

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3856476号

(P3856476)

(45) 発行日 平成18年12月13日(2006.12.13)

(24) 登録日 平成18年9月22日(2006.9.22)

(51) Int. Cl.	F I
AO 1 K 67/00 (2006.01)	AO 1 K 67/00 D
AO 1 K 11/00 (2006.01)	AO 1 K 11/00 Z
GO 6 Q 50/00 (2006.01)	GO 6 F 17/60 1 O 2

請求項の数 13 (全 13 頁)

(21) 出願番号	特願平10-501090	(73) 特許権者	デラヴァール ホルディング アクチボラ
(86) (22) 出願日	平成8年6月14日(1996.6.14)		ゲット
(65) 公表番号	特表2000-511778 (P2000-511778A)		スウェーデン国 エスエー - 1 4 7 2 1
(43) 公表日	平成12年9月12日(2000.9.12)		ツムバ ボクス 3 9
(86) 国際出願番号	PCT/EP1996/002604	(74) 代理人	弁理士 宮崎 昭夫
(87) 国際公開番号	W01997/047187	(74) 代理人	弁理士 石橋 政幸
(87) 国際公開日	平成9年12月18日(1997.12.18)	(72) 発明者	ダ モル、 ルドルフス、 マリア
審査請求日	平成15年6月12日(2003.6.12)		オランダ国 エヌエルー 3 9 1 1 ベーエ
			ム レネン ヴァン アブコーデホフ 6
			1

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 家畜群の身体的状態をモニターするためのシステムとその方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

群れの家畜の体調を監視するシステムであって、
 前記群れの、個々の識別された動物に関連する少なくとも1つの特性の値を測定する測定装置(15, 16, 18, 19, 20)と、
 前記群れの個々の動物を識別する識別機構(20)と、
 前記測定装置(15, 16, 18, 19, 20)と前記識別機構(20)に接続されたデータ処理機構(21)と、
 前記データ処理機構(21)に接続され、注意信号を発する報知装置(22)とを有し、
 前記データ処理機構は、
 個々の識別された各動物に関連する前記少なくとも1つの特性の、前もって測定された値と前もって予測した値にしたがって測定データと誤差データを収集し、
 前記個々の識別された動物に関連する、前記格納された測定データおよび誤差データから、前記個々の識別された動物に関する前記少なくとも1つの特性の、次に測定される少なくとも1つの値について予測をし、
 前記誤差データから、個々の識別された各動物についての予測に適した信頼区間を求め、
 個々の識別された各動物から、一定の間隔で少なくとも1つの特性の値を測定し、
 測定された値を、対応する予測値および信頼区間と比較し、
 前記少なくとも1つの測定された特性の値と前記信頼区間から外れた前記予測値との間の誤差に応答して注意信号を発するために前記報知装置(22)を作動させるようにプログ

10

20

ラムされている、群れの家畜の体調を監視するシステム。

【請求項 2】

前記測定装置は個々の識別された動物から得られるミルクの伝導率を測定する伝導率測定装置（13）を有しており、前記データ処理機構（21）は、予測値と、前記伝導率測定装置（13）によって測定された伝導率の値との誤差が前記信頼区間に基づいて定められたしきい値を越えている場合に、前記注意信号を発するために前記報知装置（22）を作動させるようにプログラムされている、請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 3】

複数の吸引カップ（2～5）と、該吸引カップ（2～5）にそれぞれ接続されている複数のミルク導管（5～8）とを有する、個々の動物を搾乳する搾乳スタンド（1）をさらに有しており、前記伝導率測定装置（13）は、各吸引カップによって得られたミルクの伝導率を個別的に測定するために、各々の前記ミルク導管（5～8）を通るミルクの伝導率を測定するセンサ（9～12）を含んでおり、前記データ処理機構（21）は、予測された伝導率の値と、前記測定センサのいずれか 1 つによって測定された伝導率の値との誤差が前記信頼区間から定められたしきい値を越えている場合に注意信号を発するようにプログラムされている、請求項 2 に記載のシステム。

【請求項 4】

個々の識別された各動物による少なくとも 1 種類の飼料の摂取量を測定する測定センサ（18）をさらに含んでおり、前記データ処理機構（21）は、個々の識別された各動物について、時間に依存しない確率分布を測定された飼料摂取量から求め、個々の識別された動物による前記種類の飼料の測定された摂取量が予め定められた確率水準を下回る場合に注意信号を発するようにプログラムされている、請求項 1 から 3 のいずれか 1 項に記載のシステム。

