

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4448901号
(P4448901)

(45) 発行日 平成22年4月14日 (2010. 4. 14)

(24) 登録日 平成22年2月5日 (2010. 2. 5)

(51) Int. Cl.

F I

A 6 1 B 5/11 (2006. 01)
G 0 4 F 10/00 (2006. 01)A 6 1 B 5/10 3 1 O Z
G 0 4 F 10/00 Z

請求項の数 19 (全 24 頁)

(21) 出願番号 特願2000-515208 (P2000-515208)
 (86) (22) 出願日 平成10年7月15日 (1998. 7. 15)
 (65) 公表番号 特表2001-519185 (P2001-519185A)
 (43) 公表日 平成13年10月23日 (2001. 10. 23)
 (86) 国際出願番号 PCT/US1998/014615
 (87) 国際公開番号 WO1999/018480
 (87) 国際公開日 平成11年4月15日 (1999. 4. 15)
 審査請求日 平成17年7月12日 (2005. 7. 12)
 (31) 優先権主張番号 08/942, 802
 (32) 優先日 平成9年10月2日 (1997. 10. 2)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(73) 特許権者 592228398
 ナイキ・インコーポレーテッド
 Nike Inc
 アメリカ合衆国オレゴン州97005-6
 453, ビーバートン, ワン・パウワーマ
 ン・ドライブ
 (74) 代理人 100089705
 弁理士 社本 一夫
 (74) 代理人 100140109
 弁理士 小野 新次郎
 (74) 代理人 100075270
 弁理士 小林 泰
 (74) 代理人 100080137
 弁理士 千葉 昭男

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 運動中の人間の足の接地時間および揚上時間の測定

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

地面に対する人間の足の運動を分析する方法であって、(a) 加速度計を用いて、足の加速度を検知し足の加速度を表わす信号を生じるステップと、(b) 加速度計からの信号を信号処理回路へ供給するステップと、(c) 信号処理回路を用いて信号を分析し、人間が行った歩行において足が地面を離れる瞬間を決定するステップと、を含んでおり、

前記加速度計は加速度検知方向を有し、また、前記ステップ (a) が、

(a 1) 前記加速度計の加速度検知方向が足の底面に対して垂直に方向付けされない
 ように、足の底面に対して加速度計を配向するステップ
 を含む方法。

【請求項 2】

前記ステップ (a 1) が、前記加速度計の加速度検知方向が足の底面に対して実質的に
 平行であるように、足の底面に対して加速度計を配向するステップを含む請求項 1 記載の
 方法。

【請求項 3】

前記ステップ (c) が、

(c 1) 前記信号処理回路を用いて地面を離れる足を表わす信号における特性を識別
 するステップを含む請求項 1 記載の方法。

10

20

【請求項 4】

前記ステップ(c 1)が、前記信号処理回路を用いて地面を離れる足を表わす信号における高レベルまたは低レベルを識別するステップを含む請求項 3 記載の方法。

【請求項 5】

前記高レベルまたは低レベルの識別に先立ち、信号を周波数フィルタ処理するステップを更に含む請求項 4 記載の方法。

【請求項 6】

前記高レベルまたは低レベルの識別に先立ち、信号を増幅するステップを更に含む請求項 4 記載の方法。

【請求項 7】

信号における特性の識別に先立ち、信号を高域通過周波数フィルタ処理するステップを更に含む請求項 3 記載の方法。

【請求項 8】

地面に対する人間の足の運動を分析する方法であって、

(a) 加速度計の出力を用いて加速度を検知し、人間が行った歩行において人間の足が地面を離れる瞬間を決定するステップと、

(b) 前記加速度計の出力を用いて、足が地面と接触状態になる瞬間を決定するステップと、

(c) 前記ステップ(b)において決定された足が地面と接触状態になる瞬間と前記ステップ(a)において決定された足が地面を離れる瞬間との間の時間差に基づいて足接地時間を決定するステップと、

(d) 前記ステップ(a)と(b)と(c)とを反復して複数の足接地時間を決定するステップであって、さらに、

(d 1) 受入れ得る足接地時間の予め定めた範囲内にはない複数の足接地時間のいずれかを無視することを含むステップと、

(e) 前記ステップ(d)において決定された複数の足接地時間を平均化して平均足接地時間を決定するステップと、

(f) 前記ステップ(e)において決定された平均足接地時間を用いて、人間が地面に対して運動している速度を決定するステップと、

を含み、

前記ステップ(f)が、さらに、

(f 1) 前記平均足接地時間が第 1 の時間量より短ければ、該平均足接地時間をファクタとする第 1 の式に従って人間が運動している速度を取得するステップと、

(f 2) 前記平均足接地時間が第 2 の時間量より長ければ、該平均足接地時間をファクタとする第 2 の式に従って人間が運動している速度を取得するステップとを含む方法。

【請求項 9】

地面に対する人間の足の運動を分析する方法であって、

(a) 加速度計の出力を用いて加速度を検知し、人間が行った歩行において人間の足が地面を離れる瞬間を決定するステップと、

(b) 前記加速度計の出力を用いて、足が地面と接触状態になる瞬間を決定するステップと、

(c) 前記ステップ(b)において決定された足が地面と接触状態になる瞬間と前記ステップ(a)において決定された足が地面を離れる瞬間との間の時間差に基づいて足接地時間を決定するステップと、

(d) 前記ステップ(a)と(b)と(c)とを反復して、第 1 の最近の足接地時間と第 2 の最近の足接地時間と第 3 の最近の足接地時間を含む複数の最近の足接地時間を決定し、メモリに記憶するステップと、

(e) 前記第 1 の最近の足接地時間が前記第 3 の最近の足接地時間より大きい小さい第 1 の百分率範囲内にあり、かつ前記第 1 の最近の足接地時間が前記第 2 の最近の足接地時

10

20

30

40

50

間より大きい小さい第2の百分率範囲内になれば、前記第2の最近の足接地時間を前記第1の最近の足接地時間と前記第3の最近の足接地時間との平均値にセットするステップと、
を含む方法。

【請求項10】

地面に対する人間の足の運動を分析する方法であって、

(a) 加速度計の出力を用いて加速度を検知し、人間が行った歩行において人間の足が地面を離れる瞬間を決定するステップと、

(b) 前記加速度計の出力を用いて、足が地面と接触状態になる瞬間を決定するステップと、

(c) 前記ステップ(a)において決定された足が地面を離れる瞬間と、前記ステップ(b)において決定された足が地面と接触状態になる瞬間との間の時間差に基づいて足揚上時間を決定するステップと、

(d) 第1の最近の足揚上時間と第2の最近の足揚上時間と第3の最近の足揚上時間とを含む複数の最近の足揚上時間を決定してメモリに記憶するため前記ステップ(a)と(b)と(c)とを反復するステップと、

(e) 前記第1の最近の足揚上時間が前記第3の最近の足揚上時間より大きい小さい第1の百分率範囲内にあり、かつ該第1の最近の足揚上時間が前記第2の最近の足揚上時間より大きい小さい第2の百分率範囲内にあるならば、前記第2の最近の足揚上時間を前記第1の最近の足揚上時間と前記第3の最近の足揚上時間との平均値にセットするステップと、
を含む方法。

【請求項11】

地面に対する人間の足の運動を分析する装置であって、

人間が行った少なくとも一歩における足の運動を表わす出力信号を生じるように構成され配置された、足に関して支持される加速度計と、

前記加速度計の出力信号を分析して、少なくとも一歩において足が地面を離れる少なくとも1つの瞬間を決定するように構成された、前記加速度計に結合されてこれから出力信号を受け取る信号処理回路とを備え、

前記加速度計の加速度検知軸が人間の足の底面に平行に指向されるように、人間に取り付けられる装置。

【請求項12】

地面に対する足の運動を分析する請求項11記載の装置において、前記信号処理回路が、前記加速度計の出力信号を分析して足が地面と接触する少なくとも1つの瞬間を決定するように構成された装置。

【請求項13】

地面に対する足の運動を分析する請求項12記載の装置において、前記信号処理回路が、前記加速度計の出力信号を分析して、足が地面と接触状態になった少なくとも1つの瞬間と、足が地面を離れた少なくとも1つの瞬間との間の時間差に基づいて、少なくとも一つの歩幅で足が地面と接触した少なくとも1つの期間を決定するように構成された装置。

【請求項14】

地面に対する足の運動を分析する請求項12記載の装置において、前記信号処理回路が、前記加速度計の出力信号を分析して、足が地面を離れた少なくとも1つの瞬間と足が地面と接触した少なくとも1つの瞬間との間の時間差に基づいて、足の歩幅間に足が地面と接触しなかった少なくとも1つの期間を決定するように構成された装置。

【請求項15】

地面に対する足の運動を分析する請求項11記載の装置において、前記信号処理回路が、前記加速度計の出力信号を分析して、足の歩幅間に足が地面と接触した期間を決定し、あるいは足が行った歩みの間に足が地面と接触しなかった期間を決定するように構成された装置。

10

20

30

40

50

【請求項 1 6】

地面に対する足の運動を分析する請求項 1 1 記載の装置において、前記信号処理回路が、前記出力信号が分析される前に、前記加速度計の出力信号をフィルタ処理するように構成された高域通過フィルタを含む装置。

【請求項 1 7】

地面に対する足の運動を分析する請求項 1 6 記載の装置において、前記信号処理回路が、前記出力信号が分析される前に、出力信号を増幅するように構成された増幅器を含む装置。

【請求項 1 8】

地面に対する人間の足の運動を分析する方法であって、
(a) 足の底面に配置された加速度計を用いて、足の加速度を検知し、足の加速度を表わす信号を生じるステップと、
(b) 前記加速度計からの信号を信号処理回路へ供給するステップと、
(c) 前記信号処理回路を用いて信号を分析し、人間の歩の中に足が地面を離れる瞬間を決定するステップと
を含み、

前記加速度計は加速度検知方向を有し、また、前記ステップ (a) が、さらに、

(a 1) 前記加速度計の加速度検知方向が足の底面に対して垂直に方向付けされないように、足の底面に対して加速度計を配向するステップ
を含む方法。

【請求項 1 9】

地面に対する人間の足の運動を分析する装置であって、
人間の足の底面に配置されて人間により支持され、人間が行った少なくとも一步の間の足の加速度を表わす出力信号を生じるように構成され配置された加速度計と、
前記加速度計に結合されて該加速度計から出力信号を受取り、加速度計の出力信号を分析して少なくとも一步の間に足が地面を離れる少なくとも 1 つの瞬間を決定するように構成された信号処理回路と
を備え、

