

(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2016-221251

(P2016-221251A)

(43) 公開日 平成28年12月28日(2016.12.28)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
A 4 3 B 5/02 (2006.01)	A 4 3 B 5/02	4 F 0 5 0
A 4 3 B 23/02 (2006.01)	A 4 3 B 23/02 1 0 1	
A 4 3 B 7/04 (2006.01)	A 4 3 B 7/04	
A 4 3 B 17/00 (2006.01)	A 4 3 B 17/00 Z	
G 0 6 N 7/00 (2006.01)	G 0 6 N 7/00 1 5 0	
審査請求 未請求 請求項の数 30 O L 外国語出願 (全 45 頁) 最終頁に続く		

(21) 出願番号 特願2016-77842 (P2016-77842)
 (22) 出願日 平成28年4月8日 (2016.4.8)
 (31) 優先権主張番号 14/694, 379
 (32) 優先日 平成27年4月23日 (2015.4.23)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 510204998
 アディダス アーゲー
 ドイツ連邦共和国 9 1 0 7 4 ヘルツォーゲンアウラッハ アディダスラーシュユトラーセ 1
 (74) 代理人 100092783
 弁理士 小林 浩
 (74) 代理人 100120134
 弁理士 大森 規雄
 (74) 代理人 100147762
 弁理士 藤 拓也
 (74) 代理人 100104282
 弁理士 鈴木 康仁

最終頁に続く

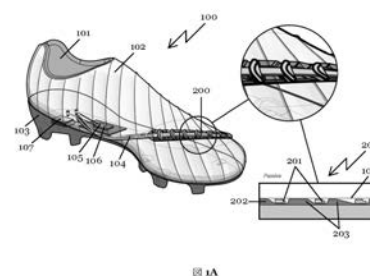
(54) 【発明の名称】 球技用シューズ

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 様々な試合状況において最適な表面特性を有する球技用シューズを提供する。

【解決手段】 外面を有するアッパー 1 0 1 を含む球技用シューズ 1 0 0 が記載される。アクチュエータ 1 0 4 が、アッパー 1 0 1 の外面の一部の少なくとも 1 つの表面特性を変えるように構成され、センサ 1 0 5 が、シューズ 1 0 0 の動きに感応するように構成される。アクチュエータ 1 0 4 およびセンサ 1 0 5 には処理ユニット 1 0 6 が接続され、処理ユニット 1 0 6 は、センサ 1 0 5 から読み出されたセンサデータを処理し、センサデータ中に既定の事象が検知された場合には、アクチュエータ 1 0 4 がアッパー 1 0 1 の外面 1 0 2 の該当部分の少なくとも 1 つの表面特性を変えるように構成される。

【選択図】 図 1 A



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

球技用シューズであって、
外面を有するアッパーと、
前記アッパーの前記外面の一部の少なくとも 1 つの表面特性を変えるように構成されたアクチュエータと、
前記シューズの動きに感応するように構成されたセンサと、
前記アクチュエータおよび前記センサに接続され、前記センサから読み出されたセンサデータを処理し、前記センサデータ中に既定の事象が検知された場合には、前記アクチュエータが前記アッパーの前記外面の前記部分の前記少なくとも 1 つの表面特性を変えるように構成された処理ユニットと
を含む球技用シューズ。

10

【請求項 2】

前記少なくとも 1 つの表面特性が前記外面の前記部分の表面構造である、請求項 1 に記載のシューズ。

【請求項 3】

前記少なくとも 1 つの表面特性が前記外面の前記部分の摩擦である、請求項 1 に記載のシューズ。

【請求項 4】

前記少なくとも 1 つの表面特性が前記外面の前記部分の表面積である、請求項 1 に記載のシューズ。

20

【請求項 5】

前記アッパーの前記外面の少なくとも前記部分は弾性があり、前記シューズが、
前記アッパーの前記外面の前記部分より下に配置され、前記アクチュエータに接続された複数のフィンであって、前記アクチュエータによって降ろされ又は起こされ、前記外面の弾性部分の前記少なくとも 1 つの表面特性を変えることができる複数のフィン
をさらに含む、請求項 1 に記載のシューズ。

【請求項 6】

前記アッパーの前記外面の少なくとも前記部分は弾性があり、前記アクチュエータが空気圧弁であり、前記シューズが、
前記空気圧弁に加圧空気を供給するように構成された空気ポンプと、
前記アッパーの前記外面の弾性部分の下に配置された少なくとも 1 つの膨張可能な要素と
をさらに含み、前記空気圧弁が、加圧空気を前記膨張可能な要素に供給して前記膨張可能な要素を膨張させ、前記外面の前記部分の前記少なくとも 1 つの表面特性を変えるように構成される、請求項 1 に記載のシューズ。

30

【請求項 7】

前記加圧空気が前記シューズを着用する競技者の動作によって生成される、請求項 6 に記載のシューズ。

【請求項 8】

前記アッパーの前記外面の少なくとも前記部分は弾性があり、前記シューズが、
前記アッパーの前記外面の弾性部分より下に配置された複数のピンと、
前記複数のピンより下に配置され、前記アクチュエータに接続された波状構造であって、前記ピンに対して動かし、前記ピンを前記外面に対して降ろし又は起こし、前記外面の前記部分の前記少なくとも 1 つの表面特性を変えることができる波状構造と
をさらに含む、請求項 1 に記載のシューズ。

40

【請求項 9】

前記外面の前記部分が、前記アクチュエータによって降ろされ又は起こされるように構成された複数のフラップを含む、請求項 1 に記載のシューズ。

【請求項 10】

50

前記アクチュエータが、形状記憶合金または電気モータに基づく、請求項 1 に記載のシューズ。

【請求項 1 1】

前記センサが、加速度計、ジャイロスコープまたは磁界センサである、請求項 1 に記載のシューズ。

【請求項 1 2】

前記外面が皮膚状である、請求項 1 に記載のシューズ。

【請求項 1 3】

ソールをさらに含み、前記センサ、前記アクチュエータおよび前記処理ユニットが前記ソールに組み込まれる、請求項 1 に記載のシューズ。

【請求項 1 4】

前記既定の事象がキックである、請求項 1 に記載のシューズ。

【請求項 1 5】

前記既定の事象が、ショートパス、ロングパス、シュートまたはボールのコントロールである、請求項 1 に記載のシューズ。

【請求項 1 6】

前記処理ユニットが、

前記センサからセンサデータの時系列値を読み出すステップと、

前記時系列値を前処理するステップと、

前記時系列値を複数のウィンドウにセグメント化するステップと、

前記複数のウィンドウのそれぞれにおいて前記センサデータから複数の特徴を抽出するステップと、

前記複数のウィンドウにおいて前記センサデータから抽出された前記複数の特徴に基づいて、前記複数のウィンドウに関連付けられる事象クラスを推定するステップと
を実施することによって、前記既定の事象を検知するように適合される、請求項 1 に記載のシューズ。