【請求項 5】

群れの家畜の体調を自動的に監視する方法であって、
個々の識別された各動物に関する、少なくとも 1 つの測定された特性の、前もって測定された値と前もって予測された値にしたがって、測定データと誤差データを収集するステップ（ステップ 31）と、
個々の識別された各動物から、前記少なくとも 1 つの特性の値を一定の間隔で測定するステップ（ステップ 24）と、
前記個々の識別された動物に関する前記収集した測定データから、前記個々の識別された動物に関する前記少なくとも 1 つの特性の、次に測定される少なくとも 1 つの値について予測をするステップと（ステップ 26）、
前記誤差データから、個々の識別された各動物についての前記予測に適した信頼区間を求めるステップ（ステップ 27）と、
測定された値を、対応する予測値および信頼区間と比較するステップ（ステップ 28）と、
前記少なくとも 1 つの測定された特性の値と、前記信頼区間によって求められた、予め決められた水準を越える前記予測値との間の誤差に応答して注意信号を発するステップ（ステップ 29）とを含んでいる、群れの家畜の体調を自動的に監視する方法。

【請求項 6】

前記測定された特性は、個々の識別された各動物から得られたミルクの伝導率を含んでおり、いずれかの個々の識別された動物についての、予測された伝導率の値と測定された伝導率の値との誤差が個々の識別された動物に関して個別的に前記信頼区間に基づいて定められたしきい値を越えている場合に注意信号を発する、請求項 5 に記載の方法。

【請求項 7】

各乳首から得られたミルクについて前記伝導率を個別的に測定し、前記予測された伝導率の値と、いずれかの乳首から得られたミルクの前記測定された伝導率の値との誤差が前記個々の識別された動物の前記乳首から得られたミルクについて個別的に前記信頼区間から定められたしきい値を越えている場合に注意信号を発する、請求項 6 に記載の方法。

【請求項 8】

いずれかの乳首からのミルクの伝導率の予測誤差の前記しきい値は、全ての乳首の対応する予測値の平均誤差に明確に関連している、請求項 7 に記載の方法。

【請求項 9】

異なる乳首からの伝導率の値同士の依存性を、個々の動物の前記測定された伝導率の値から各動物について個別的に求め、個々の識別された各動物について、前記しきい値に対する前記平均誤差の影響が、個々の識別された動物について求められた、異なる乳首からのミルクの伝導率の値同士の依存性に明確に関連している、請求項 8 に記載の方法。

【請求項 10】

前記予測を時系列モデルを用いて行い、該時系列モデルのパラメータを、個々の動物について推測された値と対応する測定値との誤差から、個々の動物について個別的に推定する、請求項 6 から 9 のいずれか 1 項に記載の方法。

10

【請求項 11】

前記パラメータを、前記時系列モデルの前記パラメータを含んでいる、次の測定の予測値を求める状態ベクトルを含むカルマンフィルタを用いて推定する、請求項 10 に記載の方法。

【請求項 12】

各測定中に少なくとも 2 つの特性の値を測定し、予測誤差を前記誤差データを用いて標準化し、合成された標準誤差が所定の信頼区間から外れている場合に注意信号を発する、請求項 6 から 11 のいずれか 1 項に記載の方法。

20

【請求項 13】

個々の識別された各動物について、測定された飼料摂取量から時間に依存しない確率分布を求め、また、個々の動物による前記種類の飼料の測定された摂取量が所定の確率水準を下回る場合に注意信号を発する、請求項 6 から 12 のいずれか 1 項に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

技術分野

本発明は家畜群の身体的状態を自動的にモニターするためのシステムとその装置に関する。家畜群の身体的状態の自動的モニターは、発熱しているかまたは病気にかかっているらしい動物を適宜な時に識別することによって、生産性の増大に寄与する。特に酪農場においては、群れの大きさが益々増大しそして自動搾乳システムが普及した結果、酪農家が視覚的な観察によりこのような動物を識別するのは困難でありまた厄介でもあるからである。

30

背景技術

『酪農科学ジャーナル、73 ; 539 - 54 B号』におけるドライカー他著の『時系列分析を用いたホルスタイン牛の 1 日当たりの乳収量模擬実験』には、家畜群の身体的状態を自動的にモニターするための実験的方法が示されているが、それには、個々の識別された各動物より得られた 1 つの性質の値を一定の間隔で測定する段階と、この個々の識別された各動物における測定された性質の測定値にしたがって測定データを格納する段階と、この個々の識別された各動物に関する格納された測定データからこの個々の識別された各動物に関するこの性質の次回測定値の予測値を決定する段階と、測定された性質の値とこの値の予測値との誤差が予め定められたレベルを越えた場合に依じて注意信号を生成する段階とが含まれる。

40

この実験的方法において、測定される性質は乳の収量である。

こうした測定を実施するために、自動的乳牛識別・乳収量記録システムが用いられた。

観察期間の後に、それぞれが一般的に未経産雌牛または経産雌牛における泌乳期の特定期間に適用される幾つかのパラメータセットと共に各搾乳ごとの乳収量または連続する 3 回の搾乳を 1 セットする乳収量を予測するために、時系列モデルが定式化された。

上述の方法の欠点は、各乳牛ごとに適宜なパラメータセットを選択しなければならないという点がわずらわしいことである。これはまた、誤差を生む原因になりかねない。更に、こうして決定されたパラメータが、他の種類の雌牛の群れや、他の動物（例えば、山羊）

