

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6889923号  
(P6889923)

(45) 発行日 令和3年6月18日(2021.6.18)

(24) 登録日 令和3年5月26日(2021.5.26)

(51) Int.Cl. F 1  
A 6 1 B 5/11 (2006.01) A 6 1 B 5/11 2 3 0

請求項の数 4 (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願2017-179206 (P2017-179206)  
(22) 出願日 平成29年9月19日 (2017.9.19)  
(65) 公開番号 特開2019-51243 (P2019-51243A)  
(43) 公開日 平成31年4月4日 (2019.4.4)  
審査請求日 令和2年8月27日 (2020.8.27)

(73) 特許権者 504224153  
国立大学法人 宮崎大学  
宮崎県宮崎市学園木花台西1丁目1番地  
(74) 代理人 110000671  
八田国際特許業務法人  
(72) 発明者 田村 宏樹  
宮崎県宮崎市学園木花台西1丁目1番地  
国立大学法人 宮崎大学内

審査官 ▲高▼ 芳徳

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 歩幅推定装置および歩幅推定プログラム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

被験者の脚部に取り付けられ、歩行中の前記被験者の前記脚部に作用する加速度を検出する加速度センサと、

前記被験者の前記脚部に取り付けられ、歩行中の前記被験者の腰部に作用する水平方向の角速度を検出する腰部角速度センサと、

前記加速度センサにより検出された加速度に基づいて、前記被験者の前記脚部の移動量を算出する第1演算部と、

前記腰部角速度センサにより検出された角速度に基づいて、前記被験者の前記腰部の移動量を算出する第2演算部と、

前記脚部の移動量と前記腰部の移動量とから、前記被験者の歩幅を算出する第3演算部と、

を有する歩幅推定装置。

【請求項2】

前記被験者の前記脚部に取り付けられ、歩行中の前記被験者の前記脚部に作用する角速度を検出する脚部角速度センサと、

前記脚部角速度センサにより検出された角速度に基づいて、前記被験者の歩幅を算出する第4演算部と、

前記腰部の移動量が所定の閾値を超える場合、前記第3演算部により算出された歩幅を出力する一方で、前記腰部の移動量が前記閾値以下の場合、前記第4演算部により算出さ

れた歩幅を出力する出力制御部と、をさらに有する、請求項 1 に記載の歩幅推定装置。

【請求項 3】

被験者の脚部に取り付けられた加速度センサにより検出される、歩行中の前記被験者の前記脚部に作用する加速度に基づいて、前記被験者の前記脚部の移動量を算出する手順 ( a ) と、

前記被験者の前記脚部に取り付けられた腰部角速度センサにより検出される、歩行中の前記被験者の腰部に作用する水平方向の角速度に基づいて、前記被験者の前記腰部の移動量を算出する手順 ( b ) と、

前記脚部の移動量と前記腰部の移動量とから、前記被験者の歩幅を算出する手順 ( c ) と、

をコンピュータに実行させる歩幅推定プログラム。

【請求項 4】

前記被験者の前記脚部に取り付けられた脚部角速度センサにより検出される、歩行中の前記被験者の前記脚部に作用する角速度に基づいて、前記被験者の歩幅を算出する手順 ( d ) と、

前記腰部の移動量が所定の閾値を超える場合、前記手順 ( c ) において算出された歩幅を出力する一方で、前記腰部の移動量が前記閾値以下の場合、前記手順 ( d ) において算出された歩幅を出力する手順 ( e ) と、をさらにコンピュータに実行させる、請求項 3 に記載の歩幅推定プログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、歩幅推定装置および歩幅推定プログラムに関する。

【背景技術】

【0002】

歩幅は、人の動作解析において重要なパラメータであり、測位等に関する研究のみならず、運動器症候群 ( ロコモティブシンドローム ) の評価に関する研究にも用いられる。

【0003】

これに関連して、下記の非特許文献 1 , 2 には、スマートフォンを利用して、被験者の歩幅を推定する技術が提案されている。非特許文献 1 の技術は、ズボンのポケットに収納したスマートフォンのジャイロセンサにより、歩行中の被験者の大腿部に作用する角速度を検出して、被験者の歩幅を推定する。この技術によれば、専用機器を用いて被験者の歩幅を計測するモーションキャプチャ等の技術に比べて、被験者の歩幅を簡単に推定することが可能になる。

【0004】

また、非特許文献 2 の技術は、被験者の大腿部の正面にスマートフォンを取り付け、被験者の大腿部に作用する角速度を検出して、被験者の歩幅を推定する。この技術によれば、非特許文献 1 の技術に比べて、歩幅の推定精度が向上する。

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0005】

【非特許文献 1】新島有信、外 2 名、「ズボンのポケットに収納したスマートフォンによる歩容解析方法に関する検討」、電子情報通信学会研究報告、電子情報通信学会、2014 年 7 月 21 日、第 114 巻、第 157 号、p . 77 - 84

【非特許文献 2】田村宏樹、古川慶喜、「スマートフォンを用いたロコモティブシンドローム推定に関する研究」、生体医工学シンポジウム 2016、2016 年 9 月 17 日 - 18 日

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

10

20

30

40

50

しかしながら、歩幅の推定精度については、非特許文献2の技術でも、モーションキャプチャ等の技術と同等の信頼性が得られるまでには至っておらず、歩幅の推定精度のさらなる向上が望まれている。

【0007】

本発明は、上述した課題に鑑みてなされたものである。したがって、本発明の目的は、スマートフォン等の携帯端末により被験者の歩幅をより精度よく推定することを可能にする歩幅推定装置および歩幅推定プログラムを提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明の上記目的は、下記的手段によって達成される。

