

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2016-32610
(P2016-32610A)

(43) 公開日 平成28年3月10日(2016.3.10)

(51) Int.Cl.

A63B 71/06 (2006.01)
A63B 69/00 (2006.01)

F 1

A 63 B 71/06

テーマコード（参考）

(21) 出願番号

特願2014-157204 (P2014-157204)
平成26年7月31日 (2014. 7. 31)

(71) 出願人 000002369
セイコーエプソン株式会社
東京都新宿区西新宿2丁目4番1号

(74) 代理人 100090387
弁理士 布施 行夫

(74) 代理人 100090398
弁理士 大渕 美千栄

(72) 発明者 松本 一実
長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコ
ーエプソン株式会社内

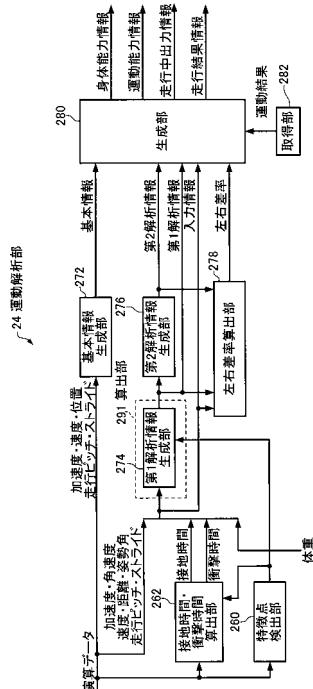
(54) [発明の名称] 運動解析システム、運動解析装置、運動解析プログラム及び運動解析方法

(57) 【要約】

【課題】使用者の運動能力を客観的に把握できる、運動解析システム、運動解析装置、運動解析プログラム及び運動解析方法等を提供すること。

【解決手段】運動解析システム1は、使用者に装着される慣性センサーの出力に基づいて、前記使用者の運動エネルギーを算出する算出部291と、前記運動エネルギーと走行距離及び走行時間とに基づいて、前記使用者の運動能力に関する情報である運動能力情報を生成する生成部280と、を含んで構成されている。

【選択図】図 1 3



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

使用者に装着される慣性センサーの出力に基づいて、前記使用者の運動エネルギーを算出する算出部と、

前記運動エネルギーと走行距離及び走行時間とに基づいて、前記使用者の運動能力に関する情報である運動能力情報を生成する生成部と、

を含む、運動解析システム。

【請求項 2】

請求項 1 に記載の運動解析システムにおいて、

前記運動能力情報に基づいて前記使用者の運動能力を評価する評価部をさらに含む、運動解析システム。 10

【請求項 3】

請求項 1 又は 2 に記載の運動解析システムにおいて、

前記使用者の前記運動能力情報と、他の使用者の運動能力情報を対比して出力する出力部をさらに含む、運動解析システム。

【請求項 4】

使用者に装着される慣性センサーの出力に基づいて、前記使用者の運動エネルギーを算出する算出部と、

前記運動エネルギーと走行距離及び走行時間とに基づいて、前記使用者の身体能力に関する情報である身体能力情報を生成する生成部と、

を含む、運動解析システム。 20

【請求項 5】

請求項 4 記載の運動解析システムにおいて、

前記身体能力情報に基づいて前記使用者の身体能力を評価する評価部をさらに含む、運動解析システム。

【請求項 6】

請求項 4 又は 5 に記載の運動解析システムにおいて、

前記使用者の前記身体能力情報と、他の使用者の身体能力情報を対比して出力する出力部をさらに含む、運動解析システム。 30

【請求項 7】

使用者に装着される慣性センサーの出力に基づいて、前記使用者の運動エネルギーを算出する算出部と、

前記運動エネルギーと走行距離及び走行時間とに基づいて、前記使用者の運動能力に関する情報である運動能力情報、及び、前記使用者の身体能力に関する情報である身体能力情報を生成する生成部と、

を含む、運動解析システム。

【請求項 8】

請求項 7 記載の運動解析システムにおいて、

前記運動能力情報と前記身体能力情報とに基づいて、前記使用者の運動能力又は身体能力の少なくとも一方を評価する評価部をさらに含む、運動解析システム。 40

【請求項 9】

請求項 7 又は 8 に記載の運動解析システムにおいて、

前記使用者の前記運動能力情報及び前記身体能力情報と、他の使用者の運動能力情報及び身体能力情報を対比して出力する出力部をさらに含む、運動解析システム。

【請求項 10】

請求項 1 ないし 9 のいずれか 1 項に記載の運動解析システムにおいて、

前記走行距離及び走行時間を取り得する取得部をさらに含む、運動解析システム。

【請求項 11】

使用者に装着される慣性センサーの出力に基づいて、前記使用者の運動エネルギーを算出する算出部と、

10

20

30

40

50

前記運動エネルギーと走行距離及び走行時間とに基づいて、前記使用者の運動能力に関する情報である運動能力情報を生成する生成部と、
を含む、運動解析装置。

【請求項 1 2】

使用者に装着される慣性センサーの出力に基づいて、前記使用者の運動エネルギーを算出する算出部と、

前記運動エネルギーと走行距離及び走行時間とに基づいて、前記使用者の身体能力に関する情報である身体能力情報を生成する生成部と、
を含む、運動解析装置。

【請求項 1 3】

使用者に装着される慣性センサーの出力に基づいて、前記使用者の運動エネルギーを算出する算出部と、

前記運動エネルギーと走行距離及び走行時間とに基づいて、前記使用者の運動能力に関する情報である運動能力情報、及び、前記使用者の身体能力に関する情報である身体能力情報を生成する生成部と、

を含む、運動解析装置。

【請求項 1 4】

使用者に装着される慣性センサーの出力に基づいて、前記使用者の運動エネルギーを算出する算出部と、

前記運動エネルギーと走行距離及び走行時間とに基づいて、前記使用者の運動能力に関する情報である運動能力情報を生成する生成部と、

としてコンピューターを機能させる、運動解析プログラム。

【請求項 1 5】

使用者に装着される慣性センサーの出力に基づいて、前記使用者の運動エネルギーを算出する算出部と、

前記運動エネルギーと走行距離及び走行時間とに基づいて、前記使用者の身体能力に関する情報である身体能力情報を生成する生成部と、

としてコンピューターを機能させる、運動解析プログラム。

【請求項 1 6】

使用者に装着される慣性センサーの出力に基づいて、前記使用者の運動エネルギーを算出する算出部と、

前記運動エネルギーと走行距離及び走行時間とに基づいて、前記使用者の運動能力に関する情報である運動能力情報、及び、前記使用者の身体能力に関する情報である身体能力情報を生成する生成部と、

としてコンピューターを機能させる、運動解析プログラム。

【請求項 1 7】

使用者に装着される慣性センサーの出力に基づいて、前記使用者の運動エネルギーを算出する算出工程と、

前記運動エネルギーと走行距離及び走行時間とに基づいて、前記使用者の運動能力に関する情報である運動能力情報を生成する生成工程と、

を含む、運動解析方法。

【請求項 1 8】

使用者に装着される慣性センサーの出力に基づいて、前記使用者の運動エネルギーを算出する算出工程と、

前記運動エネルギーと走行距離及び走行時間とに基づいて、前記使用者の身体能力に関する情報である身体能力情報を生成する生成工程と、

を含む、運動解析方法。

【請求項 1 9】

使用者に装着される慣性センサーの出力に基づいて、前記使用者の運動エネルギーを算出する算出工程と、

10

20

30

40

50

前記運動エネルギーと走行距離及び走行時間とに基づいて、前記使用者の運動能力に関する情報である運動能力情報、及び、前記使用者の身体能力に関する情報である身体能力情報を生成する生成工程と、

を含む、運動解析方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、運動解析システム、運動解析装置、運動解析プログラム及び運動解析方法に関する。

【背景技術】

【0002】

心肺機能を特に必要とするスポーツ、例えばランニング競技などのトレーニングでは、脈拍数を計測して運動負荷を推定してトレーニング強度の目安としたり、最大酸素摂取量を計測して運動能力の高さの目安としたりしていた。

【0003】

例えば、特許文献1には、使用者の心拍数を監視する監視装置が開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特表2009-519739号公報

10

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかし、スポーツのような激しい運動中に脈拍数を正確に計測することは容易ではない。また、最大酸素摂取量を計測するには専用の施設などが必要で、一般に簡単に計測することができない。

【0006】

また、スポーツとしての運動の成果（例えば、ランニング競技におけるタイム）は、単に持久力や筋力などの身体能力だけで決まるのではなく、運動能力、すなわち、そのスポーツが要求する運動課題に合致した運動を効率良く行う技術能力も重要である。

20

【0007】

本発明は、以上のような問題点に鑑みてなされたものであり、本発明のいくつかの態様によれば、使用者の運動能力を客観的に把握できる、運動解析システム、運動解析装置、運動解析プログラム及び運動解析方法等を提供することができる。

【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明は前述の課題の少なくとも一部を解決するためになされたものであり、以下の態様又は適用例として実現することが可能である。

【0009】

【適用例1】

本適用例に係る運動解析システムは、使用者に装着される慣性センサーの出力に基づいて、前記使用者の運動エネルギーを算出する算出部と、前記運動エネルギーと走行距離及び走行時間とに基づいて、前記使用者の運動能力に関する情報である運動能力情報を生成する生成部と、を含む、運動解析システムである。

【0010】

本適用例によれば、使用者が発揮した運動エネルギーと走行距離及び走行時間との関係に基づいて、使用者の運動能力を把握するために有用な情報を得ることができる。したがって、使用者の運動能力を客観的に把握できる運動解析システムを実現できる。

【0011】

【適用例2】

40

50

上述の運動解析システムにおいて、前記運動能力情報に基づいて、前記使用者の運動能力を評価する評価部をさらに含んでもよい。

【0012】

本適用例によれば、使用者の運動能力を適切に評価できる運動解析システムを実現できる。

【0013】

[適用例3]

上述の運動解析システムにおいて、前記使用者の前記運動能力情報と、他の使用者の運動能力情報を対比して出力する出力部をさらに含んでもよい。

【0014】

本適用例によれば、使用者にとって理解しやすい出力を行うことができる運動解析システムを実現できる。

【0015】

[適用例4]

本適用例に係る運動解析システムは、使用者に装着される慣性センサーの出力に基づいて、前記使用者の運動エネルギーを算出する算出部と、前記運動エネルギーと走行距離及び走行時間とに基づいて、前記使用者の身体能力に関する情報である身体能力情報を生成する生成部と、を含む、運動解析システムである。

【0016】

本適用例によれば、使用者が発揮した運動エネルギーと走行距離及び走行時間との関係に基づいて、使用者の身体能力を把握するために有用な情報を得ることができる。したがって、使用者の身体能力を客観的に把握できる運動解析システムを実現できる。

【0017】

[適用例5]

上述の運動解析システムにおいて、前記身体能力情報に基づいて前記使用者の身体能力を評価する評価部をさらに含んでもよい。

【0018】

本適用例によれば、使用者の身体能力を適切に評価できる運動解析システムを実現できる。

【0019】

[適用例6]

上述の運動解析システムにおいて、前記使用者の前記身体能力情報と、他の使用者の身体能力情報を対比して出力する出力部をさらに含んでもよい。

【0020】

本適用例によれば、使用者にとって理解しやすい出力を行うことができる運動解析システムを実現できる。

【0021】

[適用例7]

本適用例に係る運動解析システムは、使用者に装着される慣性センサーの出力に基づいて、前記使用者の運動エネルギーを算出する算出部と、前記運動エネルギーと走行距離及び走行時間とに基づいて、前記使用者の運動能力に関する情報である運動能力情報、及び、前記使用者の身体能力に関する情報である身体能力情報を生成する生成部と、を含む、運動解析システムである。

【0022】

本適用例によれば、使用者が発揮した運動エネルギーと走行距離及び走行時間との関係に基づいて、使用者の運動能力及び身体能力を把握するために有用な情報を得ることができる。したがって、使用者の運動能力及び身体能力を客観的に把握できる運動解析システムを実現できる。

【0023】

[適用例8]

10

20

30

40

50

上述の運動解析システムにおいて、前記運動能力情報と前記身体能力情報に基づいて、前記使用者の運動能力又は身体能力の少なくとも一方を評価する評価部をさらに含んでもよい。

【0024】

[適用例9]

上述の運動解析システムにおいて、前記使用者の前記運動能力情報及び前記身体能力情報と、他の使用者の運動能力情報及び身体能力情報とを対比して出力する出力部をさらに含んでもよい。

【0025】

本適用例によれば、使用者にとって理解しやすい出力を行うことができる運動解析システムを実現できる。

【0026】

[適用例10]

上述の運動解析システムにおいて、前記走行距離及び走行時間を取得する取得部をさらに含んでもよい。

【0027】

本適用例によれば、使用者による入力操作を減らすことができる運動解析システムを実現できる。

【0028】

[適用例11]

本適用例に係る運動解析装置は、使用者に装着される慣性センサーの出力に基づいて、前記使用者の運動エネルギーを算出する算出部と、前記運動エネルギーと走行距離及び走行時間に基づいて、前記使用者の運動能力に関する情報である運動能力情報を生成する生成部と、を含む、運動解析装置である。

【0029】

本適用例によれば、使用者が発揮した運動エネルギーと走行距離及び走行時間との関係に基づいて、使用者の運動能力を把握するために有用な情報を得ることができる。したがって、使用者の運動能力を客観的に把握できる運動解析装置を実現できる。

【0030】

[適用例12]

本適用例に係る運動解析装置は、使用者に装着される慣性センサーの出力に基づいて、前記使用者の運動エネルギーを算出する算出部と、前記運動エネルギーと走行距離及び走行時間に基づいて、前記使用者の身体能力に関する情報である身体能力情報を生成する生成部と、を含む、運動解析装置である。

【0031】

本適用例によれば、使用者が発揮した運動エネルギーと走行距離及び走行時間との関係に基づいて、使用者の身体能力を把握するために有用な情報を得ることができる。したがって、使用者の身体能力を客観的に把握できる運動解析装置を実現できる。

【0032】

[適用例13]

本適用例に係る運動解析システムは、使用者に装着される慣性センサーの出力に基づいて、前記使用者の運動エネルギーを算出する算出部と、前記運動エネルギーと走行距離及び走行時間に基づいて、前記使用者の運動能力に関する情報である運動能力情報、及び、前記使用者の身体能力に関する情報である身体能力情報を生成する生成部と、を含む、運動解析装置である。

【0033】

本適用例によれば、使用者が発揮した運動エネルギーと走行距離及び走行時間との関係に基づいて、使用者の運動能力及び身体能力を把握するために有用な情報を得ることができる。したがって、使用者の運動能力及び身体能力を客観的に把握できる運動解析装置を実現できる。

10

20

30

40

50

【0034】

[適用例14]

本適用例に係る運動解析プログラムは、使用者に装着される慣性センサーの出力に基づいて、前記使用者の運動エネルギーを算出する算出部と、前記運動エネルギーと走行距離及び走行時間とに基づいて、前記使用者の運動能力に関する情報である運動能力情報を生成する生成部と、としてコンピューターを機能させる、運動解析プログラムである。

【0035】

本適用例によれば、使用者が発揮した運動エネルギーと走行距離及び走行時間との関係に基づいて、使用者の運動能力を把握するために有用な情報を得ることができる。したがって、使用者の運動能力を客観的に把握できる運動解析プログラムを実現できる。

10

【0036】

[適用例15]

本適用例に係る運動解析プログラムは、使用者に装着される慣性センサーの出力に基づいて、前記使用者の運動エネルギーを算出する算出部と、前記運動エネルギーと走行距離及び走行時間とに基づいて、前記使用者の身体能力に関する情報である身体能力情報を生成する生成部と、としてコンピューターを機能させる、運動解析プログラムである。

【0037】

本適用例によれば、使用者が発揮した運動エネルギーと走行距離及び走行時間との関係に基づいて、使用者の身体能力を把握するために有用な情報を得ることができる。したがって、使用者の身体能力を客観的に把握できる運動解析プログラムを実現できる。

20

【0038】

[適用例16]

本適用例に係る運動解析プログラムは、使用者に装着される慣性センサーの出力に基づいて、前記使用者の運動エネルギーを算出する算出部と、前記運動エネルギーと走行距離及び走行時間とに基づいて、前記使用者の運動能力に関する情報である運動能力情報、及び、前記使用者の身体能力に関する情報である身体能力情報を生成する生成部と、としてコンピューターを機能させる、運動解析プログラムである。

【0039】

本適用例によれば、使用者が発揮した運動エネルギーと走行距離及び走行時間との関係に基づいて、使用者の運動能力及び身体能力を把握するために有用な情報を得ることができる。したがって、使用者の運動能力及び身体能力を客観的に把握できる運動解析プログラムを実現できる。

30

【0040】

[適用例17]

本適用例に係る運動解析方法は、使用者に装着される慣性センサーの出力に基づいて、前記使用者の運動エネルギーを算出する算出工程と、前記運動エネルギーと走行距離及び走行時間とに基づいて、前記使用者の運動能力に関する情報である運動能力情報を生成する生成工程と、を含む、運動解析方法である。

【0041】

本適用例によれば、使用者が発揮した運動エネルギーと走行距離及び走行時間との関係に基づいて、使用者の運動能力を把握するために有用な情報を得ることができる。したがって、使用者の運動能力を客観的に把握できる運動解析方法を実現できる。

40

【0042】

[適用例18]

本適用例に係る運動解析方法は、使用者に装着される慣性センサーの出力に基づいて、前記使用者の運動エネルギーを算出する算出工程と、前記運動エネルギーと走行距離及び走行時間とに基づいて、前記使用者の身体能力に関する情報である身体能力情報を生成する生成工程と、を含む、運動解析方法である。