前記加速度計の加速度検知軸が人間の足の底面に平行に指向されるように、人間に取り付けられる装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

発明の背景

1. 発明の分野

本発明は、人間の整形外科的運動の監視に関し、特に移動中の人間の足接地時間、足揚上時間、速度および（または）歩幅の測定に関する。

2. 関連する技術の論述

移動中の人間の「足接地時間」の測定から有効情報を得ることができることは公知であり、ここで「足接地時間」とは人が一またぎする間人の足が地面と接触する期間を指す。人の足の接地時間が判れば、移動速度、移動距離および歩行に費やされたエネルギーなどの他の情報をこのような測定された足の接地時間に基いて計算することができる。

【0002】

過去においては、足の接地時間は、抵抗型センサのような感圧センサまたはスイッチを靴のかかととつま先の両部分に設置し、（足が地面と物理的に接触したことを示す）かかとセンサにより出力される第 1 の信号と、（足が地面を離れたことを示す）つま先センサにより出力される第 2 の信号との間の時間差を測定することにより測定された。しかし、これらのセンサは、靴の内部の高い衝撃環境に曝され、従って頻繁に故障する。更に、かかとセンサあるいはつま先センサのいずれか一方が起動されない期間中にユーザが歩みを行うとき、例えばユーザがそのつま先で走るとき、不正確な足の接地時間の測定を生じる結果となる。

【 0 0 0 3 】

当技術において周知の別の装置は、歩数計である。歩数計は典型的に、ユーザの腰部に取付けられ、ユーザの移動中にユーザの体が上下に動く回数を測定することによってユーザの歩数をカウントするように構成される。公知の従来技術の歩数計の設計は、ばねに載置された重りを用いてユーザが歩むときその体が上下に動く回数をカウントする。ユーザの事前に測定された歩幅に従って歩数計を適正に校正することにより、ユーザが移動した距離がこのような装置によって測定される。しかし、このような「ばね上荷重」型歩数計は、一般に、走行中重りが過大な跳ね返りを受けこのような跳ね返りのため歩数がしばしば「倍増カウント」されて歩数計に不正確な結果を生じさせるので、走る人が移動した距離は測定することができない。従って、このような装置は、異なるトレーニング方式（例えば、歩行とジョギングと走行）にわたり使用することはできない。

10

【 0 0 0 4 】

別の従来技術の歩数計装置は、加速度計を用いてユーザが歩行運動中に足が地面に当たる回数を測定する。即ち、加速度計は、足が地面に当たった瞬間を表わす下降ピークを表わした信号を生じるように、靴に載置される。従って、これらの装置は、ユーザの歩数を単にカウントする従来技術のばね上荷重歩数計装置と類似する結果を生じ、ユーザが移動した距離を計算するためにユーザの歩幅に従って校正されねばならない。このため、これらの加速度計に基く装置は、ばね上荷重装置と類似する制約を受け、移動中のユーザの足接地時間を測定することはできない。

20

【 0 0 0 5 】

従って、本発明の一般的目的は、容易に購入でき、信頼性が高く、使用が容易でありかつ正確である歩数測定法の新たな試みを提供することである。

発明の概要

運動を検知するのに圧縮力を必要としない運動検知装置の出力が、（１）移動中のユーザの足が地面から離れる瞬間と、（２）ユーザの足が地面に当たる瞬間とを決定するために用いられる方法および装置が開示される。足が地面に当たる各瞬間と次の足が地面から離れる瞬間との間の時間差を測定することによって、ユーザの移動中足が地面と接触した数期間、即ち幾つかの足の接地時間を正確かつ信頼性をもって測定することができる。これらの幾つかの測定された足接地時間の平均を計算することによって平均足接地時間を決定することができ、これからユーザの歩調（pace）、移動速度、移動距離などの情報を計算することができる。更に、ユーザの足が地面を離れる瞬間と次の足が地面に当たる瞬間との間の時間差を測定することによって、足が地面と接しなかった平均時間、即ちユーザの歩幅間の平均の足揚上時間（足の揚がっている時間：foot loft time）も計算することができる。

30

【 0 0 0 6 】

本発明の一特質によれば、地面に対する足の運動を分析する方法は、足が地面を離れる瞬間を決定するのに圧縮力を必要としない運動検知装置の出力を用いることを含む。

【 0 0 0 7 】

本発明の別の特質によれば、足の加速度を表わす運動検知装置の出力信号は、足が地面を離れる瞬間を決定するため信号を分析するよう構成された信号処理回路へ送られる。

40

【 0 0 0 8 】

別の特質によれば、運動検知装置の出力もまた足が地面と接触する瞬間を決定するためにも用いられる。

【 0 0 0 9 】

更に別の特質によれば、足接地時間が、足が地面と接触する瞬間と足が地面を離れる瞬間との間の差に基いて決定され、あるいは足揚上時間が、足が地面を離れる瞬間と足が地面と接触する瞬間との間の差に基いて決定される。

【 0 0 1 0 】

本発明の更に別の特質によれば、測定された足接地時間は、ユーザが地面に対して運動している速度を決定するために用いられる。更に、ユーザが移動中である時間間隔を測定す

50

ることによって、ユーザが運動している速度に速度の測定が決定された時間間隔を乗じることによってユーザが移動した距離が決定される。

【0011】

別の特質によれば、ユーザが徒歩で地面に対して運動している速度を決定する方法は、(a) 移動中のユーザの足接地時間を決定し、(b) 足接地時間が第1の時間量より短かければ、足接地時間が因数である第1の式に従ってユーザが運動している速度を取得し、(c) 足接地時間が第1の時間量より大きい第2の時間量より長ければ、足接地時間が因数である第2の式に従ってユーザが運動している速度を取得するステップを含んでいる。

【0012】

本発明の別の特質によれば、地面に対する足の運動を分析する装置は、運動を検知するのに圧縮力を必要としない運動検知装置と信号処理回路とを含んでいる。この運動検知装置は、足に関連して支持され、足の運動を表わす出力信号を生じるように構成配置される。信号処理回路は、運動検知装置から出力信号を受取るようにこの検知装置に結合され、この出力信号を分析して足が地面を離れる少なくとも1つの瞬間を決定するように構成される。

10

【0013】

本発明の別の特質によれば、前記運動検知装置は加速度計を含んでいる。

別の特質によれば、前記処理回路は、出力信号を分析して足が地面と接触する少なくとも1つの瞬間を決定するようにも構成される。

【0014】

20

更に別の特質によれば、前記処理回路は、(1) 出力信号を分析して足が行った少なくとも1つの移動中に足が地面と接触した少なくとも1つの期間を決定し、および(または)(2) 出力信号を分析して足が行った歩行の間に足が地面と接触しなかった少なくとも1つの期間を決定するように構成される。

【0015】

別の特質によれば、移動中のユーザが運動している速度を決定する装置は、足接地時間に関する情報を受取るための処理回路を含んでいる。この処理回路は、足接地時間が第1の時間量より短かければ、処理回路装置が足接地時間が因数である第1の式に従ってユーザが運動している速度を取得し、足接地時間が第1の時間量より長いあるいはこれと等しい第2の時間量より長ければ、処理回路が足接地時間が因数である第2の式に従ってユーザが運動している速度を取得するように構成されている。

30

発明の詳細な記述

図1は、本発明が用いられるネットワーク70のブロック図を示す。図示のように、ネットワーク70は、ネットワーク処理回路30と、メモリ装置28と、ユーザ・インターフェース32と、ディスプレイ26Aと、音響または振動表示器26Bとを含んでいる。ネットワーク処理回路30はまた、足接地時間発生器20A/足揚上時間発生器20B、心拍モニター22、呼吸モニター24のような1つ以上の監視装置からの入力を受取るようにも結合される。図1に示された諸装置は、無線周波(RF)または赤外線(IR)トランスミッタ/レシーバを用いることにより、あるいは当業者には周知の他の任意の送信媒体により、例えば直結配線あるいは容量結合を介して相互に接続される。

40

【0016】

ネットワーク処理回路30は、パーソナル・コンピュータ、あるいはネットワーク70の種々の入力からの情報の処理が可能な他の任意の装置を含む。メモリ装置28は、ネットワーク処理回路30に結合され、ネットワーク処理回路30に対するプログラミングおよびデータを記憶し、および(または)回路30により処理されたデータを記録するために用いられる。ユーザ・インターフェース32はまた、ネットワーク処理回路30にも結合され、ユーザ、例えば歩行者、ジョギング者あるいは走行者がソフトウェア・ルーチンの動作により実現される特定の特徴を選択し、特定の動作パラメータを入力し、あるいはディスプレイ26Aおよび(または)音響または振動表示器26Bに対する特定出力を選択することを可能にする。心拍モニター22および呼吸モニター24は、公知の方法に従っ

50

て動作し、ネットワーク処理回路 30 へ入力进行供給する。

【0017】

足接地時間発生器 20 A および足揚上時間発生器 20 B の各々は、本発明に従って動作し、個々の入力をネットワーク処理回路 30 へ供給する。足接地時間発生器 20 A および足揚上時間発生器 20 B、心拍モニター 22 および呼吸モニター 24、ならびに他の任意の種類の電子的身体状態監視装置の出力からの情報を受取ることにより、ネットワーク処理回路 30 は、全てのこのような情報を処理しユーザに健康指針を与えることができ、ユーザができるだけ有効なように健康のピーク・レベルを、あるいは身体の療法、回復などに役立つ他の健康に関する情報を得ることを助ける。