【0009】

本発明の歩幅推定装置は、加速度センサ、腰部角速度センサ、および第1～第3演算部を有する。前記加速度センサは、被験者の脚部に取り付けられ、歩行中の前記被験者の前記脚部に作用する加速度を検出する。前記腰部角速度センサは、前記被験者の前記脚部に取り付けられ、歩行中の前記被験者の腰部に作用する水平方向の角速度を検出する。前記第1演算部は、前記加速度センサにより検出された加速度に基づいて、前記被験者の前記脚部の移動量を算出する。前記第2演算部は、前記腰部角速度センサにより検出された角速度に基づいて、前記被験者の前記腰部の移動量を算出する。前記第3演算部は、前記脚部の移動量と前記腰部の移動量とから、前記被験者の歩幅を算出する。

【0010】

本発明の歩幅推定プログラムは、手順(a)～手順(c)をコンピュータに実行させる。前記手順(a)では、被験者の脚部に取り付けられた加速度センサにより検出される、歩行中の前記被験者の前記脚部に作用する加速度に基づいて、前記被験者の前記脚部の移動量が算出される。前記手順(b)では、前記被験者の前記脚部に取り付けられた腰部角速度センサにより検出される、歩行中の前記被験者の腰部に作用する水平方向の角速度に基づいて、前記被験者の前記腰部の移動量が算出される。前記手順(c)では、前記脚部の移動量と前記腰部の移動量とから、前記被験者の歩幅が算出される。

【発明の効果】

【0011】

本発明によれば、被験者の脚部の動作に加え、腰部の水平方向の動作を考慮して歩幅が算出されるため、被験者の歩幅をより精度よく推定することが可能になる。

【図面の簡単な説明】

【0012】

【図1】本発明の一実施形態に係る歩幅推定装置が適用された携帯端末の使用状態を示す図である。

【図2】携帯端末の軸構成を示す斜視図である。

【図3】携帯端末の概略構成を示すブロック図である。

【図4】歩幅推定処理の手順を示すフローチャートである。

【図5】腰部の回旋モデルを示す図である。

【図6】歩幅の第1計算モデルを示す図である。

【図7】歩幅の第2計算モデルを示す図である。

【図8】歩行中の被験者の脚部の傾斜角度の変化を模式的に示す図である。

【図9】被験者の矢状面上の歩行動作を説明するための図である。

【図10】被験者の横断面上の歩行動作を説明するための図である。

【図11】歩幅の第3計算モデルを示す図である。

【図12】実施例および比較例により算出された歩幅の誤差率を示す図である。

【図13】腰部の移動量と歩幅との関係を示す図である。

【図14】腰部の移動量と歩幅との関係を示す図である。

【図15】閾値と歩幅推定の誤差率との関係を示す図である。

【発明を実施するための形態】

10

20

30

40

50

## 【0013】

以下、図面を参照して、本発明の実施形態を詳細に説明する。

## 【0014】

図1は、本発明の一実施形態に係る歩幅推定装置が適用された携帯端末の使用状態を示す図であり、図2は、携帯端末の軸構成を示す斜視図である。

## 【0015】

本実施形態の携帯端末10は、スマートフォンやタブレット端末等のモバイル装置である。携帯端末10は、表示面14aに直交する向きにZ軸が設定されており、表示面14aに平行な向きにX軸およびY軸が設定されている。X軸は、矩形形状の表示面14aの短辺に平行な向きに設定されており、Y軸は、表示面14aの長辺に平行な向きに設定されている。携帯端末10は、表示面14aが正面（進行方向）を向くように被験者1の大腿部に取り付けられ、被験者1の歩幅を算出する。

10

## 【0016】

図3は、携帯端末の概略構成を示すブロック図である。携帯端末10は、CPU（Central Processing Unit）11、RAM（Random Access Memory）12、ストレージ13、操作表示部14、加速度センサ15、ジャイロセンサ16、および通信部17を備えており、これらは信号をやり取りするためのバス18を介して相互に接続されている。

## 【0017】

CPU11は、ストレージ13に記録されているプログラムにしたがって、上記各部の制御や各種の演算処理を行う。

20

## 【0018】

RAM12は、作業領域として一時的にプログラムやデータを記憶する。

## 【0019】

ストレージ13は、たとえば、フラッシュメモリであり、オペレーティングシステムを含む各種プログラムや各種データを格納する。ストレージ13には、被験者の歩幅を推定するための歩幅推定プログラムが記憶されている。また、ストレージ13には、人間の身長、年齢、および性別と、脚長 $L_{leg}$ および腰幅（骨盤の幅） $W$ とを互いに関連付けた変換テーブルが記憶されている。

## 【0020】

操作表示部14は、たとえば、タッチパネル式のディスプレイであり、各種情報を表示するとともに、ユーザーからの各種入力を受け付ける。

30

## 【0021】

加速度センサ15は、3軸の加速度センサであり、携帯端末10のX軸、Y軸、およびZ軸方向の加速度をそれぞれ検出する。

## 【0022】

ジャイロセンサ16は、3軸のジャイロセンサであり、携帯端末10のX軸、Y軸、およびZ軸周りの角速度をそれぞれ検出する。

## 【0023】

通信部17は、他の機器と通信するためのインターフェースであり、たとえば、携帯電話通信の4G（4th Generation）等の規格や、Wi-Fi（Wireless Fidelity）等の規格が用いられる。