【0043】

本適用例によれば、使用者が発揮した運動エネルギーと走行距離及び走行時間との関係

50

に基づいて、使用者の身体能力を把握するために有用な情報を得ることができる。したがって、使用者の身体能力を客観的に把握できる運動解析方法を実現できる。

【0044】

【適用例19】

本適用例に係る運動解析方法は、使用者に装着される慣性センサーの出力に基づいて、前記使用者の運動エネルギーを算出する算出工程と、前記運動エネルギーと走行距離及び走行時間とに基づいて、前記使用者の運動能力に関する情報である運動能力情報、及び、前記使用者の身体能力に関する情報である身体能力情報を生成する生成工程と、を含む、運動解析方法である。

【0045】

本適用例によれば、使用者が発揮した運動エネルギーと走行距離及び走行時間との関係に基づいて、使用者の運動能力及び身体能力を把握するために有用な情報を得ることができる。したがって、使用者の運動能力及び身体能力を客観的に把握できる運動解析方法を実現できる。

【図面の簡単な説明】

【0046】

【図1】本実施形態の運動解析システムの構成例を示す図。

【図2】本実施形態の運動解析システムの概要についての説明図。

【図3】運動解析装置の構成例を示す機能ブロック図。

【図4】センシングデータテーブルの構成例を示す図。

10

【図5】GPSデータテーブルの構成例を示す図。

【図6】地磁気データテーブルの構成例を示す図。

【図7】算出データテーブルの構成例を示す図。

20

【図8】運動解析装置の処理部の構成例を示す機能ブロック図。

【図9】慣性航法演算部の構成例を示す機能ブロック図。

【図10】使用者の走行時の姿勢についての説明図。

【図11】使用者の走行時のヨー角についての説明図。

【図12】使用者の走行時の3軸加速度の一例を示す図。

【図13】運動解析部の構成例を示す機能ブロック図。

30

【図14】運動解析処理の手順の一例を示すフローチャート図。

【図15】慣性航法演算処理の手順の一例を示すフローチャート図。

【図16】走行検出処理の手順の一例を示すフローチャート図。

【図17】運動解析情報生成処理の手順の一例を示すフローチャート図。

【図18】報知装置の構成例を示す機能ブロック図。

【図19】報知装置の表示部に表示される情報の一例を示す図。

【図20】報知処理の手順の一例を示すフローチャート図。

【図21】情報分析装置4の構成例を示す機能ブロック図である。

【図22】処理部420が行う評価処理の手順の一例を示すフローチャート図である。

【図23】運動能力情報及び身体能力情報の一例を示すグラフである。

【発明を実施するための形態】

【0047】

以下、本発明の好適な実施形態について図面を用いて詳細に説明する。用いる図面は説明の便宜上のものである。なお、以下に説明する実施形態は、特許請求の範囲に記載された本発明の内容を不当に限定するものではない。また以下で説明される構成の全てが本発明の必須構成要件であるとは限らない。

【0048】

1. 運動解析システム

1-1. システムの構成

以下では、使用者の走行（歩行も含む）における運動を解析する運動解析システムを例に挙げて説明するが、本実施形態の運動解析システムは、走行以外の運動を解析する運動

40

50

解析システムにも、同様に適用することができる。図1は、本実施形態の運動解析システム1の構成例を示す図である。図1に示すように、本実施形態の運動解析システム1は、運動解析装置2、報知装置3及び情報分析装置4を含んで構成されている。運動解析装置2は、使用者の走行中の運動を解析する装置であり、報知装置3は、使用者に走行中の運動の状態や走行結果の情報を使用者に通知する装置である。情報分析装置4は、使用者の走行終了後に走行結果を分析して提示する装置である。本実施形態では、図2に示すように、運動解析装置2は、慣性計測ユニット(IMUM:Inertial Measurement Unit)10を内蔵し、使用者が静止している状態で、慣性計測ユニット(IMUM)10の1つの検出軸(以下ではz軸とする)が重力加速度方向(鉛直下向き)とほぼ一致するように、使用者の胴体部分(例えば、右腰、左腰、又は腰の中央部)に装着される。また、報知装置3は、リスト型(腕時計型)の携帯情報機器であり、使用者の手首等に装着される。ただし、報知装置3は、ヘッドマウントディスプレイ(HMD:Head Mount Display)やスマートフォン等の携帯情報機器であってもよい。

10

【0049】

使用者は、走行開始時に報知装置3を操作して運動解析装置2による計測(後述する慣性航法演算処理及び運動解析処理)の開始を指示し、走行終了時に報知装置3を操作して運動解析装置2による計測の終了を指示する。報知装置3は、使用者の操作に応じて、計測の開始や終了を指示するコマンドを運動解析装置2に送信する。

20

【0050】

運動解析装置2は、計測開始のコマンドを受信すると、慣性計測ユニット(IMUM)10による計測を開始し、計測結果を用いて、使用者の走行能力(運動能力の一例)に関する指標である各種の運動指標の値を計算し、使用者の走行運動の解析結果の情報として、各種の運動指標の値を含む運動解析情報を生成する。運動解析装置2は、生成した運動解析情報を用いて、使用者の走行中に出力する情報(走行中出力情報)を生成し、報知装置3に送信する。報知装置3は、運動解析装置2から走行中出力情報を受信し、走行中出力情報に含まれる各種の運動指標の値を事前に設定された各目標値と比較し、主として音や振動により各運動指標の良し悪しを使用者に報知する。これにより、使用者は、各運動指標の良し悪しを認識しながら走行することができる。

【0051】

また、運動解析装置2は、計測終了のコマンドを受信すると、慣性計測ユニット(IMUM)10による計測を終了し、使用者の走行結果の情報(走行結果情報:走行距離、走行速度)を生成し、報知装置3に送信する。報知装置3は、運動解析装置2から走行結果情報を受信し、走行結果の情報を文字や画像として使用者に報知する。これにより、使用者は、走行終了後すぐに走行結果の情報を認識することができる。

30

【0052】

なお、運動解析装置2と報知装置3との間のデータ通信は、無線通信でもよいし、有線通信でもよい。

【0053】

また、図1に示すように、本実施形態では、運動解析システム1は、インターネットやLAN(Local Area Network)などのネットワークに接続されたサーバー5を含んで構成されている。情報分析装置4は、例えば、パーソナルコンピューターやスマートフォン等の情報機器であり、ネットワークを介してサーバー5とデータ通信が可能である。情報分析装置4は、運動解析装置2から使用者の過去の走行における運動解析情報を取得し、ネットワークを介してサーバー5に送信する。ただし、情報分析装置4とは異なる装置が運動解析装置2から運動解析情報を取得してサーバー5に送信してもよいし、運動解析装置2が運動解析情報をサーバー5に直接送信してもよい。サーバー5は、この運動解析情報を受信して記憶部(不図示)に構築されているデータベースに保存する。本実施形態では、複数の使用者が同一の又は異なる運動解析装置2を装着して走行を行い、各使用者の運動解析情報がサーバー5のデータベースに保存される。

40

【0054】

50

情報分析装置 4 は、ネットワークを介してサーバー 5 のデータベースから複数の使用者の運動解析情報を取得して当該複数の使用者の走行能力を比較可能な分析情報を生成し、当該分析情報を表示部（図 1 では不図示）に表示させる。情報分析装置 4 の表示部に表示された分析情報から、特定の使用者の走行能力を他の使用者と比較して相対的に評価することや各運動指標の目標値を適切に設定することが可能になる。使用者が各運動指標の目標値を設定した場合、情報分析装置 4 は、各運動指標の目標値の設定情報を報知装置 3 に送信する。報知装置 3 は、情報分析装置 4 から各運動指標の目標値の設定情報を受信し、前述した各運動指標の値との比較に用いられる各目標値を更新する。

【 0 0 5 5 】

運動解析システム 1 は、運動解析装置 2 と報知装置 3 と情報分析装置 4 とが別に設けられたり、運動解析装置 2 と報知装置 3 が一体で情報分析装置 4 が別に設けられたり、報知装置 3 と情報分析装置 4 が一体で運動解析装置 2 が別に設けられたり、運動解析装置 2 と情報分析装置 4 が一体で報知装置 3 が別に設けられたり、運動解析装置 2 と報知装置 3 と情報分析装置 4 が一体であってもよい。運動解析装置 2 と報知装置 3 と情報分析装置 4 はどのような組み合わせであってもよい。

10

【 0 0 5 6 】

1 - 2 . 座標系

以下の説明において必要となる座標系を定義する。

- ・ e フレーム (Earth Centerd Earth Fixed Frame) : 地球の中心を原点とし、自転軸に平行に z 軸をとった右手系の三次元直交座標
- ・ n フレーム (Navigation Frame) : 移動体（使用者）を原点とし、 x 軸を北、 y 軸を東、 z 軸を重力方向とした三次元直交座標系
- ・ b フレーム (Body Frame) : センサー（慣性計測ユニット（IMU）10）を基準とする三次元直交座標系
- ・ m フレーム (Moving Frame) : 移動体（使用者）を原点とし、移動体（使用者）の進行方向を x 軸とした右手系の三次元直交座標系

20

【 0 0 5 7 】

1 - 3 . 運動解析装置

1 - 3 - 1 . 運動解析装置の構成

図 3 は、運動解析装置 2 の構成例を示す機能ブロック図である。図 3 に示すように、運動解析装置 2 は、慣性計測ユニット（IMU）10、処理部 20、記憶部 30、通信部 40、GPS (Global Positioning System) ユニット 50 及び地磁気センサー 60 を含んで構成されている。ただし、本実施形態の運動解析装置 2 は、これらの構成要素の一部を削除又は変更し、あるいは、他の構成要素を追加した構成であってもよい。

30

【 0 0 5 8 】

慣性計測ユニット 10（慣性センサーの一例）は、加速度センサー 12、角速度センサー 14 及び信号処理部 16 を含んで構成されている。

【 0 0 5 9 】

加速度センサー 12 は、互いに交差する（理想的には直交する）3 軸方向の各々の加速度を検出し、検出した 3 軸加速度の大きさ及び向きに応じたデジタル信号（加速度データ）を出力する。

40

【 0 0 6 0 】

角速度センサー 14 は、互いに交差する（理想的には直交する）3 軸方向の各々の角速度を検出し、計測した 3 軸角速度の大きさ及び向きに応じたデジタル信号（角速度データ）を出力する。

【 0 0 6 1 】

信号処理部 16 は、加速度センサー 12 及び角速度センサー 14 から、それぞれ加速度データと角速度データを受け取って時刻情報を付して不図示の記憶部に記憶し、記憶した加速度データ、角速度データ及び時刻情報を所定のフォーマットに合わせたセンシングデータを生成し、処理部 20 に出力する。

50

【0062】

加速度センサー12及び角速度センサー14は、それぞれ3軸が、慣性計測ユニット10を基準とするセンサー座標系(bフレーム)の3軸と一致するように取り付けられるのが理想的だが、実際には取り付け角の誤差が生じる。そこで、信号処理部16は、取り付け角誤差に応じてあらかじめ算出された補正パラメーターを用いて、加速度データ及び角速度データをセンサー座標系(bフレーム)のデータに変換する処理を行う。なお、信号処理部16の代わりに後述する処理部20が当該変換処理を行ってもよい。

【0063】

さらに、信号処理部16は、加速度センサー12及び角速度センサー14の温度補正処理を行ってもよい。なお、信号処理部16の代わりに後述する処理部20が当該温度補正処理を行ってもよいし、加速度センサー12及び角速度センサー14に温度補正の機能が組み込まれていてもよい。

10

【0064】

加速度センサー12と角速度センサー14は、アナログ信号を出力するものであってもよく、この場合は、信号処理部16が、加速度センサー12の出力信号と角速度センサー14の出力信号をそれぞれA/D変換してセンシングデータを生成すればよい。

【0065】

GPSユニット50は、測位用衛星の一種であるGPS衛星から送信されるGPS衛星信号を受信し、当該GPS衛星信号を利用して測位計算を行ってnフレームにおける使用者の位置及び速度(大きさと向きを含むベクトル)を算出し、これらに時刻情報や測位精度情報を付したGPSデータを処理部20に出力する。なお、GPSを利用して、位置や速度を算出する方法や時刻情報を生成する方法については公知であるため、詳細な説明を省略する。

20

【0066】

地磁気センサー60は、互いに交差する(理想的には直交する)3軸方向の各々の地磁気を検出し、検出した3軸地磁気の大きさ及び向きに応じたデジタル信号(地磁気データ)を出力する。ただし、地磁気センサー60は、アナログ信号を出力するものであってもよく、この場合は、処理部20が、地磁気センサー60の出力信号をA/D変換して地磁気データを生成してもよい。

30

【0067】

通信部40は、報知装置3の通信部140(図18参照)や情報分析装置4の通信部440(図21参照)との間でデータ通信を行うものであり、報知装置3の通信部140から送信されたコマンド(計測開始/計測終了のコマンド等)を受信して処理部20に送る処理、処理部20が生成した走行中出力情報や走行結果情報を受け取って報知装置3の通信部140に送信する処理、情報分析装置4の通信部440から運動解析情報の送信要求コマンドを受信して処理部20に送り、当該運動解析情報を処理部20から受け取って情報分析装置4の通信部440に送信する処理等を行う。

【0068】

処理部20は、例えば、CPU(Central Processing Unit)、DSP(Digital Signal Processor)、ASIC(Application Specific Integrated Circuit)等により構成され、記憶部30(記録媒体)に記憶されている各種プログラムに従って、各種の演算処理や制御処理を行う。特に、処理部20は、通信部40を介して報知装置3から計測開始のコマンドを受け取ると、計測終了のコマンドを受け取るまで、慣性計測ユニット10、GPSユニット50及び地磁気センサー60からそれぞれセンシングデータ、GPSデータ及び地磁気データを受け取り、これらのデータを用いて使用者の速度や位置、胴体の姿勢角等を算出する。また、処理部20は、算出したこれらの情報を用いて各種の演算処理を行って使用者の運動を解析して後述する各種の運動解析情報を生成し、記憶部30に記憶させる。また、処理部20は、生成した運動解析情報を用いて走行中出力情報や走行結果情報を生成し、通信部40に送る処理を行う。

40

【0069】

50

また、処理部 20 は、通信部 40 を介して情報分析装置 4 から運動解析情報の送信要求コマンド受け取ると、送信要求コマンドで指定された運動解析情報を記憶部 30 から読み出して通信部 40 に情報分析装置 4 の通信部 440 に送る処理を行う。

【0070】

記憶部 30 は、例えば、ROM (Read Only Memory) やフラッシュ ROM、ハードディスクやメモリーカード等のプログラムやデータを記憶する記録媒体や、処理部 20 の作業領域となる RAM (Random Access Memory) 等により構成される。記憶部 30 (いずれかの記録媒体) には、処理部 20 によって読み出され、運動解析処理 (図 14 参照) を実行するための運動解析プログラム 300 が記憶されている。運動解析プログラム 300 は、慣性航法演算処理 (図 15 参照) を実行するための慣性航法演算プログラム 302、運動解析情報生成処理 (図 17 参照) を実行するための運動解析情報生成プログラム 304 をサブルーチンとして含む。

10

【0071】

また、記憶部 30 には、センシングデータテーブル 310、GPS データテーブル 320、地磁気データテーブル 330、算出データテーブル 340 及び運動解析情報 350 等が記憶される。

【0072】

センシングデータテーブル 310 は、処理部 20 が慣性計測ユニット 10 から受け取ったセンシングデータ (慣性計測ユニット 10 の検出結果) を時系列に記憶するデータテーブルである。図 4 は、センシングデータテーブル 310 の構成例を示す図である。図 4 に示すように、センシングデータテーブル 310 は、慣性計測ユニット 10 の検出時刻 311、加速度センサー 12 により検出された加速度 312 及び角速度センサー 14 により検出された角速度 313 が対応付けられたセンシングデータが時系列に並べられて構成される。処理部 20 は、計測を開始すると、サンプリング周期 t (例えば、20 ms 又は 10 ms) の経過毎に、センシングデータテーブル 310 に新たなセンシングデータを付加する。さらに、処理部 20 は、拡張カルマンフィルターを用いた誤差推定 (後述) により推定された加速度バイアス及び角速度バイアスを用いて加速度及び角速度を補正し、補正後の加速度及び角速度を上書きしてセンシングデータテーブル 310 を更新する。

20

【0073】

GPS データテーブル 320 は、処理部 20 が GPS ユニット 50 から受け取った GPS データ (GPS ユニット (GPS センサー) 50 の検出結果) を時系列に記憶するデータテーブルである。図 5 は、GPS データテーブル 320 の構成例を示す図である。図 5 に示すように、GPS データテーブル 320 は、GPS ユニット 50 が測位計算を行った時刻 321、測位計算により算出した位置 322、測位計算により算出した速度 323、測位精度 (DOP (Dilution of Precision)) 324、受信した GPS 衛星信号の信号強度 325 等が対応付けられた GPS データが時系列に並べられて構成される。処理部 20 は、計測を開始すると、GPS データを取得する毎に (例えば 1 秒毎に、センシングデータの取得タイミングとは非同期に)、新たな GPS データを付加して GPS データテーブル 320 を更新する。

30

【0074】

地磁気データテーブル 330 は、処理部 20 が地磁気センサー 60 から受け取った地磁気データ (地磁気センサー 60 の検出結果) を時系列に記憶するデータテーブルである。図 6 は、地磁気データテーブル 330 の構成例を示す図である。図 6 に示すように、地磁気データテーブル 330 は、地磁気センサー 60 の検出時刻 331 と地磁気センサー 60 により検出された地磁気 332 とが対応付けられた地磁気データが時系列に並べられて構成される。処理部 20 は、計測を開始すると、サンプリング周期 t (例えば、10 ms) の経過毎に、地磁気データテーブル 330 に新たな地磁気データを付加する。