【0018】

図 2 は、本発明による装置をユーザに取付ける方法を示す。図 2 に示される装置 20 A ~ 20 C の各々が、加速度を検知する特定の軸、即ち加速度検知軸を有する。本発明の実施の一形態によれば、前記装置の各々は、装置の加速度検知軸がユーザの足の底面に実質的に平行に指向されるように取付けるべきである。例えば、装置 20 A はユーザのくるぶしに取付けられ、装置 20 B はユーザの靴の上あるいは内部に取付けられ、装置 20 C はユーザの腰部に取付けられ、諸装置の加速度検知軸がそれぞれ矢印 80 A、80 B および 80 C により示されるように指向される。それぞれの場合において、加速度検知軸のこのような位置決めは、(1) ユーザの足が地面を離れる瞬間と、(2) ユーザの足が地面と接触する瞬間との両方を最も確実に表わす出力信号を生じることが判った。装置により検知される加速度における変化の大部分が、従来技術の加速度計に基く歩数計におけるように主として地面に対する靴の衝撃により生じるよりは、ユーザの靴と地面との間の摩擦によって生じるので、このことが妥当するものと仮定される。

【0019】

図 3 は、本発明によるシステム 72 を示す。図示のように、システム 72 は、足接地時間 / 足揚上時間発生器 20 (図 1 における足接地時間発生器 20 A / 足揚上時間発生器 20 B のいずれかに対応し得る) と、メモリ装置 54 と、ユーザ・インターフェース 58 と、ディスプレイ 56 A と、音響または振動表示器 56 B とを含んでいる。実施の一形態によれば、足接地時間 / 足揚上時間発生器 20 は、メモリ装置 54 が足接地時間 / 足揚上時間発生器 20 により生じるデータを恒久的に記憶する如き機能を行うために用いられるだけでよいように、実質的に全てのオンボードの回路、例えばメモリ、タイマおよびアナログ / デジタル (A / D) ・コンバータを有するマイクロ・コントローラを含んでいる。

【0020】

ユーザ・インターフェース 58 は、従来のようにボタン、スイッチその他の物理的に動作する装置により励起され、あるいは市販の音声起動装置を用いて音声で励起される。以下に更に詳細に述べるように、ユーザ・インターフェース 58 は、例えば、(1) 本発明によるソフトウェア・ルーチンにおいて用いられる幾つかの任意のパラメータを調整し、(2) ユーザに対する幾つかのあり得る出力、例えばディスプレイ 56 A に表示することができる出力あるいは音響または振動表示器 56 B を介してユーザに音響または振動の表示を与えることができる出力を選択し、(3) ユーザ入力に自動的に応答して呼出されるソフトウェア・ルーチンにより実現される特徴を選択するために用いられる。

【0021】

図 4 は、図 3 に示された足接地時間 / 足揚上時間発生器 20 の実施の一形態を示す。図示のように、足接地時間 / 足揚上時間発生器 20 は、加速度計 34 と、増幅回路 38 (高域通過フィルタ 36 が内蔵される) と、マイクロ・コントローラ 40 とを含んでいる。加速度計 34 の出力は、増幅回路 38 の入力に接続され、増幅回路 38 の出力はマイクロ・コントローラ 40 の入力に接続されている。

【0022】

図 5 は、図 4 に示された足接地時間 / 足揚上時間発生器 20 を更に詳細に示す。図 5 に示されるように、加速度計 32 の出力 50 は増幅回路 38 に含まれる入力コンデンサ C1 に与えられる。増幅回路 38 は更に、演算増幅器 62 と抵抗 R1 ~ R4 とを含む。実施の一

10

20

30

40

50

形態によれば、加速度計 32 は Analog Devices 社製の部品番号 ADXL250 を含み、演算増幅器 62 は MAXIM 社製の部品番号 MAX418 を含んでいる。

【0023】

図 5 に示されるように、抵抗 R1 は入力コンデンサ C1 と演算増幅器 62 の反転入力との間に接続され、抵抗 R2 は演算増幅器 62 の反転入力端子と出力 52 との間にフィードバック接続される。このため、入力コンデンサ C1 と抵抗 R1 の組み合わせは高域通過フィルタを形成し、抵抗 R1 および R2 の位置は増幅回路を抵抗 R1 および R2 の関連値に利得係数が依存する反転形態に置く。図示された実施の形態においては、抵抗 R2 が 1 メガオームの値を持ち、抵抗 R2 は 150 キロオームの値を持ち、その結果増幅器の利得係数は約 -6.6 である。更に、図示された実施の形態によれば、コンデンサ C1 は 0.15 マイクロファラッドの値を持ち、その結果増幅回路 38 の高域通過フィルタ 36 が約 7.07 ヘルツより小さい入力信号周波数を遮断する。

10

【0024】

抵抗 R3 は、VCC 給電ノード 44 と演算増幅器 62 の非反転入力 60 との間に接続され、抵抗 R4 は非反転入力 60 と接地ノード 42 との間に接続される。VCC 給電ノード 44 は、接地ノード 42 に関して約 5 ボルト（例えば、6 ボルトのバッテリーから整圧）に維持され、抵抗 R3 および R4 は、非反転入力ノード 60 における電圧が VCC 給電ノード 44 における電圧と接地との略々中間（即ち、約 2.5 ボルト）に維持される。

【0025】

増幅回路 38 の出力 52 は、低電力マイクロ・コントローラ 40 の第 1 の A/D 入力 46 に接続され増幅回路 38 のノード 60 はマイクロ・コントローラ 40 の第 2 の A/D 入力 48 に接続される。実施の一形態によれば、マイクロ・コントローラ 40 は Microchip 社製の部品番号 PIC: 16C73 を含む。マイクロ・コントローラは、オンボード・メモリと A/D コンバータとタイマとを含んでいる。マイクロ・コントローラ 40 の A/D 入力 48 は、（先に述べたように）約 2.5 ボルトに維持されるゼロ基準値として働き、マイクロ・コントローラ 40 の入力 46 は 0 ボルトと 5 ボルト間で振動する可変入力として働く。マイクロ・コントローラ 40 は、約 500 サンプル/秒の速度で入力 46、48 における電圧をサンプルし、これらサンプルを 8 ビットの符号のないデジタル値へ変換し、前記 2 つの入力における電圧間の差を計算し、この差は以下に更に詳細に述べるソフトウェア・ルーチンの動作中に使用される。

20

30

【0026】

図 6 は、同じ時間軸に沿った 2 つのカーブを示している。これらのカーブは、ユーザが歩行している期間中に図 5 に示された回路のノード 50、52 における電圧の 8 ビットの無符号デジタル値を表わす。即ち、図 6 におけるカーブ 50W は、フィルタ処理され増幅される前の加速度計 32 の出力 50 における電圧をデジタル的に表わし、カーブ 46W、48W はそれぞれユーザが歩行している期間中のマイクロ・コントローラ 40 の入力 46、48 における電圧を（デジタル的に）表わす。カーブ 46W、48W および 50W の各々は共通時間軸を共有するが、カーブ 46W、48W の電圧の大きさ軸はカーブ 50W の電圧の大きさ軸とは異なる。従って、カーブ 46W、48W より上方のカーブ 50W の位置は、カーブ 50W がカーブ 46W、48W より高い振幅を得ることを示そうとするものではない。

40

【0027】

図 6 に示されるように、増幅回路 38 が負の利得係数を持つように構成されるので、カーブ 50W の高ピーク 51W はカーブ 46W の低ピーク 47W と対応している。しかし、カーブ 46W の高ピーク 49W はカーブ 50W の低ピークに対応するようには見えない。即ち、高ピーク 49W は、加速度計 34 の出力が増幅回路 38 により高域通過フィルタ処理され増幅された後にのみ認め得る。ユーザが移動中にユーザの足が地面を離れた瞬間を示すのは、カーブ 46W における高ピーク 49W である。

【0028】

同様に、カーブ 46W の低ピーク 47W は、ユーザが移動中にユーザの足が地面に当たっ

50

た瞬間を示す。カーブ 4 6 W のピーク 4 7 W とピーク 4 9 W 間の時間差を測定することにより、ユーザが移動中にユーザの足接地時間が突き止められる。本文に用いられる用語「足接地時間」とは、ユーザの足が地面に当たるときと足が次に地面を離れるときとの間の期間を指す。

【 0 0 2 9 】

同様に、移動中のユーザの足揚上時間が決定される。即ち、カーブ 4 6 W における高ピーク 4 9 W と低ピーク 5 3 W 間の時間差を測定することにより、ユーザの足揚上時間を突き止められる。本文に用いられる如き「足揚上時間」とは、ユーザの足が地面を離れるときと足が次に地面と接触するときとの間の期間を指す。

【 0 0 3 0 】

図 7 は、ユーザが歩行中であるとき、(1) 靴のかかととつま先にそれぞれ取付けた抵抗型センサにより生じる 2 つのカーブ 5 5 H、5 5 T と、(2) 本発明による加速度計の増幅されフィルタ処理された出力との間の一致を示している。即ち、カーブ 5 5 H は靴のかかたと取付けた抵抗型センサの出力を表わし、カーブ 5 5 T は靴のつま先に取付けた抵抗型センサの出力を表わし、カーブ 4 6 W は (図 5 に示された) 回路 2 0 のノード 5 2 における電圧を表わす。これら全ての測定はユーザが歩行中に行われた。カーブ 5 5 H、5 5 T および 4 6 W の各々は共通時間軸を共有するが、カーブ 5 5 H、5 5 T の電圧の大きさ軸はカーブ 4 6 W の電圧の大きさ軸とは異なる。従って、カーブ 4 6 W の上方のカーブ 5 5 H、5 5 T の位置は、カーブ 5 5 H、5 5 T がカーブ 4 6 W より高い振幅を得ることを意味しようとするものではない。

【 0 0 3 1 】

図 7 に点線で示されるように、カーブ 5 5 H の高から低への遷移 (ユーザの靴が地面に当たったことを示す) は、カーブ 4 6 W の低ピーク 4 7 W と一致し、カーブ 5 5 T の低から高への遷移 (ユーザの靴が地面を離れたことを示す) は、カーブ 4 6 W の高ピーク 4 9 W と一致する。このため、ユーザが歩行中であるときに (先に述べたように取付けた) 加速度計の高域通過フィルタ処理され / 増幅された出力の高ピークと低ピーク間の時間差を測定することにより得られる足接地時間と足揚上時間、およびその逆は、少なくとも従来技術の抵抗型センサにより生じるように正確である結果を生じるように見える。