40

## 【0024】

携帯端末10のCPU11は、対応するプログラムを実行することによって、第1～第4演算部および出力制御部として機能する。ここで、第1演算部は、加速度センサ15により検出された加速度情報に基づいて、被験者1の脚部の移動量を算出する。第2演算部は、ジャイロセンサ16により検出された角速度情報に基づいて、被験者1の腰部の移動量を算出する。第3演算部は、脚部の移動量と腰部の移動量とから被験者1の歩幅を算出する。第4演算部は、ジャイロセンサ16により検出された角速度情報に基づいて、被験者1の歩幅を算出する。出力制御部は、腰部の移動量が所定の閾値を超える場合、第3演

50

算部により算出された歩幅を出力する一方で、腰部の移動量が閾値以下の場合、第4演算部により算出された歩幅を出力する。各部の具体的な処理内容については後述する。

【0025】

なお、携帯端末10は、上述した構成要素以外の構成要素を含んでいてもよく、あるいは、上述した構成要素のうちの一部が含まれていなくてもよい。

【0026】

以上のとおり構成される携帯端末10は、被験者1の大腿部に取り付けられ、被験者1の歩幅を算出する。以下、図4～図10を参照して、被験者1の歩幅を算出する携帯端末10の動作について説明する。なお、以下では、直立状態の被験者が左脚および右脚の順番で前方に脚を1歩ずつ踏み出したときの2歩分の歩幅を算出する場合を例に挙げて説明する。

10

【0027】

図4は、携帯端末により実行される歩幅推定処理の手順を示すフローチャートである。なお、図4のフローチャートにより示されるアルゴリズムは、携帯端末10のストレージ13にプログラムとして記憶されており、CPU11によって実行される。

【0028】

まず、携帯端末10は、被験者情報を取得する(ステップS101)。本実施形態では、被験者が、携帯端末10の操作表示部14を操作して、自身の身長、年齢、および性別を入力する。携帯端末10のCPU11は、操作表示部14を介して入力された身長、年齢、および性別を被験者情報として取得する。

20

【0029】

次に、携帯端末10は、被験者情報から、被験者の脚長 $L_{leg}$ および腰幅 $W$ を決定する(ステップS102)。より具体的には、携帯端末10のCPU11は、ストレージ13に記憶されている変換テーブルを参照して、被験者の身長、年齢、および性別から、被験者の脚長 $L_{leg}$ および腰幅 $W$ を決定する。

【0030】

次に、携帯端末10は、被験者1の歩行データを取得する(ステップS103)。本実施形態では、表示面14aが正面を向くように携帯端末10が被験者1の大腿部に取り付けられた後、被験者1が所定時間だけ歩行する。携帯端末10のCPU11は、その間の加速度センサ15およびジャイロセンサ16の値を取得して、被験者の歩行データとしてストレージ13に記憶させる。

30

【0031】

以上のとおり、図4のステップS101～S103に示す処理によれば、被験者の情報が携帯端末10に入力された後、被験者の大腿部に携帯端末10が取り付けられる。そして、被験者が歩行している間の加速度センサ15およびジャイロセンサ16の値が、被験者の歩行データとして記録される。

【0032】

次に、携帯端末10は、被験者の歩行データを解析して、被験者1が2歩進むときの被験者1の腰部の水平方向の回転角度 $\theta_1$ を算出する(ステップS104)。本実施形態では、携帯端末10のCPU11は、まず、歩行データに含まれるY軸およびZ軸方向の加速度データを解析して、被験者の右脚が最も後ろに引かれている第1時点 $t_1$ (左脚が着地した時点に相当)と、右脚が最も前に出ている第2時点 $t_2$ (右脚が着地した時点に相当)を算出する。続いて、CPU11は、歩行データの中から、Y軸周りの角速度データを抽出する。そして、CPU11は、下記の数式(1)に示すとおり、Y軸周りの角速度 $g_y$ の絶対値を第1時点 $t_1$ から第2時点 $t_2$ まで積分して、被験者の腰部の水平方向の回転角度 $\theta_1$ を算出する。なお、Y軸およびZ軸方向の加速度データを解析して、第1および第2時点 $t_1$ 、 $t_2$ を算出する処理の詳細については後述する。

40

【0033】

【数 1】

$$\theta_1 = \int_{t_1}^{t_2} |g_y(t)| dt \quad \dots (1)$$

【0034】

次に、携帯端末 10 は、腰部の水平方向の回転角度  $\theta_1$  から、被験者 1 が 2 歩進むときの被験者 1 の腰部の移動量  $L_1$  を算出する（ステップ S 105）。具体的には、携帯端末 10 の CPU 11 は、図 5 に示すような被験者の腰部 1a の回旋モデル 20 に基づいて、下記の数式（2）に示す幾何学的な計算を行い、腰部 1a の水平方向の回転に伴う腰部 1a の移動量（移動距離） $L_1$  を算出する。

【0035】

【数 2】

$$L_1 = 2W \sin\left(\frac{\theta_1}{2}\right) \quad \dots (2)$$

【0036】

以上のとおり、図 4 のステップ S 104 ~ S 105 に示す処理によれば、被験者の歩行データが解析され、被験者 1 が 2 歩進むときの被験者 1 の腰部 1a の移動量  $L_1$  が算出される。

【0037】

次に、携帯端末 10 は、被験者 1 の腰部の移動量  $L_1$  が所定の閾値  $L_{th}$  以下であるかを判断する（ステップ S 106）。ここで、閾値  $L_{th}$  は、歩幅を算出するための計算モデルを切り替える際の基準となる値であり、腰部の移動量の一般的な値等を考慮して設定される。閾値  $L_{th}$  は、たとえば、12cm に設定される。