40

【0075】

算出データテーブル 340 は、処理部 20 がセンシングデータを用いて算出した速度、位置及び姿勢角を時系列に記憶するデータテーブルである。図 7 は、算出データテーブル

50

340の構成例を示す図である。図7に示すように、算出データテーブル340は、処理部20が計算した時刻341、速度342、位置343及び姿勢角344が対応付けられた算出データが時系列に並べられて構成される。処理部20は、計測を開始すると、新たにセンシングデータを取得する毎に、すなわち、サンプリング周期 t の経過毎に、速度、位置及び姿勢角を算出し、算出データテーブル340に新たな算出データを付加する。さらに、処理部20は、拡張カルマンフィルターを用いた誤差推定により推定された速度誤差、位置誤差及び姿勢角誤差を用いて、速度、位置及び姿勢角を補正し、補正後の速度、位置及び姿勢角を上書きして算出データテーブル340を更新する。

【0076】

運動解析情報350は、使用者の運動に関する各種情報であり、処理部20が生成した、入力情報351の各項目、基本情報352の各項目、第1解析情報353の各項目、第2解析情報354の各項目、左右差率355の各項目等を含む。これら各種の情報の詳細については後述する。

10

【0077】

1 - 3 - 2 . 処理部の機能構成

図8は、運動解析装置2の処理部20の構成例を示す機能ブロック図である。本実施形態では、処理部20は、記憶部30に記憶されている運動解析プログラム300を実行することにより、慣性航法演算部22及び運動解析部24として機能する。ただし、処理部20は、ネットワーク等を介して、任意の記憶装置（記録媒体）に記憶されている運動解析プログラム300を受信して実行してもよい。

20

【0078】

慣性航法演算部22は、センシングデータ（慣性計測ユニット10の検出結果）、GPSデータ（GPSユニット50の検出結果）及び地磁気データ（地磁気センサー60の検出結果）を用いて、慣性航法演算を行い、加速度、角速度、速度、位置、姿勢角、距離、ストライド及び走行ピッチを算出し、これらの算出結果を含む演算データを出力する。慣性航法演算部22が出力する演算データは時刻順に記憶部30に記憶される。慣性航法演算部22の詳細については後述する。

【0079】

運動解析部24は、慣性航法演算部22が出力する演算データ（記憶部30に記憶されている演算データ）を用いて、使用者の走行中の運動を解析し、解析結果の情報である運動解析情報（後述する、入力情報、基本情報、第1解析情報、第2解析情報、左右差率等）を生成する。運動解析部24が生成した運動解析情報は、使用者の走行中に、時刻順に記憶部30に記憶される。

30

【0080】

また、運動解析部24は、生成した運動解析情報を用いて、使用者の走行中（具体的には慣性計測ユニット10が計測を開始してから終了するまでの間）に出力する情報である走行中出力情報を生成する。運動解析部24が生成した走行中出力情報は、通信部40を介して報知装置3に送信される。

【0081】

また、運動解析部24は、走行中に生成した運動解析情報を用いて、使用者の走行終了時（具体的には慣性計測ユニット10の計測終了時）に、走行結果の情報である走行結果情報を生成する。運動解析部24が生成した走行結果情報は、通信部40を介して報知装置3に送信される。

40

【0082】

1 - 3 - 3 . 慣性航法演算部の機能構成

図9は、慣性航法演算部22の構成例を示す機能ブロック図である。本実施形態では、慣性航法演算部22は、バイアス除去部210、積分処理部220、誤差推定部230、走行処理部240及び座標変換部250を含む。ただし、本実施形態の慣性航法演算部22は、これらの構成要素の一部を削除又は変更し、あるいは、他の構成要素を追加した構成であってもよい。

50

【0083】

バイアス除去部210は、新たに取得したセンシングデータに含まれる3軸加速度及び3軸角速度から、それぞれ、誤差推定部230が推定した加速度バイアス b_a 及び角速度バイアス b_b を減算し、3軸加速度及び3軸角速度を補正する処理を行う。なお、計測開始直後の初期状態では加速度バイアス b_a 及び角速度バイアス b_b の推定値が存在しないため、バイアス除去部210は、使用者の初期状態は静止状態であるものとして、慣性計測ユニットからのセンシングデータを用いて、初期バイアスを計算する。

【0084】

積分処理部220は、バイアス除去部210が補正した加速度及び角速度からeフレームの速度 v^e 、位置 p^e 及び姿勢角（ロール角 θ_{be} 、ピッチ角 ϕ_{be} 、ヨー角 φ_{be} ）を算出する処理を行う。具体的には、積分処理部220は、まず、使用者の初期状態は静止状態であるものとして、初期速度をゼロとし、あるいは、GPSデータに含まれる速度から初期速度を算出し、さらに、GPSデータに含まれる位置から初期位置を算出する。また、積分処理部220は、バイアス除去部210が補正した b_b フレームの3軸加速度から重力加速度の向きを特定してロール角 θ_{be} とピッチ角 ϕ_{be} の初期値を算出するとともに、GPSデータに含まれる速度からヨー角 φ_{be} の初期値を算出し、eフレームの初期姿勢角とする。GPSデータが得られない場合はヨー角 φ_{be} の初期値を例えばゼロとする。そして、積分処理部220は、算出した初期姿勢角から式（1）で表される b_b フレームからeフレームへの座標変換行列（回転行列） C_b^e の初期値を算出する。

【0085】

【数1】

$$C_b^e = \begin{bmatrix} \cos\theta_{be} \cdot \cos\phi_{be} & \cos\theta_{be} \cdot \sin\phi_{be} & -\sin\theta_{be} \\ \sin\phi_{be} \cdot \sin\theta_{be} \cdot \cos\phi_{be} - \cos\phi_{be} \cdot \sin\phi_{be} & \sin\phi_{be} \cdot \sin\theta_{be} \cdot \sin\phi_{be} + \cos\phi_{be} \cdot \cos\phi_{be} & \sin\phi_{be} \cdot \cos\theta_{be} \\ \cos\phi_{be} \cdot \sin\theta_{be} \cdot \cos\phi_{be} + \sin\phi_{be} \cdot \sin\phi_{be} & \cos\phi_{be} \cdot \sin\theta_{be} \cdot \sin\phi_{be} - \sin\phi_{be} \cdot \cos\phi_{be} & \cos\phi_{be} \cdot \cos\theta_{be} \end{bmatrix} \quad (1)$$

【0086】

その後は、積分処理部220は、バイアス除去部210が補正した3軸角速度を積算（回転演算）して座標変換行列 C_b^e を算出し、式（2）より姿勢角を算出する。

【0087】

【数2】

$$\begin{bmatrix} \phi_{be} \\ \theta_{be} \\ \varphi_{be} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \arctan 2(C_b^e(2,3), C_b^e(3,3)) \\ -\arcsin C_b^e(1,3) \\ \arctan 2(C_b^e(1,2), C_b^e(1,1)) \end{bmatrix} \quad (2)$$

【0088】

また、積分処理部220は、座標変換行列 C_b^e を用いて、バイアス除去部210が補正した b_b フレームの3軸加速度をeフレームの3軸加速度に変換し、重力加速度成分を除去して積算することでeフレームの速度 v^e を算出する。また、積分処理部220は、eフレームの速度 v^e を積算してeフレームの位置 p^e を算出する。

【0089】

また、積分処理部220は、誤差推定部230が推定した速度誤差 v^e 、位置誤差 p^e 及び姿勢角誤差 θ^e を用いて、速度 v^e 、位置 p^e 及び姿勢角を補正する処理及び補正した速度 v^e を積分して距離を計算する処理も行う。

【0090】

さらに、積分処理部220は、 b_b フレームからmフレームへの座標変換行列 C_b^m 、eフレームからmフレームへの座標変換行列 C_e^m 及びeフレームからnフレームへの座標

10

20

30

40

50

変換行列 C_e^n も算出する。これらの座標変換行列は座標変換情報として後述する座標変換部 250 の座標変換処理に用いられる。

【0091】

誤差推定部 230 は、積分処理部 220 が算出した速度・位置、姿勢角、バイアス除去部 210 が補正した加速度や角速度、GPS データ、地磁気データ等を用いて、使用者の状態を表す指標の誤差を推定する。本実施形態では、誤差推定部 230 は、拡張カルマンフィルターを用いて、速度、姿勢角、加速度、角速度及び位置の誤差を推定する。すなわち、誤差推定部 230 は、積分処理部 220 が算出した速度 v^e の誤差（速度誤差） δv^e 、積分処理部 220 が算出した姿勢角の誤差（姿勢角誤差） $\delta \theta^e$ 、加速度バイアス b_a 、角速度バイアス b_ω 及び積分処理部 220 が算出した位置 p^e の誤差（位置誤差） δp^e を拡張カルマンフィルターの状態変数とし、状態ベクトル X を式（3）のように定義する。

【0092】

【数3】

$$X = \begin{bmatrix} \delta v^e \\ \delta \theta^e \\ b_a \\ b_\omega \\ \delta p^e \end{bmatrix} \quad (3)$$

10

20

30

【0093】

誤差推定部 230 は、拡張カルマンフィルターの予測式を用いて、状態ベクトル X に含まれる状態変数を予測する。拡張カルマンフィルターの予測式は、式（4）のように表される。式（4）において、行列 Φ は、前回の状態ベクトル X と今回の状態ベクトル X を関連付ける行列であり、その要素の一部は姿勢角や位置等を反映しながら時々刻々変化するように設計される。また、 Q はプロセスノイズを表す行列であり、その各要素はあらかじめ適切な値に設定される。また、 P は状態変数の誤差共分散行列である。

【0094】

【数4】

$$\begin{aligned} X &= \Phi X \\ P &= \Phi P \Phi^T + Q \end{aligned} \quad (4)$$

【0095】

また、誤差推定部 230 は、拡張カルマンフィルターの更新式を用いて、予測した状態変数を更新（補正）する。拡張カルマンフィルターの更新式は、式（5）のように表される。 Z 及び H はそれぞれ観測ベクトル及び観測行列であり、更新式（5）は、実際の観測ベクトル Z と状態ベクトル X から予測されるベクトル $H X$ との差を用いて、状態ベクトル X を補正することを表している。 R は、観測誤差の共分散行列であり、あらかじめ決められた一定値であってもよいし、動的に変更してもよい。 K はカルマンゲインであり、 R が小さいほど K が大きくなる。式（5）より、 K が大きい（ R が小さい）ほど、状態ベクトル X の補正量が大きくなり、その分、 P が小さくなる。

40

【0096】

【数5】

$$\begin{aligned} K &= P H^T (H P H^T + R)^{-1} \\ X &= X + K(Z - H X) \quad (5) \\ P &= (I - K H) P \end{aligned}$$

【0097】

誤差推定の方法（状態ベクトルXの推定方法）としては、例えば、以下のようなものが挙げられる。 10

【0098】

姿勢角誤差に基づく補正による誤差推定方法：

図10は、運動解析装置2を右腰に装着した使用者が走行動作（直進）をする場合の使用者の移動を俯瞰した図である。また、図11は、使用者が走行動作（直進）をする場合に慣性計測ユニット10の検出結果から算出したヨー角（方位角）の一例を示す図であり、横軸は時間、縦軸はヨー角（方位角）である。

【0099】

使用者の走行動作に伴い、使用者に対する慣性計測ユニット10の姿勢が随時変化する。使用者が左足を踏み出した状態では、図10中の（1）や（3）に示すように、慣性計測ユニット10は進行方向（mフレームのx軸）に対して左側に傾いた姿勢となる。それに対して、使用者が右足を踏み出した状態では、図10中の（2）や（4）に示すように、慣性計測ユニット10は進行方向（mフレームのx軸）に対して右側に傾いた姿勢となる。つまり、慣性計測ユニット10の姿勢は、使用者の走行動作に伴い、左右1歩ずつの2歩毎に周期的に変化することになる。図11では、例えば、右足を踏み出した状態でヨー角が極大となり（図11中の）、左足を踏み出した状態でヨー角が極小となっている（図11中の）。そこで、前回（2歩前）の姿勢角と今回の姿勢角は等しく、かつ、前回の姿勢角は真の姿勢であるものとして誤差を推定することができる。この方法では、式（5）の観測ベクトルZは積分処理部220が算出した前回の姿勢角と今回の姿勢角との差であり、更新式（5）により、姿勢角誤差 θ と観測値との差に基づいて状態ベクトルXを補正し、誤差を推定する。 30

【0100】

角速度バイアスに基づく補正による誤差推定方法：

前回（2歩前）の姿勢角と今回の姿勢角は等しいが、前回の姿勢角は真の姿勢である必要はないものとして誤差を推定する方法である。この方法では、式（5）の観測ベクトルZは積分処理部220が算出した前回の姿勢角及び今回の姿勢角から算出される角速度バイアスであり、更新式（5）により、角速度バイアス b と観測値との差に基づいて状態ベクトルXを補正し、誤差を推定する。

【0101】

方位角誤差に基づく補正による誤差推定方法：

前回（2歩前）のヨー角（方位角）と今回のヨー角（方位角）は等しく、かつ、前回のヨー角（方位角）は真のヨー角（方位角）であるものとして誤差を推定する方法である。この方法では、観測ベクトルZは積分処理部220が算出した前回のヨー角と今回のヨー角の差であり、更新式（5）により、方位角誤差 θ_z と観測値との差に基づいて状態ベクトルXを補正し、誤差を推定する。 40

【0102】

停止に基づく補正による誤差推定方法：

停止時は速度がゼロであるものとして誤差を推定する方法である。この方法では、観測ベクトルZは積分処理部220が算出した速度 v とゼロとの差であり、更新式（5）により、速度誤差 v に基づいて状態ベクトルXを補正し、誤差を推定する。 50

【0103】

静止に基づく補正による誤差推定方法：

静止時は速度がゼロであり、かつ、姿勢変化がゼロであるものとして誤差を推定する方法である。この方法では、観測ベクトル Z は積分処理部220が算出した速度 v^e の誤差及び積分処理部220が算出した前回の姿勢角と今回の姿勢角との差であり、更新式(5)により、速度誤差 v^e 及び姿勢角誤差 θ^e に基づいて状態ベクトル X を補正し、誤差を推定する。

【0104】

GPSの観測値に基づく補正による誤差推定方法：

積分処理部220が算出した速度 v^e 、位置 p^e あるいはヨー角 θ_b^e とGPSデータから算出される速度、位置あるいは方位角(e フレームに変換後の速度、位置、方位角)は等しいものとして誤差を推定する方法である。この方法では、観測ベクトル Z は積分処理部220が算出した速度、位置あるいはヨー角とGPSデータから算出される速度、位置速度あるいは方位角との差であり、更新式(5)により、速度誤差 v^e 、位置誤差 p^e あるいは方位角誤差 θ_z^e と観測値との差に基づいて状態ベクトル X を補正し、誤差を推定する。

10

【0105】

地磁気センサーの観測値に基づく補正による誤差推定方法：

積分処理部220が算出したヨー角 θ_b^e と地磁気センサー60から算出される方位角(e フレームに変換後の方方位角)は等しいものとして誤差を推定する方法である。この方法では、観測ベクトル Z は積分処理部220が算出したヨー角と地磁気データから算出される方位角との差であり、更新式(5)により、方位角誤差 θ_z^e と観測値との差に基づいて状態ベクトル X を補正し、誤差を推定する。

20

【0106】

図9に戻り、走行処理部240は、走行検出部242、歩幅算出部244及びピッチ算出部246を含む。走行検出部242は、慣性計測ユニット10の検出結果(具体的には、バイアス除去部210が補正したセンシングデータ)を用いて、使用者の走行周期(走行タイミング)を検出する処理を行う。図10及び図11で説明したように、使用者の走行時には使用者の姿勢が周期的に(2歩(左右1歩ずつ)毎に)変化するため、慣性計測ユニット10が検出する加速度も周期的に変化する。図12は、使用者の走行時に慣性計測ユニット10が検出した3軸加速度の一例を示す図である。図12において、横軸は時間であり、縦軸は加速度値である。図12に示すように、3軸加速度は周期的に変化しており、特に z 軸(重力方向の軸)加速度は、周期性をもって規則的に変化していることがわかる。この z 軸加速度は、使用者の上下動の加速度を反映しており、 z 軸加速度が所定の閾値以上の極大値となる時から次に閾値以上の極大値となるまでの期間が1歩の期間に相当する。

30

【0107】

そこで、本実施形態では、走行検出部242は、慣性計測ユニット10が検出する z 軸加速度(使用者の上下動の加速度に相当する)が所定の閾値以上の極大値となる毎に、走行周期を検出する。すなわち、走行検出部242は、 z 軸加速度が所定の閾値以上の極大値となる毎に、走行周期を検出したことを示すタイミング信号を出力する。実際には、慣性計測ユニット10が検出する3軸加速度には高周波のノイズ成分が含まれるため、走行検出部242は、ローパスフィルターを通過させてノイズが除去された z 軸加速度を用いて走行周期を検出する。

40

【0108】

また、走行検出部242は、検出した走行周期が左右いずれの走行周期かを判定し、左右いずれの走行周期かを示す左右足フラグ(例えば、右足の時にオン、左足の時にオフ)を出力する。例えば、図11に示したように、右足を踏み出した状態ではヨー角が極大となり(図11中の θ_b)、左足を踏み出した状態ではヨー角が極小となる(図11中の θ_b)ので、走行検出部242は、積分処理部220が算出する姿勢角(特にヨー角)を用いて