50

の群れにさえも適用でき、また異なる気候や異なる種類の飼料で飼われている群れにも適用できるとは、とても思われない。

本発明の要約

本発明の目的は、デライカーその他によって提案されたモデルよりも普遍的に適用することができる、動物の群れの身体的状態を自動的にモニターするための信頼性の高いシステムとその方法とを供することである。

本発明にしたがえば、この目的は請求の範囲第1項に記載されているシステムと、第5項に記載されている方法を供することによって達成される。

本発明による方法そして、作動中では本発明によるシステムにおいては、牛乳の分泌（以下泌乳と称す）期間中、個々の識別された各動物に対する予測値とこれに対応する測定値とに応じて誤差データが格納され、そして誤差の分布の特徴を表すこの誤差データから、個々の識別された各動物に関しそしてこの同じ泌乳期中における予測に関する信頼区間が決定され、この方法は自動的に、各泌乳期中に収集されたデータから個々に各動物に関する予測値と測定値との誤差の有意性を評価するからである。この信頼区間は個々の各測定および個々の各動物に対して自動的に決定することができ、したがって様々な泌乳期に対して、様々な動物の種類に対してそしてまた測定される様々な性質に対してそれぞれ異なる信頼値帯域を入力する必要はない。更に、このような信頼値帯域を得るために別の調査を行う必要もない。

誤差の有意性は個別的に各動物について評価されるので、時系列モデルのパラメータを選択する際に誤差による信頼できない予測値においては、たとえ適用されたとしても、その悪影響は小さくなる。個々の各動物およびモニターされた各変数について、信頼値帯域の幅は、時系列モデルの適合性の経験的に見出された正確度にオンラインで自動的に調整され、そしてこの予測値の信頼性を指示するために個別的にその信号を送ることができる。測定される性質は例えば以下のような幾つかの性質、すなわち乳収量、乳温度、乳の伝導率、動物の活動性および少なくとも1種類の飼料の摂取量のいずれか1つとすることができる。

本発明による方法は予防的なものであり、したがって病気になっていそうな個々の動物をより容易にそしてより高い信頼度で識別することができるという点において生産性を向上させる効果がある。まず、獣医の診断を受けるべき動物が早く識別できればできるほど、病気回復の機会が増し動物への悪影響を回避でき、そして伝染病が群れに蔓延することを妨げることが可能になる。次に、身体的状態が悪い動物はそのために病気になり易く、または既に病気であっても、より病状が悪化し易い。こうした動物が早く識別できればできるほど、その動物の身体的状態を改善しそしてこの識別された動物が病気になったりあるいは別の病気にかかったりするのを防止する措置を早急にこうじることが可能になる。生産性の向上効果はまた、より早く発情期を検知し、その結果出産間隔を短縮することが可能になることによって達成できる。

本発明によるこの方法の特定の1実施様態によれば、幾つかの異なる乳頭（動物が雌牛ならば乳房区）から得られた乳の伝導率の予測値における誤差間の相互依存性の特徴を示すために誤差データが用いられる。したがって、この依存性に関するデータは、乳頭のいずれか1つから得られる乳の伝導率の予測値における誤差の有意性を評価するためにも用いられる。

本発明をもう1つの特定の1実施様態によれば、泌乳期中に収集された誤差データもまた、この同じ泌乳期中に個別的に測定される各動物についての測定値の予測値を予告する時系列モデルのパラメータを予想するために用いられる。このようにして、個々の各動物に対して時系列モデルは、泌乳期が進むにしたがってその個々の動物の各性質の時間的変化の諸特性に最適に適合するように、自動的に調整される。

本発明の特定の1実施様態の特徴および利点は、添付の請求の範囲と、以下の図面を参照しながら下記になされる詳細な説明とに示されている。

【図面の簡単な説明】

図1は、本発明の1実施例によるシステムの概略図であり、そして

10

20

30

40

50

図 2 は、本発明による方法の 1 実施様態の流れ図である。

本発明の幾つかの実施様態

図 1 および 2 によって表されているシステムと方法とは、本発明の最も好ましい実施様態を示している。以後、この方法とこのシステムは雌牛の群れをモニターするという文脈で記述されるが、原則として本発明は、少なくとも個々の各動物の 1 つの性質が一定の間隔で測定されるという条件の下で、他の動物をモニターするためにも用いることが可能である。

図 1 に示されているシステムは、1 頭ずつ個々の乳牛を搾乳するための搾乳スタンド 1 と一体になっている。この搾乳スタンドには更に、乳牛から乳を搾り取るために乳牛に連結される、4 個の吸引カップ 2 ~ 5 を備えた搾乳装置が含まれている。乳導管 5 ~ 8 はその上流端において吸引カップ 2 ~ 5 に連結されそしてその下流端において伝導率センサ 9 ~ 12 に連結されている。この伝導率センサ 9 ~ 12 は伝導率測定ユニット 13 の一部である。この伝導率測定ユニット 13 において、乳導管 5 ~ 8 は伝導率センサ 9 ~ 12 から下流では、乳収量を測定するための流量計 15 を通る 1 本の乳導管 14 に合流する。