【0038】

腰部の移動量  $L_1$  が閾値  $L_{th}$  以下であると判断する場合（ステップ S 106：YES）、携帯端末 10 は、ステップ S 110 の処理に移る。

【0039】

一方、腰部の移動量  $L_1$  が閾値  $L_{th}$  以下でないと判断する場合（ステップ 106：NO）、携帯端末 10 は、被験者の歩行データを解析して、被験者 1 が 2 歩進むときの被験者 1 の大腿部の傾斜角度  $\theta_2, \theta_3$  を算出する（ステップ S 107）。より具体的には、携帯端末 10 の CPU 11 は、まず、歩行データの中から、Y 軸および Z 軸方向の加速度データを抽出する。そして、CPU 11 は、図 6 に示すような第 1 計算モデル 30 に基づいて、下記の数式（3）に示すとおり、Y 軸および Z 軸方向の加速度データの重力加速度成分から、被験者 1 の大腿部の傾斜角度  $\theta_2, \theta_3$  を算出する。

【0040】

【数 3】

$$\theta_2, \theta_3 = \arctan\left(\frac{\text{gravityZ}}{\text{gravityY}}\right) \quad \dots (3)$$

【0041】

ここで、gravityY は、被験者の大腿部に作用する Y 軸方向の重力加速度を示し、gravityZ は、被験者の大腿部に作用する Z 軸方向の重力加速度を示す。そして、傾斜角度  $\theta_2$  は、右脚が最も後ろに引かれている第 1 時点  $t_1$  における大腿部の傾斜角度であり、傾斜角度  $\theta_3$  は、右脚が最も前に出ている第 2 時点  $t_2$  における大腿部の傾斜角度である。

【0042】

次に、携帯端末 10 は、大腿部の傾斜角度  $\theta_2, \theta_3$  から、被験者 1 が 2 歩進むときの被験者 1 の脚部の移動量  $L_4$ （ $= L_2 + L_3$ ）を算出する（ステップ S 108）。具体的には、携帯端末 10 の CPU 11 は、第 1 計算モデル 30 に基づいて、下記の数式（4）に示す幾何学的な計算を行い、被験者の脚部の移動量  $L_4$ （ $= L_2 + L_3$ ）を算出する。

【0043】

10

20

30

40

50

【数4】

$$L_2 + L_3 = L_{leg}(\sin \theta_2 + \sin \theta_3) \quad \dots (4)$$

【0044】

次に、携帯端末10は、腰部の移動量 $L_1$ と脚部の移動量 $L_4$ とを合算して、被験者の歩幅 $L_5$ を算出する(ステップS109)。より具体的には、携帯端末10のCPU11は、第1計算モデル30に基づいて、下記の数式(5)に示すとおり、腰部の移動量 $L_1$ と脚部の移動量 $L_4 (= L_2 + L_3)$ とを足し合わせて、被験者の2歩分の歩幅 $L_5$ を算出する。

【0045】

【数5】

$$L_5 = L_1 + L_2 + L_3 \quad \dots (5)$$

【0046】

以上のとおり、図4のステップS106～S109に示す処理によれば、被験者1が2歩進むときの腰部の移動量 $L_1$ が所定の閾値 $L_{th}$ を超える場合、脚部の加速度情報に基づいて、被験者1の脚部の移動量 $L_4 (= L_2 + L_3)$ が算出される。そして、腰部の移動量 $L_1$ と脚部の移動量 $L_4$ とが合算されて、被験者の2歩分の歩幅 $L_5$ が算出される。

【0047】

一方、ステップS106に示す処理において、被験者1の腰部の移動量 $L_1$ が閾値 $L_{th}$ 以下であると判断する場合(ステップS106: YES)、携帯端末10は、被験者の歩行データを解析して、被験者1が2歩進むときの被験者1の股関節の最大回動角度 $\theta_{max}$ を算出する(ステップS110)。具体的には、携帯端末10のCPU11は、まず、歩行データの中から、X軸周りの角速度データを抽出する。そして、CPU11は、図7に示すような第2計算モデル40に基づいて、下記の数式(6)に示すとおり、X軸周りの角速度 $g_x$ を第1時点 $t_1$ から第2時点 $t_2$ まで積分して、その絶対値を被験者の股関節の最大回動角度 $\theta_{max}$ として算出する。

【0048】

【数6】

$$\theta_{max} = \left| \int_{t_1}^{t_2} g_x(t) dt \right| \quad \dots (6)$$

【0049】

次に、携帯端末10は、被験者の歩幅 $L_6$ を算出する(ステップS111)。具体的には、携帯端末10のCPU11は、第2計算モデル40に基づいて、下記の数式(7)に示す幾何学的な計算を行い、被験者の2歩分の歩幅 $L_6$ を算出する。

【0050】

【数7】

$$L_6 = L_{leg} |\theta_{max}| \quad \dots (7)$$

【0051】

以上のとおり、図4のステップS110～S111に示す処理によれば、被験者1が2歩進むときの腰部の移動量 $L_1$ が閾値 $L_{th}$ 以下の場合、脚部の角速度情報に基づいて、被験者の2歩分の歩幅 $L_6$ が算出される。なお、図4のステップS110～S111に示す処理と同様の処理は、上記の非特許文献2により公知である。