50

、左右いずれの走行周期かを判定することができる。また、図10に示したように、使用者の頭上から見て、慣性計測ユニット10は、使用者が左足を踏み出した状態（図10中の（1）や（3）の状態）から右足を踏み出した状態（図10中の（2）や（4）の状態）に至るまでに時計まわりに回転し、逆に、右足を踏み出した状態から左足を踏み出した状態に至るまでに反時計まわりに回転する。したがって、例えば、走行検出部242は、z軸角速度の極性から左右いずれの走行周期かを判定することもできる。この場合、実際には、慣性計測ユニット10が検出する3軸角速度には高周波のノイズ成分が含まれるため、走行検出部242は、ローパスフィルターを通過させてノイズが除去されたz軸角速度を用いて左右いずれの走行周期かを判定する。

【0109】

10

歩幅算出部244は、走行検出部242が出力する走行周期のタイミング信号及び左右足フラグと、積分処理部220が算出する速度あるいは位置とを用いて、左右毎の歩幅を算出し、左右毎のストライドとして出力する処理を行う。すなわち、歩幅算出部244は、走行周期の開始から次の走行周期の開始までの期間、サンプリング周期 t 毎に速度を積分して（あるいは、走行周期の開始時の位置と次の走行周期の開始時の位置との差を計算して）歩幅を算出し、当該歩幅をストライドとして出力する。

【0110】

ピッチ算出部246は、走行検出部242が出力する走行周期のタイミング信号を用いて、1分間の歩数を算出し、走行ピッチとして出力する処理を行う。すなわち、ピッチ算出部246は、例えば、走行周期の逆数をとって1秒当たりの歩数を計算し、これに60を掛けて1分間の歩数（走行ピッチ）を算出する。

20

【0111】

座標変換部250は、積分処理部220が算出したbフレームからmフレームへの座標変換情報（座標変換行列 C_b^m ）を用いて、バイアス除去部210が補正したbフレームの3軸加速度及び3軸角速度をそれぞれmフレームの3軸加速度及び3軸角速度に変換する座標変換処理を行う。また、座標変換部250は、積分処理部220が算出したeフレームからmフレームへの座標変換情報（座標変換行列 C_e^m ）を用いて、積分処理部220が算出したeフレームの3軸方向の速度、3軸回りの姿勢角及び3軸方向の距離をそれぞれmフレームの3軸方向の速度、3軸回りの姿勢角及び3軸方向の距離に変換する座標変換処理を行う。また、座標変換部250は、積分処理部220が算出したeフレームからnフレームへの座標変換情報（座標変換行列 C_e^n ）を用いて、積分処理部220が算出したeフレームの位置をnフレームの位置に変換する座標変換処理を行う。

30

【0112】

そして、慣性航法演算部22は、座標変換部250が座標変換した後の加速度、角速度、速度、位置、姿勢角及び距離、走行処理部240が算出したストライド、走行ピッチ及び左右足フラグの各情報を含む演算データを出力する（記憶部30に記憶する）。

【0113】

40

1 - 3 - 4 . 運動解析部の機能構成

図13は、運動解析部24の構成例を示す機能ブロック図である。本実施形態では、運動解析部24は、特徴点検出部260、接地時間・衝撃時間算出部262、基本情報生成部272、算出部291、左右差率算出部278及び生成部280を含む。ただし、本実施形態の運動解析部24は、これらの構成要素の一部を削除又は変更し、あるいは、他の構成要素を追加した構成であってもよい。

【0114】

50

特徴点検出部260は、演算データを用いて、使用者の走行運動における特徴点を検出する処理を行う。使用者の走行運動における特徴点は、例えば、着地（足裏の一部が地面に着いた時、足の裏全体が地面に着いた時、足のかかとから着いてつま先が離れる間の任意の時点、足のつま先から着いてかかとが離れる間の任意の時点、足の裏全体が着いている間など、適宜設定してもよい）、踏込（足に最も体重がかかっている状態）、離地（蹴り出しともいう、地面から足の裏の一部が離れた時、足の裏全体が地面から離れた時、足

のかかとから着いてつま先が離れる間の任意の時点、足のつま先から着いてから離れる間の任意の時点など、適宜設定してもよい)等である。具体的には、特徴点検出部260は、演算データに含まれる左右足フラグを用いて、右足の走行周期における特徴点と左足の走行周期における特徴点とを別々に検出する。例えば、特徴点検出部260は、上下方向加速度(加速度センサー12のz軸の検出値)が正值から負値に変化した時点で着地を検出し、着地の後、上下方向加速度が負の方向にピークとなった以降に進行方向加速度がピークになる時点で踏込を検出し、上下方向加速度が負値から正值に変化した時点で離地(蹴り出し)を検出することができる。

【0115】

接地時間・衝撃時間算出部262は、演算データを用いて、特徴点検出部260が特徴点を検出した時点を基準として、接地時間及び衝撃時間の各値を算出する処理を行う。具体的には、接地時間・衝撃時間算出部262は、演算データに含まれる左右足フラグから現在の演算データが右足の走行周期と左足の走行周期のいずれの演算データであるかを判定し、特徴点検出部260が特徴点を検出した時点を基準として、接地時間及び衝撃時間の各値を、右足の走行周期と左足の走行周期に分けて算出する。接地時間及び衝撃時間の定義及び算出方法等の詳細については後述する。

10

【0116】

基本情報生成部272は、演算データに含まれる加速度、速度、位置、ストライド、走行ピッチの情報を用いて、使用者の運動に関する基本情報を生成する処理を行う。ここで、基本情報は、走行ピッチ、ストライド、走行速度、標高、走行距離及び走行時間(ラップタイム)の各項目を含む。具体的には、基本情報生成部272は、演算データに含まれる走行ピッチ及びストライドをそれぞれ基本情報の走行ピッチ及びストライドとして出力する。また、基本情報生成部272は、演算データに含まれる加速度、速度、位置、走行ピッチ及びストライドの一部又は全部を用いて、走行速度、標高、走行距離、走行時間(ラップタイム)の現在の値や走行中の平均値等を算出する。

20

【0117】

算出部291は、使用者に装着される慣性センサー(慣性計測ユニット10)の出力に基づいて、使用者の運動エネルギーを算出する。図13に示される例では、算出部291は、第1解析情報生成部274を含んで構成されている。第1解析情報生成部274は、入力情報を用いて、特徴点検出部260が特徴点を検出したタイミングを基準として使用者の運動を解析し、第1解析情報を生成する処理を行う。

30

【0118】

ここで、入力情報は、進行方向加速度、進行方向速度、進行方向距離、上下方向加速度、上下方向速度、上下方向距離、左右方向加速度、左右方向速度、左右方向距離、姿勢角(ロール角、ピッチ角、ヨー角)、角速度(ロール方向、ピッチ方向、ヨー方向)、走行ピッチ、ストライド、接地時間、衝撃時間及び体重の各項目を含む。体重は使用者によって入力され、接地時間及び衝撃時間は接地時間・衝撃時間算出部262が算出し、その他の項目は演算データに含まれる。

【0119】

また、第1解析情報は、着地時ブレーキ量(着地時ブレーキ量1、着地時ブレーキ量2)、真下着地率(真下着地率1、真下着地率2、真下着地率3)、推進力(推進力1、推進力2)、推進効率(推進効率1、推進効率2、推進効率3、推進効率4)、運動エネルギー、着地衝撃、ランニング能力、前傾角、タイミング一致度及び脚の流れの各項目を含む。第1解析情報の各項目は、使用者の走行状態(運動状態の一例)を表す項目である。第1解析情報の各項目の定義及び計算方法の詳細については後述する。

40

【0120】

また、第1解析情報生成部274は、第1解析情報の各項目の値を、使用者の体の左右にわけて算出する。具体的には、第1解析情報生成部274は、特徴点検出部260が右足の走行周期における特徴点を検出したか左足の走行周期における特徴点を検出したかに応じて、第1解析情報に含まれる各項目を、右足の走行周期と左足の走行周期に分けて算

50

出する。また、第1解析情報生成部274は、第1解析情報に含まれる各項目について、左右の平均値あるいは合計値も算出する。

【0121】

第2解析情報生成部276は、第1解析情報生成部274が生成した第1解析情報を用いて、第2解析情報を生成する処理を行う。ここで、第2解析情報は、エネルギー損失、エネルギー効率及び体への負担の各項目を含む。第2解析情報の各項目の定義及び計算方法の詳細については後述する。第2解析情報生成部276は、第2解析情報の各項目の値を、右足の走行周期と左足の走行周期に分けて算出する。また、第2解析情報生成部276は、第2解析情報に含まれる各項目について、左右の平均値あるいは合計値も算出する。

10

【0122】

左右差率算出部278は、入力情報に含まれる走行ピッチ、ストライド、接地時間及び衝撃時間、第1解析情報の全ての項目及び第2解析情報の全ての項目について、それぞれ右足の走行周期における値と左足の走行周期における値とを用いて、使用者の体の左右のバランスを示す指標である左右差率を算出する処理を行う。左右差率の定義及び計算方法の詳細については後述する。

【0123】

生成部280は、第2解析情報の運動エネルギーと、運動結果（走行結果）である走行距離及び走行時間（ラップタイムなど）に基づいて、使用者の運動能力に関する情報である運動能力情報を生成する。図13に示される例では、運動解析部24は、走行距離及び走行時間を取得する取得部282を含んで構成されている。生成部280は、取得部282が取得した走行距離及び走行時間に基づいて、運動能力情報を生成する。

20

【0124】

また、生成部280は、第2解析情報の運動エネルギーと、運動結果（走行結果）である走行距離及び走行時間（ラップタイムなど）に基づいて、使用者の身体能力に関する情報である身体能力情報を生成する。生成部280は、取得部282が取得した走行距離及び走行時間に基づいて、身体能力情報を生成する。

【0125】

また、生成部280は、基本情報、入力情報、第1解析情報、第2解析情報、左右差率等を用いて、使用者の走行中に出力する情報である走行中出力情報を生成する処理を行う。入力情報に含まれる「走行ピッチ」、「ストライド」、「接地時間」及び「衝撃時間」、第1解析情報のすべての項目、第2解析情報のすべての項目、及び、左右差率は、使用者の走行技術の評価に用いられる運動指標であり、走行中出力情報は、これらの運動指標の一部又は全部の値の情報を含む。走行中出力情報に含まれる運動指標は、予め決められていてもよいし、使用者が報知装置3を操作して選択可能にしても良い。また、走行中出力情報は、基本情報に含まれる走行速度、標高、走行距離及び走行時間（ラップタイム）の一部又は全部を含んでもよい。

30

【0126】

また、生成部280は、基本情報、入力情報、第1解析情報、第2解析情報、左右差率等を用いて、使用者の走行結果の情報である走行結果情報を生成する。例えば、生成部280は、使用者の走行中（慣性計測ユニット10の計測中）における各運動指標の平均値の情報等を含む走行結果情報を生成してもよい。また、走行結果情報は、走行速度、標高、走行距離及び走行時間（ラップタイム）の一部又は全部を含んでもよい。また、生成部280は、通信部40を介して、使用者の走行中に、走行中出力情報を報知装置3に送信し、使用者の走行終了時に、走行結果情報を報知装置3に送信する。

40

【0127】

1 - 3 - 5 . 入力情報

以下に、入力情報の各項目の詳細について説明する。

【0128】

[進行方向加速度、上下方向加速度、左右方向加速度]

50

「進行方向」とは使用者の進行方向 (m フレームの x 軸方向) であり、「上下方向」とは鉛直方向 (m フレームの z 軸方向) であり、「左右方向」とは進行方向と上下方向にともに直交する方向 (m フレームの y 軸方向) である。進行方向加速度、上下方向加速度及び左右方向加速度は、それぞれ、m フレームの x 軸方向の加速度、z 軸方向の加速度及び y 軸方向の加速度であり、座標変換部 250 により算出される。

【0129】

[進行方向速度、上下方向速度、左右方向速度]

進行方向速度、上下方向速度及び左右方向速度は、それぞれ、m フレームの x 軸方向の速度、z 軸方向の速度及び y 軸方向の速度であり、座標変換部 250 により算出される。あるいは、進行方向加速度、上下方向加速度及び左右方向加速度をそれぞれ積分することにより、進行方向速度、上下方向速度及び左右方向速度をそれぞれ算出することもできる。

10

【0130】

[角速度 (ロール方向、ピッチ方向、ヨー方向)]

ロール方向の角速度、ピッチ方向の角速度及びヨー方向の角速度は、それぞれ、m フレームの x 軸回りの角速度、y 軸回りの角速度及び z 軸回りの角速度であり、座標変換部 250 により算出される。

【0131】

[姿勢角 (ロール角、ピッチ角、ヨー角)]

ロール角、ピッチ角及びヨー角は、それぞれ、座標変換部 250 が出力する m フレームの x 軸回りの姿勢角、y 軸回りの姿勢角及び z 軸回りの姿勢角であり、座標変換部 250 により算出される。あるいは、ロール方向の角速度、ピッチ方向の角速度及びヨー方向の角速度を積分 (回転演算) することにより、ロール角、ピッチ角及びヨー角を算出することもできる。

20

【0132】

[進行方向距離、上下方向距離、左右方向距離]

進行方向距離、上下方向距離及び左右方向距離は、それぞれ、所望の位置 (例えば、使用者の走行開始直前の位置) からの、m フレームの x 軸方向の移動距離、z 軸方向の移動距離及び y 軸方向の移動距離であり、座標変換部 250 により算出される。

30

【0133】

[走行ピッチ]

走行ピッチは、1 分間あたりの歩数として定義される運動指標であり、ピッチ算出部 246 により算出される。あるいは、1 分間の進行方向距離をストライドで除算することにより、走行ピッチを算出することもできる。

【0134】

[ストライド]

ストライドは、1 歩の歩幅として定義される運動指標であり、歩幅算出部 244 により算出される。あるいは、1 分間の進行方向距離を走行ピッチで除算することにより、ストライドを算出することもできる。

40

【0135】

[接地時間]

接地時間は、着地から離地 (蹴り出し) までにかかった時間として定義される運動指標であり、接地時間・衝撃時間算出部 262 により算出される。離地 (蹴り出し) とは、つま先が地面から離れる時である。なお、接地時間は、走行スピードと相関が高いため、第 1 解析情報のランニング能力として使用することもできる。

【0136】

[衝撃時間]

衝撃時間は、着地により発生する衝撃が体にかかっている時間として定義される運動指標であり、接地時間・衝撃時間算出部 262 により算出される。衝撃時間 = (1 歩中の進行方向加速度が最小となる時刻 - 着地の時刻) で計算できる。

50

【0137】

[体重]

体重は、使用者の体重であり、走行前に使用者が操作部150（図18参照）を操作することによりその数値が入力される。

【0138】

1-3-6. 第1解析情報

以下に、第1解析情報生成部274により算出される第1解析情報の各項目の詳細について説明する。

【0139】

[着地時ブレーキ量1]

着地時ブレーキ量1は、着地により低下した速度量として定義される運動指標であり、着地時ブレーキ量1 = (着地前の進行方向速度 - 着地後の進行方向最低速度)で計算できる。着地により進行方向の速度は低下し、1歩の中で着地後の進行方向速度の最下点が進行方向最低速度である。

10

【0140】

[着地時ブレーキ量2]

着地時ブレーキ量2は、着地により発生した進行方向マイナスの最低加速度量として定義される運動指標であり、1歩における着地後の進行方向最低加速度と一致する。1歩の中で着地後の進行方向加速度の最下点が進行方向最低加速度である。

【0141】

[真下着地率1]

真下着地率1は、体の真下で着地できているかを表現する運動指標である。体の真下で着地できるようになると、着地時のブレーキ量が少くなり効率的な走りができるようになる。通常ブレーキ量は速度に応じて大きくなるため、ブレーキ量だけでは指標として不十分であるが、真下着地率1は率で表せる指標であるため、真下着地率1によれば速度が変わっても同じ評価ができる。着地時の進行方向加速度（マイナスの加速度）と上下方向加速度を用いて、 $\theta = \arctan \left(\frac{\text{進行方向加速度}}{\text{上下方向加速度}} \right)$ とすると、 $\text{真下着地率1} = \cos \theta \times 100\% = \cos \arctan \left(\frac{\text{進行方向加速度}}{\text{上下方向加速度}} \right) \times 100\%$ で計算できる。あるいは、走行の速い複数人のデータを用いて理想的な角度 θ を算出し、 $\text{真下着地率1} = \{ 1 - | \theta - 90^\circ | \} \times 100\%$ で計算することもできる。

20

【0142】

[真下着地率2]

真下着地率2は、体の真下で着地できているかを着地時の速度低下度合で表現する運動指標であり、 $\text{真下着地率2} = \left(\frac{\text{着地後の進行方向最低速度}}{\text{着地直前の進行方向速度}} \right) \times 100\%$ で計算される。

【0143】

[真下着地率3]

真下着地率3は、体の真下で着地できているかを着地から体の真下に足が来るまでの距離又は時間で表現する運動指標である。真下着地率3 = (体の真下に足が来る時の進行方向距離 - 着地時の進行方向距離) / (着地時の進行方向距離)、あるいは、真下着地率3 = (体の真下に足が来る時の時間 - 着地時の時間) / (着地時の時間)で計算できる。着地（上下方向加速度が正值から負値に変化する点）の後、上下方向加速度が負の方向にピークとなるタイミングがあり、このタイミングを体の真下に足が来るタイミング（時間）と判定することができる。