【請求項 1 7】

前記時系列値が、例えば非巡回型移動平均フィルタ、カスケード積分楕円フィルタまたはフィルタバンクを用いたデジタルフィルタリングによって前処理される、請求項 1 6 に記載のシューズ。

【請求項 1 8】

前記事象クラスが、少なくとも前記検知すべき事象と、特定の事象に属さない前記センサデータに関連付けられる NULL クラスとを含む、請求項 1 6 に記載のシューズ。

【請求項 1 9】

前記特徴が、例えばウェーブレット解析、主成分分析または高速フーリエ変換を適用することによって、少なくとも時間統計、時空間統計、スペクトル統計またはアンサンブル統計の 1 つに基づく、請求項 1 6 に記載のシューズ。

【請求項 2 0】

前記特徴が、単純平均、正規化された信号エネルギー、運動強度、信号強度面積、軸間の相関関係、ウィンドウ内の最大値、ウィンドウ内の最小値、ウェーブレット変換の最大詳細係数、テンプレートとの相関関係、テンプレートの主成分に対する射影、テンプレートの固有空間までの距離、スペクトル中心、帯域幅または卓越振動数の 1 つに基づく、請求項 1 6 に記載のシューズ。

【請求項 2 1】

前記時系列値が、スライディングウィンドウに基づいて前記複数のウィンドウにセグメント化される、請求項 1 6 に記載のシューズ。

【請求項 2 2】

前記時系列値が、前記時系列値中に存在する少なくとも 1 つの条件に基づいて前記複数のウィンドウにセグメント化される、請求項 1 6 に記載のシューズ。

【請求項 2 3】

前記少なくとも1つの条件が、決められた閾値の前記センサデータのクロッシング、または相関関係、マッチドフィルタリング、動的タイムワーピング、もしくは最長共通部分列およびそのスライディングウィンドウの変量、ワーピング最長共通部分列を用いたテンプレートのマッチングである、請求項22に記載のシューズ。

【請求項24】

前記事象クラスが、単純ベイズ分類器などのベイズ分類器、サポートベクトルマシンなどの最大マージン分類器、アダブースト分類器およびランダムフォレスト分類器などのアンサンブル学習アルゴリズム、最近傍分類器、ニューラルネットワーク分類器、ルールベース分類器、またはツリーベース分類器に基づいて推定される、請求項16に記載のシューズ。

10

【請求項25】

前記事象クラスが、条件付き確率場または動的ベイジアンネットワークによって前記事象およびNUL Lクラスの系列行動を確率論的にモデル化することに基づいて推定される、請求項16に記載のシューズ。

【請求項26】

前記事象クラスが、
前記検知すべき事象およびNUL Lクラスの異なる位相を区別するステップであって、前記NUL Lクラスが特定の事象に属さない前記センサデータに関連付けられる、ステップと、

動的ベイジアンネットワークによって前記事象および前記NUL Lクラスの前記系列行動をモデル化するステップと
を含むハイブリッド分類器に基づいて推定される、請求項16に記載のシューズ。

20

【請求項27】

前記推定ステップが、教師あり学習によってトレーニングされた分類器に基づく、請求項16に記載のシューズ。

【請求項28】

前記推定ステップが、オンライン学習によってトレーニングされた分類器に基づく、請求項16に記載のシューズ。

【請求項29】

前記推定ステップが、教師なし学習によってトレーニングされた動的ベイシアンネットワークに基づく、請求項16に記載のシューズ。

30

【請求項30】

前記既定の事象がリアルタイムで検知される、請求項16に記載のシューズ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、球技用シューズに関する。

【背景技術】

【0002】

サッカー、フットボール、アメリカンフットボール、ラグビーなどの球技において、競技者の足は一般に、例えば試合などの非常に様々な状況でボールと接触する。例えば、（例えばストライカーによって、またはペナルティの間に）ゴールを狙ってシュートすることを意図してボールを蹴る、他の競技者にボールをパスする、ドリブル中にコントロールしてボールをキープする、チームメートのパスの後にボールを受けるなどの可能性がある。

40

【0003】

そうした状況すべてにおいて、競技者は自身のシューズに対して様々な要求をする。例えば競技者は、ボールを蹴るときには、高い摩擦および最大限のエネルギーの伝達を望む。しかしながら、競技者は、ボールをコントロールするときには、滑らかな面およびボールへの直接的なタッチを望む。

50

【0004】

周知の球技用シューズは、そうした様々な要求の間で折り合いをつけたものであることがしばしばである。したがって、通常はシューズが最適に機能しない試合状況がある。他のシューズは、ある特定の試合状況のために特別に作られる。例えば、アッパー上にボールとの摩擦を高めることを意図したフィン状の突起部を有する構造化された表面を有し、例えば飛んでいく間にボールをスピンさせるサッカーシューズが知られている。しかしながら、そうしたシューズは、構造化された表面のために、ボールをコントロールすることになると最適ではなくなる。

【先行技術文献】

【非特許文献】

10

【0005】

【非特許文献1】Martin Vetterli and Cormac Herley, “Wavelets and filter banks: Theory and design”, IEEE Transactions on Signal Processing, 40(9): 2207-2232, 1992

【非特許文献2】Leo Breiman, “Random forests”, Machine learning, 45(1):5-32, 2001

【非特許文献3】Sergios Theodoridis and Konstantinos Koutroumbas, Pattern Recognition, 4th edition, Elsevier, 2008

【非特許文献4】Richard O. Duda, Peter E. Hart and David G. Stork, “Pattern Classification”, 2nd edition, John Wiley & Sons, 2000

20

【非特許文献5】Trevor Hastie, Robert Tibshirani, Jerome Friedman, “The elements of statistical learning”, volume 2, Springer 2009

【非特許文献6】Collin F. Baker, Charles J. Fillmore and John B. Lowe, “The Berkeley fragment project”, Proceedings of the 36th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics and 17th International Conference on Computational Linguistics - Volume 1, 86-90, Association for Computational Linguistics, 1998

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

30

したがって、本発明の目的は、様々な試合状況において最適な表面特性を有する球技用シューズを提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0007】