【0052】

そして、携帯端末10は、被験者の歩幅を表示面14aに表示し(ステップS112)、処理を終了する。具体的には、被験者の腰部の移動量 $L_1$ が閾値 $L_{th}$ を超える場合、携帯端末10のCPU11は、ステップS109に示す処理で算出した歩幅 $L_5$ を表示面14aに表示させる。一方、被験者の腰部の移動量 $L_1$ が閾値 $L_{th}$ 以下の場合、CPU11は、ステップS111に示す処理で算出した歩幅 $L_6$ を表示面14aに表示させる。

【0053】

以上のとおり、図4に示すフローチャートの処理によれば、被験者1が2歩進むときの

10

20

30

40

50

腰部の移動量  $L_1$  が算出され、腰部の移動量  $L_1$  が所定の閾値  $L_{th}$  を超える場合、脚部の加速度情報に基づいて脚部の移動量  $L_4 (= L_2 + L_3)$  が算出される。そして、腰部の移動量  $L_1$  と脚部の移動量  $L_4$  とを合算した値が被験者の2歩分の歩幅  $L_5$  として出力される。一方、腰部の移動量  $L_1$  が閾値  $L_{th}$  以下の場合、脚部の角速度情報に基づいて被験者の2歩分の歩幅  $L_6$  が算出されて出力される。

【0054】

このような構成によれば、歩行時の腰部の移動量（回旋量）が大きい被験者については、腰部の移動量  $L_1$  を考慮して歩幅が算出されるため、被験者の歩幅を精度よく推定できる。一方、歩行時の腰部の移動量が小さい被験者については、脚部の角速度情報に基づいて歩幅が算出されるため、脚部の膝下部分の歩行時の動きが反映され、被験者の歩幅を精度よく推定できる。なお、歩行時の腰部の移動量は小さいものの正常な歩幅を有する被験者は、膝関節よりも下の関節の動きが大きく、ジャイロセンサ16によりX軸周りの角速度を検出した場合、膝関節よりも下の関節の動きも角速度として検出される。

10

【0055】

次に、図8を参照して、被験者の歩行データから、被験者の脚部が最も後ろに引かれている第1時点  $t_1$  と最も前に出ている第2時点  $t_2$  とを算出する処理について説明する。

【0056】

図8は、歩行中の被験者の脚部の傾斜角度の変化を模式的に示す図である。図8の縦軸は、重力方向を基準とする大腿部の傾斜角度を示し、横軸は時間を示す。

【0057】

20

上記の数式(3)に示すとおり、本実施形態では、Y軸方向の重力加速度とZ軸方向の重力加速度とに基づいて、重力方向に対する脚部の傾斜角度が求められる。そして、図8に示すとおり、傾斜角度は、被験者の歩行動作に対応して周期的に変動する。

【0058】

被験者が2歩進む場合、傾斜角度の曲線の傾きが0であり、かつ、傾斜角度が極小値をとる状態が、右脚が最も後ろに引かれている状態に相当する。したがって、この状態の傾斜角度が傾斜角度<sub>2</sub>に相当し、この状態の時点が第1時点  $t_1$  に相当する。一方、傾斜角度の曲線の傾きが0であり、かつ、傾斜角度が極大値をとる状態が、右脚が最も前に出ている状態に相当する。したがって、この状態の傾斜角度が傾斜角度<sub>3</sub>に相当し、この状態の時点が第2時点  $t_2$  に相当する。本実施形態では、Y軸方向およびZ軸方向の重力加速度を解析して算出される第1および第2時点  $t_1$  ,  $t_2$  を用いて、被験者の歩幅が算出される。

30

【0059】

次に、図9および図10を参照して、本実施形態の歩幅推定処理についてより具体的に説明する。

【0060】

図9は、被験者の矢状面上の歩行動作を説明するための図であり、図10は、被験者の横断面上の歩行動作を説明するための図である。

【0061】

図9に示すとおり、一般的な歩幅推定処理では、被験者1の矢状面50上の歩行動作のみが着目され、矢印51に示すとおり、被験者の歩行動作が進行方向の横から観察される。したがって、一般的な歩幅推定処理では、被験者1の大腿部の変化のみに基づいて歩幅が推定されるため、被験者1の腰部回旋動作が考慮されず、とりわけ、歩行時の腰部回旋量が大きい被験者について、十分な歩幅の推定精度が得られない。

40

【0062】

一方、図10に示すとおり、本実施形態の歩幅推定処理では、被験者1の矢状面50上の歩行動作に加え、横断面60上の歩行動作が着目され、矢印61に示すとおり、被験者1の歩行動作が上からも観察される。したがって、本実施形態の歩幅推定処理では、被験者1の大腿部の変化と腰部の水平方向の変化とに基づいて歩幅が推定されるため、とりわけ、歩行時の腰部回旋量が大きい被験者について、歩幅の推定精度が向上する。

50

## 【0063】

以上のとおり、説明した本実施形態は、以下の効果を奏する。

## 【0064】

(a) 被験者の脚部の動作に加えて、被験者の腰部の水平方向の動作を考慮して歩幅が算出されるため、被験者の歩幅をより精度よく推定することが可能になる。

## 【0065】

(b) 歩行時の腰部の移動量が小さい被験者については、脚部に作用する角速度に基づいて歩幅が算出されるため、脚部の膝下部分の歩行時の動きが反映され、歩幅を精度よく推定できる。また、歩行時の腰部の移動量により計算モデルが切り替えられるため、歩行動作の個人差に応じた歩幅の推定が可能になる。その結果、歩幅推定処理の汎用性が向上するとともに、歩幅の推定精度がより一層向上する。