30

【0144】

なお、これ以外にも、 $\text{真下着地率3} = \arctan \left(\frac{\text{着地から体の真下に足が来るまでの距離}}{\text{腰の高さ}} \right) \times 100\%$ と定義してもよい。あるいは、 $\text{真下着地率3} = \left(1 - \frac{\text{着地から体の真下に足が来るまでの距離}}{\text{着地から蹴り上げまでに移動した距離}} \right) \times 100\%$ （足が接地している間に移動した距離の中で着地から体の真下に足が来るまでの距離が占める割合）として定義してもよい。あるいは、 $\text{真下着地率3} = \left(1 - \frac{\text{着地から体の真下に足が来るまでの時間}}{\text{着地から蹴り上げまでに移動した時間}} \right) \times 100\%$ （足が接地してい

40

50

る間に移動した時間の中で着地から体の真下に足が来るまでの時間が占める割合)と定義してもよい。

【0145】

[推進力1]

推進力1は、地面を蹴ることにより進行方向へ増加した速度量として定義される運動指標であり、 $推進力1 = (蹴り出し後の進行方向最高速度 - 蹴り出し前の進行方向最低速度)$ で計算できる。

【0146】

[推進力2]

推進力2は、蹴り出しにより発生した進行方向プラスの最大加速度として定義される運動指標であり、1歩における蹴り出し後の進行方向最大加速度と一致する。

【0147】

[推進効率1]

推進効率1は、蹴り出しの力が効率よく推進力になっているかを表す運動指標である。無駄な上下動、無駄な左右動がなくなると効率のよい走りができるようになる。通常上下動、左右動は速度に応じて大きくなるため、上下動、左右動だけでは運動指標として不十分であるが、推進効率1は率で表せる運動指標であるため、推進効率1によれば速度が変わっても同じ評価ができる。推進効率1は、上下方向と左右方向についてそれぞれ計算される。蹴り出し時の上下方向加速度と進行方向加速度を用いて、 $\theta = \arctan(\text{蹴り出し時の上下方向加速度} / \text{蹴り出し時の進行方向加速度})$ とすると、上下方向の推進効率1 = $\cos \theta \times 100\% (%)$ で計算できる。あるいは、走行の速い複数人のデータを用いて理想的な角度 θ' を算出し、上下方向の推進効率1 = $\{1 - |(\theta' - \theta)|\} \times 100\% (%)$ で計算することもできる。同様に、蹴り出し時の左右方向加速度と進行方向加速度を用いて、 $\theta = \arctan(\text{蹴り出し時の左右方向加速度} / \text{蹴り出し時の進行方向加速度})$ とすると、左右方向の推進効率1 = $\cos \theta \times 100\% (%)$ で計算できる。あるいは、走行の速い複数人のデータを用いて理想的な角度 θ' を算出し、左右方向の推進効率1 = $\{1 - |(\theta' - \theta)|\} \times 100\% (%)$ で計算することもできる。

【0148】

なお、これ以外にも、 θ を $\arctan(\text{蹴り出し時の上下方向の速度} / \text{蹴り出し時の進行方向の速度})$ に置き換えて上下方向の推進効率1を算出することもできる。同様に、

θ' を $\arctan(\text{蹴り出し時の左右方向の速度} / \text{蹴り出し時の進行方向の速度})$ に置き換えて左右方向の推進効率1を算出することもできる。

【0149】

[推進効率2]

推進効率2は、蹴り出しの力が効率よく推進力になっているかを踏込時の加速度の角度を用いて表す運動指標である。上下方向の推進効率2は、踏込時の上下方向加速度と進行方向加速度を用いて、 $\theta = \arctan(\text{踏込時の上下方向加速度} / \text{踏込時の進行方向加速度})$ とすると、上下方向の推進効率2 = $\cos \theta \times 100\% (%)$ で計算できる。あるいは、走行の速い複数人のデータを用いて理想的な角度 θ' を算出し、上下方向の推進効率2 = $\{1 - |(\theta' - \theta)|\} \times 100\% (%)$ で計算することもできる。同様に、踏込時の左右方向加速度と進行方向加速度を用いて、 $\theta = \arctan(\text{踏込時の左右方向加速度} / \text{踏込時の進行方向加速度})$ とすると、左右方向の推進効率2 = $\cos \theta \times 100\% (%)$ で計算できる。あるいは、走行の速い複数人のデータを用いて理想的な角度 θ' を算出し、左右方向の推進効率2 = $\{1 - |(\theta' - \theta)|\} \times 100\% (%)$ で計算することもできる。

【0150】

なお、これ以外にも、 θ を $\arctan(\text{踏込時の上下方向の速度} / \text{踏込時の進行方向の速度})$ に置き換えて上下方向の推進効率2を算出することもできる。同様に、 θ' を $\arctan(\text{踏込時の左右方向の速度} / \text{踏込時の進行方向の速度})$ に置き換えて左右方向の

10

20

30

40

50

推進効率 2 を算出することもできる。

【 0 1 5 1 】

[推進効率 3]

推進効率 3 は、蹴り出しの力が効率よく推進力になっているかを飛び出しの角度を用いて表す運動指標である。1歩における上下方向の最高到達点（上下方向距離の振幅の1/2）をH、蹴り出しから着地までの進行方向距離をXとすると、推進効率 3 は、式（6）で計算できる。

【 0 1 5 2 】

【 数 6 】

$$\text{推進効率 3} = \arcsin \left(\sqrt{\frac{16H^2}{X^2 + 16H^2}} \right) \quad (6)$$

10

【 0 1 5 3 】

[推進効率 4]

推進効率 4 は、蹴り出しの力が効率よく推進力になっているかを、1歩の中で発生した全エネルギーに対する進行方向に進むために使われたエネルギーの比率で表す運動指標であり、 $\text{推進効率 4} = (\text{進行方向に進むために使用したエネルギー} / \text{1歩に使用したエネルギー}) \times 100\% (\%)$ で計算される。このエネルギーは、位置エネルギーと運動エネルギーの和である。

20

【 0 1 5 4 】

[運動エネルギー]

運動エネルギーは、1歩進むのに消費するエネルギー量として定義される運動指標であり、1歩進むのに消費するエネルギー量を走行期間積算したものも表す。運動エネルギー = (上下方向のエネルギー消費量 + 進行方向のエネルギー消費量 + 左右方向のエネルギー消費量) で計算される。ここで、上下方向のエネルギー消費量 = (体重 × 重力 × 上下方向距離) で計算される。また、進行方向のエネルギー消費量 = [体重 × { (蹴り出し後の進行方向最高速度)² - (着地後の進行方向最低速度)² } / 2] で計算される。また、左右方向のエネルギー消費量 = [体重 × { (蹴り出し後の左右方向最高速度)² - (着地後の左右方向最低速度)² } / 2] で計算される。

30

【 0 1 5 5 】

[着地衝撃]

着地衝撃は、着地によりどれくらいの衝撃が体にかかっているかを表す運動指標であり、着地衝撃 = (上下方向の衝撃力 + 進行方向の衝撃力 + 左右方向の衝撃力) で計算される。ここで、上下方向の衝撃力 = (体重 × 着地時の上下方向速度 / 衝撃時間) で計算される。また、進行方向の衝撃力 = { 体重 × (着地前の進行方向速度 - 着地後の進行方向最低速度) / 衝撃時間 } で計算される。また、左右方向の衝撃力 = { 体重 × (着地前の左右方向速度 - 着地後の左右方向最低速度) / 衝撃時間 } で計算される。

40

【 0 1 5 6 】

[ランニング能力]

ランニング能力は、使用者のランニングの力を表す運動指標である。例えば、ストライドと接地時間との比と、ランニングの記録（タイム）との間には相関関係があることが知られており（「100m走レース中の接地時間、離地時間について」、Journal of Research and Development for Future Athletics.3(1):1-4, 2004.）、ランニング能力 = (ストライド / 接地時間) で計算される。

【 0 1 5 7 】

[前傾角]

前傾角は、使用者の胴体が地面に対してどの程度傾いているかを表す運動指標である。

50

使用者が地面に対して垂直に立っている状態の時の前傾角を 0 度とし、前かがみの時の前傾角は正の値であり、のけぞっている場合の前傾角は負の値である。前傾角は、m フレームのピッチ角を上記の様な仕様となるように変換することで得られる。運動解析装置 2 (慣性計測ユニット 10) を使用者に装着した時に、既に傾きがある可能性があるので、静止時を左の図の 0 度と仮定し、そこからの変化量で前傾角を計算してもよい。

【 0158 】

[タイミング一致度]

タイミング一致度は、使用者の特徴点のタイミングが良いタイミングにどれだけ近いかを表す運動指標である。例えば、腰回転のタイミングが蹴り出しのタイミングにどれだけ近いかを表す運動指標が考えられる。脚が流れている走り方では、片脚を着いた時に逆脚はまだ身体の後ろに残っているので、蹴り出し後に腰の回転タイミングが来る場合は脚が流れている走り方と判断できる。腰の回転タイミングが蹴り出しのタイミングとほぼ一致していれば良い走り方と言える。一方、腰の回転タイミングが蹴り出しのタイミングよりも遅れている場合は、脚が流れている走り方と言える。

10

【 0159 】

[脚の流れ]

脚の流れは、蹴りだした脚が次に着地した時点でその脚がどの程度後方にあるかを表す運動指標である。脚の流れは、例えば、着地時の後ろ脚の大腿骨の角度として計算される。例えば、脚の流れと相関のある指標を計算し、この指標から着地時の後ろ脚の大腿骨の角度を、予め求められた相関式を用いて推定することができる。

20

【 0160 】

脚の流れと相関のある指標は、例えば、(腰がヨー方向に最大限に回った時の時間 - 着地時の時間) で計算される。「腰がヨー方向に最大限に回った時」とは、次の 1 歩の動作の開始時である。着地から次の動作までの時間が長い場合、脚を引き戻すのに時間がかかっていると言え、脚が流れている現象が発生している。

30

【 0161 】

あるいは、脚の流れと相関のある指標は、(腰がヨー方向に最大限に回った時のヨー角 - 着地時のヨー角) で計算される。着地から次の動作までにヨー角の変化が大きい場合、着地後に脚を引き戻す動作があり、それがヨー角の変化に現れる。そのため、脚が流れている現象が発生している。

30

【 0162 】

あるいは、着地時のピッチ角を脚の流れと相関のある指標としてもよい。脚が後方に高くある場合、体(腰)が前傾する。そのため、腰につけたセンサーのピッチ角が大きくなる。着地時にピッチ角が大きい時は脚が流れている現象が発生している。

【 0163 】

1 - 3 - 7 . 第 2 解析情報

以下に、第 2 解析情報生成部 276 により算出される第 2 解析情報の各項目の詳細について説明する。

30

【 0164 】

[エネルギー損失]

エネルギー損失は、1 歩進むのに消費するエネルギー量の中で無駄に使われたエネルギー量を表す運動指標であり、1 歩進むのに消費するエネルギー量の中で無駄に使われたエネルギー量を走行期間積算したものも表す。エネルギー損失 = { 運動エネルギー × (100 - 真下着地率) × (100 - 推進効率) } で計算される。ここで、真下着地率は真下着地率 1 ~ 3 のいずれかであり、推進効率は推進効率 1 ~ 4 のいずれかである。

40

【 0165 】

[エネルギー効率]

エネルギー効率は、1 歩進むのに消費したエネルギーが進行方向へ進むエネルギーに効率よく使われているかを表す運動指標であり、それを走行期間積算したものも表す。エネルギー効率 = { (運動エネルギー - エネルギー損失) / 運動エネルギー } で計算される。

50

【0166】

[体への負担]

体への負担は、着地衝撃を累積し、体にどれくらいの衝撃がたまっているかを表す運動指標である。怪我は衝撃の蓄積により起こるので、体への負担を評価することにより、怪我のしやすさも判断できる。体への負担 = (右脚の負担 + 左脚の負担)で計算される。右脚の負担は、右脚の着地衝撃を積算することで計算できる。左脚の負担は、左脚の着地衝撃を積算することで計算できる。ここで、積算は走行中の積算と過去からの積算の両を行う。

【0167】

1 - 3 - 8 . 左右差率(左右バランス)

10

左右差率は、走行ピッチ、ストライド、接地時間、衝撃時間、第1解析情報の各項目及び第2解析情報の各項目について、体の左右でどれくらい差がみられるかを表す運動指標であり、左脚が右脚に対してどれくらい違うかを表すものとする。左右差率 = (左脚の数値 / 右脚の数値 × 100) (%)で計算され、数値は、走行ピッチ、ストライド、接地時間、衝撃時間、ブレーキ量、推進力、真下着地率、推進効率、速度、加速度、移動距離、前傾角、脚の流れ、腰の回転角、腰の回転角速度、左右への傾き量、衝撃時間、ランニング能力、運動エネルギー、エネルギー損失、エネルギー効率、着地衝撃、体への負担の各数値である。また、左右差率は、各数値の平均値や分散も含む。

【0168】

1 - 3 - 9 . 運動能力情報

20

同一の運動に対して、同程度の運動エネルギーを発揮することは、同程度の身体能力を有していると推定できる。また、同一の運動に対して、同程度の運動エネルギーを発揮したとしても、運動能力の違いによって走行距離及び走行時間には違いが現れると考えられる。したがって、運動能力情報として、例えば、運動エネルギーと走行距離及び走行時間との対応関係の統計データに基づいて、今回測定された運動エネルギーに対する走行距離及び走行時間を偏差値として出力してもよいし、平均値との差分を出力してもよい。

【0169】

1 - 3 - 10 . 処理の手順

図14は、処理部20が行う運動解析処理の手順の一例を示すフローチャート図である。処理部20は、記憶部30に記憶されている運動解析プログラム300を実行することにより、例えば図14のフローチャートの手順で運動解析処理を実行する。

30

【0170】

図14に示すように、処理部20は、計測開始のコマンドを受信するまで待機し(S10のN)、計測開始のコマンドを受信した場合(S10のY)、まず、使用者が静止しているものとして、慣性計測ユニット10が計測したセンシングデータ、及び、GPSデータを用いて、初期姿勢、初期位置、初期バイアスを計算する(S20)。

【0171】

次に、処理部20は、慣性計測ユニット10からセンシングデータを取得し、取得したセンシングデータをセンシングデータテーブル310に付加する(S30)。

40

【0172】

次に、処理部20は、慣性航法演算処理を行い、各種の情報を含む演算データを生成する(S40)。この慣性航法演算処理の手順の一例は後述する。

【0173】

次に、処理部20は、S40で生成した演算データを用いて運動解析情報生成処理を行って運動解析情報を生成する(S50)。この運動解析情報生成処理の手順の一例は後述する。

【0174】

次に、処理部20は、S40で生成した運動解析情報を用いて走行中出力情報を生成して報知装置3に送信する(S60)。

【0175】

50

そして、処理部20は、計測終了のコマンドを受信するまで(S70のN及びS80のN)、前回センシングデータを取得してからサンプリング周期tが経過する毎に(S70のY)、S30以降の処理を繰り返す。

【0176】

処理部20は、計測終了のコマンドを受信すると(S80のY)、S50で生成した運動解析情報を用いて走行結果情報を生成して報知装置3に送信し(S90)、運動解析処理を終了する。

【0177】

図15は、慣性航法演算処理(図14のS40の処理)の手順の一例を示すフローチャート図である。処理部20(慣性航法演算部22)は、記憶部30に記憶されている慣性航法演算プログラム302を実行することにより、例えば図15のフローチャートの手順で慣性航法演算処理を実行する。

10

【0178】

図15に示すように、まず、処理部20は、図14のS20で算出した初期バイアスを用いて(後述のS150で加速度バイアス b_a 及び角速度バイアス b_ω を推定した後は、加速度バイアス b_a 及び角速度バイアス b_ω を用いて)、図14のS30で取得したセンシングデータに含まれる加速度と角速度からバイアスを除去して補正し、補正した加速度と角速度によりセンシングデータテーブル310を更新する(S100)。

20

【0179】

次に、処理部20は、S100で補正したセンシングデータを積分して速度、位置及び姿勢角を計算し、計算した速度、位置及び姿勢角を含む算出データを算出データテーブル340に付加する(S110)。

20

【0180】

次に、処理部20は、走行検出処理を行う(S120)。この走行検出処理の手順の一例は後述する。

【0181】

次に、処理部20は、走行検出処理(S120)により走行周期を検出した場合(S130のY)、走行ピッチ及びストライドを計算する(S140)。また、処理部20は、走行周期を検出しなかった場合は(S130のN)、S140の処理を行わない。

30

【0182】

次に、処理部20は、誤差推定処理を行い、速度誤差 v^e 、姿勢角誤差 θ^e 、加速度バイアス b_a 、角速度バイアス b_ω 及び位置誤差 p^e を推定する(S150)。

【0183】

次に、処理部20は、S150で推定した速度誤差 v^e 、姿勢角誤差 θ^e 及び位置誤差 p^e を用いて、速度、位置及び姿勢角をそれぞれ補正し、補正した速度、位置及び姿勢角により算出データテーブル340を更新する(S160)。また、処理部20は、S160で補正した速度を積分し、eフレームの距離を計算する(S170)。

30

【0184】

次に、処理部20は、センシングデータテーブル310に記憶されているセンシングデータ(bフレームの加速度及び角速度)、算出データテーブル340に記憶されている算出データ(eフレームの速度、位置及び姿勢角)及びS170で算出したeフレームの距離を、それぞれ、mフレームの加速度、角速度、速度、位置、姿勢角及び距離に座標変換する(S180)。