この目的、および以下の記述を読むと明らかになる他の目的は、請求項1に記載のシューズによって解決される。

【0008】

本特許で使用する用語「invention（発明）」「the invention（本発明）」「this invention（本発明）」および「the present invention（本発明）」は、本特許および以下の特許請求の範囲の主題のすべてを広く指すことを意図している。これらの用語を含む記述は、本明細書に記載される主題を限定するものでも、以下の特許請求の範囲の趣旨もしくは範囲を限定するものでもないとして理解すべきである。本特許に含まれる本発明の実施形態は、以下の特許請求の範囲によって定義され、この発明の概要によって定義されるものではない。この発明の概要は、本発明の様々な実施形態の専門的な概要であり、以下の詳細な説明の項でさらに詳しく記載する概念の一部を紹介するものである。この発明の概要は、請求する主題の重要なまたは本質的な特徴を特定することを意図したものでも、請求する主題の範囲を決めるために単独で用いることを意図したものでもない。主題は、本特許の明細書全体、任意のまたはすべての図面、および各請求項の適切な部分を参照することによって理解すべきである。

40

50

【0009】

本発明のある特定の実施形態によれば、球技用シューズは、外面を有するアッパーと、アッパーの外面の一部の少なくとも1つの表面特性を変えるように構成されたアクチュエータと、シューズの動きに感応するように構成されたセンサとを含む。アクチュエータおよびセンサには処理ユニットが接続され、処理ユニットは、センサから読み出されたセンサデータを処理し、センサデータ中に既定の事象が検知された場合には、アクチュエータがアッパーの外面の該当部分の少なくとも1つの表面特性を変えるように構成される。

【0010】

いくつかの実施形態において、少なくとも1つの表面特性は、外面の該当部分の表面構造である。少なくとも1つの表面特性は、外面の該当部分の摩擦、または外面の該当部分の表面積とすることができる。

10

【0011】

ある特定の実施形態において、少なくともアッパーの外面の該当部分は弾性があることができ、シューズは、アッパーの外面の該当部分より下に配置され、アクチュエータに接続された複数のフィンであって、アクチュエータによって降ろされ又は起こされ、外面の弾性部分の少なくとも1つの表面特性を変えることができる複数のフィンをさらに含むことができる。

【0012】

他の実施形態において、少なくともアッパーの外面の該当部分は弾性があることができ、アクチュエータは空気圧弁とすることができる、またシューズは、空気圧弁に加圧空気を供給するように構成された空気ポンプと、アッパーの外面の弾性部分の下に配置された少なくとも1つの膨張可能な要素とをさらに含むことができ、空気圧弁は、加圧空気を膨張可能な要素に供給して膨張可能な要素を膨張させ、外面の該当部分の少なくとも1つの表面特性を変えるように構成される。加圧空気は、シューズを着用する競技者の動作によって発生させることができる。

20

【0013】

さらなる実施形態において、少なくともアッパーの外面の該当部分は弾性があることができ、シューズは、アッパーの外面の弾性部分より下に配置された複数のピンと、複数のピンより下に配置され、アクチュエータに接続された波状構造であって、ピンに対して動かし、ピンを外面に対して降ろし又は起こし、外面の該当部分の少なくとも1つの表面特性を変えることができる波状構造とをさらに含むことができる。

30

【0014】

ある特定の実施形態において、外面の該当部分は、アクチュエータによって降ろされ又は起こされるように構成された複数のフラップを含む。アクチュエータは、形状記憶合金または電気モータに基づくことができる。

【0015】

センサは、加速度計、ジャイロスコープまたは磁界センサとすることができる。

【0016】

外面は皮膚状にすることができる。

【0017】

ある特定の実施形態によれば、シューズはソールをさらに含み、センサ、アクチュエータおよび処理ユニットは、ソールに組み込まれる。

40

【0018】

いくつかの実施形態において、既定の事象はキックである。既定の事象は、ショートパス、ロングパス、シュートまたはボールのコントロールとすることもできる。

【0019】

ある特定の実施形態において、処理ユニットは、センサから時系列値のセンサデータを読み出し、時系列値を前処理し、時系列値を複数のウィンドウにセグメント化し、複数のウィンドウのそれぞれにおいてセンサデータから複数の特徴を抽出し、複数のウィンドウにおいてセンサデータから抽出された複数の特徴に基づいて、複数のウィンドウに関連付

50

けられる事象クラスを推定することにより、既定の事象を検知するように適合される。

【0020】

時系列値は、例えば非巡回型移動平均フィルタ、カスケード積分楕円フィルタまたはフィルタバンクを用いたデジタルフィルタリングによって前処理することができる。

【0021】

事象クラスは、少なくとも検知すべき事象、および特定の事象に属さないセンサデータに関連付けられるNULLクラスを含むことができる。

【0022】

ある特定の実施形態において、特徴は、例えばウェーブレット解析、主成分分析または高速フーリエ変換を適用することによって、少なくとも時間統計、時空間統計、スペクトル統計またはアンサンブル統計の1つに基づく。

10

【0023】

他の実施形態において、特徴は、単純平均、正規化された信号エネルギー、運動強度、信号強度面積 (signal magnitude area)、軸間の相関関係、ウィンドウ内の最大値、ウィンドウ内の最小値、ウェーブレット変換の最大詳細係数、テンプレートとの相関関係、テンプレートの主成分に対する射影、テンプレートの固有空間までの距離、スペクトル中心、帯域幅または卓越振動数の1つに基づく。

【0024】

時系列値は、スライディングウィンドウ (sliding window) に基づいて、複数のウィンドウにセグメント化することができる。時系列値は、時系列値中に存在する少なくとも1つの条件に基づいて、複数のウィンドウにセグメント化することもできる。いくつかの実施形態において、少なくとも1つの条件は、決められた閾値のセンサデータのクロッシング、または相関関係、マッチドフィルタリング、動的タイムワーピング、もしくは最長共通部分列およびそのスライディングウィンドウの変量、ワーピング最長共通部分列 (warping Longest Common Subsequence) を用いたテンプレートのマッチングである。

20

【0025】

いくつかの実施形態において、事象クラスは、単純ベイズ分類器などのベイズ分類器、サポートベクトルマシンなどの最大マージン分類器、アダブースト分類器およびランダムフォレスト分類器などのアンサンブル学習アルゴリズム、最近傍分類器、ニューラルネットワーク分類器、ルールベース分類器、またはツリーベース分類器に基づいて推定される。他の実施形態において、事象クラスは、条件付き確率場または動的ベイジアンネットワークによって事象およびNULLクラスの系列行動を確率論的にモデル化することに基づいて推定される。さらなる実施形態において、事象クラスは、検知すべき事象およびNULLクラスの異なる位相を区別するステップであって、NULLクラスが特定の事象に属さないセンサデータに関連付けられる、ステップと、動的ベイジアンネットワークによって事象およびNULLクラスの系列行動をモデル化するステップとを含むハイブリッド分類器に基づいて推定される。