吸引カップ 5 と伝導率測定ユニット 13 との間において、温度測定に対する周囲温度の影響を低くするために、乳導管の 1 本 8 が、吸引カップ 5 のすぐ隣に取り付けられている温度センサ 16 を通過している。

搾乳スタンドには更に、搾乳された各乳牛に 1 回分の濃厚飼料を供給するための給餌装置 17 が備えられている。その代わりに、給餌装置が搾乳エリアの外に位置する給餌ステーションに設置されていてもよい。給餌装置 17 は、飼料が予め定められた 1 回分だけ消費されるまで乳牛が食べるままに、飼料を供給するようになっている。この給餌装置 17 にはその外、各乳牛に供給される飼料の量をモニターするためのセンサ 18 が含まれている。1 頭の乳牛が給餌装置を離れるとき、もし 1 回分の飼料が全て消費されていなければ、1 回分の各飼料の食べ残し重量が計算される。

群れの各乳牛は、当該の乳牛の活動パターンに関連する値またはこのパターンに一致する値を記録する活動メータ（図示されていない）を設置される。この活動メータからの数値を読み取るために、搾乳スタンドは、搾乳されているか、または搾乳される予定であるか、または既に搾乳された各乳牛の活動メータより記録された数値を読み取るための活動メータ読取り装置 19 を備えている。

群れの各乳牛は更に、識別タグ（図示されていない）を備えられている。搾乳スタンド 1 には、搾乳されているか、または搾乳される予定であるか、または既に搾乳された各乳牛の識別タグを読み取るように設計されている乳牛識別機構 20 が備えられている。動物識別システムと動物の活動をモニターするためのシステムは市販されており、したがって当文書ではこれ以上の説明はされない。

伝導率測定ユニット 13、流量計 15、温度センサ 16 および乳牛識別機構 20 はそれぞれ、各乳牛に関する測定データを処理するための中央データ処理機構 21 に接続されている。このデータ処理機構 21 はディスプレイ 22 に接続されている。ディスプレイ 22 に加えてまたはこれの代わりに、音響警報を発する装置を設置することもできる。このような装置は、ネットワーク（例えば、電話回線）でデータ処理機構に専用接続されるか、または遠隔制御される。専門家は、このデータ処理機構に必要な周辺機器も装備されていることを評価するであろう。並列接続の形態でなされているが、センサおよび読取り装置 15、16、18、19、20 とデータ処理機構 21 との間の伝達機構もまた、有線または無線のバス構造の形態で実現されており、この構造では各ステーションは個別のアドレスを有する。

データ処理機構 21 は、個々の識別された各動物に関する測定された性質にしたがって測定データを格納するように、そしてこの個々の識別された各動物に関する格納されたデータからこの個々の識別された各動物の性質の次回測定値の予測値を決定するように、プログラムされている。

更にこのデータ処理機構 21 は、個々の識別された各動物に対する予測値と測定値とにしたがって誤差データを格納するように、個々の識別された各動物に関する予測誤差の分布

10

20

30

40

50

の特徴を表すデータを決定するように、測定値の予測における誤差の分布の特徴を表すこのデータから個々の識別された各動物についての予測に関する信頼値帯域を決定するように、そして、測定された性質の値とこの値についての予測値との誤差が信頼値帯域外にあるならば、選択された注意信号を発する発信装置 22 を活動させるように、プログラムされている。

作動中において、本発明は図 2 に示されている流れ図のように、以下の説明にしたがって実施される。この流れ図にしたがったアルゴリズムは、それぞれの搾乳ごとに繰り返されることが好ましい。

個々の各乳牛の搾乳ごとに、段階 23 に示されているように、識別タグが読み取られ、それぞれの乳牛を識別する。

10

次に、段階 24 に示されているように、乳収量の値、乳温度、各乳房区から得られた乳の伝導率、活動メータの記録された値（搾乳時または他の時に一定の間隔で読み取ることができる）、そして食べられたまたは食べ残された濃厚飼料の量が測定される。これらの測定は、各搾乳ごとにそして個々の識別された各動物に対して、すなわち一定の間隔で行われる。測定された値は、段階 25 に示されているように、データ処理機構 21 によって読み取られる。

測定される次の各値に対する予測値を決定し、そして以前の予測値の誤差分布の特徴を表す状況データが、より早期の測定値および予測値に基づいて、または値およびパラメータの初期セットとして泌乳期の最初の搾乳時に、個々の識別された各動物にごとにデータ処理機構 21 の記憶装置に格納されている。段階 25 において、識別されたそれぞれの乳牛のこうした状況がデータ処理機構 21 により読み取られる。

20

段階 26 によって示されているように、読み取られた状況データより、段階 24 によって測定される値の予測がなされる。更に誤差データ - より早期の予測値と測定値の分散または共分散の形態で入手できる - に基づいて、段階 27 に示されているように、予測値と測定値との各セットについて分散 - 共分散行列が決定される。こうした誤差標準化データによって現行の予測値と測定値との誤差を標準化することができる。