40

【0185】

そして、処理部20は、S180で座標変換した後のmフレームの加速度、角速度、速度、位置、姿勢角及び距離、S140で算出したストライド及び走行ピッチを含む演算データを生成する(S190)。処理部20は、図14のS30でセンシングデータを取得する毎に、この慣性航法演算処理(S100～S190の処理)を行う。

【0186】

図16は、走行検出処理(図15のS120の処理)の手順の一例を示すフローチャー

50

ト図である。処理部 20（走行検出部 242）は、例えば図 16 のフローチャートの手順で走行検出処理を実行する。

【0187】

図 16 に示すように、処理部 20 は、図 15 の S100 で補正した加速度に含まれる z 軸加速度をローパスフィルター処理し (S200)、ノイズを除去する。

【0188】

次に、処理部 20 は、S200 でローパスフィルター処理した z 軸加速度が閾値以上かつ極大値の場合 (S210 の Y)、このタイミングで走行周期を検出する (S220)。

【0189】

次に、処理部 20 は、S220 で検出した走行周期が左右いずれの走行周期かを判定して左右足フラグを設定し (S230)、走行検出処理を終了する。処理部 20 は、z 軸加速度が閾値未満か極大値でなければ (S210 の N)、S220 以降の処理を行わずに走行検出処理を終了する。

【0190】

図 17 は、運動解析情報生成処理 (図 14 の S50 の処理) の手順の一例を示すフローチャート図である。処理部 20 (運動解析部 24) は、記憶部 30 に記憶されている運動解析情報生成プログラム 304 を実行することにより、例えば図 17 のフローチャートの手順で運動解析情報生成処理を実行する。

【0191】

すなわち、運動解析情報生成プログラム 304 (運動解析プログラム) は、使用者に装着される慣性センサー (慣性計測ユニット 10) の出力に基づいて、使用者の運動エネルギーを算出する算出部 291 と、運動エネルギーと走行距離及び走行時間とにに基づいて、使用者の運動能力に関する情報である運動能力情報を生成する生成部 280 と、として処理部 20 (コンピューター) を機能させるプログラムである。

【0192】

また、運動解析情報生成プログラム 304 (運動解析プログラム) は、使用者に装着される慣性センサー (慣性計測ユニット 10) の出力に基づいて、使用者の運動エネルギーを算出する算出部 291 と、運動エネルギーと走行距離及び走行時間とにに基づいて、使用者の身体能力に関する情報である身体能力情報を生成する生成部 280 と、として処理部 20 (コンピューター) を機能させるプログラムである。

【0193】

また、運動解析情報生成プログラム 304 (運動解析プログラム) は、使用者に装着される慣性センサー (慣性計測ユニット 10) の出力に基づいて、使用者の運動エネルギーを算出する算出部 291 と、運動エネルギーと走行距離及び走行時間とにに基づいて、使用者の運動能力に関する情報である運動能力情報、及び、使用者の身体能力に関する情報である身体能力情報を生成する生成部 280 と、として処理部 20 (コンピューター) を機能させるプログラムである。

【0194】

図 17 に示される運動解析方法は、使用者に装着される慣性センサー (慣性計測ユニット 10) の出力に基づいて、使用者の運動エネルギーを算出する算出工程 (S350) と、運動エネルギーと走行距離及び走行時間とにに基づいて、使用者の運動能力に関する情報である運動能力情報を生成する生成工程 (S390) と、を含む。

【0195】

また、図 17 に示される運動解析方法は、使用者に装着される慣性センサー (慣性計測ユニット 10) の出力に基づいて、使用者の運動エネルギーを算出する算出工程 (S350) と、運動エネルギーと走行距離及び走行時間とにに基づいて、使用者の身体能力に関する情報である身体能力情報を生成する生成工程 (S390) と、を含む。

【0196】

また、図 17 に示される運動解析方法は、使用者に装着される慣性センサー (慣性計測ユニット 10) の出力に基づいて、使用者の運動エネルギーを算出する算出工程 (S350) と、

10

20

30

40

50

0)と、運動エネルギーと走行距離及び走行時間とに基づいて、使用者の運動能力に関する情報である運動能力情報、及び、使用者の身体能力に関する情報である身体能力情報を生成する生成工程(S390)と、を含む。

【0197】

図17に示すように、まず、処理部20は、図14のS40の慣性航法演算処理で生成した演算データを用いて、基本情報の各項目を算出する(S300)。

【0198】

次に、処理部20は、演算データを用いて、使用者の走行運動における特徴点(着地、踏込、離地等)の検出処理を行う(S310)。

【0199】

処理部20は、S310の処理で特徴点を検出した場合(S320のY)、特徴点を検出したタイミングに基づき、接地時間及び衝撃時間を算出する(S330)。また、処理部20は、演算データの一部及びS330で生成した接地時間及び衝撃時間を入力情報として、特徴点を検出したタイミングに基づき、第1解析情報の一部の項目(算出に特徴点の情報が必要な項目)を算出する(S340)。処理部20は、S310の処理で特徴点を検出しなかった場合は(S320のN)、S330及びS340の処理を行わない。

【0200】

次に、処理部20は、入力情報を用いて、第1解析情報の他の項目(算出に特徴点の情報が不要な項目)を算出する(S350)。S350において、使用者の運動エネルギーが算出される。

【0201】

次に、処理部20は、第1解析情報を用いて、第2解析情報の各項目を算出する(S360)。

【0202】

次に、処理部20は、入力情報の各項目、第1解析情報の各項目及び第2解析情報の各項目に対して左右差率を算出する(S370)。

【0203】

次に、処理部20は、S300～S370で算出した各情報に現在の計測時刻を付加して記憶部30に記憶する(S380)。

【0204】

次に処理部20は、運動能力情報及び身体能力情報を生成(S390)し、運動解析情報生成処理を終了する。

【0205】

1-4. 報知装置

1-4-1. 報知装置の構成

図18は、報知装置3の構成例を示す機能ブロック図である。図18に示すように、出力部110、報知装置3は、出力部110、処理部120、記憶部130、通信部140、操作部150及び計時部160を含んで構成されている。ただし、本実施形態の報知装置3は、これらの構成要素の一部を削除又は変更し、あるいは、他の構成要素を追加した構成であってもよい。

【0206】

記憶部130は、例えば、ROMやフラッシュROM、ハードディスクやメモリーカード等のプログラムやデータを記憶する記録媒体や、処理部120の作業領域となるRAM等により構成される。

【0207】

通信部140は、運動解析装置2の通信部40(図3参照)や情報分析装置4の通信部440(図21参照)との間でデータ通信を行うものであり、処理部120から操作データに応じたコマンド(計測開始/計測終了のコマンド等)を受け取って運動解析装置2の通信部40に送信する処理、運動解析装置2の通信部40から送信された走行中出力情報や走行結果情報を受信して処理部120に送る処理、情報分析装置4の通信部440から

10

20

30

40

50

送信された各運動指標の目標値の情報を受信して処理部120に送る処理等を行う。

【0208】

操作部150は、使用者からの操作データ（計測開始／計測終了の操作データ、表示内容の選択等の操作データ等）を取得し、処理部120に送る処理を行う。操作部150は、例えば、タッチパネル型ディスプレイ、ボタン、キー、マイクなどであってもよい。

【0209】

計時部160は、年、月、日、時、分、秒等の時刻情報を生成する処理を行う。計時部160は、例えば、リアルタイムクロック（RTC：Real Time Clock）ICなどで実現される。

【0210】

出力部110は、使用者の運動能力情報を出力する。また、出力部110は、使用者の身体能力情報を出力する。出力部110は、使用者の運動能力情報と、他の使用者の運動能力情報を対比して出力してもよい。出力部110は、使用者の身体能力情報を出力する。出力部110は、使用者の身体能力情報を対比して出力してもよい。運動能力情報及び身体能力情報の出力の具体例については後述される。また、出力部110は、後述される評価結果を出力してもよい。図18に示される例では、出力部110は、表示部170、音出力部180及び振動部190を含んで構成されている。

10

【0211】

表示部170は、処理部120から送られてきた画像データやテキストデータを、文字、グラフ、表、アニメーション、その他の画像として表示するものである。表示部170は、例えば、LCD（Liquid Crystal Display）、有機EL（Electroluminescence）ディスプレイ、EPD（Electrophoretic Display）等のディスプレイで実現され、タッチパネル型ディスプレイであってもよい。なお、1つのタッチパネル型ディスプレイで操作部150と表示部170の機能を実現するようにしてもよい。

20

【0212】

音出力部180は、処理部120から送られてきた音データを、音声やブザー音等の音として出力するものである。音出力部180は、例えば、スピーカーやブザーなどで実現される。

【0213】

振動部190は、処理部120から送られてきた振動データに応じて振動する。この振動が報知装置3に伝わり、報知装置3を装着した使用者が振動を感じることができる。振動部190は、例えば、振動モーターなどで実現される。

30

【0214】

処理部120は、例えば、CPU、DSP、ASIC等により構成され、記憶部130（記録媒体）に記憶されているプログラムを実行することにより、各種の演算処理や制御処理を行う。例えば、処理部120は、操作部150から受け取った操作データに応じた各種処理（計測開始／計測終了のコマンドを通信部140に送る処理や操作データに応じた表示処理や音出力処理等）、通信部140から走行中出力情報を受け取り、運動解析情報に応じたテキストデータや画像データを生成して表示部170に送る処理、運動解析情報に応じた音データを生成して音出力部180に送る処理、運動解析情報に応じた振動データを生成して振動部190に送る処理を行う。また、処理部120は、計時部160から受け取った時刻情報を応じた時刻画像データを生成して表示部170に送る処理等を行う。

40

【0215】

処理部120は、例えば、基準値よりも悪い運動指標があれば音や振動により報知するとともに、基準値よりも悪い運動指標の値を表示部170に表示させる。処理部120は、基準値よりも悪い運動指標の種類に応じて異なる種類の音や振動を発生させてもよいし、運動指標毎に基準値よりも悪い程度によって音や振動の種類を変えてよい。基準値よりも悪い運動指標が複数存在する場合、処理部120は、最も悪い運動指標に応じた種類の音や振動を発生させるとともに、例えば、図19（A）に示すように、基準値よりも悪

50

いすべての運動指標の値と基準値の情報を表示部 170 に表示させてもよい。

【0216】

基準値と比較する運動指標は、走行中出力情報に含まれるすべての運動指標であってもよいし、予め決められた特定の運動指標のみであってもよいし、使用者が操作部 150 等を操作して選択可能にしてもよい。

【0217】

使用者は、表示部 170 に表示される情報を見なくても、音や振動の種類から、どの運動指標が最も悪く、どの程度悪いのかを把握しながら走行を継続することができる。さらに、使用者は、表示部 170 に表示される情報を見れば、基準値よりも悪いすべての運動指標の値と当該基準値との差を正確に認識することもできる。

10

【0218】

また、音や振動を発生させる対象の運動指標は、使用者が操作部 150 等を操作して、基準値と比較する運動指標の中から選択可能にしてもよい。この場合も、例えば、基準値よりも悪いすべての運動指標の値と基準値の情報を表示部 170 に表示させてもよい。

【0219】

また、使用者が操作部 150 を介して報知周期の設定（例えば、1 分毎に 5 秒間音や振動を発生させる等の設定）を行い、処理部 120 が設定された報知周期に応じて使用者に報知してもよい。

【0220】

また、本実施形態では、処理部 120 は、通信部 140 を介して、運動解析装置 2 から送信された走行結果情報を取得し、表示部 170 に走行結果情報を表示する。例えば、図 19 (B) に示すように、処理部 120 は、走行結果情報に含まれる、使用者の走行中における各運動指標の平均値を表示部 170 に表示する。使用者は、走行終了後（計測終了操作を行った後）に、表示部 170 を見れば、各運動指標の良し悪しをすぐに認識することができる。

20

【0221】

1 - 4 - 2 . 処理の手順

図 20 は、処理部 120 が行う報知処理の手順の一例を示すフローチャート図である。処理部 120 は、記憶部 130 に記憶されているプログラムを実行することにより、例えば図 20 のフローチャートの手順で報知処理を実行する。

30

【0222】

図 20 に示すように、処理部 120 は、まず、処理部 120 は、操作部 150 から計測開始の操作データを取得するまで待機し (S410 の N) 、計測開始の操作データを取得した場合 (S410 の Y) 、通信部 140 を介して、計測開始のコマンドを運動解析装置 2 に送信する (S420) 。

【0223】

次に、処理部 120 は、操作部 150 から計測終了の操作データを取得するまでは (S470 の N) 、通信部 140 を介して、運動解析装置 2 から走行中出力情報を取得する毎に (S430 の Y) 、取得した走行中出力情報に含まれる各運動指標の値を S400 で取得した各基準値と比較する (S440) 。

40

【0224】

基準値よりも悪い運動指標が存在する場合 (S450 の Y) 、処理部 120 は、基準値よりも悪い運動指標の情報を生成し、音出力部 180 、振動部 190 及び表示部 170 を介して音、振動、文字等により使用者に報知する (S460) 。

【0225】

一方、基準値よりも悪い運動指標が存在しない場合 (S450 の N) 、処理部 120 は、S460 の処理を行わない。

【0226】

そして、処理部 120 は、操作部 150 から計測終了の操作データを取得すると (S470 の Y) 、通信部 140 を介して、運動解析装置 2 から走行結果情報を取得して表示部

50

170に表示させる(S480)。

【0227】

次に、処理部120は、運動能力情報及び評価結果(後述)の少なくとも一方を表示させて(S490)、報知処理を終了する。

【0228】

このように、使用者は、S450で報知される情報に基づき、走行状態を認識しながら走行することができる。また、使用者は、S480で表示される情報に基づき、走行終了後、直ちに走行結果、運動能力情報及び評価結果を認識することができる。

【0229】

1-5.情報分析装置

10

1-5-1.情報分析装置の構成

図21は、情報分析装置4の構成例を示す機能プロック図である。図21に示すように、情報分析装置4は、処理部420、記憶部430、通信部440、操作部450、通信部460、表示部470及び音出力部480を含んで構成されている。ただし、本実施形態の情報分析装置4は、これらの構成要素の一部を削除又は変更し、あるいは、他の構成要素を追加した構成であってもよい。

【0230】

通信部440は、運動解析装置2の通信部40(図3参照)や報知装置3の通信部140(図18参照)との間でデータ通信を行うものであり、操作データに応じて指定された運動解析情報(登録対象の走行データに含まれる運動解析情報)の送信を要求する送信要求コマンドを処理部420から受け取って運動解析装置2の通信部40に送信し、当該運動解析情報を運動解析装置2の通信部40から受信して処理部420に送る処理等を行う。

20

【0231】

通信部460は、サーバー5との間でデータ通信を行うものであり、処理部420から登録対象の走行データを受け取ってサーバー5に送信する処理(走行データの登録処理)、走行データの編集、削除、入れ替え等の操作データに応じた管理情報を処理部420から受け取ってサーバー5に送信する処理等を行う。

【0232】

操作部450は、使用者からの操作データ(走行データの登録、編集、削除、入れ替え等の操作データ等)を取得し、処理部420に送る処理を行う。操作部450は、例えば、タッチパネル型ディスプレイ、ボタン、キー、マイクなどであってもよい。

30

【0233】

表示部470は、処理部420から送られてきた画像データやテキストデータを、文字、グラフ、表、アニメーション、その他の画像として表示するものである。表示部470は、例えば、LCD、有機ELディスプレイ、EPD等のディスプレイで実現され、タッチパネル型ディスプレイであってもよい。なお、1つのタッチパネル型ディスプレイで操作部450と表示部470の機能を実現するようにしてもよい。

【0234】

音出力部480は、処理部420から送られてきた音データを、音声やブザー音等の音として出力するものである。音出力部480は、例えば、スピーカーやブザーなどで実現される。

40

【0235】

記憶部430は、例えば、ROMやフラッシュROM、ハードディスクやメモリーカード等のプログラムやデータを記憶する記録媒体や、処理部420の作業領域となるRAM等により構成される。記憶部430(いずれかの記録媒体)には、処理部420によって読み出され、評価処理(図22参照)を実行するための評価プログラム432が記憶されている。

【0236】

処理部420は、例えば、CPU、DSP、ASIC等により構成され、記憶部430

50

(記録媒体)に記憶されている各種プログラムを実行することにより、各種の演算処理や制御処理を行う。例えば、処理部420は、操作部450から受け取った操作データに応じて指定された運動解析情報の送信を要求する送信要求コマンドを、通信部440を介して運動解析装置2に送信し、通信部440を介して当該運動解析情報を運動解析装置2から受信する処理や、操作部450から受け取った操作データに応じて、運動解析装置2から受信した運動解析情報を含む走行データを生成し、通信部460を介してサーバー5に送信する処理を行う。また、処理部420は、操作部450から受け取った操作データに応じた管理情報を、通信部460を介してサーバー5に送信する処理を行う。また、処理部420は、操作部450から受け取った操作データに応じて選択された評価対象の走行データの送信要求を、通信部460を介してサーバー5に送信し、通信部460を介してサーバー5から当該評価対象の走行データを受信する処理を行う。また、処理部420は、操作部450から受け取った操作データに応じて選択された評価対象の走行データを評価して評価結果の情報である評価情報を生成し、テキストデータや画像データ、音データ等として表示部470や音出力部480に送る処理を行う。

10

【0237】

特に、本実施形態では、処理部420は、記憶部430に記憶されている評価プログラム432を実行することにより、情報取得部422及び評価部424として機能する。ただし、処理部420は、ネットワーク等を介して、任意の記憶装置(記録媒体)に記憶されている評価プログラム432を受信して実行してもよい。