30

【0026】

いくつかの実施形態において、推定ステップは、教師あり学習 (unsupervised learning) によってトレーニングされた分類器に基づく。他の実施形態において、推定ステップは、オンライン学習 (online learning) によってトレーニングされた分類器に基づく。さらなる実施形態において、推定ステップは、教師なし学習によってトレーニングされた動的ベイジアンネットワークに基づく。

40

【0027】

既定の事象は、リアルタイムで検知することができる。

【0028】

本特許または出願のファイルは、SYHOEで実行された少なくとも1つの図面を含む。彩色図面が付された本特許または特許出願公開の写しは、請求および所要の手数料の納付により特許商標庁によって提供される。

【0029】

50

以下の詳細な説明では、以下の図面を参照して本発明の実施形態について記載する。

【図面の簡単な説明】

【0030】

【図1A】本発明のある特定の実施形態による、受動的な状態のシューズの斜視図および特定の部分拡大図である。

【図1B】能動的な状態の図1Aのシューズの斜視図である。

【図2A】本発明のある特定の実施形態による、フラップを用いて表面特性を変えるための機構を概略的に示す図である。

【図2B】本発明のある特定の実施形態による、フラップを用いて表面特性を変えるための機構を概略的に示す図である。

【図3A】本発明のある特定の実施形態による、シューズ内の加圧空気システムの斜視図である。

【図3B】本発明のある特定の実施形態による、シューズ内の加圧空気システムの斜視図である。

【図4】本発明のある特定の実施形態による、シューズ内の加圧空気システムの斜視図である。

【図5A】本発明のある特定の実施形態による、ピンを用いて表面特性を変えるための機構を概略的に示す図である。

【図5B】本発明のある特定の実施形態による、ピンを用いて表面特性を変えるための機構を概略的に示す図である。

【図6】図5Aおよび5Bの機構の分解図である。

【図7A】本発明のある特定の実施形態による、フラップを用いて表面特性を変えるための機構を概略的に示す図である。

【図7B】本発明のある特定の実施形態による、フラップを用いて表面特性を変えるための機構を概略的に示す図である。

【図8A】電気活性ポリマーの原理を示す図である。

【図8B】電気活性ポリマーの原理を示す図である。

【図9A】本発明のある特定の実施形態による電気活性ポリマーを概略的に示す図である。

【図9B】本発明のある特定の実施形態による電気活性ポリマーを概略的に示す図である。

【図10】本発明のある特定の実施形態による電気活性ポリマーを含むモジュールの斜視図である。

【図11】本発明のある特定の実施形態による、変化可能な表面特性を有するアッパーの外面の一部の斜視図である。

【図12】本発明のある特定の実施形態による、事象を検知する方法の図である。

【図13】本発明のある特定の実施形態による、3軸加速度計から得られた時系列値のプロットである。

【図14】本発明のある特定の実施形態による、ウィンドウでの時系列値のセグメント化の図である。

【図15】本発明のある特定の実施形態によるセグメント化ステップの例示的な結果を示す図である。

【図16】本発明のある特定の実施形態による特徴抽出の方法ステップの図である。

【図17】本発明のある特定の実施形態による高速ウェーブレット変換の実行を示す図である。

【図18】本発明のある特定の実施形態による1段階分類の図である。

【図19】本発明のある特定の実施形態によるサポートベクトルマシンの図である。

【図20】本発明のある特定の実施形態による2段階分類の図である。

【図21】検知すべき事象の隠れマルコフモデルの図である。

【図22】NULLクラスの隠れマルコフモデルの図である。

10

20

30

40

50

【図 2 3】状態、出力およびパラメータによる検知すべき事象の隠れマルコフモデルの図である。

【図 2 4】状態、出力およびパラメータによる N U L L クラスの隠れマルコフモデルの図である。

【発明を実施するための形態】

【0031】

本発明によれば、球技用シューズは、(a.) 外面を有するアッパーと、(b.) アッパーの外面の一部の少なくとも 1 つの表面特性を変えるように構成されたアクチュエータと、(c.) シューズの動きに感応するセンサと、(d.) アクチュエータおよびセンサに接続され、センサから読み出されたセンサデータを処理し、センサデータ中に既定の事象が検知された場合には、アクチュエータがアッパーの外面の該当部分の少なくとも 1 つの表面特性を変えるように構成された処理ユニットとを含む。

10

【0032】

この説明の文脈における動きとは、並進運動、回転運動（回転）または両方の組み合わせとして理解される。一般的には、動きとは、運動学的な状態の変化、すなわち加速、減速、回転などとして理解される。運動学的な状態は、位置、速度および向きによって記述することができる。したがって、この文脈において理解される動きとは、位置、速度、加速度および向きの少なくとも 1 つを変えるものである。

【0033】

本発明による特徴の特定の組み合わせによって、シューズが特定の試合状況に適応することが可能になる。例えば処理ユニットは、シューズを着用している競技者がまさに難しいロングシュートを行っていることを検知することができる。この状況において、処理ユニットは、アッパーの外面の該当部分の少なくとも 1 つの表面特性、例えば摩擦を変え、ボールとの摩擦を高めるようにアクチュエータに指示することができる。例えば、表面構造を、滑らかな表面から、裂けたような波形のまたはフィン状の構造に変えることができる。反対に、処理ユニットは、競技者がドリブルを行っていることを検知した場合、アッパーの表面構造を、ボールに直接タッチする滑らかな表面構成に変えるようにアクチュエータに指示することができる。

20

【0034】

こうして、本発明によるシューズは、試合の各状況において最適な表面構成になる。従来技術のシューズとは異なり、本発明のシューズは折り合いをつけたものではない。

30

【0035】

本発明によるシューズが、少なくとも 1 つのアクチュエータ、すなわち少なくとも 1 つのアクチュエータ、および少なくとも 1 つのセンサ、すなわち少なくとも 1 つのセンサを含むことに留意すべきである。

【0036】

少なくとも 1 つの表面特性は、アッパーの外面の該当部分の表面構造とすることができる。したがって、処理ユニットは、例えば競技者がボールをコントロールしていることを検知した場合、アクチュエータが、例えば該当部分に波状構造を与えることによってアッパーの外面の該当部分の表面構造を変え、ボールの最適なコントロールを可能にするようにすることができる。

40

【0037】

少なくとも 1 つの表面特性は、アッパーの外面の該当部分の摩擦とすることができる。したがって、処理ユニットは、例えば競技者が難しいシュートを行っていることを検知した場合、アクチュエータがアッパーの外面の該当部分の表面摩擦を高め、競技者がたくさんのスピンをかけてボールをシュートできるようにすることが可能である。