飼料の摂取については異なるアプローチが好ましく、食べ残しはほとんどゼロに等しくそして時々より多くなる。実験によって得られたデータによれば、継続的な食べ残しは独立しており、そして個々の各動物における濃厚飼料の 1 回分の食べ残しの百分率に関してはそれぞれ独自の確率分布が存在することが、示唆されており、それは以下のように定義されることが好ましい。すなわち、

30

$p_0 = P(\text{食べ残し} = 0\%)$

$p_1 = P(0\% < \text{食べ残し} < 10\%)$

$p_2 = P(10\% < \text{食べ残し} < 30\%)$

$p_3 = P(30\% < \text{食べ残し} < 50\%)$

$p_4 = P(50\% < \text{食べ残し} < 100\%)$

この分布は濃縮飼料消費の様々な水準の確率 p_{conc} を計算するために用いることができる。確率 p_{conc} が低ければ、注意信号が発せられるか、または少なくとも特殊な状態が発見される助けになる。様々な範囲の食べ残し量の確率の乳牛依存分布は、下記に説明されるカルマンフィルタ計算法を用いて、各乳牛の食べ残しを測定するように適合されている。異なる搾乳（例えば、朝方と夕方の搾乳）間の構造的な相違を除去する目的で、計算は毎日、2 回以上の継続的搾乳の組み合わせられた予測値と組み合わせられた測定値に基づいてなされることが好ましい。

40

標準化データは全ての予測値の誤差に関して決定されているので、信頼値帯域の幅が感度と特定性との所望の平衡にしたがって正確に決定されることが可能である、単一の信頼値帯域内とそして組み合わせられた幾つかの信頼値帯域内に、予測値と測定値との誤差が収まっているかどうかを決定することができる。もし少なくとも測定値の 1 つが信頼値帯域外にあれば、あるいは 1 頭の動物が特定の状態にある徴候を示す複数誤差の組合せが生じれば、段階 28 において注意信号が出されなければならないと決定される。

少なくとも 1 つの測定値が 1 つの信頼値帯域外にあれば、標準化の後には、 - そして健康

50

な状態にありかつ発熱していない動物に対する誤差は正規分布を示す見なしで、-と予め定められた幾つかの信頼値帯域外にあれば、単一の誤差に基づき注意信号が発せられることが好ましい。少なくとも1つの測定値が信頼値帯域の95%の外にあれば、“*”マークを乳牛の識別コードに付けることができ、少なくとも1つの測定値が信頼値帯域の99%の外にあれば、“**”マークを乳牛の識別コードに付け、少なくとも1つの測定値が信頼値帯域の99.99%の外にあれば、“***”マークを乳牛の識別コードに付けることができる。それに基づいて注意信号が発せられる値と、そして予測された値に対する偏差とは表示されるか、および/またはプリントアウトされる。

活動がかなり激しくそして活動と収量とそして温度の組合せが、1つの信頼値帯域外になっていれば、発熱の可能性を(例えば、“h”, “hh” および “hhh” という形態で)示す、誤差の組合せに基づく注意信号が発せられることが好ましい。伝導率の誤差がかなり大きく、また伝導率と収量とそして温度の組合せが1つの信頼値帯域外になっていれば、乳腺炎の可能性を(例えば、“m”, “mm” または “mmm” という形態で)示す注意信号が発せられることが、好ましい。収量と温度とそして活動が組み合わされた誤差が信頼値帯域外になっておりかつ濃縮飼料の摂取量が正常な状況下で低い確率を有する水準にあれば、他の病気の可能性を(例えば、“i”, “ii” および “iii” という形態で)示す注意信号が発せられることが好ましい。

注意信号が発せられると決定されれば、段階29において、それぞれの乳牛の識別データに関連して選択された注意信号を表示するようにディスプレイ22は制御される。

注意信号が発せられた後、それに基づいて予測がなされるモデルは当該の牛については、特にこの注意信号によってよりより広い複数の信頼値帯域の1つの外にある数値が測定されていることが示されている場合には、もはや信頼性が失われている。したがって、段階30においては、収集されたデータに基づく乳牛のモニタリングは原則として、当該の動物に関する注意信号に応じて、または当該の動物に関するある信頼水準を越えているという注意信号に応じて中止される。

注意信号または予め定められた信頼水準を越えたという注意信号を発しないと決定されれば、当該の個々の乳牛の状況データは、以下の3セットのデータ、すなわち、最新の測定値、最新の予測値、そして予測値とこれに対応する測定値との最新の誤差のうちのいずれか2つを用いて、更新される。流れ図においては、これは段階31に記載されている。