【 0 0 3 2 】

図 8 は、ユーザが歩行中である期間中に図 5 に示された回路のノード 5 0、5 2 における電圧の無符号の 8 ビット・デジタル値を表わす 2 つのカーブを示している。即ち、図 8 のカーブ 5 0 R は、フィルタ処理され増幅される前の加速度計 3 2 の出力 5 0 における電圧を表わし、カーブ 4 6 R、4 8 R はそれぞれ、ユーザが走行中である期間中にマイクロ・コントローラ 4 0 の入力 4 6、4 8 における電圧を表わす。カーブ 4 6 R、4 8 R および 5 0 R の各々は共通時間軸を共有するが、カーブ 4 6 R、4 8 R の電圧の大きさ軸はカーブ 5 0 R の電圧の大きさ軸とは異なる。従って、カーブ 4 6 R、4 8 R より上方のカーブ 5 0 R の位置は、カーブ 5 0 R がカーブ 4 6 R、4 8 R より高い振幅を得ることを意味しようとするものではない。

【 0 0 3 3 】

図 8 に示されるように、増幅回路 3 8 が負の利得係数を持つように構成されるので、カーブ 5 0 R の高ピーク 5 1 R がカーブ 4 6 R の低ピーク 4 7 R と一致する。しかし、カーブ 4 6 R の高ピーク 4 9 R はカーブ 5 0 R の低ピークとは一致しないように見える。即ち、高ピーク 4 9 R は、加速度計 3 4 の出力が増幅回路 3 8 により高域通過フィルタ処理され増幅された後により認められる。ユーザが走行中にユーザの足が地面を離れた瞬間を示すのは、カーブ 4 6 R における高ピーク 4 9 R である。

【 0 0 3 4 】

同様に、カーブ 4 6 R における低ピーク 4 7 R は、ユーザが走行中にユーザの足が地面に当たった瞬間を示す。カーブ 4 6 R の低ピーク 4 7 R と高ピーク 4 9 R 間の時間差を測定することにより、ユーザが走行しているときユーザの足接地時間が突き止められる。同様に、ユーザの足揚上時間が決定される。即ち、カーブ 4 6 R における高ピーク 4 9 R と低

10

20

30

40

50

ピーク 5 3 R 間の時間差を測定することにより、ユーザが走行しているときユーザの足揚上時間が認められる。

【 0 0 3 5 】

図 9 は、ユーザが走行中、(1) 靴のかかととつま先に取付けた抵抗型センサにより生じた 2 つのカーブ 5 7 H、5 7 T と、(2) 本発明による加速度計の増幅されフィルタ処理された出力との間の一致を示している。即ち、カーブ 5 7 H は靴のかかとに取付けた抵抗型センサの出力を表わし、カーブ 5 7 T は靴のつま先に取付けた抵抗型センサの出力を表わし、カーブ 4 6 R は回路 2 0 (図 5 に示された) のノード 5 2 における電圧を表わす。これら全ての測定は、ユーザが走行中に行われた。カーブ 5 7 H、5 7 T および 4 6 R の各々は共通時間軸を共有するが、カーブ 5 7 H、5 7 T の電圧の振幅軸 (v o l t a g e - m a g n i t u d e a x i s) はカーブ 4 6 R の電圧の大きさ軸とは異なる。従って、カーブ 4 6 R より上方のカーブ 5 7 H、5 7 T の位置は、カーブ 5 7 H、5 7 T がカーブ 4 6 R より高い振幅を得ることを意味しようとするものではない。

10

【 0 0 3 6 】

図 9 において点線により示されるように、(ユーザの靴が地面に当たったことを示す) カーブ 5 7 H の高から低への遷移はカーブ 4 6 R の低ピーク 4 7 R と一致し、(ユーザの靴が地面を離れたことを示す) カーブ 5 7 T の低から高への遷移はカーブ 4 6 R の高ピーク 4 9 R と一致する。このため、ユーザが走行中に (先に述べたように取付けた) 加速度計の高域通過フィルタ処理 / 増幅された出力の高ピークと低ピーク間の時間差を測定することにより得られる足接地時間と足揚上時間の測定、およびその逆は、少なくとも従来技術の抵抗型センサにより生じるように正確である結果を生じるように見える。

20

【 0 0 3 7 】

加速度計 3 4 (図 4 および図 5 に示される) からの出力信号は、2 つの主要ソフトウェア・ルーチン、即ち、(1) データ、例えばループの各繰返しに関する足接地時間および足揚上時間を蓄積する連続ループ・ルーチンと、(2) 連続ループ・ルーチンに割込み、割込み開始時に連続ループ・ルーチンにより蓄積されたデータを分析する割込みルーチンとを用いてマイクロ・コントローラ 4 0 によって分析される。これらのルーチンは、ソフトウェア言語で書かれ、望ましくは (図 4 および図 5 に示された) マイクロ・コントローラ 4 0 のオンボード・メモリ (図示せず) に記憶される。これらルーチンは、ユーザが初期設定可能であり、あるいは望ましくは、マイクロ・コントローラ 4 0 のパワーアップ時に自動的に初期設定される。これら主要ソフトウェア・ルーチンの各々により行われる特定のステップについて、以下に詳細に記述する。

30

【 0 0 3 8 】

再び図 5 について簡単に述べると、マイクロ・コントローラ 4 0 の入力 4 6、4 8 の各々における電圧が 8 ビットのデジタル・ワードへ変換されるため、各入力における電圧の振幅は 2 5 6 の個々のレベルの 1 つとして表わされる。また、抵抗 R 3、R 4 が、5 ボルトの急速供給電圧の略々中間、即ち約 2 . 5 ボルトである電圧をノード 6 0 に生じるので、入力 4 8 におけるゼロ基準値は 2 5 6 レベルの略々中間、即ち約レベル 1 2 8 に止まる。

【 0 0 3 9 】

次に図 1 0 を参照して、(図 5 に示された) マイクロ・コントローラ 4 0 により行われた連続ループ・ルーチンの高レベルのフローチャートが示される。連続ループの部分 1 0 1 は、マイクロ・コントローラ 4 0 の入力 4 6、4 8 における電圧を実質的に連続的に監視して、予め定めた閾値を越える (入力 4 6、4 8 間の) 負および正の電圧差が生じるときを決定する。これらの負および正の電圧差は、ユーザの靴が地面に当たりかつ地面から離れたことをそれぞれ表わす。

40

【 0 0 4 0 】

図 1 0 に示されるように、連続ループ 1 0 1 は、ステップ 1 0 0、1 0 2、1 0 4、1 0 6、1 0 8、1 1 0、1 1 2 および 1 1 4 を含んでいる。これらの高レベル・ステップの多くは、図 1 2 の記述に関して以下に詳細に述べる幾つかの低レベルのサブステップを含

50

んでいる。

【0041】

ループ101のステップ100の間、マイクロ・コントローラ40は、入力46、48における電圧を連続的に監視して入力46における電圧が入力48における電圧より低い特定の電圧より以上に低下するときを判定する。実施の一形態によれば、入力48におけるゼロの基準レベルより(256のあり得る電圧レベルの内の)50レベル以上低い入力46における電圧が「負のスパイク事象(negative-spike event)」と見なされ、ソフトウェアが、前記の負のスパイク事象が生じる瞬間にユーザの足が地面に当たったと仮定する。負のスパイク事象の発生は、マイクロ・コントローラ40における「空中時間(air time)」(Ta)タイマを停止させ、「接地時間(contact time)」(Tc)タイマを始動させる。空中時間(Ta)タイマにより測定される時間は、最後の「正のスパイク事象」(以下に述べる)と検出したばかりの負のスパイク事象との間の時間差を表わす。負のスパイク事象が生じると、「ステップ・カウン

10

【0042】

次に、ステップ102の間、前に計算されてメモリに記憶された3つの最近の空中時間(空中時間(Ta)の値)が、誤りであるように見える空中時間(Ta)の測定値を排除するように働くFIFO平滑化として知られる手法を受ける。このようなFIFO平滑化を実施するため用いられるルーチンについて、以下に詳細に述べる。

【0043】

ステップ104の間、空中時間(Ta)値の連続合計(running total)が最後に得た空中時間(Ta)値により増分され、その時のTaSum値(TaSteps)に含まれる空中時間(Ta)値の合計数が1で増分される。これらの値は、平均空中時間(Ta)値(TaAverage)がTaSum値をTaSteps値で除することにより最終的に計算されるように保持される。

20

【0044】

ステップ100、102、104が実施された後に実施されるステップ106の間、システムは、ユーザに対するあり得る最小の足接地時間(Tc)に等しい期間、例えば122ミリ秒(ms)間「休止」し、その結果システムはこのような休止期間中に生じる正のスパイクが正のスパイク事象(以下に述べる)であるとは考えない。

30

【0045】

ステップ108、110、112および114は、空中時間(Ta)ではなく足接地時間(Tc)が判定されることを除いて、それぞれステップ100、102、104および106に類似している。

【0046】

ループ101のステップ108の間、マイクロ・コントローラ40は、その間の特定の電圧差について入力46、48を連続的に監視する。実施の一形態によれば、入力48におけるゼロの基準レベルより(あり得る256の電圧レベルの内の)10レベル以上高い入力46における正の電圧は「正のスパイク事象(positive-spike event)」と見なされ、ソフトウェアは、正のスパイク事象が生じる瞬間にユーザの足が地面を離れたものと仮定する。正のスパイク事象の発生は、接地時間(Tc)タイマを停止させ、空中時間(Ta)タイマを始動させる。接地時間(Tc)タイマにより測定される時間は、最後の負のスパイク事象と検出したばかりの正のスパイク事象との間の時間差を表わす。

40

【0047】

ステップ110の間、前に計算されメモリに記憶された3つの最も後の接地時間(Tc)は、誤りのように見える足接地時間(Tc)の測定値を排除するように働くFIFO平滑化を受ける。

【0048】

ステップ112の間、接地時間(Tc)の値の連続合計(TcSum)は最後に得た接

50

地時間 (T_c) の値だけ増分され、その時の $T_c \text{ Sum}$ 値 ($T_c \text{ Steps}$) に含まれる接地時間 (T_c) 値の合計数は 1 だけ増分される。これらの値は、 $T_c \text{ Steps}$ 値により $T_c \text{ Sum}$ 値を除すことにより平均接地時間 (T_c) の値 ($T_c \text{ Average}$) が最終的に計算されるように保持される。