20

【0238】

情報取得部422は、サーバー5のデータベースから(あるいは運動解析装置2から)、分析対象の使用者の運動の解析結果の情報である運動能力情報及び身体能力情報を取得する処理を行う。情報取得部422が取得した運動能力情報及び身体能力情報は記憶部430に記憶される。この運動能力情報及び身体能力情報は、同一の運動解析装置2が生成したものであってもよいし、複数の異なる運動解析装置2のいずれかが生成したものであってもよい。情報取得部422が取得する複数の運動能力情報及び身体能力情報は、使用者の各種の運動指標(例えば、上述した各種の運動指標)の値を含んでもよい。

30

【0239】

評価部424は、情報取得部422が取得した運動能力情報に基づいて、使用者の運動能力を評価する。また、評価部424は、情報取得部422が取得した身体能力情報に基づいて、使用者の身体能力を評価する。また、評価部424は、運動能力情報と身体能力情報とにに基づいて、使用者の運動能力を評価してもよい。また、評価部424は、運動能力情報と身体能力とにに基づいて、使用者の身体能力を評価してもよい。評価部424における評価の具体例については後述される。

【0240】

処理部420は、評価部424により生成した評価結果を用いて、テキスト、画像などの表示データや音声等の音データを生成し、表示部470や音出力部480に出力する。これにより、表示部470や音出力部480から評価対象の使用者の評価結果が提示される。

40

【0241】

1 - 5 - 2 . 処理の手順

図22は、処理部420が行う評価処理の手順の一例を示すフローチャート図である。処理部420は、記憶部430に記憶されている評価プログラム432を実行することにより、例えば図22のフローチャートの手順で分析処理を実行する。

【0242】

まず、処理部420は、運動能力情報及び身体能力情報を取得する(S500)。本実施形態においては、処理部420の情報取得部422が、通信部440を介して運動能力情報及び身体能力情報を取得する。

【0243】

次に、処理部420は、使用者の運動能力を評価する(S510)。本実施形態におい

50

ては、処理部420の情報取得部422が取得した運動能力情報及び身体能力情報に基づいて、処理部420の評価部424が運動能力及び身体能力を評価する。

【0244】

1-5-3. 評価処理の具体例

図23は、運動能力情報及び身体能力情報の一例を示すグラフである。図23の横軸は運動エネルギー、縦軸は運動結果（特定の走行距離における走行時間の評価）である。運動がランニング競技である場合には、タイムが短いほど運動結果は高いものとする。

【0245】

図23においては、予め複数の使用者についての運動能力情報及び身体能力情報を統計的に処理した統計情報が用意されており、発揮した運動エネルギーに対して運動結果が高い者を上級者として一点鎖線で表し、低い者を初心者として二点鎖線で表し、平均値を点線で表している。

10

【0246】

今回取得した使用者の運動能力情報は、運動エネルギーと特定の走行距離における走行時間とが一対の情報となっており、図23において使用者Aの運動能力情報が（黒丸）で表され、使用者Bの運動能力情報が（白丸）で表されている。また、今回取得した使用者の身体能力情報は、運動能力情報と同様に、運動エネルギーと特定の走行距離における走行時間とが一対の情報となっている。図23においては、使用者Aと使用者Bの走行距離及び走行時間（タイム）は同一である。

20

【0247】

評価部424は、上述の統計情報を基準として運動能力情報及び身体能力情報を評価する。図23に示される使用者Aの例では、発揮した運動エネルギーに対する運動結果が平均よりも低くなっている。したがって、身体能力よりも運動能力（スポーツが要求する運動課題に合致した運動を効率良く行う技術能力）を向上させることができ、競技能力の向上には有効であるものと評価する。一方、図23に示される使用者Bの例では、発揮した運動エネルギーに対する運動結果が平均よりも高くなっている。したがって、運動能力よりも身体能力を向上させることができ、競技能力の向上には有効であるものと評価する。評価部424は、評価結果を、出力部110を介して出力してもよい。

20

【0248】

使用者Aのように、身体能力よりも運動能力を向上させることができ望ましい場合には、評価部424は、図19（A）で示したような、改善すべき運動指標を出力してもよい。これによって、運動能力を向上させるための有益な情報を使用者に提供することができる。

30

【0249】

また、図23に示されるように、出力部110は、今回取得した運動能力情報や身体能力情報（例えば、使用者Aの運動能力情報や身体能力情報）と、他の使用者の運動能力情報や身体能力情報（例えば、使用者Bの運動能力情報や身体能力情報）とを対比して出力してもよい。

【0250】

1-6. 効果

本実施形態によれば、慣性計測ユニット10は、3軸の加速度センサー12と3軸の角速度センサー14により使用者の胴体の細かい動きも検出可能であるため、運動解析装置2は、使用者の走行中に、慣性計測ユニット10の検出結果を用いて、走行運動を精度よく解析することができる。

40

【0251】

本実施形態によれば、使用者が発揮した運動エネルギーと走行距離及び走行時間との関係に基づいて、使用者の運動能力や身体能力を把握するために有用な情報を得ることができる。例えば、成績向上のための要因が身体能力と運動能力のどちらが支配的であるかが客観的に把握できる。したがって、使用者の運動能力や身体能力を客観的に把握できる運動解析システム1を実現できる。

【0252】

50

また、本実施形態によれば、評価部424によって使用者の運動能力や身体能力を適切に評価できる運動解析システム1を実現できる。

【0253】

また、本実施形態によれば、出力部110が、今回取得した運動能力情報や身体能力情報（例えば、使用者Aの運動能力情報や身体能力情報）と、他の使用者の運動能力情報や身体能力情報（例えば、使用者Bの運動能力情報や身体能力情報）とを対比して出力することによって、使用者にとって理解しやすい出力を行うことができる運動解析システム1を実現できる。

【0254】

本実施形態によれば、取得部282を有することにより、使用者による入力操作を減らすことができる運動解析システム1を実現できる。

【0255】

2. 变形例

本発明は本実施形態に限定されず、本発明の要旨の範囲内で種々の変形実施が可能である。以下、変形例について説明する。なお、上記実施形態と同一の構成については同一の符号を付して再度の説明を省略する。

【0256】

2-1. センサー

上記の実施形態では、加速度センサー12と角速度センサー14が慣性計測ユニット10として一体化された運動解析装置2に内蔵されているが、加速度センサー12と角速度センサー14は一体化されていなくてもよい。あるいは、加速度センサー12と角速度センサー14とが運動解析装置2に内蔵されずに、使用者に直接装着されてもよい。いずれの場合でも、例えば、いずれか一方のセンサー座標系を上記の実施形態のbフレームとして、他方のセンサー座標系を当該bフレームに変換し、上記の実施形態を適用すればよい。

【0257】

また、上記の実施形態では、センサー（運動解析装置2（IMU10））の使用者への装着部位を腰として説明したが、腰以外の部位に装着することとしてもよい。好適な装着部位は使用者の体幹（四肢以外の部位）である。しかしながら、体幹に限らず、腕以外の例えば使用者の頭や足に装着することとしてもよい。また、センサーは1つに限らず、追加のセンサーを体の別の部位に装着することとしてもよい。例えば、腰と足、腰と腕にセンサーを装着してもよい。

【0258】

2-2. 慣性航法演算

上記の実施形態では、積分処理部220がeフレームの速度、位置、姿勢角及び距離を算出し、座標変換部250がこれをmフレームの速度、位置、姿勢角及び距離に座標変換しているが、積分処理部220がmフレームの速度、位置、姿勢角及び距離を算出してもよい。この場合、運動解析部24は、積分処理部220が算出したmフレームの速度、位置、姿勢角及び距離を用いて運動解析処理を行えばよいので、座標変換部250による速度、位置、姿勢角及び距離の座標変換が不要になる。また、誤差推定部230はmフレームの速度、位置及び姿勢角を用いて拡張カルマンフィルターによる誤差推定を行ってよい。

【0259】

また、上記の実施形態では、慣性航法演算部22は、GPS衛星からの信号を用いて慣性航法演算の一部を行っているが、GPS以外の全地球航法衛星システム（GNSS：Global Navigation Satellite System）の測位用衛星やGNSS以外の測位用衛星からの信号を用いてもよい。例えば、W A A S（Wide Area Augmentation System）、Q Z S S（Quasi Zenith Satellite System）、G L O N A S S（GLObal NAVigation Satellite System）、G A L I L E O、B e i D o u（BeiDou Navigation Satellite System）といった衛星測位システムのうち1つ、あるいは2つ以上を利用してもよい。また、屋内測位シス

10

20

30

40

50

テム(I M E S : Indoor Messaging System) 等を利用してよい。

【 0 2 6 0 】

また、上記の実施形態では、走行検出部 242 は、使用者の上下動の加速度(z 軸加速度)が閾値以上で極大値となるタイミングで走行周期を検出しているが、これに限らず、例えば、上下動の加速度(z 軸加速度)が正から負に変化するタイミング(又は負から正に変化するタイミング)で走行周期を検出してもよい。あるいは、走行検出部 242 は、上下動の加速度(z 軸加速度)を積分して上下動の速度(z 軸速度)を算出し、算出した上下動の速度(z 軸速度)を用いて走行周期を検出してもよい。この場合、走行検出部 242 は、例えば、当該速度が、極大値と極小値の中央値付近の閾値を値の増加によって、あるいは値の減少によってクロスするタイミングで走行周期を検出してもよい。また、例えば、走行検出部 242 は、 x 軸、 y 軸、 z 軸の合成加速度を算出し、算出した合成加速度を用いて走行周期を検出してもよい。この場合、走行検出部 242 は、例えば、当該合成加速度が、極大値と極小値の中央値付近の閾値を値の増加によって、あるいは値の減少によってクロスするタイミングで走行周期を検出してもよい。

10

【 0 2 6 1 】

また、上記の実施形態では、誤差推定部 230 は、速度、姿勢角、加速度、角速度及び位置を状態変数とし、拡張カルマンフィルターを用いてこれらの誤差を推定しているが、速度、姿勢角、加速度、角速度及び位置の一部を状態変数として、その誤差を推定してもよい。あるいは、誤差推定部 230 は、速度、姿勢角、加速度、角速度及び位置以外のもの(例えば、移動距離)を状態変数として、その誤差を推定してもよい。

20

【 0 2 6 2 】

また、上記の実施形態では、誤差推定部 230 による誤差の推定に拡張カルマンフィルターを用いているが、パーティクルフィルターや H (H インフィニティ) フィルター等の他の推定手段に代えてもよい。

【 0 2 6 3 】

2 - 3 . 運動解析処理

上記の実施形態では、運動解析装置 2 が運動解析情報(運動指標)の生成処理を行っているが、運動解析装置 2 は慣性計測ユニット 10 の計測データあるいは慣性航法演算の演算結果(演算データ)をサーバー 5 に送信し、サーバー 5 が当該計測データあるいは当該演算データを用いて、運動解析情報(運動指標)の生成処理を行い(運動解析装置として機能し)、データベースに記憶させてもよい。

30

【 0 2 6 4 】

また、例えば、運動解析装置 2 は、使用者の生体情報を用いて運動解析情報(運動指標)を生成してもよい。生体情報としては、例えば、皮膚温度、中心部温度、酸素消費量、拍動間変異、心拍数、脈拍数、呼吸数、皮膚温度、中心部体温、熱流、電気皮膚反応、筋電図(EMG)、脳電図(EEG)、眼電図(EOG)、血圧、酸素消費量、活動、拍動間変異、電気皮膚反応などが考えられる。運動解析装置 2 が生体情報を測定する装置を備えていてもよいし、測定装置が測定した生体情報を運動解析装置 2 が受信してもよい。例えば、使用者が腕時計型の脈拍計を装着し、あるいは、ハートレーセンサーをベルトで胸に巻き付けて走行し、運動解析装置 2 が、当該脈拍計あるいは当該ハートレーセンサーの計測値を用いて、使用者の走行中の心拍数を算出してもよい。

40

【 0 2 6 5 】

また、上記実施形態では、人の走行における運動解析を対象としているが、これに限らず、動物や歩行ロボット等の移動体の歩行や走行における運動解析にも同様に適用することができる。また、走行に限らず、登山、トレイルラン、スキー(クロスカントリーやスキージャンプも含む)、スノーボード、水泳、自転車の走行、スケート、ゴルフ、テニス、野球、リハビリテーション等の多種多様な運動に適用することができる。一例としてスキーに適用する場合、例えば、スキー板に対する加圧時の上下方向加速度のばらつきから綺麗にカービングできたかスキー板がずれたかを判定してもよいし、スキー板に対する加圧時及び抜重時の上下方向加速度の変化の軌跡から右足と左足との差や滑りの能力を判定

50

してもよい。あるいは、ヨー方向の角速度の変化の軌跡がどの程度サイン波に近いかを解析し、使用者がスキー板に乗れているかどうかを判断してもよいし、ロール方向の角速度の変化の軌跡がどの程度サイン波に近いかを解析し、スムーズな滑りができているかどうかを判断してもよい。

【0266】

2-4. 報知処理

上記の実施形態では、報知装置3は、基準値よりも悪い運動指標が存在する場合に、音や振動により使用者に報知しているが、基準値よりも良い運動指標が存在する場合に、音や振動により使用者に報知してもよい。

【0267】

また、上記の実施形態では、報知装置3が各運動指標の値と基準値との比較処理を行っているが、運動解析装置2が、この比較処理を行い、比較結果に応じて報知装置3の音や振動の出力や表示を制御してもよい。

【0268】

また、上記の実施形態では、報知装置3は、腕時計型の機器であるが、これに限らず、使用者に装着される腕時計型以外の携帯機器（ヘッドマウントディスプレイ（HMD）や使用者の腰に装着した機器（運動解析装置2でもよい）等）や装着型でない携帯機器（スマートフォン等）でもよい。報知装置3がヘッドマウントディスプレイ（HMD）である場合、その表示部は腕時計型の報知装置3の表示部よりも十分に大きく視認性がよいため、使用者が見ても走行の妨げになりにくいので、例えば、使用者の現在までの走行推移の情報を表示してもよいし、タイム（使用者が設定したタイム、自己記録、有名人の記録、世界記録等）に基づいて作成した仮想ランナーが走行する映像を表示してもよい。

10

20

【0269】

2-5. 評価処理

上記の実施形態では、情報分析装置4が評価処理を行っているが、サーバー5が評価処理を行い（情報分析装置として機能し）、サーバー5がネットワークを介して表示装置に評価結果を送信してもよい。

30

【0270】

また、上記の実施形態では、使用者の走行データ（運動解析情報）は、サーバー5のデータベースに記憶されるが、情報分析装置4の記憶部430に構築されたデータベースに記憶されてもよい。すなわち、サーバー5は無くてもよい。

【0271】

2-6. その他

例えば、運動解析装置2又は報知装置3は、入力情報又は解析情報から使用者の得点を計算して、走行中又は走行後に報知しても良い。例えば、各運動指標の数値を複数段階（例えば5段階又は10段階）に区分し、各段階に対して得点を定めておけばよい。また、例えば、運動解析装置2又は報知装置3は、成績の良かった運動指標の種類や数に応じて得点を付与し、あるいは、総合得点を計算し、表示してもよい。

40

【0272】

また、上記の実施形態では、GPSユニット50は運動解析装置2に設けられているが、報知装置3に設けられてもよい。この場合、報知装置3の処理部120がGPSユニット50からGPSデータを受け取って通信部140を介して運動解析装置2に送信し、運動解析装置2の処理部20が通信部40を介してGPSデータを受信し、受信したGPSデータをGPSデータテーブル320に付加すればよい。

【0273】

また、上記の実施形態では、運動解析装置2と報知装置3が別体となっているが、運動解析装置2と報知装置3が一体化された運動解析装置であってもよい。

【0274】

また、上記の実施形態では、運動解析装置2が使用者に装着されているが、これに限らず、慣性計測ユニット（慣性センサー）やGPSユニットを使用者の胴体等に装着し、慣

50

性計測ユニット（慣性センサー）やGPSユニットはそれぞれ検出結果をスマートフォン等の携帯情報機器やパーソナルコンピューター等の設置型の情報機器、あるいは、ネットワークを介してサーバーに送信し、これらの機器が受信した検出結果を用いて使用者の運動を解析してもよい。あるいは、使用者の胴体等に装着された慣性計測ユニット（慣性センサー）やGPSユニットが検出結果をメモリーカード等の記録媒体に記録し、当該記録媒体をスマートフォンやパーソナルコンピューター等の情報機器が当該記録媒体から検出結果を読み出して運動解析処理を行ってもよい。

【0275】

上述した各実施形態及び各変形例は一例であって、これらに限定されるわけではない。例えば、各実施形態及び各変形例を適宜組み合わせることも可能である。

10

【0276】

本発明は、実施形態で説明した構成と実質的に同一の構成（例えば、機能、方法及び結果が同一の構成、あるいは目的及び効果が同一の構成）を含む。また、本発明は、実施形態で説明した構成の本質的でない部分を置き換えた構成を含む。また、本発明は、実施形態で説明した構成と同一の作用効果を奏する構成又は同一の目的を達成することができる構成を含む。また、本発明は、実施形態で説明した構成に公知技術を付加した構成を含む。