注意信号が発せられた後に、農場主または獣医によって、その注意信号が誤っていたことが明らかにされるならば、その測定値は予測値に置き換えられることが好ましく、そうして検査されたこの動物のモニタリングは、以前に収集されたデータと最新の測定値セットの代わりに入力されたデータとに基づいて、継続することができる。このようにして、段階30は、擬陽性信号として無効にすることができる。更に、例えば50以上の乳温度のようなあり得ない測定結果は自動的に無視され、そして予測値に置き換えられるが、ある測定値がとばされていることを示す警告信号が表示されるかまたはプリントアウトされる。したがって、測定機構の誤作動の可能性を示す警告信号もまた同時に得られる。予測値に基づく更新の代わりに、有効な測定結果が得られない性質に関する状況を更新する段階をとばすことも可能である。

搾乳スタンド1には、複数の吸引カップ2~5と乳導管5~8が含まれており、この管の各々は吸引カップ2~5の1つと接続されそしてそれぞれの乳導管5~8を通過する乳の伝導率を測定するための測定センサ9~12が設置されているので、各乳房区から得られる乳の伝導率を個別に測定することができる。更に、データ処理機構21は、予測された伝導率の値と上記測定センサ2~5の1つによって測定された伝導率の値との誤差がしきい値を越えている場合には、注意信号を発するように、プログラムされている。このようにして、一般的には乳腺炎の高い可能性を示し、通常は同時に1、2か所の乳房区に起こる伝導率の増大を非常に高い感度と特定性をもって指示することができる。

どの乳房区よりの乳の伝導率予測における誤差のしきい値も明確に、全ての乳房区に対応する予測の平均誤差に関連していることが好ましい。もし全ての乳房区より得られた乳の伝導率が予測よりも高ければ、乳腺炎は全ての乳房区で同時に発生することは稀であるの

10

20

30

40

50

で、この偏差はこの病気以外の因子によって引き起こされたと見なした方がいい。したがって、もしそれに対して注意信号が発せられるいずれか1つの乳房区に関するしきい値が、予測伝導率よりも高い他の乳房区から得られた乳の測定伝導率に応じてより高くなるならば、より高い感度と特定性が得られる。

どの程度まで、様々な乳房区から得られる乳の伝導率が個々の各動物について互いに依存しているかを考慮すれば、このモニタリング方法の感度と特定性は更に増大させることができる。異なる乳房区からの乳の伝導率の値どうしの依存性が、各動物に関して当該のそれぞれの動物の伝導率の測定値から個別的に決定され、そしてしきい値に対する平均誤差の影響が、個々の識別された各動物について決定された異なる乳房区からの乳の伝導率の値どうしの依存性に明確に関連していることによって、こうしたモニタリング方法の感度と特定性の増大が達成されることが好ましい。このようにして、異なる乳房区から得られた乳の伝導率の値の挙動が比較的に独立している個々の乳牛については、伝導率の予測値における平均誤差は、異なる乳房区から得られた乳の伝導率の値の変化が密接に関連性のある挙動を示す個々の乳牛に比較して、どの1つの伝導率の値に対してもしきい値の水準により小さな影響しか与えない。

正常な状況では、乳収量、伝導率、乳温度および活動性の測定値は、時間とともに徐々に変化する、すなわち各性質の継続的観察は互いに独立しているわけではない。したがって、予測は、発熱していない健康な乳牛に有効であると見なされている時系列モデルを用いてなされることが好ましく、過渡に大きな偏差は、この仮定がもはや有効でないことを示しており、その場合このモデルを利用しているモニタリングは上述のように原則として停止される。

様々な性質に関する適宜な時系列モデルは、実験データを図表にし、自己相関のコレログラムを調べ、適宜なARIMAを選択し、そして選択されたモデルを適合させることによって、確立することができる。

更に、時系列モデルのパラメータは、各泌乳期が進行するにしたがって個々の乳牛について推測された値とこれに対応する測定値との誤差より個別的に各乳牛に対して推定されることが好ましい。このようにして時系列モデルが得られ、このモデルは自動的にそれぞれの乳牛の諸特性（例えば、測定された性質における多かれ少なかれ不規則な変化）と、観測の時間的変化の諸特性に影響を与える他の状況とに適用される。したがって、例えば、搾乳日数、乳牛の種類、気候、飼料、搾乳習慣、様々な種類の乳牛（未経産雌牛または経産牛）などを考慮することのような様々な状況下で時系列モデルの最善のパラメータの設定を確立するのに、いかなる実験も必要としない。他の利点は、誤ったパラメータ値をうまく設定する危険が設けられることと、この方法は一般的に扱い易いことと、そして個々の乳牛どうしの相違と各乳牛の継続的泌乳期の違いを考慮に入れていることである。時系列モデルのパラメータのオンライン推定もまた、もし信頼値帯域が個々の各動物に関して個別的に決定されていなければ、時系列モデルを個々の各動物に自動的に適合させるという点において、優れている。

時系列モデルのパラメータは、次の測定に対する推測値を決定する状態ベクトルを含むカルマンフィルタ法を用いて推定されることが好ましいが、この状態ベクトルには時系列モデルのパラメータが含まれている。