【0038】

複数の表面特性を一度に変えることが可能であることに留意すべきである。したがって、構造を摩擦と同時に変えることができる。摩擦を表面積と同時に変えることができる。表面積を表面構造と同時に変えることができる。言及した 3 つの特性すべてを同時に変え

50

ることができる。また、この特性の列挙は限定的ではなく、本発明の文脈の範囲内で他の特性を変えることも可能である。

【0039】

アクチュエータは、アッパーの外表面の該当部分の少なくとも1つの表面特性を直接的または間接的に変えることができる。表面特性を変えるための他の機構が含まれていない場合、アクチュエータは表面特性を直接的に変えることができる。例えばある特定の条件下で、体積、大きさ、形状、長さなどその状態を変えるアクチュエータ（電気活性ポリマー、形状記憶合金、圧電性結晶など）をアッパーの外表面の下に配置することができ、アクチュエータは、その状態を変えるとき、表面特性（表面構造、摩擦、表面積など）を直接的に変えることができる。

10

【0040】

アクチュエータは、体積、大きさ、形状、長さなどその状態を変える場合に表面特性を間接的に変え、それによって、ある機構を駆動し、その機構が表面特性（表面構造、摩擦、表面積など）の変化を生じさせることができる。

【0041】

以下では、両方の選択肢、すなわち、少なくとも1つの表面特性を直接的および間接的に変えるアクチュエータについて、例および実施形態を記載する。

【0042】

アッパーの外表面の少なくとも一部は弾性があることができ、シューズは、アッパーの外表面の該当部分より下に配置され、アクチュエータに接続された複数のフィンであって、アクチュエータによって降ろされ又は起こされ、弾性がある外表面の少なくとも1つの表面特性を変えることができる複数のフィンをさらに含むことができる。

20

【0043】

本発明の文脈における「弾性」とは、アッパーの外表面が力および／または圧力を受けて変形するが、その形状をほぼ完全に（小さい許容誤差まで）その初期状態に回復することであると理解される。

【0044】

この種の機構によって、フィンを大きく持ち上げることが可能になる。すなわち、フィンが下げられた表面の滑らかな構成と、フィンが上げられた高摩擦の構成との間に大きい差ができるようになる。

30

【0045】

アッパーの外表面の少なくとも一部は弾性があることができ、アクチュエータは空気圧弁とすることができ、またシューズは、空気圧弁に加圧空気を供給するように構成された空気ポンプをさらに含み、かつアッパーの弾性がある外表面の下に配置された少なくとも1つの膨張可能な要素を含むことができ、空気圧弁は、加圧空気を膨張可能な要素に供給して膨張可能な要素を膨張させ、アッパーの外表面の該当部分の少なくとも1つの表面特性を変えるように構成される。

【0046】

したがって、弾性がある表面の下に配置された膨張可能な要素は、少なくとも1つの表面特性、したがって、例えば表面の摩擦に直接的に影響を及ぼす。この構造には、少数の可動部分、すなわち空気圧弁および膨張可能な要素のみを有するという利点がある。したがって、これはきわめて丈夫な構造である。

40

【0047】

アクチュエータが2つ以上の空気圧弁を含むこと、およびシューズが3つ以上の空気ポンプを含むことが可能であることに留意されたい。

【0048】

加圧空気は、シューズを着用する競技者の動作によって発生させることができる。例えば、一方向のみの空気の流れを許容する弁を介して、袋を空気溜めに接続することができる。競技者が歩く、走るまたは跳ぶと、袋が圧縮され、空気が弁を通して空気溜めに送り込まれる。こうして、空気溜めの中の空気の圧力が高められる。したがって、アッパーの

50

少なくとも1つの表面特性を変えるために必要なエネルギーは、シューズを着用する競技者の動きによって提供され、（処理ユニット、弁およびセンサ用のバッテリーの他に）バッテリーなどの他のエネルギー源は不要である。

【0049】

少なくともアッパーの外面の該当部分は弾性があることができ、シューズは、アッパーの弾性がある外面より下に配置された複数のピンと、複数のピンより下に配置され、アクチュエータに接続された波状構造であって、ピンに対して動かし、ピンを外面に対して降ろし又は起こし、外面の該当部分の少なくとも1つの表面特性を変えることができる波状構造とをさらに含むことができる。

【0050】

ピンによって、アッパーの表面にきわめてきめの細かい構造を生じさせることが可能になる。したがって、ボールをコントロールする間、この構造によって得られる摩擦は高く、すなわち「タッチ」を維持することができる。

【0051】

本発明の文脈における「ピン」は、弾性がある外面に対して動くことによって表面特性を変えることができる任意の構造と理解される。したがって、ピンは、ニブ、球、角錐、立方体などの形状を有することができる。

【0052】

外面の該当部分は、アクチュエータによって降ろされ又は起こされるように構成された複数のフラップを含むことができる。この構造は、（例えば、リブ付きの構成またはフィン状の突起部を有する）構造化された表面を備えた周知のシューズの外観および挙動を模倣できると同時に、ボールのコントロールを必要とする状況において、例えばドリブルの間に、フラップを下げることができる。

【0053】

アクチュエータは、形状記憶合金（例えばワイヤ）または電気モータに基づくことができる。形状記憶合金および電気モータによって、アッパーの少なくとも1つの表面特性を調節するためにアクチュエータがかなり大きい力を及ぼすことが可能になると同時に、形状記憶合金および電気モータが必要とする電気エネルギーはあまり高くない。形状記憶合金は、変形および加熱を受けたとき、その元の形状に戻る合金である。例えば形状記憶合金のワイヤは、例えばワイヤを通して流れる電流によって加熱することができる。ある特定の温度閾値に達すると、ワイヤは収縮する。冷却してその温度閾値より低くなった後、ワイヤは弛緩し、その元の状態に、すなわち元の長さおよび／または形状に戻る。材料はとりわけ軽く、きわめて小さいアクチュエータを可能にする。

【0054】

アクチュエータは、ソレノイドに基づくことができる。ソレノイドは、電源によって動力を供給された場合、磁界を発生させる。磁界は、強磁性材料に力を及ぼすことができる。したがって、ソレノイドは、アッパーの外面の該当部分の表面特性を変える機構を駆動することができる。

【0055】

アクチュエータは、熱アクチュエータとすることができる。熱アクチュエータは、好ましくは大きい熱膨張率を有する材料の温度を変える。したがって、温度が変わると材料の長さが変わり、それを用いてアッパーの外面の該当部分の表面特性を変える機構を駆動することができる。

【0056】

アクチュエータは、空気アクチュエータとすることができる。例えば加圧空気によって小さいピストンを駆動して、アッパーの外面の該当部分の表面特性を変える機構を駆動することが可能である。