。

【符号の説明】

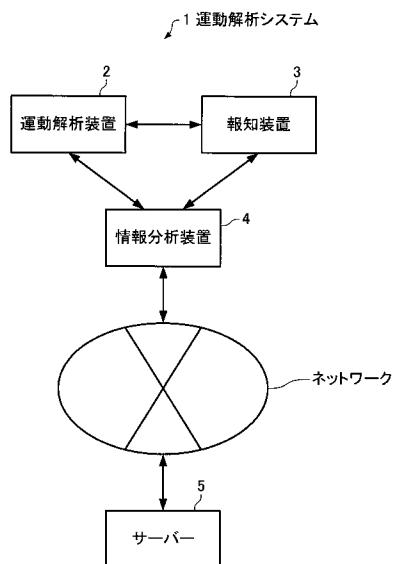
【0277】

1 ... 運動解析システム、2 ... 運動解析装置、3 ... 報知装置、4 ... 情報分析装置、5 ... サーバー、10 ... 慣性計測ユニット（IMU）、12 ... 加速度センサー、14 ... 角速度センサー、16 ... 信号処理部、20 ... 処理部、22 ... 慣性航法演算部、24 ... 運動解析部、30 ... 記憶部、40 ... 通信部、50 ... GPSユニット、110 ... 出力部、120 ... 処理部、130 ... 記憶部、140 ... 通信部、150 ... 操作部、160 ... 計時部、170 ... 表示部、180 ... 音出力部、190 ... 振動部、210 ... バイアス除去部、220 ... 積分処理部、230 ... 誤差推定部、240 ... 走行処理部、242 ... 走行検出部、244 ... 歩幅算出部、246 ... ピッチ算出部、250 ... 座標変換部、260 ... 特徴点検出部、262 ... 接地時間・衝撃時間算出部、272 ... 基本情報生成部、274 ... 第1解析情報生成部、276 ... 第2解析情報生成部、278 ... 左右差率算出部、280 ... 生成部、282 ... 取得部、291 ... 算出部、300 ... 運動解析プログラム、302 ... 慣性航法演算プログラム、304 ... 運動解析情報生成プログラム、310 ... センシングデータテーブル、320 ... GPSデータテーブル、330 ... 地磁気データテーブル、340 ... 算出データテーブル、350 ... 運動解析情報、351 ... 入力情報、352 ... 基本情報、353 ... 第1解析情報、354 ... 第2解析情報、355 ... 左右差率、420 ... 処理部、422 ... 情報取得部、424 ... 評価部、430 ... 記憶部、432 ... 評価プログラム、440 ... 通信部、450 ... 操作部、460 ... 通信部、470 ... 表示部、480 ... 音出力部

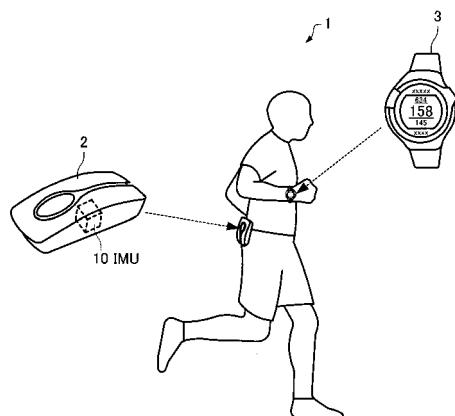
20

30

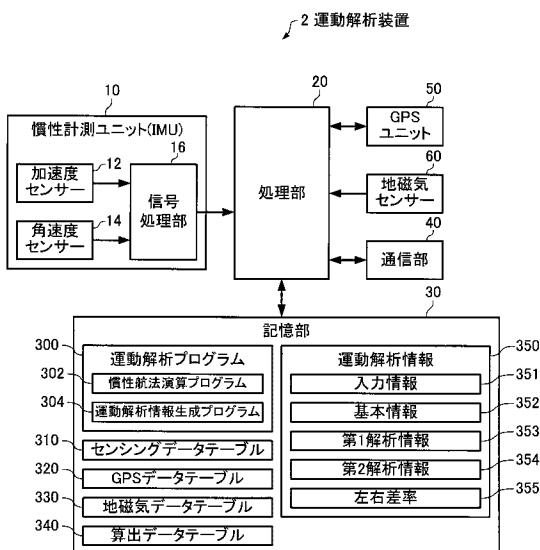
【図1】



【図2】



【図3】



【図4】

311 検出時刻	312 加速度	313 角速度
t1	(ax1, ay1, az1)	(wx1, wy1, wz1)
t2(=t1+△t)	(ax2, ay2, az2)	(wx2, wy2, wz2)
t3(=t2+△t)	(ax3, ay3, az3)	(wx3, wy3, wz3)

【図5】

321 検出時刻	322 位置	323 速度	324 測位精度(DOP)	325 信号強度	...
T1	(Px1, Py1, Pz1)	(Vx1, Vy1, Vz1)	DP1	SS1	...
T2	(Px2, Py2, Pz2)	(Vx2, Vy2, Vz2)	DP2	SS2	
T3	(Px3, Py3, Pz3)	(Vx3, Vy3, Vz3)	DP3	SS3	
⋮					

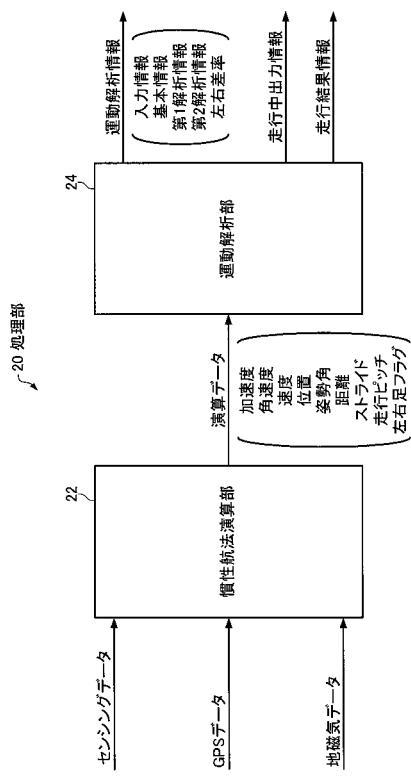
【図6】

331 検出時刻	332 地磁気
t1	(mx1, my1, mz1)
t2(=t1+△t)	(mx2, my2, mz2)
t3(=t2+△t)	(mx3, my3, mz3)

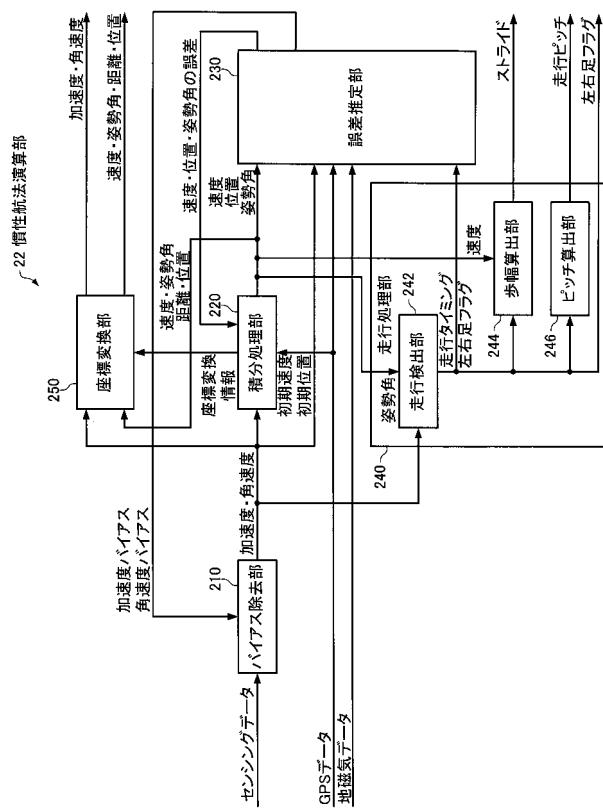
【図7】

341 計算時刻	342 速度	343 位置	344 姿勢角
t1	(vx1, vy1, vz1)	(px1, py1, pz1)	(φ1, θ1, ψ1)
t2(=t1+△t)	(vx2, vy2, vz2)	(px2, py2, pz2)	(φ2, θ2, ψ2)
t3(=t2+△t)	(vx3, vy3, vz3)	(px3, py3, pz3)	(φ3, θ3, ψ3)

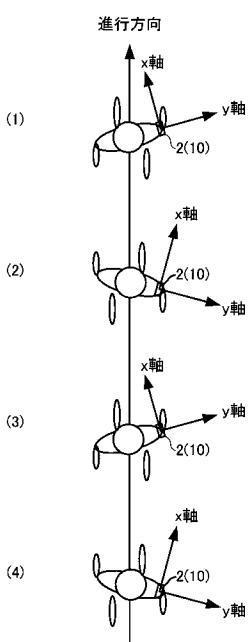
【図 8】



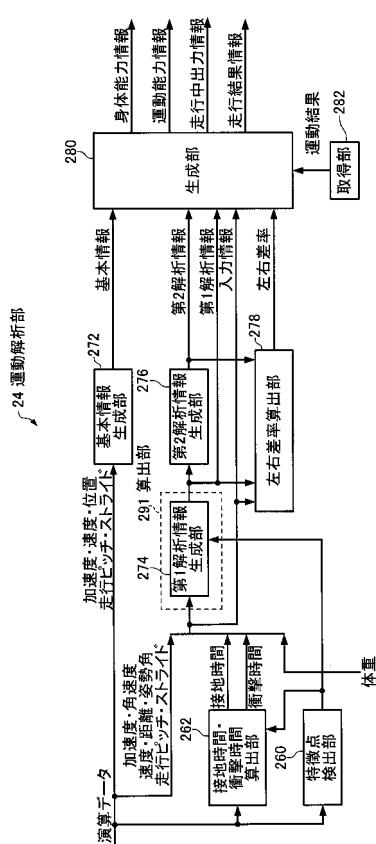
【図 9】



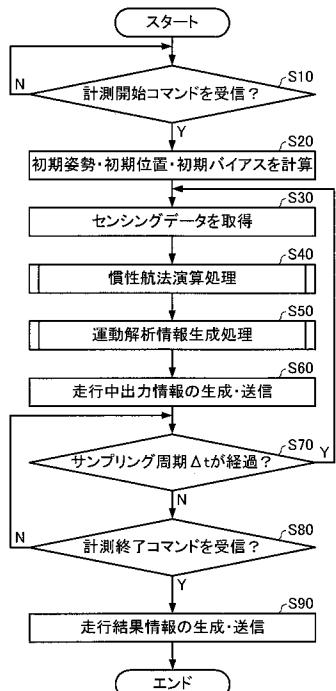
【図 10】



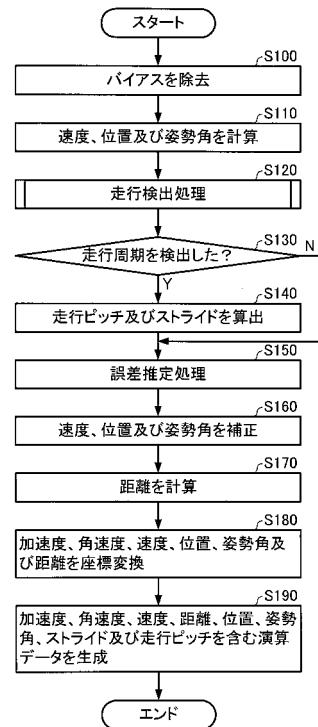
【図 13】



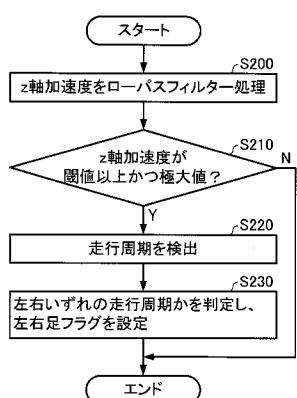
【図14】



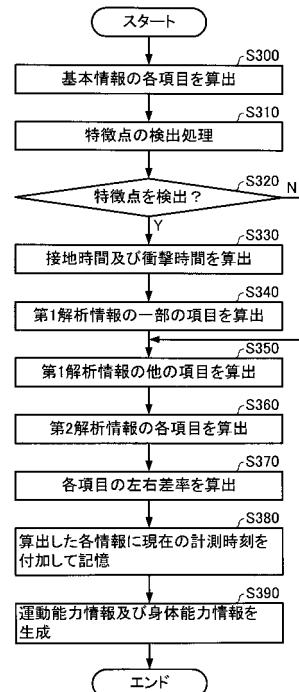
【図15】



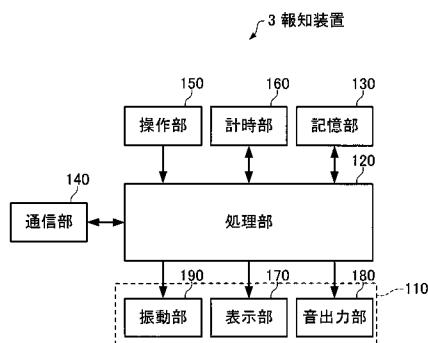
【図16】



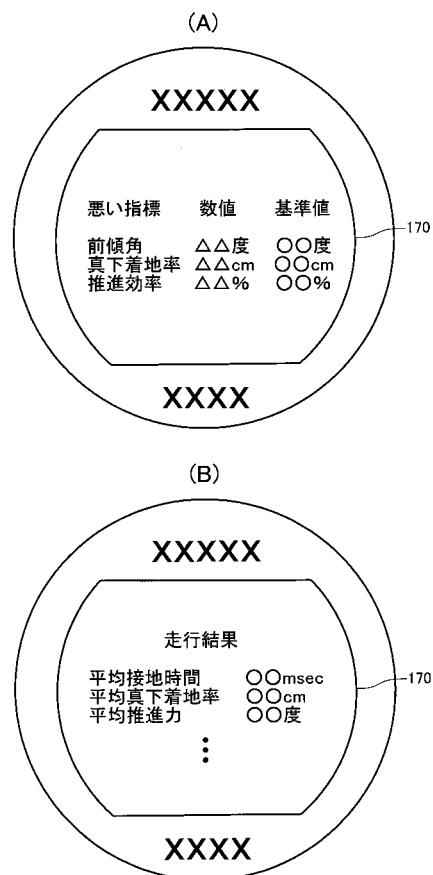
【図17】



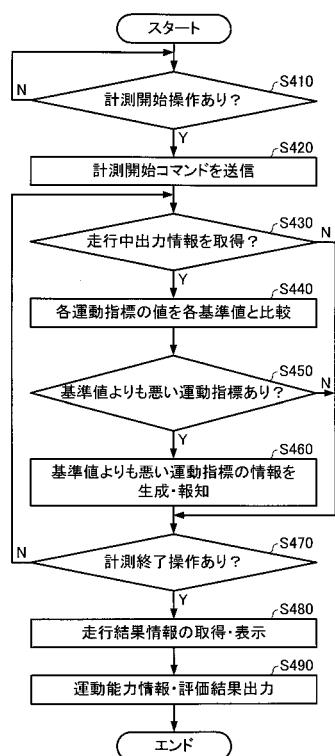
【図18】



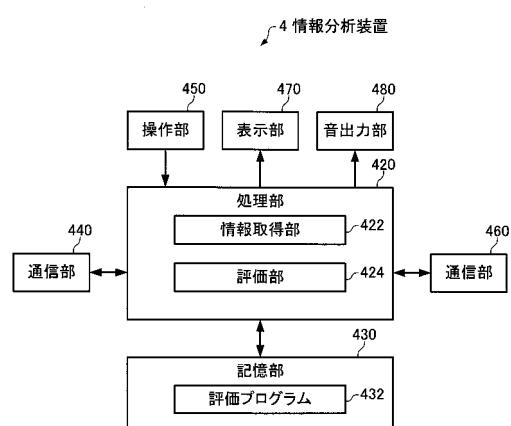
【図19】



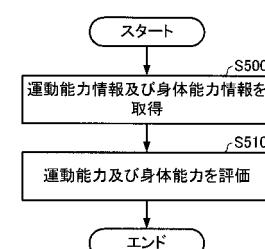
【図20】



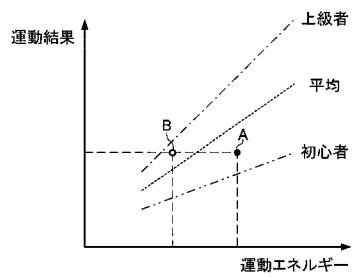
【図21】



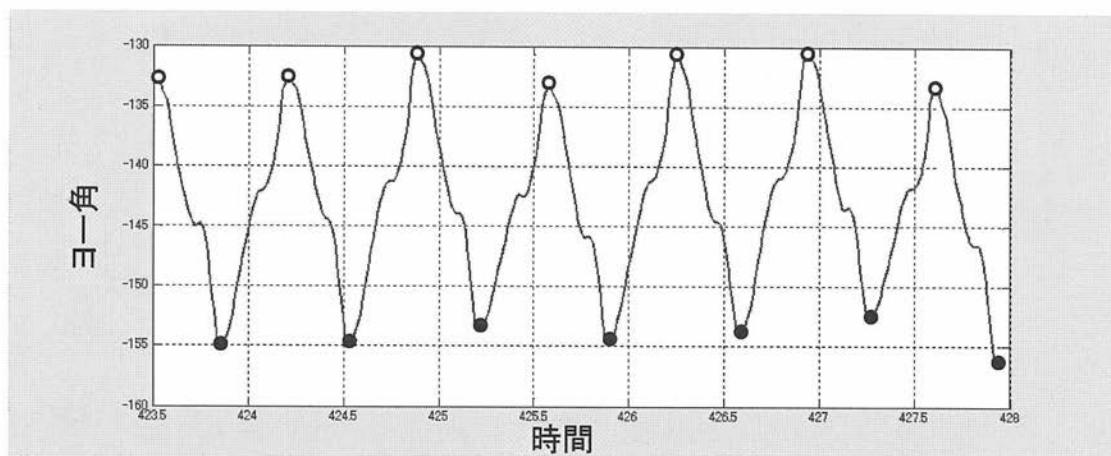
【図22】



【図 2 3】



【図 1 1】



【図 1 2】