10

## 【0066】

以上のとおり、説明した実施形態において、本発明の歩幅推定装置および歩幅推定プログラムを説明した。しかしながら、本発明は、その技術思想の範囲内において当業者が適宜に追加、変形、および省略できることはいうまでもない。

## 【0067】

たとえば、上述した実施形態では、図4のステップS105に示す処理において腰部の移動量 $L_1$ が算出された後、ステップS106に示す処理において腰部の移動量 $L_1$ が所定の閾値 $L_{th}$ と比較された。そして、腰部の移動量 $L_1$ が閾値 $L_{th}$ 以下の場合、脚部の角速度情報に基づいて、被験者の歩幅 $L_6$ が算出された(ステップS110~S111)。しかしながら、図4のステップS106、S110、およびS111に示す処理は省略されてもよい。この場合、ステップS105に示す処理において腰部の移動量 $L_1$ が算出された後、脚部の加速度情報に基づいて脚部の移動量 $L_4$ が直ちに算出される(ステップS107~S108)。そして、脚部の移動量 $L_4$ と腰部の移動量 $L_1$ とを合算して被験者の歩幅 $L_5$ が算出され(ステップS109)、携帯端末10の表示面14aに歩幅 $L_5$ が表示される(ステップS112)。

20

## 【0068】

また、上述した実施形態では、被験者の歩幅が算出された後、算出された歩幅の値が携帯端末10の表示面14aに表示された。しかしながら、歩幅の値は、携帯端末10の表示面14aに必ずしも表示される必要はなく、たとえば、電気信号として外部に出力されてもよい。

30

## 【0069】

また、上述した実施形態では、携帯端末10の表示面14aが正面を向くように、携帯端末10が被験者の大腿部に取り付けられる場合を例に挙げて説明した。しかしながら、携帯端末10は、必ずしも表示面14aが正面を向くように大腿部に取り付けられなくてもよい。この場合、携帯端末10の傾きを補正するための演算が追加的に行われる。

## 【0070】

また、上述した実施形態では、本発明の歩幅推定装置をスマートフォン等のモバイル装置に適用する場合を例に挙げて説明した。しかしながら、本発明の歩幅推定装置は、必ずしもモバイル装置に適用される必要はなく、専用の装置であってもよい。

40

## 【0071】

上述した実施形態に係る歩幅推定装置における各種処理を行う手段および方法は、専用のハードウェア回路、またはプログラムされたコンピュータのいずれによっても実現することが可能である。上記プログラムは、たとえば、CD-ROM(Compact Disc Read Only Memory)等のコンピュータ読み取り可能な記録媒体によって提供されてもよいし、インターネット等のネットワークを介してオンラインで提供されてもよい。この場合、コンピュータ読み取り可能な記録媒体に記録されたプログラムは、通常、PC(Personal Computer)等を介して、ストレージ等の記憶部に転送され記憶される。また、上記プログラムは、単独のアプリケーションソフトとして提供されてもよいし、歩幅推定装置の一機能としてその装置のソフトウェアに組み込

50

まれてもよい。

【実施例】

【0072】

以下、実施例を用いて本発明の実施形態をより詳細に説明する。しかしながら、本発明は、本実施例によって何ら限定されるものではない。

【0073】

(実施例1)

20代～60代の54名(男性12名、女性42名)の被験者について、携帯端末をサポートにより大腿部に取り付け、各被験者の歩行データを取得した。そして、計算モデルを切り替える際の基準となる腰部の移動量の閾値  $L_{th}$  を12cmに設定して、本実施形態の歩幅推定処理と同様の処理を行い、各被験者の2歩分の歩幅を算出した。

10

【0074】

(実施例2)

54名分の歩行データについて、各被験者の腰部の移動量を算出した後、腰部の移動量により計算モデルを切り替えることなく、上記の第1計算モデル30に基づいて、脚部の加速度情報から脚部の移動量  $L_4$  を算出した。そして、腰部の移動量と脚部の移動量とを合算して、各被験者の2歩分の歩幅  $L_5$  を算出した。

【0075】

(比較例1)

54名分の歩行データについて、各被験者の腰部の移動量を算出することなく、上記の第2計算モデル40に基づいて、脚部の角速度情報から各被験者の2歩分の歩幅  $L_6$  を算出した。

20

【0076】

(比較例2)

54名の被験者について、各被験者のズボンのポケットに収納した携帯端末により歩行データを取得した。そして、54名分の歩行データについて、上記の非特許文献1と同様の処理を行って、各被験者の2歩分の歩幅を算出した。具体的には、図11に示すような第3計算モデル70に基づいて、被験者の直立時の重力加速度が最大になる1軸(たとえば、Y軸)を決定し、1軸の重力加速度が最大値をとる第1時点  $t_0$  と最小値をとる第2時点  $t_1$  を算出した。そして、下記の数式(8)に示すとおり、残りの2軸(たとえば、X軸、Z軸)の軸周りの角速度の和  $g_k (= g_x + g_z)$  を第1時点  $t_0$  から第2時点  $t_1$  まで積分して、重力方向に対する大腿部の最大傾斜角度  $\theta_{max}$  を算出した。

30

【0077】

【数8】

$$\theta_{max} = \int_{t_0}^{t_1} g_k(t) dt \quad \dots (8)$$

【0078】

そして、第3計算モデル70に基づいて、下記の数式(9)に示す幾何学的な計算を行い、各被験者の2歩分の歩幅  $L_7$  を算出した。

【0079】

【数9】

$$L_7 = 2L_{leg} \sin \theta_{max} \quad \dots (9)$$

40

【0080】

(誤差率の評価)