【0057】

アクチュエータは、電気活性ポリマーとすることができる。そうしたポリマーは、電氣的な刺激に応答して形状変化を示す。例えばそうしたポリマーに電圧を加えた場合、ポリ

10

20

30

40

50

マーは、力線の方向に収縮し、力線に垂直に膨張することができる。電気活性ポリマーは、誘電エラストマーの薄いフィルムを、カーボンを含有する柔らかいポリマーフィルムと前後に重ね合わせるによって作成することができる。本発明の文脈において使用可能な電気活性ポリマーの主なタイプは、電界によって駆動される電子的な電気活性ポリマー、イオンの移動性を必要とするイオン性電気活性ポリマー、およびナノチューブを含む。

【0058】

少なくともアッパーの外面の該当部分は弾性があることができ、電気活性ポリマーは弾性部分より下に配置することができ、したがって、電気活性ポリマーの形状変化がアッパーの外面の弾性部分の表面特性の変化を生じさせる。こうして、他の機構を用いずに、アクチュエータによって表面特性を直接的に変えることができる。電気活性ポリマーの形状の変化は、長さ、体積、厚さ、幅、表面積、弾性率および／または剛性率の変化を含むことができる。

10

【0059】

アクチュエータは電気活性ポリマーとすることができ、またアクチュエータは、電気活性ポリマーがアッパーの外面の一部の表面特性をそれを介して変えることができるような機構に結合することが可能である。その機構は、前述の機構、すなわちピン、フラップおよび／またはフィンとすることができ。

【0060】

アクチュエータは、ラッチ式の機構を駆動することができる。ラッチ式の機構において、アッパーの外面の該当部分の表面特性を変える機構を駆動する力は、ばね、弾性があるストラップ、圧縮された袋など予め圧力を加えられた要素によって与えられる。アクチュエータを用いて、予め圧力を加えられた要素を解放し、予め圧力を加えられた状態から圧力を受けていない状態にする。アッパーの外面の該当部分の表面特性を変える機構は、この移行によって駆動される。

20

【0061】

アクチュエータは、予め圧力を加えられた要素によって支持することができる。例えば、予め圧力を加えられたばね、弾性があるストラップまたは圧縮された袋からの力がアクチュエータの力に加わり、アクチュエータを支持することができる。

【0062】

センサは、加速度計、ジャイロスコープまたは磁界センサとすることができ。そうした種類のセンサは、シューズの運動学的な状態（すなわち、運動、回転および向き）の変化を確実に検知するのに適している。シューズの運動学的な状態は、競技者が行っている運動（例えば、キック、シュート、パス、コントロールなど）に直接的に関係付けられる。

30

【0063】

外面は皮膚状にすることができる。皮膚状の外面は、処理ユニットがアクチュエータにアッパーの滑らかな表面を生じさせるように指示した状態で、ボールを直接コントロールすることおよびボールにタッチことを可能にする。

【0064】

シューズはソールをさらに含むことができ、センサ、アクチュエータおよび処理ユニットはソールに組み込まれる。この配置は省スペースであり、センサ、アクチュエータおよび処理ユニットの最大限の保護を実現する。あるいは、特に形状記憶合金（「SMA」）のワイヤを用いる場合、アクチュエータの少なくとも一部がアッパーの中に延びることができる。例えばSMAワイヤをソールのプレートに固定し、アッパーの中に延びるようにすることが可能である。

40

【0065】

処理ユニットによって検知される既定の事象は、キックとすることができる。キックは、サッカー、フットボール、アメリカンフットボールおよびラグビーなどのスポーツでたびたび行われる。したがって、シューズをキックに適応させることは、競技者にとって価値が高い。

50

【0066】

既定の事象は、ショートパス、ロングパス、シュートまたはボールのコントロールとすることができる。これらの事象も、サッカー、フットボール、アメリカンフットボール、ラグビーなどのスポーツでたびたび行われる。したがって、シューズをそうした事象の1つに適応させることは、競技者にとって価値が高い。

【0067】

処理ユニットは、以下のステップ、すなわち、(a.) センサから時系列値のセンサデータを読み出すステップと、(b.) フィルタおよび適当な信号処理方法を適用して時系列値を前処理するステップと、(c.) 時系列値を複数のウィンドウにセグメント化するステップと、(d.) 複数のウィンドウのそれぞれにおいてセンサデータから複数の特徴を抽出するステップと、(e.) 複数のウィンドウにおいてセンサデータから抽出された複数の特徴に基づいて、複数のウィンドウに関連付けられる事象クラスを推定するステップとを実施することによって、既定の事象を検知するように適合させることができる。

10

【0068】

各ステップのこの順序は、事象の確実な検知を可能にし、計算的に安価であり、リアルタイム処理に対して可能であり、試合の間、広範囲の様々な事象に適用することができる。特に、事象が実際に完了する前に事象を検知することができる。例えば、早い段階でシュートを識別することができる。こうした利点は、ステップの特定の組み合わせによって実現される。したがって、センサによって読み出された時系列値を複数のウィンドウにセグメント化することによって、データの処理を、ウィンドウの大きさによって与えられる限られたデータ量に集中させることができる。ウィンドウのそれぞれにおいてセンサデータから複数の特徴を抽出することによって、問題の次元を小さくすることができる。例えば、各ウィンドウが数百のデータポイントを含む場合、約12の関連する特徴を抽出することによって、計算コストがかなり軽減される。さらに、複数のウィンドウに関連付けられた事象クラスを推定する後続のステップは、抽出された特徴に対してのみ機能すればよく、各ウィンドウのデータポイントの全組に対して機能する必要はない。

20

【0069】

事象クラスは、少なくとも所定の検知すべき事象を含むことができる。特定の事象のいずれにも属さないセンサデータには、NULLクラスが関連付けられる。こうして、特定の行動に重要な事象と他のすべての事象とを区別することができる。

30

【0070】

時系列値は、スライディングウィンドウに基づき、複数のウィンドウにセグメント化することができる。スライディングウィンドウは簡単に実施することができ、計算的に安価である。

【0071】

時系列値は、時系列値中に存在する少なくとも1つの条件に基づき、複数のウィンドウにセグメント化することができる。こうして、ウィンドウのそれぞれが、所定の検知すべき事象と決まった時間関係にあることを保証することができる。例えば、複数のウィンドウのうちの第1のウィンドウの時間位置が、既定の事象の始まりと一致するようにすることができる。

40

【0072】

条件は、決められた閾値のセンサデータのクロッシングとすることができる。センサデータのクロッシングは、簡単に検知することができ、計算的に安価であり、検知すべき事象の時間位置と適切な相関関係を示す。