【 0 0 4 9 】

ステップ 1 0 8、1 1 0、1 1 2 が実施された後に実施されるステップ 1 1 4 の間、前記の休止期間中に生じるなんらかの負のスパイクが負のスパイク事象を構成するとシステムが見なさないように、システムはユーザに対する最小可能足接地時間に等しい期間だけ「休止」する。ステップ 1 1 4 の休止期間後は、ルーチンがステップ 1 0 0 へ戻り、ループ 1 0 1 は (以下に述べる) 割込みが検出されるまで連続的に反復する。

10

【 0 0 5 0 】

次に図 1 1 に関して高レベルの割込みルーチン 1 1 5 について簡単に述べ、各高レベルのステップおよびその関連する低レベルのサブステップの更に詳細な記述が図 1 3 の記述に関して以下に続く。

【 0 0 5 1 】

割込みルーチン 1 1 5 は、所与の時間間隔で実行するようにプログラムされるが、有意なデータがルーチン 1 1 5 により評価される前にかかるデータがループ 1 0 1 によって集められるように、2 秒ごとに 1 回より更に頻繁に実行しないことが望ましい。

【 0 0 5 2 】

割込みルーチン 1 1 5 のステップ 1 1 6 は、ルーチンに連続ループ 1 0 1 へ割込みを行わせる。次に、ステップ 1 1 8 がユーザの数歩にわたる平均接地時間 (T_c) 値 ($T_c \text{ Average}$) を計算し、ループ 1 0 1 における $T_c \text{ Sum}$ 値と $T_c \text{ Steps}$ 値をゼロにリセットする。同様に、ステップ 1 2 0 は、平均空中時間 (T_a) 値 ($T_a \text{ Average}$) を計算し、ループ 1 0 1 における $T_a \text{ Sum}$ 値と $T_a \text{ Steps}$ 値をゼロにリセットする。

20

【 0 0 5 3 】

ステップ 1 2 2 において、ユーザの歩数が計算された $T_c \text{ Average}$ 値及び $T_a \text{ Average}$ 値に基いて (以下に述べるように) 決定され、ユーザの総歩数はループ 1 0 1 からの Step Count 値を 2 で乗じることによって計算される。

【 0 0 5 4 】

30

次に、ステップ 1 2 4 において、ユーザの歩調が以下に述べるアルゴリズムに従って計算され、ユーザが移動した距離は計算された歩調の値とこの歩調値が変数として決定された期間の両方を用いる (以下に述べる) 式に従って計算される。このような距離の測定は、移動した総合距離を決定するため過去の距離の測定値の累積であり得る。従って、この累積距離値は、ユーザがゼロの基準点から移動した距離を測定できるようにユーザによってリセット可能である。

【 0 0 5 5 】

最後に、ステップ 1 2 4 における計算後、あるいは他の必要な計算が行われた後に、ステップ 1 2 6 は、接地時間値 (T_c) と空中時間値 (T_a) の更なる測定のため連続ループ 1 0 1 へ割込みルーチン 1 1 5 を戻す。

40

【 0 0 5 6 】

図 1 2 は、連続ループ 1 0 1 の低レベルのフローチャートを示している。図示のように、(図 1 0 に示される) 高レベルのステップ 1 0 0 は、5 つの低レベルのサブステップ 1 0 0 A ~ 1 0 0 E を含んでいる。

【 0 0 5 7 】

ステップ 1 0 0 A および 1 0 0 B において、(ステップ 1 0 0 B において) 地面に当たるユーザの足を表わす入力 4 6 における電圧において負のスパイク事象が検出されるまでマイクロ・コントローラ 4 0 の入力 4 6 および 4 8 におけるアナログ電圧が (ステップ 1 0 0 A において) サンプルされる。実施の一形態によれば、入力 4 6 における電圧が、略々レベル 1 2 8 (即ち、5 ボルト・スケールにおける約 2 . 5 ボルト) に止まるべき基準入

50

力 4 8 のレベルより低い（あり得る 2 5 6 の個々の電圧レベルの内の）5 0 レベルより低く低下するまで入力 4 6、4 8 におけるアナログ電圧がサンプルされる。5 0 レベルは、5 ボルト・スケールにおいて約 0 . 9 8 ボルトに対応する。このようなサンプリングは、5 0 0 サンプル / 秒の速度で行われる。

【 0 0 5 8 】

入力 4 8 における基準レベルは、増幅器回路などの温度変化により僅かに上下方向に変動する。しかし、（温度の変動のような）外方要因により生じる入力 4 8 における基準レベルの変化がこれらの要因による入力 4 6 における信号レベルにおける変化に対応するので、ノード 4 6 および 4 8 における電圧間の差は加速度計により生じる変動信号によってのみ影響を受けるはずであり、回路の動作条件における変化によっては影響を受けない。

10

【 0 0 5 9 】

負のスパイク事象がステップ 1 0 0 B においていったん検出されると、空中時間（T a）タイマは（ステップ 1 0 0 C において）停止され、足接地時間（T c）タイマは（ステップ 1 0 0 D において）始動される。空中時間（T a）タイマは、連続ループ・ルーチン 1 0 1 の前のループの間地面を離れるユーザの足を表わす（以下に述べる）正のスパイク事象の検出に応答して始動される。このため、空中時間（T a）タイマは、ステップ 1 0 0 C で停止したとき、ユーザの歩調間の空中時間、即ちユーザの足が地面を最後に離れたとき（即ち、最後の正のスパイク事象）と足が最後に地面に当たったとき（即ち、検出されたばかりの負のスパイク事象）との間の期間の測定を行う。

【 0 0 6 0 】

20

更に、負のスパイク事象の検出に応答して、可変の S t e p C o u n t 値が（ステップ 1 0 0 E において）1 だけ増分される。この可変 S t e p C o u n t 値は、連続合計がトレーニング期間中にユーザの一方の足が行った歩数を正確に測定するように、ユーザがトレーニング方式を開始するに先立ってリセットされる。

【 0 0 6 1 】

可変 S t e p C o u n t 値を（ステップ 1 0 0 E において）更新した後、連続ループ 1 0 1 が、図 1 0 に示された高レベル・ルーチンの「F I F O 平滑化」ステップ 1 0 0 に含まれるステップ 1 0 2 A ~ 1 0 2 E へ進む。ステップ 1 0 2 A ~ 1 0 2 E の間、空中時間の 3 つの最後の値、即ちメモリに記憶された 3 つの最後の空中時間（T a）値が下記のように分析される。

30

【 0 0 6 2 】

最初に、ステップ 1 0 2 A において、（ループ 1 0 1 の先の反復からの）3 つの最近の空中時間（T a）値が（ステップ 1 0 0 C において）新たに取得された空中時間（T a）値を考慮に入れるようにシフトされる。特に、現在ある 3 番目の最近の空中時間（T a）値が捨てられ、現在ある 2 番目の最近の空中時間（T a）値が新たな 3 番目の最近の値となり、現在ある最初の最近の値が新たな 2 番目の値となり、新たに取得された空中時間（T a）値が新たな最初の最近の空中時間（T a）値となる。

【 0 0 6 3 】

次に、ステップ 1 0 2 B および 1 0 2 C において、3 つの最近の空中時間（T a）値が（ステップ 1 0 2 A においてシフトされた後で）以下に述べるように比較されて中途の空中時間（T a）値（即ち、2 番目の最近の空中時間（T a）値）が変則的であるように見えるかどうかを確認する。変則的な空中時間（T a）の測定値（即ち、変則的な空中時間（T a）値）は、ユーザが歩行中に岩につまずいたり水や氷で滑るときに生じる。2 番目の最近の空中時間（T a）値が誤った測定の結果であるように見えるならば、（ステップ 1 0 2 D において）この値は最初と 3 番目の最近の空中時間（T a）値の平均値で置換される。このため、3 番目の最近の空中時間（T a）値のみが（ステップ 1 0 2 E に従って）全ての将来の計算に用いられるので、変則的な 2 番目の最近の空中時間（T a）値の置換は偶発的な変則的測定をフィルタ処理即ち平滑化するように働く。

40

【 0 0 6 4 】

特に、ステップ 1 0 2 B において、最初および 3 番目の最近の空中時間（T a）値が比較

50

される。これらの値が相互のある百分率以内に含まれるならば（例えば、最初の最近の空中時間（ T_a ）値が3番目の最近の空中時間（ T_a ）値より5%大きいとか小さければ）、ルーチンはステップ102Cへ進む。最初および3番目の空中時間（ T_a ）値が相互のある百分率以内になれば、ルーチンはステップ102Eへ直接進む。即ち、最初および3番目の最近の空中時間（ T_a ）の測定値間の差が大きすぎるならば、ユーザがこれら2つの測定値間に速度を変えたものと仮定され、このような状況における2番目の最近の空中時間（ T_a ）値をリセットすることは、最初および3番目の最近の空中時間（ T_a ）の測定値が類似するときに得た平滑化された値ではなく、不正確な空中時間（ T_a ）値を結果として生じがちなものとなる。

【0065】

ステップ102Cに達すると、最初および2番目の最近の空中時間（ T_a ）値が比較される。最初の最近の空中時間（ T_a ）値が2番目の最近の空中時間（ T_a ）値のある百分率以内になれば（例えば、最初の最近の空中時間（ T_a ）値が2番目の最近の空中時間（ T_a ）値より5%大きいとか小さければ）、（ステップ102Dにおいて）2番目の最近の空中時間（ T_a ）値が最初および3番目の最近の空中時間（ T_a ）値の平均値で置換され、これにより明らかに変則的な2番目の最近の空中時間（ T_a ）の測定値を排除する。

【0066】

最後に、ステップ102Eによれば、空中時間（ T_a ）の測定を含む全ての将来の計算のため3番目の最近の空中時間（ T_a ）値が用いられる。このため、このような3番目の最近の空中時間（ T_a ）値がループ101の前の反復における2番目の最近の空中時間（ T_a ）値であったため、この値は先のステップ102Bおよび102Cにおいてなされた比較に基いて変則的であるように思われたならばこの反復中に「平滑化」されたものとする。