54名の被験者について、マイクロソフト社製のモーションセンサであるKinectセンサを用いて2歩分の歩幅を直接的に計測した。そして、Kinectセンサにより直接的に計測された歩幅を基準(真値)として、実施例1, 2および比較例1, 2によりそれぞれ算出された歩幅の真値からの誤差(平均誤差および最大誤差)を算出して、歩幅の推定精度を評価した。評価結果を図12に示す。

【0081】

50

図12に示すとおり、実施例1, 2および比較例1, 2の中では、実施例1が最も小さい誤差率を示し、実施例2がその次に小さい誤差率を示す。したがって、本実施形態の歩幅推定処理によれば、歩幅の推定精度が向上することが分かる。また、腰部の移動量により計算モデルを切り替えることなく、腰部の移動量と脚部の移動量とを合算して歩幅を算出するだけでも、歩幅の推定精度が向上することが分かる。

#### 【0082】

(腰部の移動量と歩幅との相関性の評価)

本実施形態に係る歩幅推定処理の有効性を確認するために、実施例1により算出された各被験者の歩幅と腰部の移動量との相関性を調べた。被験者の歩幅と腰部の移動量との関係を図13に示す。また、参考として、Kinectセンサにより直接的に計測された歩幅と実施例1により算出された腰部の移動量との関係を図14に示す。なお、図13および図14の横軸は、被験者の2歩分の歩幅(ストライド)を示している。

10

#### 【0083】

図13および図14に示すとおり、腰部の移動量と2歩分の歩幅とは、閾値12cmを境として、異なる相関を示す。具体的には、閾値12cmを超える場合、図13および図14の両方において、腰部の移動量と歩幅とは比例関係を示す。また、閾値12cm以下の場合、図13および図14のいずれにおいても、腰部の移動量と歩幅とは比例関係を示さない。したがって、本実施形態に係る歩幅推定処理により推定される歩幅は、Kinectセンサより計測される歩幅と同様の傾向を有し、閾値 $L_{th}$ を12cmに設定したことが妥当であることが分かる。

20

#### 【0084】

(閾値の評価)

54人分の歩行データについて、計算モデルを切り替える際の基準となる閾値 $L_{th}$ を0.5cm単位で変更しつつ、本実施形態に係る歩幅推定処理と同様の処理を行い、被験者の2歩分の歩幅をそれぞれ算出した。そして、Kinectセンサにより計測された歩幅との最大誤差、その次に大きい誤差(第2最大誤差)、および平均誤差を算出して、閾値 $L_{th}$ を評価した。評価結果を図15に示す。

#### 【0085】

図15に示すとおり、閾値 $L_{th}$ が12~14cmの範囲では、最大誤差、第2最大誤差、および平均誤差のすべてが最小値をとる。したがって、計算モデルを切り替える際の閾値 $L_{th}$ が12~14cmの間に設定されるべきことが分かる。

30

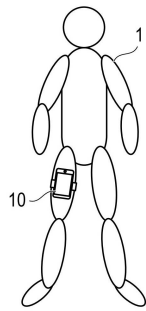
#### 【符号の説明】

#### 【0086】

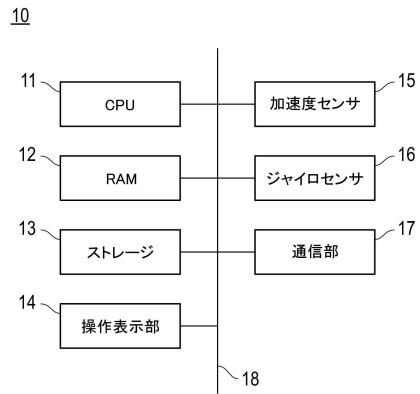
- 10 携帯端末、
- 11 CPU(第1~第4演算部、出力制御部)、
- 12 RAM、
- 13 ストレージ、
- 14 操作表示部、
- 14a 表示面、
- 15 加速度センサ、
- 16 ジャイロセンサ(腰部角速度センサ、脚部角速度センサ)、
- 17 通信部、
- 18 バス、
- 20 回旋モデル、
- 30, 40, 70 計算モデル、
- 50 矢状面、
- 60 横断面。