【0073】

時系列値は、予め記録された事象の既知の信号を用いて決定される事象のテンプレートとのマッチングの使用に基づき、複数のウィンドウにセグメント化することができる。マッチングは、相関関係、マッチドフィルタリング、動的タイムワーピング、または最長共通部分列(「LCS」)およびそのスライディングウィンドウの変量、ワーピングLCSに基づくことができる。

50

【0074】

特徴は、例えばウェーブレット解析、主成分分析（「PCA」）または高速フーリエ変換（「FFT」）を適用することによって、少なくとも時間統計、時空間統計、スペクトル統計またはアンサンブル統計の1つに基づくことができる。言及した統計および変換は、できるだけ非冗長なウィンドウのそれぞれにおいて時系列値から特徴を導き出すのに適しており、事象の確実な検知を可能にする。

【0075】

特徴は、単純平均、正規化された信号エネルギー、運動強度、信号強度面積、軸間の相関関係、ウィンドウ内の最大値、ウィンドウ内の最小値、ウェーブレット変換の最大詳細係数、テンプレートとの相関関係、テンプレートの主成分に対する射影、テンプレートの固有空間までの距離、スペクトル中心、帯域幅または卓越振動数の1つに基づくことができる。こうした種類の特徴は、人の運動に関連付けられた事象の確実な検知を可能にすることが分かっている。

【0076】

事象クラスは、単純ベイズ分類器などのベイズ分類器、サポートベクトルマシンなどの最大マージン分類器、アダプスト分類器およびランダムフォレスト分類器などのアンサンブル学習アルゴリズム、最近傍分類器、ニューラルネットワーク分類器、ルールベース分類器、またはツリーベース分類器に基づいて推定することができる。こうした方法は、人の行動に関連付けられた事象の確実な分類を可能にすることが分かっている。

【0077】

事象クラスは、条件付き確率場、動的ベイジアンネットワークなどによって、事象およびNULKクラスの系列行動を確率論的にモデル化することに基づいて推定することができる。

【0078】

事象クラスは、（a.）所定の検知すべき事象とNULKクラスの異なる位相を区別するステップであって、NULKクラスが特定の事象に属さないセンサデータに関連付けられる、ステップと、（b.）例えば隠れマルコフ型のモデルなどの動的ベイジアンネットワークによって、事象およびNULKクラスの系列行動をモデル化するステップとを含むハイブリッド分類器に基づいて推定することができる。そうしたハイブリッド式の分類は応答時間を増やし、したがって、リアルタイムの事象の検知に理想的に適している。これは、ハイブリッド分類器が、事象が実際に完了する前に事象を分類することが可能であることによる。

【0079】

推定ステップは、教師あり学習によってトレーニングされた分類器に基づくことができる。教師あり学習によって、分類器を所定のクラスの事象（例えば、キック、シュート、パスなど）、および／または所定のタイプのアスリート（例えば、プロ、アマチュア、レクリエーション）、または特定の人にも適応させることが可能になる。

【0080】

推定ステップは、教師なし学習によってトレーニングされた動的ベイジアンネットワークに基づくことができる。教師なし学習によって、特定のものではない事象に対処するNULKクラスをモデル化することが可能になる。

【0081】

推定ステップは、オンライン学習によってトレーニングされた分類器に基づくことができる。オンライン学習によって、分類器を人の作用なしでシューズの着用者に適応させることが可能になる。これは、ボールの接触を検知した後に分類器を更新するフィードバックループによって実現することが可能である。

【0082】

既定の事象はリアルタイムで検知することができる。リアルタイム解析を用いて、ある特定の事象を予測し、アクチュエータによるアップパーの外面の該当部分の少なくとも1つの表面特性の適応を開始することができる。

【0083】

詳細な説明

本明細書では、本発明の実施形態の主題について、法的要件を満たすように具体的に説明するが、この説明は、必ずしも特許請求の範囲の範囲を限定するものではない。請求される主題は、他の方法で具現化すること、異なる要素またはステップを含むこと、および他の既存のまたは将来の技術と共に使用することが可能である。この説明は、個々のステップまたは要素の配置の順序について明確に説明する場合を除き、様々なステップもしくは要素の間の特定の順序または配置を意味するものと解釈すべきではない。

【0084】

図1Aおよび1Bは、本発明による球技用のシューズ100のある特定の実施形態の概略図を示している。そうしたシューズ100は、サッカー、フットボール、アメリカンフットボール、ラグビーなどの球技に使用することができる。図1Aおよび1Bにおいて理解されるように、シューズ100は、外面102を有するアッパー101を含む。アッパー101は、革、合成皮革、ポリエステルなどのプラスチックなど、従来型の材料から製造することができる。アッパーは、糸から製造される場合、例えば緯糸編みにすること、経糸編みすること、または織ることなどが可能である。

10

【0085】

図1Aおよび1Bに示すように、アッパー101はソール103に接続される。ソール103は、エチレン酢酸ビニル（「EVA」）、ポリウレタン（「PU」）、熱可塑性ポリウレタン（「TPU」）などの従来型の材料から製造することができる。アッパー101は、例えば接着、縫い付け、溶接または他の技術によってソール103に接続することができる。

20

【0086】

シューズは、アッパー101の外面102の一部の少なくとも1つの表面特性を変えるように構成されたアクチュエータ104を含む。図1Aおよび1Bの実施形態では、アクチュエータ104は形状記憶合金（SMA）に基づき、すなわち、アクチュエータ104は、SMAからV字形の構成に製造された1本のワイヤを含む。1本のSMAワイヤではなく、複数本のワイヤを用いることができ、構成は、例えばU字形、S字形など異なってもよい。また、その形状を変えることが可能なSMA以外の任意の材料を用いることができる。一般に、アクチュエータ104として電気モータまたは空気圧弁を用いることも可能である。

30

【0087】

アッパー101の外面102の特性を変える部分は、足前部領域、内側面のみ、外側面のみ、両面、踵領域、（内側および／または外側の）中足領域などに配置することができる。該当部分は、前述の領域の任意の組み合わせに配置することもできる。したがって、「部分」とは、アッパー101の面102上の単一の領域、または2つ以上の分かれた別個の領域と理解される。一般に、特性を変える部分は、アッパー101の面102上の任意の位置に配置することができる。

【0088】

本明細書に記載されるすべての実施形態に関して、少なくとも1つの表面特性は、アッパー101の外面102の該当部分の表面構造とすることができる。したがって、処理ユニット106は、例えば競技者がボールをコントロールしていることを検知した場合、アクチュエータ104が、例えば該当部分に波状構造を与えることによってアッパー101の外面102の該当部分の表面構造を変え、ボールの最適なコントロールを可能にすることができる。さらに、少なくとも1つの表面特性は、アッパーの外面の該当部分の摩擦とすることができる。したがって、処理ユニット106は、例えば競技者がシュートを行っていることを検知した場合、アクチュエータ104がアッパー101の外面102の該当部分の表面摩擦を高め、競技者がたくさんのスピンをかけてボールをシュートできるようにすることが可能である。少なくとも1つの表面特性は、アッパーの外面の該当部分の摩擦とすることができる。したがって、処理ユニット106は、例えば競技者が

