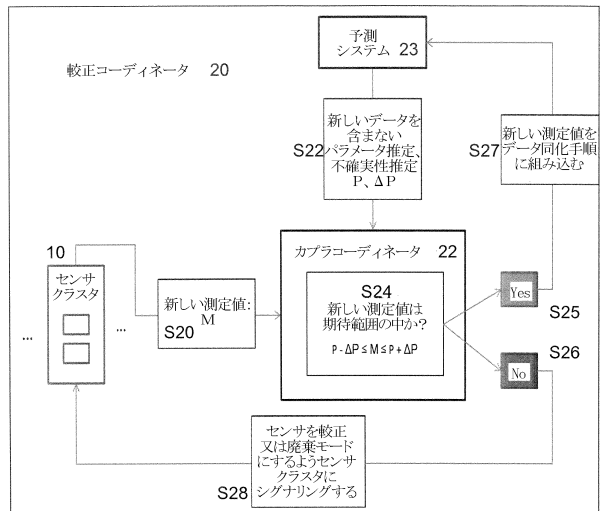
【図7】

較正コーディネータで実行されるデータ融合動作におけるデータフローを示す図



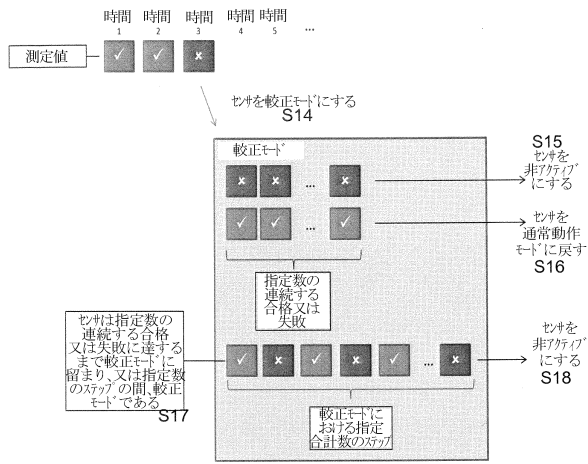
【図8】

新しい測定値がセンサクラスタから受信されるとき、異常値を検出するために較正コーディネータで実行される追加動作を示す図



【図9】

センサクラスタの校正モードにおいて実行されるステップを示す図



フロントページの続き

(72)発明者 リー・マイケル
イギリス国, ユービー3 2ピーピー, ヘイズ ミドルセックス, クロムウェル ロード 26番

審査官 菅藤 政明

(56)参考文献 特開平9 - 97111 (JP, A)
特開2006 - 46986 (JP, A)
ZAHEDI S ET AL, Tiered architecture for on-line detection, isolation and repair of faults in wireless sensor networks, 2008 IEEE MILITARY COMMUNICATIONS CONFERENCE (MILCOM 2008), 米国, IEEE, 2008年11月16日, CFP08MIL-PRT, Pages.3998-4004

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01D 18/00

G08C 15/00 - 15/12

G08C 25/00 - 25/04