【0067】

高レベルのステップ104（図10に示された）は、サブステップ104Aおよび104Bを含む。図12に示されるように、ステップ104Aにおいて、ループ101の過去の反復からの空中時間（ T_a ）の測定値（ $T_a \text{ Sum}$ ）の累計がステップ102Eからの3番目の最近の空中時間（ T_a ）値で更新されて、 $T_a \text{ Sum}$ の更新値（即ち、 $T_a \text{ Sum} = T_a \text{ Sum} + T_a$ ）を得る。

【0068】

次に、ステップ104Bにおいて、空中時間（ T_a ）ステップ（ $T_a \text{ Steps}$ ）の数の連続合計が1だけ増分される（即ち、 $T_a \text{ Steps} = T_a \text{ Steps} + 1$ ）。正のスパイク事象（以下に述べるステップ108Bにおいて識別された）の後に負のスパイク事象（ステップ100Bにおいて識別された）が続くごとに空中時間ステップが生じる。

【0069】

ループ101のステップ106において、システムは、ステップ108Aへ進む前にある時間量だけ休止モードに置かれる。実施の一形態によれば、この休止モードは、ユーザが最高速度（例えば、122ミリ秒（ms））で走行中に生じる最低の足接地時間（ T_c ）に等しい時間だけ続く。この休止期間は、以降の正のスパイク事象として検出されたスパイク事象の直後の加速度計出力信号に生じるリングングをマイクロ・コントローラが誤って識別することを防止するために用いられる。更に、システムにおける電力を節減するため、休止期間中は回路における非臨界成分に対する電力供給が低減されるか止められる。

【0070】

ステップ106の休止期間後に、ループ101がステップ108A～108Eへ進み、これらステップが高レベルのステップ108（図10に示される）を構成する。ステップ108Aおよび108Bにおいて、正のスパイク事象が（ステップ108Bにおいて）地面を離れるユーザの足を表わす入力46における電圧において検出されるまでマイクロ・コントローラ40の入力46および48におけるアナログ電圧が（ステップ108Aにおいて）サンプルされる。実施の一形態によれば、略々レベル128（即ち、5ボルトのスケールにおける約2.5ボルト）に止まるべき基準入力48のレベルよりも（あり得る25

10

20

30

40

50

6の個々の電圧レベルの内の)10レベル以上入力46における電圧が上昇するまで、入力46および48におけるアナログ電圧がサンプルされる。10レベルは、5ボルトのスケールにおける約0.20ボルトに対応する。このようなサンプリングは、500サンプル/秒の速度で行われる。

【0071】

正のスパイク事象がステップ108Bにおいて検出されると、足接地時間(T_c)タイマが(ステップ108Cにおいて)停止され、足の空中時間(T_a)タイマは(ステップ108Dにおいて)始動される。足接地時間(T_c)タイマは、連続ループ・ルーチン101の前のループの間、(ステップ100Bにおいて)負のスパイク事象の検出に応答して(ステップ100Dにおいて)始動されることになる。このため、足接地時間(T_c)タイマは、ステップ108Cにおいて停止されたとき、ユーザの歩行中、即ちユーザの足が歩行中地面と物理的に接触する期間中、ユーザの足接地時間の測定を行う。

10

【0072】

ステップ108Eにおいて、足接地時間(T_c)タイマにより測定される時間は、これが足接地時間の受入れ得る範囲内に該当するか否かを決定するために評価される。測定された接地時間(T_c)値がこのような受入れ得る範囲内になければ、ルーチンは別の負のスパイク事象の識別のためステップ100Aへ戻る。実施の一形態によれば、足接地時間の受入れ得る範囲は140ないし900ms間にある。

【0073】

測定された接地時間(T_c)値を(ステップ108Eにおいて)評価した後、連続ループ101が、図10に示された高レベル・ルーチンの「FIFO平滑化」ステップ110に含まれるステップ110A~110Eへ進む。ステップ110A~110Eにおいて、3つの最近の足接地時間値、即ちメモリに記憶された3つの最近の接地時間(T_c)値が下記のように分析される。

20

【0074】

最初に、ステップ110Aにおいて、(ループ101の前の反復からの)3つの最近の接地時間(T_c)値が、(ステップ108Cにおいて)新たに取得された接地時間(T_c)値を考慮に入れるようにシフトされる。特に、現在の3番目の最近の接地時間(T_c)値は捨てられ、現在の2番目の最近の接地時間(T_c)値が新たな3番目の最近の値となり、現在の最初の最近の値が新たな最近の第二の接地時間(T_c)値となり、新たに取得された接地時間(T_c)値が新たな最初の最近の接地時間(T_c)値となる。

30

【0075】

次に、ステップ110Bおよび110Cにおいて、3つの最近の接地時間(T_c)値は、(ステップ110Aにおいてシフトされた後)以下に述べるように、中途の接地時間(T_c)値(即ち、2番目の最近の接地時間(T_c)値)が変則的であるように見えるかどうかを確かめるため比較される。変則的な接地時間(T_c)の測定値(すなわち、変則的な接地時間(T_c)値)は、例えば、ユーザが歩行中に岩につまずいたりあるいは水または氷で滑るときに生じる。2番目の最近の接地時間(T_c)値が誤った測定の結果であるように見えるならば、(ステップ110Dにおいて)この値は最初および3番目の最近の接地時間(T_c)値の平均値と置換される。このため、3番目の最近の接地時間(T_c)値のみが(ステップ110Eにより)全ての将来の計算のため用いられるので、変則的な2番目の最近の接地時間(T_c)値の置換が偶発的な変則的測定をフィルタ処理あるいは平滑化を行うように働く。

40

【0076】

特に、ステップ110Bにおいて、最初および3番目の最近の接地時間(T_c)値が比較される。これらの値が相互のある百分率以内にあるならば(例えば、最初の最近の接地時間(T_c)値が3番目の最近の接地時間(T_c)値より5%大きいとか小さければ)、ルーチンはステップ110Cへ進む。最初および3番目の最近の接地時間(T_c)値が相互のある百分率以内になければ、ルーチンはステップ110Eへ直接進む。即ち、最初と3番目の最近の接地時間(T_c)の測定間の差が大きすぎるならば、ユーザがこれら2つの測

50

定間で歩調を変更したものとされ、最初と3番目の最近の接地時間 (T_c) の測定が類似するときに得られた平滑化された値ではなく、このような状況における2番目の最近の接地時間 (T_c) 値のリセットが不正確な結果を生じがちである。

【0077】

ステップ110Cに達すると、最初と2番目の最近の接地時間 (T_c) 値が比較される。最初の最近の接地時間 (T_c) 値が2番目の最近の接地時間 (T_c) 値のある百分率以内になければ (例えば、最初の最近の接地時間 (T_c) 値が2番目の最近の接地時間 (T_c) 値より5%大きいか小さくなければ)、(ステップ110Dにおいて) 2番目の最近の接地時間 (T_c) 値が最初と3番目の最近の接地時間 (T_c) 値の平均値で置換され、これにより明らかに変則的な2番目の最近の接地時間 (T_c) の測定を排除する。

10

【0078】

最後に、ステップ110Eによれば、3番目の最近の接地時間 (T_c) 値が、足接地時間 (T_c) の測定を含む全ての将来の計算のため用いられる。このため、このような3番目の最近の接地時間 (T_c) 値がループ101の前の繰返しにおいて2番目の最近の接地時間 (T_c) 値であったため、この値は、先のステップ110Bおよび110Cにおいてなされた比較に基いて変則的に見えたならば、前記繰返しにおいて「平滑化」されることになる。

【0079】

図12には示されないが、測定された足接地時間はまた、ユーザにより行われた各歩みにおいてユーザの足がその「ゼロ位置」にある瞬間、即ちユーザの足の底面がユーザが歩き、ジョギングしあるいは走っている地面に対して平行である瞬間を決定するために用いることができる。このような瞬間は、例えば、ユーザの足が各歩みに対する測定された足接地時間における中間がゼロ位置 (あるいは、ある百分率の位置) にあると仮定することにより決定することもできる。

20

【0080】

高レベルのステップ112 (図10に示された) は、サブステップ112Aおよび112Bを含んでいる。図12に示されるように、ステップ112Aにおいて、ループ101の過去の繰返しからの接地時間 (T_c) 測定値累計 ($T_c Sum$) は、ステップ110Eからの3番目の最近の接地時間 (T_c) 測定値で置換されて変数 $T_c Sum$ の更新値 (即ち、 $T_c Sum = T_c Sum + T_c$) を得る。

30

【0081】

次に、ステップ112Bにおいて、足接地時間 (T_c) ステップ数 ($T_c Steps$) の連続合計は1だけ増分される (即ち、 $T_c Steps = T_c Steps + 1$)。足接地時間ステップ ($T_c Step$) は、負のスパイク事象 (ステップ100Bにおいて識別される) の後に先に述べた正のスパイク事象 (ステップ108Bにおいて識別) が続くたびに生じる。

【0082】

ループ101のステップ114において、システムは、ステップ100Aへ戻る前にある時間量だけ休止モードに置かれる。実施の一形態によれば、この休止モードは、ユーザが最大速度で走っているときに生じる最小足接地時間 (T_c) に等しい時間 (例えば、122ms) だけ継続する。このような休止期間は、マイクロ・コントローラが以降の負のスパイク事象として検出された正のスパイク事象の直後の加速度計の出力信号に生じるリングングを誤って識別することを防止するために用いられる。更に、回路における必須でない構成要素に対する電力供給は、システムにおける電力を節減するため休止期間中は低減されるか止められる。

40

【0083】

図13は、割込みルーチン115の低レベルのフローチャートを示している。先に述べたように、割込みルーチン115は、ループの多数の繰返しにより累積されるデータ、例えば足接地時間および足揚上時間を評価し分析するように連続ループ101に周期的に割込みを行う。割込みルーチン115は、所与の任意の時間間隔で実行するようにプログラム

50

されるが、有意データがルーチン 115 により分析され評価される前に有意データ (mean ing data) がループ 101 により集められるように、2 秒ごとに 1 回以上頻繁に実行しないことが望ましい。