カルマンフィルタは、オンラインであるシステムの状態を推定する方法である。状態とは、当該システムの将来の挙動を決定する数量である。推定は、新しい情報を用いることによって新たな観察がなされる度に改善される。最初に、一般的な説明がなされ、そして次に、本発明によるこの方法における2つのアプリケーションが説明される。すなわち、この状態には(1)時系列モデルにおけるパラメータと(2)計算された濃厚飼料の食べ残しの百分率の確率分布とが含まれる。

カルマンフィルタを適用するために、このシステムは以下の形態、すなわち

- 観察方程式： $y_t = c_t x_t + v_t$ (1)とそして、
- システム方程式： $x_t = A_t x_{t-1} + w_t$ (2)という状態空間方程式によって記述される。

10

20

30

40

50

これらの方程式において、 x_t は状態ベクトルであり、 y_t は観察ベクトル、 c_t と A_t はシステム行列、 v_t はランダム観察誤差、そして w_t はランダムシステム誤差である。観察方程式は測定と状態との関係を記述するものであるが、この状態自体は一般的には直接的に測定できるものではない。システム方程式は継続的観察における状態どうしの関係を記述するものである。 v_t の分布は $N(0, V_t)$ であり、そして w_t の分布は $N(0, W_t)$ である。

観察 t における状態 x_t の推定値は観察 y_t から y_{t-1} までで得られた測定値を用いて得られる。カルマンフィルタは各セットの観察ごとに状態の新しい推定値と、そしてその外にこの推定値に関する分散 - 共分散行列とを提供する。

また特に、このカルマンフィルタは２段階推定手続きである。第１の段階では、状態の推定値と分散 - 共分散行列が以前の状態に基づいて計算される。第２の段階では、この推定値は、１セットの観察 y_t と（１セットの観察期間中に得られた値と推定値との差を表す）推定誤差 e_t とにしたがって更新される。この更新推定値は、次のセットの観察と共に用いられる。

カルマンフィルタは x_t の最小平均平方一次推定値を与える。更に、推定値誤差 e_t の分散 - 共分散行列 - この行列に基づき上述の標準化が実行される - も計算することができる。時系列モデルと共にカルマンフィルタを従来通りに使用する際には、状態は測定変数からなることになる。本発明の好ましい実施態様にすれば、乳牛の変数の時系列モデルのパラメータを推定するためにカルマンフィルタが用いられる。カルマンフィルタは各搾乳後ごとに状態の新しい推定値を与えるが、これは時系列モデルのパラメータの新たな推定値である。これらのパラメータの新たな推定値によって、新しい測定値が予測され、その結果、それぞれの状況に最も適合していると思われる時系列モデルのパラメータを予め選択する必要なしに、かつ高い信頼度をもって、基準から逸脱した測定値の信号を送ることができる。推定された状態の分散 - 共分散行列は更に、上述のように、推定値と測定値との誤差を互に関係づけるために用いられる。

カルマンフィルタの計算方法はまた、予め定められた濃厚飼料消費水準の確率分布を濃厚飼料の消費水準に適合させるためにも用いられる。これを達成させるために、状態空間方程式（１）および（２）に関する説明が用いられる。この場合、以下のような定義が適用される。すなわち

〔式３〕

$$x_t = \begin{bmatrix} p_0 \\ p_1 \\ p_2 \\ p_3 \\ p_4 \end{bmatrix}, y_t = \begin{bmatrix} r_0 \\ r_1 \\ r_2 \\ r_3 \\ r_4 \end{bmatrix}, A_t = I, C_t = I \quad (3)$$

ベクトル x_t は再び状態（ここでは、確率分布）を定義し、そしてベクトル y_t は以下のように定義された r_i を備えた１セットの観察によって定義される。すなわち、

- 食べ残し = ０％ならば、

$r_0 = 1$ 、 $i = 0$ ならば、 $r_i = 0$

- ０％ > 食べ残し > １０％ならば、

$r_1 = 1$ 、 $i = 0$ ならば、 $r_i = 0$

- １０％ > 食べ残し > ３０％ならば、

$r_2 = 1$ 、 $i = 2$ ならば、 $r_i = 0$

- ３０％ > 食べ残し > ５０％ならば、

$r_3 = 1$ 、 $i = 3$ ならば、 $r_i = 0$

- ５０％ > 食べ残し > １００％ならば、

$r_4 = 1$ 、 $i = 4$ ならば、 $r_i = 0$

行列 A_t と C_t は、識別行列 I 、 $v_t = I$ と $w_t = 0 \cdot 0 \cdot 1 \cdot I$ に等しい。

これらの定義によって、推定誤差は以下の通りである。すなわち

[式4]

$$e_t = \begin{bmatrix} r_0 - p_0 \\ r_1 - p_1 \\ r_2 - p_2 \\ r_3 - p_3 \\ r_4 - p_4 \end{bmatrix} \quad (4)$$

e_t の成分は、 $r_i = 1$ のとき正であり、 $r_i = 0$ のとき負である。

10

カルマンフィルタの計算技術に関する更なる詳細については、A．C．ラーベイ著の『推定構造の時系列モデルとカルマンフィルタ』ケンブリッジ大学出版、ケンブリッジUK、1989年と、P．J．バリソンおよびC．F．スティーブンス著の『ベイズの予測』英国統計協会、38号、頁205～247、1976年に言及されている。