40

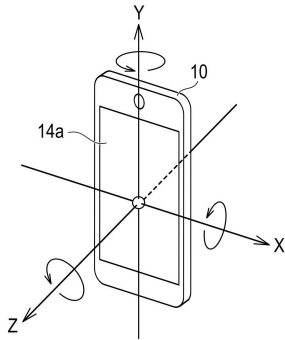
【図1】



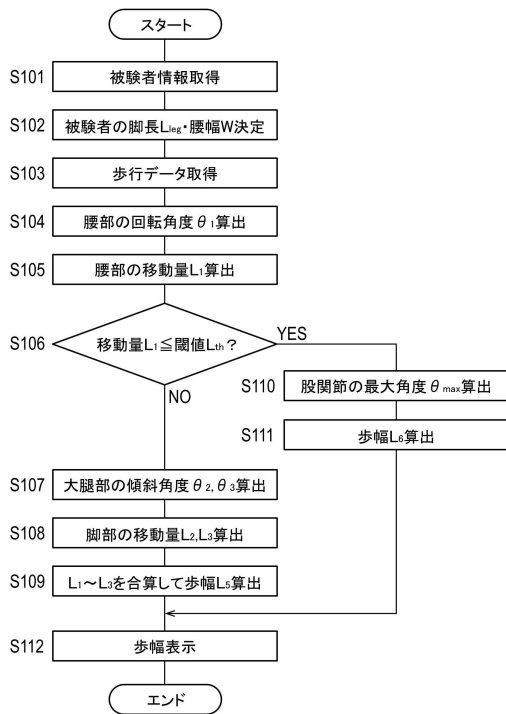
【図3】



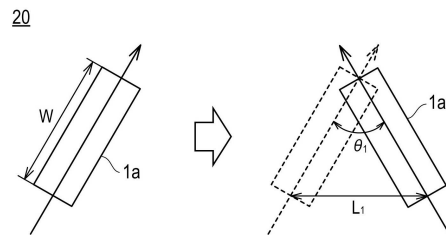
【図2】



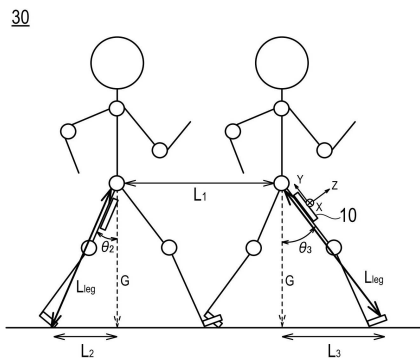
【図4】



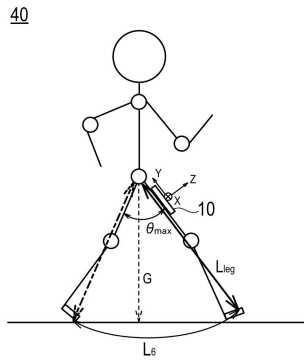
【図5】



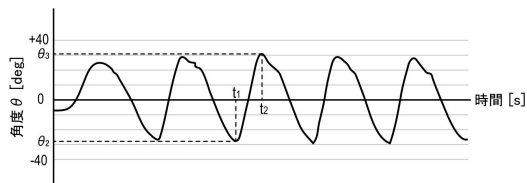
【図6】



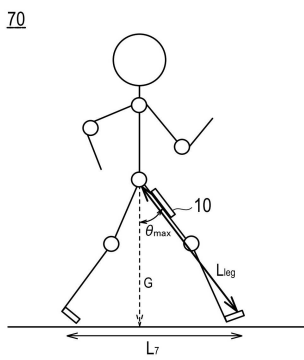
【図7】



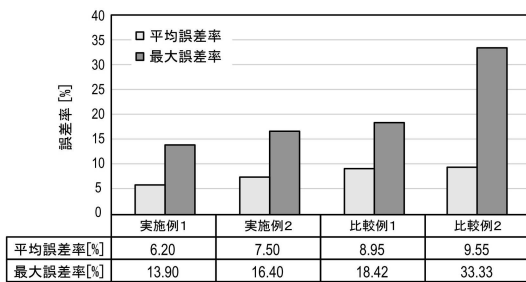
【図8】



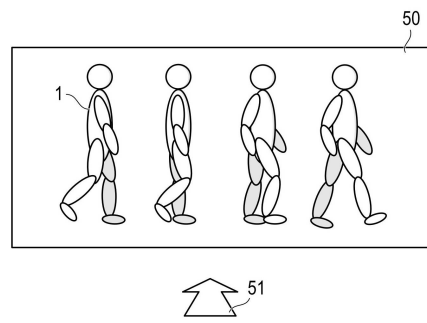
【図11】



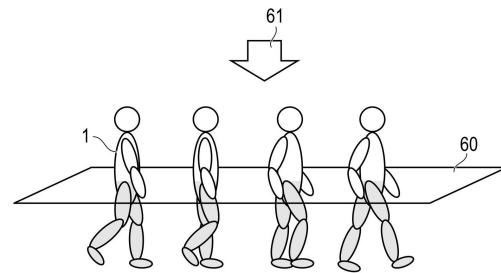
【図12】



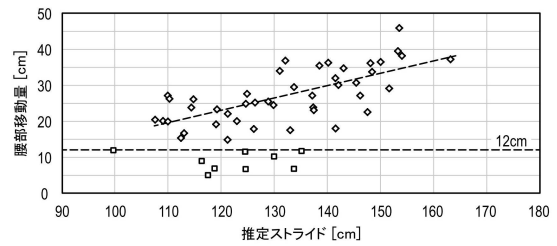
【図9】



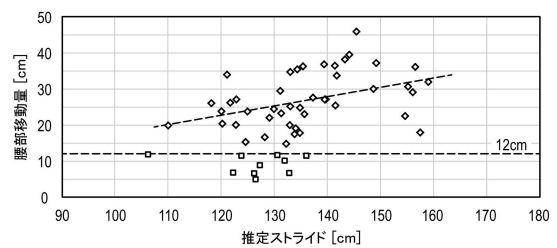
【図10】



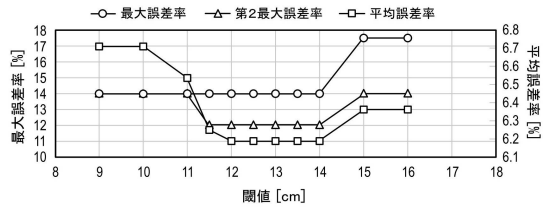
【図13】



【図14】



【図 15】



---

フロントページの続き

(56)参考文献 特開2015-62654(JP,A)  
特開2008-173250(JP,A)  
特開2013-150769(JP,A)  
特開2016-59711(JP,A)  
特開2006-101973(JP,A)  
米国特許出願公開第2012/0135750(US,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

A61B 5/11 - 5/113  
A63B 69/00, 71/06