【0084】

割込みルーチン 115 のステップ 116 は、当該ルーチンをして連続ループ 101 に割込みさせる。次に、図 11 における高レベルのステップ 118 を構成するステップ 118 A ~ 118 D が、ユーザの幾つかのステップにわたる平均接地時間 (Tc) 値 (Tc Average) を計算し、ループ 101 の Tc Sum 値および Tc Steps 値をゼロへリセットする。特に、ステップ 118 A および 118 B はそれぞれ、Tc Steps および Tc Sum のその時の値がそれぞれゼロより大きいことを確認するためこれらの値を評価する。これは、マイクロ・コントローラがゼロの値による除算を行うことを防止するために行われる。次に、ステップ 118 C において、平均足接地時間値 (Tc Average) が、Tc Steps の値により Tc Sum の値を除すことによって計算される (即ち、 $Tc Average = Tc Sum / Tc Steps$ 但し、「/」は除算演算子である)。最後に、足接地時間の新規の測定が連続ループ 101 への戻り時に行われるように、Tc Sum 値と Tc Steps 値とが (ステップ 118 D において) ゼロへリセットされる。

10

【0085】

同様に、図 11 における高レベルのステップ 120 を構成するステップ 120 A ~ 120 D が、ユーザの数ステップにわたる平均空中時間 (Ta) 値 (Ta Average) を計算して、ループ 101 において Ta Sum 値と Ta Steps 値とをゼロにリセットする。特に、ステップ 120 A および 120 B は、その時の Ta Steps 値と Ta Sum 値の各々がゼロより大きいことを確認するためこれらの値をそれぞれ評価する。次に、ステップ 120 C において、足揚上時間の平均値 (Ta Average) が、Ta Steps 値により Ta Sum 値を除すことにより計算される (即ち、 $Ta Average = Ta Sum / Ta Steps$)。最後に、Ta Sum 値と Ta Steps 値とは、足揚上時間の新規の測定が連続ループ 101 への戻り時に行われるように、(ステップ 120 D において) ゼロにリセットされる。

20

【0086】

図 11 における高レベルのステップ 122 を構成するステップ 122 A ~ 122 C において、ユーザのステップ頻度が計算された Tc Average 値と Ta Average 値とに基いて決定され、ユーザの総ステップ数はループ 101 からの Step Count 値を 2 で乗じることにより計算される。特に、ステップ 122 A は、その時の Tc Average 値がゼロより大きいことを確認するためこの値を評価する。これは、マイクロ・コントローラがゼロの値による除算を行うことを防止するために行われる。次に、ステップ 122 B において、ユーザのステップ頻度が、平均揚上時間値 (Ta Average) と平均足接地時間値を加えたものの逆数の 2 倍を用いることによって計算される (Tc Average) (即ち、 $Step Frequency = 2 * (1 / (Ta Average + Tc Average))$ 但し、「*」は乗算演算子である)。

30

【0087】

次に、ステップ 124 A ~ 124 E において、ユーザの歩調 (Pace) が公知のアルゴリズム (以下に述べる) に従って計算され、ユーザが移動した距離は、ユーザが移動している速度と歩調が決定された時間期間 (time period) とを乗じることにより計算される。ユーザの速度 (フィート/秒における) は、量 (5280 / (ペース * 60)) に等しい。この距離の測定値は、移動した総距離を決定する過去の距離の測定値の累計であり得る。従って、累計距離の値は、ユーザがゼロの基準点から移動した距離を測定することができるようにユーザによってリセットが可能である。

40

【0088】

特に、ステップ 124 A において、ステップ 118 C において計算された平均足接地時間値 (Tc Average) は、これが 400 ms より大きいがあるいは小さいかを判定するために評価される。Tc Average が 400 ms より小さければ、変数「Slop

50

e」は(ステップ124Bにおいて)値24へセットされ、TcAverageが400msより大きければ、変数Slopeは(ステップ124Cにおいて)値28.5へセットされる。次に、ステップ124Dにおいて、ユーザの歩調(Pace)が、値TcAverageを変数Slopeで乗じることにより計算される(即ち、 $Pace = TcAverage * Slope$)。

【0089】

本発明は、測定された足接地時間に基いてユーザの歩調を求めるために少なくとも2つの異なる式を用いるのが有利であることを発見した。即ち、ある値(例えば、400ms)より長い測定足接地時間については第2の式を用いるべきであるが、ある値(例えば、400ms)より短い測定足接地時間についてはユーザの歩調を求めるのに第1の式を用い

10

【0090】

図14において、発見された足接地時間(Tc)とユーザの歩調との間の関係を示すグラフが提供される。図示のように、カーブ90は個々の線分90A、90Bおよび90Cを有する。線分90Aおよび90Cは各々異なる勾配を有するが、両者はゼロ[分/マイル]における共通のy切片値を共有している。ユーザの平均足接地時間は、ユーザが歩行中かジョギング中か走行中かの如何に拘わらず線分90Bによりカバーされる範囲内に該当しない傾向があることが判った。従って、線分90Aまたは90Cの一方が、測定された足接地時間に基いてユーザの歩調を決定するのにつねに用いられる。図14に示されるように、線分90Aの勾配は24である。この勾配は、平均測定足接地時間が線分90Aに

20

【0091】

再び図13によれば、ステップ124Eにおいて、先に述べた如き移動中のユーザが移動した距離(Distance)は、式

$$Distance = (時間 * (5280 / (Pace * 60)))$$

を用いて計算され、但し、「時間」とは割込みルーチン115の割込み期間(例えば、2

30

【0092】

最後に、ステップ124A~124Eにおける計算の後、および(または)他の任意の計算が行われた後に、接地時間(Tc)値および空中時間(Ta)値の更なる測定のため、ステップ126は割込みルーチン115を連続ループ101へ戻す。

【0093】

ユーザの歩調、移動速度および移動距離の計算に加えて、代謝エネルギーの消費もまた、ユーザの測定された足接地時間に基いて計算される。足接地時間に基く代謝エネルギー消費の測定の1つの手法については、参考のため本文に援用される1994年4月11日出願の係属中の米国特許出願第08/225,820号における発明の発明者の二人によって記

40

【0094】

再び図1および図3に関して、実施の一形態によれば、先に述べたソフトウェア・ルーチンで使用するために、ユーザが幾つかの変数またはパラメータを入力することができる。これらの変数またはパラメータは、例えば、図1におけるユーザ・インターフェース32あるいは図3におけるユーザ・インターフェース58を介して入力することができる。本発明は完全に自己調整を意図したものであり理想的にはユーザ固有のデータの入力が必要とするものではないが、個々のユーザに適合するようにあるパラメータおよび変数がユーザ調整可能であると考えられる。例えば、(1)(図12のステップ108Bおよび100Bにおいてそれぞれ示される)正および負のスパイク事象に対する閾値が調整可能であ

50

り、(2)図12のステップ106および114の休止時間が調整可能であり、(3)(図14における)線分90の各部分の勾配が調整可能であり、あるいは更に他の線分を加えることができ、あるいは代替的な接地時間/歩調式をその代わりに用いることができ、あるいは(4)図12のステップ108Eで決定される足接地時間(T_c)値の受入れ得る範囲を変更することができる。

【0095】

このようなパラメータまたは変数は、システムへ予めプログラムされるデフォルト値を持つことができ、このデフォルト値は、ユーザの身長、体重あるいは靴の硬さなどの幾つかのユーザ固有の基準に従ってユーザにより調整することが可能である。あるいはまた、前記パラメータまたは変数は、(ユーザが既知の距離の移動を開始するとき、ならびにこれを終了するときボタンを押すなどで)ユーザによって入力される情報に基づいて、ソフトウェアを介して自動的に調整することが可能である。

10

【0096】

本文では、本発明がその色々な機能を実施するため特定の加速度計や特定のマイクロ・コントローラを用いるように記述されたが、ハードワイヤド回路を含む類似の機能を実施する任意の装置を本発明の意図された範囲から逸脱ことなく同等に用いられることを理解すべきである。更に、高域通過フィルタ/増幅回路の特定の実施の形態が本文において記載されるが、発明の範囲はこのような実施の形態の特定の特性によって限定されるべきではない。更に、非常に特定のソフトウェア・ルーチンが本文において記述されたが、かかるルーチンの特定の特性もまた本発明の範囲を限定するものと見なされるべきではない。

20

【0097】

本発明の少なくとも1つの例示的な実施の形態を記述したが、当業者には、種々の変更、修正および改善が容易に着想されよう。このような変更、修正および改善は、本発明の趣旨ならびに範囲内に含まれるべきものである。従って、本文の記述は例示に過ぎず、限定を意図するものではない。本発明は、頭書の請求の範囲およびその相等内容において記載されるようにのみ限定されるものである。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明が用いられるネットワークのブロック図である。

【図2】 本発明がユーザに対してどのように取付けられるかを示す図である。

【図3】 本発明が用いられるシステムのブロック図である。

30

【図4】 本発明による回路の実施の一形態のブロック図である。

【図5】 図4に示された回路の概略図である。

【図6】 ユーザが歩行中である期間における図5に示された回路の2つのノードにおける信号を示す1対のグラフである。

【図7】 本発明による加速度計の増幅/除去された出力をユーザが歩行中における従来技術の抵抗型センサを用いて得たデータと比較する1対のグラフである。

【図8】 ユーザが走行中である期間における図5に示された回路の2つのノードにおける信号を示す1対のグラフである。

【図9】 本発明による加速度計の増幅/除去された出力をユーザが走行中である期間における従来技術の抵抗型センサを用いて得たデータと比較する1対のグラフである。

40

【図10】 本発明による足接地時間を計測する方法の連続ループ部分の高レベルのフロー図である。

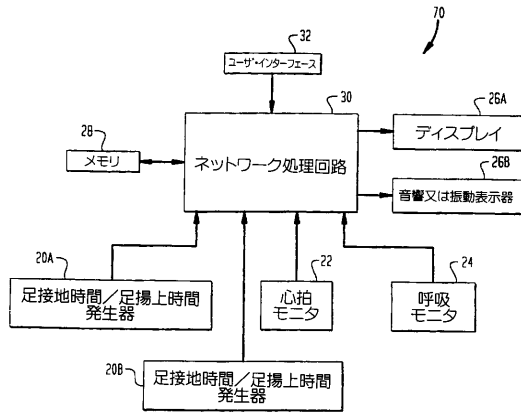
【図11】 本発明による足接地時間を計測する方法の割込み部分の高レベルのフロー図である。