本発明の現在のところ最も好ましい実施形態にしたがったモニタリング方法とシステムとは、実験によって試験済みである。その結果によると、以下に示されている表に記載されているように（*の数は上述の信頼値帯域に対応する）、微同調なしに既に非常に良好な感度と良好な特定性が得られている。

表1

発熱期間を除く537件

および41803回の搾乳に基づく熱に対する感度と特定性

20

注意	感度	特定性
*	94.2%	94.5%
**	86.5%	96.9%
***	82.5%	96.9%

表2

病気に対する感度（乳腺炎を除く）と、病気の期間を除く263件および40

30

286回の搾乳に基づく検知モデルの特定性

注意	感度	特定性
*	99.6%	96.0%
**	90.5%	93.5%
***	76.8%	96.7%

表 3

4つの異なる乳腺炎の種類に対する感度と乳腺炎に関する特定性

注意	感度	感度	感度	感度	特定性
	臨床	準臨床	潜在的	分泌	
	乳腺炎	乳腺炎	乳腺炎	障害	
	(52件)	(21件)	(35件)	(36件)	

10

* 96% 100% 89% 97% 95.3% ** 90% 76% 5
7% 86% 98.2% *** 65% 57% 37% 67% 99.4%

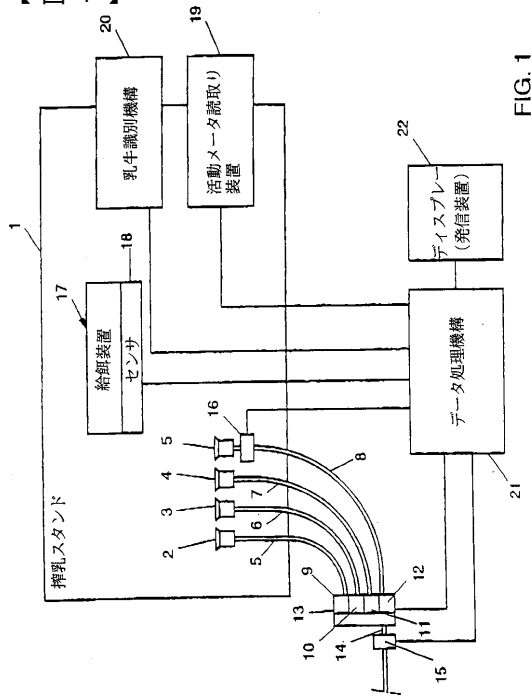
参照番号

1. 搾乳スタンド
17. 給餌装置
18. センサ
19. 活動メータ読取り装置
20. 乳牛識別機構
21. データ処理機構
22. ディスプレー（発信装置）
23. 動物を識別する
24. 測定する
25. 状態を読み取る、測定された値を読み取る
26. 推測値を計算する
27. 誤差の標準化を計算する
28. 注意指示を決定する
29. 注意信号を発する
30. 動物のモニタリングを停止する
31. 状態を更新する

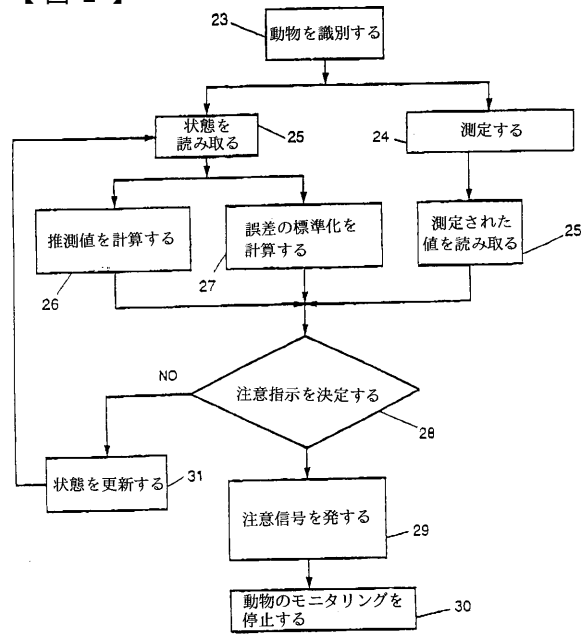
20

30

【 図 1 】



【 図 2 】



フロントページの続き

(72)発明者 キーン、 アルベルタス

オランダ国 エヌエル 6 6 6 8 アーアー ランドヴァイク アクターシュトラート 2

審査官 吉田 佳代子

(56)参考文献 米国特許第 5 3 5 1 6 4 4 (U S , A)

特開平 4 - 6 3 5 2 9 (J P , A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

A01K 67/00

G06Q 50/00