【図12】 図10に示された方法の連続ループ部分の更に詳細なフロー図である。

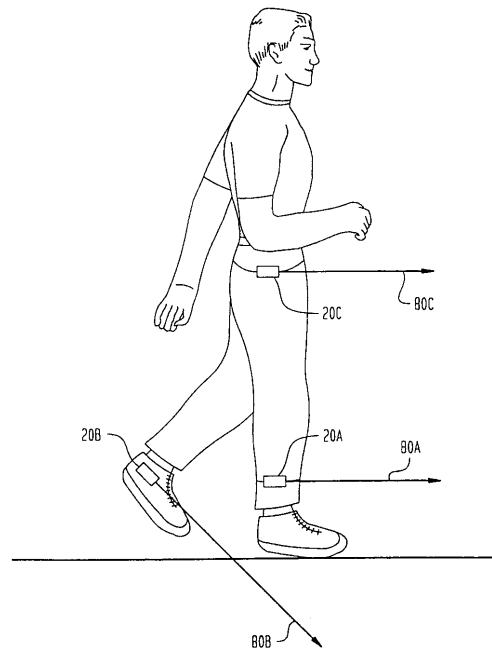
【図13】 図11に示された方法の割込み部分の更に詳細なフロー図である。

【図14】 ユーザの足の平均計測足接地時間に基づいてどのように移動中のユーザの歩幅が決定されるかを示すグラフである。

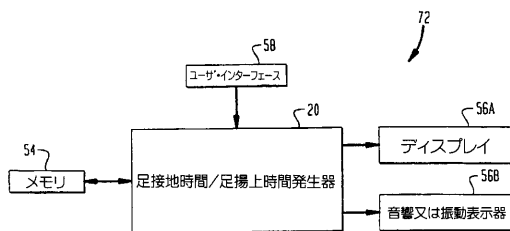
【図 1】



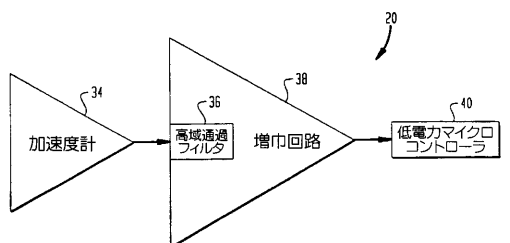
【図 2】



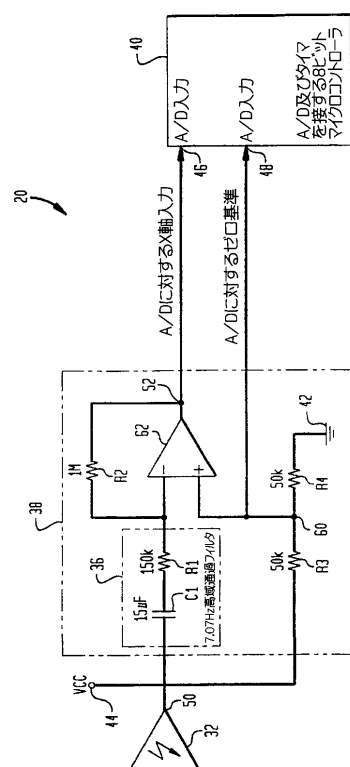
【図 3】



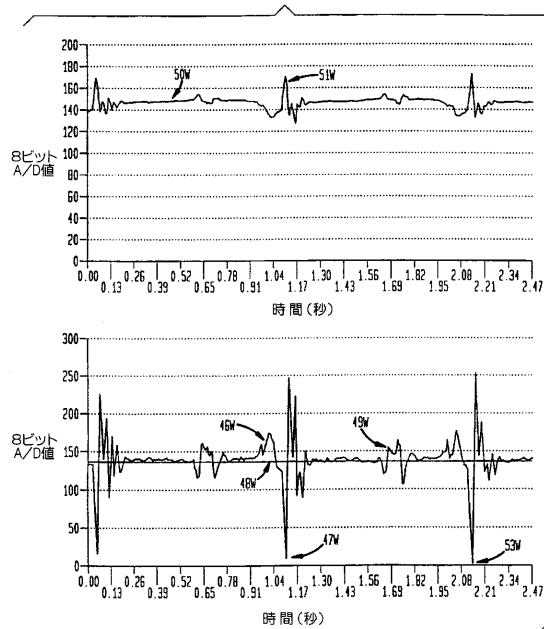
【図 4】



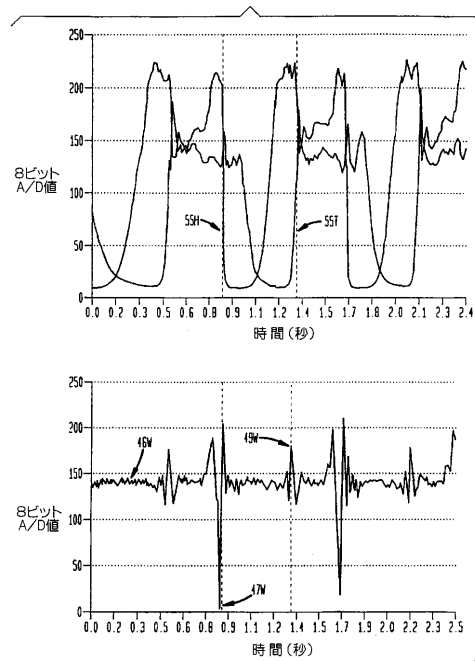
【図 5】



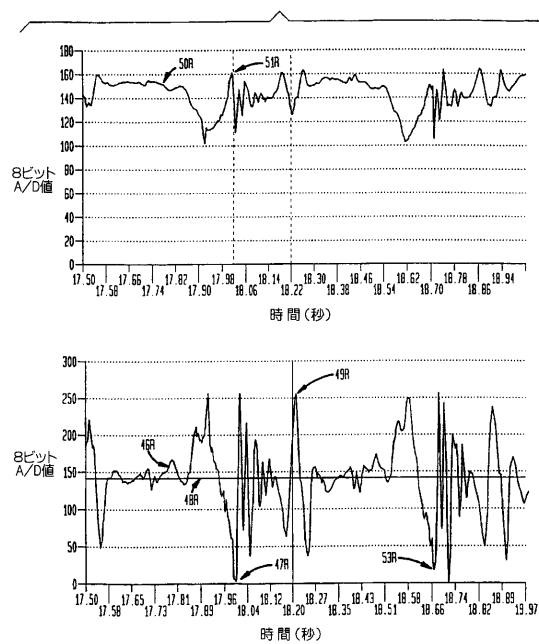
【図 6】



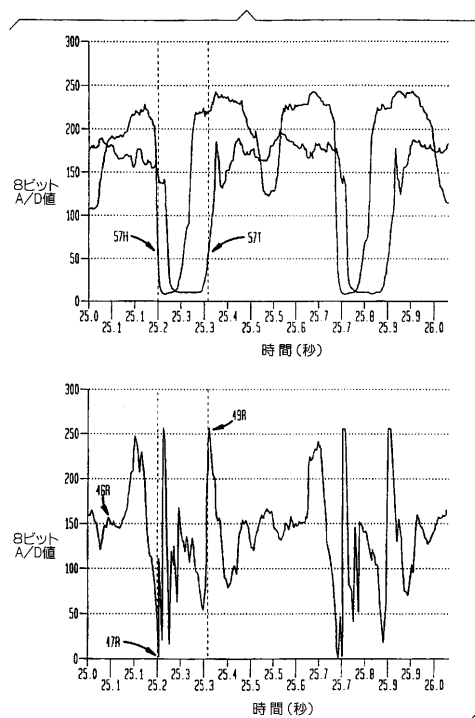
【図 7】



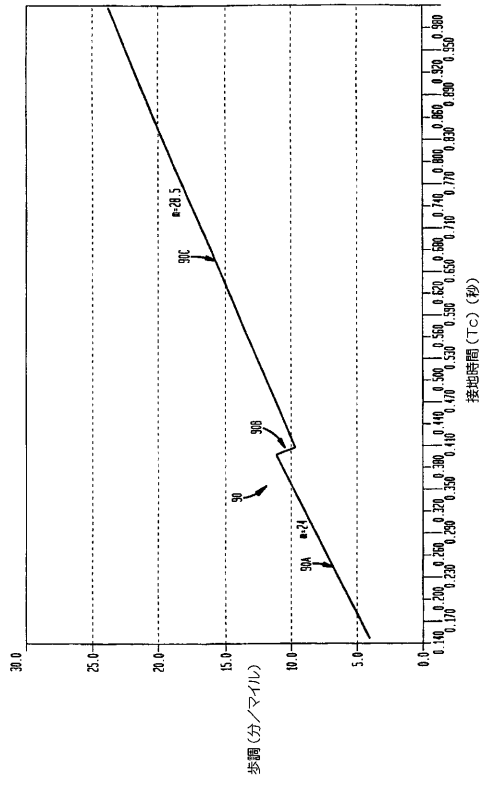
【図 8】



【図 9】



【図 14】



フロントページの続き

(74)代理人 100096013

弁理士 富田 博行

(74)代理人 100153028

弁理士 上田 忠

(72)発明者 ゴーデット, ポール・ジェイ

アメリカ合衆国マサチューセッツ州 0 1 8 6 7 , テュークスバリー, ノース・ビレリカ・ロード
3 3 1

(72)発明者 ブラックダー, トーマス・ビー

アメリカ合衆国マサチューセッツ州 0 1 7 6 0 , ナティック, ルーピン・ロード 5

(72)発明者 オリヴァー, スティーヴン・アール

アメリカ合衆国マサチューセッツ州 0 2 7 0 3 , アトルボロ, ベネフィット・ストリート 4 1

審査官 郡山 順

(56)参考文献 特開平 0 2 - 2 0 3 8 4 2 (J P , A)

特開平 0 4 - 1 0 5 6 6 7 (J P , A)

特開平 0 7 - 1 7 8 0 7 3 (J P , A)

特開昭 6 2 - 2 3 3 1 7 5 (J P , A)

特開平 6 - 1 7 4 7 4 0 (J P , A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

A61B 5/11

G04F 10/00