40

50

シュートを行っていることを検知した場合、アクチュエータ１０４がアッパー１０１の外表面１０２の該当部分の表面摩擦を高め、競技者がたくさんのスピンをかけてボールをシュートできるようにすることが可能である。

【００８９】

複数の表面特性を一度に変えることが可能であることに留意すべきである。したがって、構造を摩擦と同時に変えることができる。摩擦を表面積と同時に変えることができる。表面積を表面構造と同時に変えることができる。言及した３つの特性すべてを同時に変えることができる。また、この特性の列挙は限定的ではなく、本発明の文脈の範囲内で他の特性を変えることも可能である。

【００９０】

シューズ１００は、シューズ１００の動きに感応する少なくとも１つのセンサ１０５を含む。センサ１０５は、加速度計、ジャイロスコープまたは磁界センサなど、シューズ１００の動きを測定することが可能な任意のタイプのセンサとすることができる。さらに、異なるセンサの組み合わせを用いることができ、すなわち、センサ１０５は、精度を高めるために、加速度、回転および磁界の組み合わせを測定できるようにすることが可能である。このために、複数の別個のセンサを用いることもできる。

【００９１】

図１Ａおよび１Ｂに示すように、シューズは処理ユニット１０６も含み、処理ユニット１０６は、アクチュエータ１０４に接続され、この実施形態ではセンサ１０５と同じハウジングの中に配置される。しかしながら、処理ユニット１０６は、別のハウジングの中に配置することも可能である。処理ユニット１０６は、センサ１０５から読み出されたセンサデータを処理するように構成される。処理ユニット１０６はさらに、センサデータ中に既定の事象が検知された場合には、アクチュエータ１０４がアッパー１０１の外表面１０２の一部の少なくとも１つの表面特性を変えるように構成される。そうした事象は、例えばキック、ショートパス、ロングパス、シュートまたはボールのコントロールとすることができる。以下に詳しく説明するように、処理ユニットは、事象が実際に完了する前に事象を検知する技術を利用することができる。したがって処理ユニットは、ボールが当たる前に、アクチュエータがアッパーの該当部分の少なくとも１つの表面特性を適応させるようにすることができる。

【００９２】

図１Ａおよび１Ｂの実施形態には、必要な電力を処理ユニット１０６、センサ１０５およびアクチュエータ１０４に供給するバッテリー１０７も示されている。バッテリーは、弱くなったときに交換することが可能である。あるいは、バッテリーは再充電可能とし、誘導充電またはワイヤケーブル（例えばＵＳＢケーブル）の使用によって再充電することができる。バッテリーの代わりに、圧電性結晶、磁石およびコイル、または着用者の動きによって生じる圧力から必要な出力を発生させる任意の他のエネルギーハーベスティング技術を用いることが可能である。

【００９３】

図１Ａは、「受動的な」表面構造を有するアッパー１０１を示し、すなわち処理ユニット１０６は、センサデータ中の既定の事象を検知しておらず、アクチュエータ１０４がアッパー１０１の外表面１０２の一部の表面特性を変えるようにしていない。図１Ａに示すように、アッパー１０１は滑らかな表面を含む。

【００９４】

対照的に、図１Ｂは、「能動的な」表面構造を有するアッパー１０１を示し、すなわち処理ユニット１０６は、センサデータ中の既定の事象を検知し、アクチュエータ１０４がアッパー１０１の外表面１０２の一部の少なくとも１つの表面特性を変えるようにした。図１Ｂに示すように、アッパー１０１の外表面１０２の一部は、その構造を滑らかな外観から波形の外観に変え、すなわち、その波形の面によって該当部分の摩擦も表面積も増大している。図１Ａおよび１Ｂには、表面構造を変えるための下にある機構２００も示されているが、機構２００については、以下で図２Ａおよび２Ｂを参照して詳しく説明する。

【0095】

図2Aおよび2Bを参照して、アクチュエータ104によってアップパー101の表面構造を変える例示的な機構200について説明する。これらの実施形態では、アップパー101の外面102の少なくとも一部は弾性がある。本発明の文脈における「弾性」とは、アップパーの外面が力および／または圧力を受けて変形するが、その形状をほぼ完全に（小さい許容誤差まで）その初期状態に回復することであると理解される。

【0096】

アップパー101の外面の弾性部分より下に、複数のフィン201が配置される。フィン201は、アップパー101の外面102より下の可撓性のあるヒンジ構造として配置される。フィン201より下に摺動層202が配置され、摺動層202は、2つの層が互いに対して動くとき、フィン201と相互作用する複数のフィーチャ203を含む。フィン201および摺動層202の相対的な動きは、フィン201もしくは摺動層202を引くまたは押すアクチュエータ104によって引き起こされる。この相対的な動きがヒンジ構造を生じさせ、すなわち、フィン201をフィン201と同一面上にある面の内外に動かす。フィン201がアップパー101の弾性がある外面102より下に配置されるため、外面102の波形の外観および特性が変えられる。

【0097】

したがって、図2Aにおいて理解されるように、フィン201が低い状態では、摺動層202のフィーチャ203がフィン201の端部の間に配置される。図2Bにおいて理解されるように、アクチュエータ104（図2Aおよび2Bには図示せず）がフィン201もしくは摺動層202を押すまたは引くと、フィーチャ203の角をなす端部がフィン201の端部を上方に押す。

【0098】

アップパー101の外面102の該当部分の少なくとも1つの表面特性を変える能動的な状態への移行後、機構は移行して再び受動的な状態に戻ることができる。この移行は、ばねまたは材料（これは、別の材料、またはアップパー101自体の弾性面とすることが可能である）の弾性特性を用いたばね機構によって生じさせることができる。また、複数のアクチュエータシステムを用いることが可能であり、その場合、2つ以上のアクチュエータを異なる時間に始動させることができ、第1のアクチュエータは「能動的な」方向に引き、一方、第2のアクチュエータは反対の「受動的な」方向に引き、機構をその初期状態に戻す。

【0099】

図3A、3Bおよび4を参照して、アクチュエータ104によってアップパー101の表面構造を変える他の例示的な機構300について説明するが、図3Aはシューズ100全体を示し、図3Bおよび4は、機構300の細部を示している。これらの実施形態でも、アップパー101の外面102の少なくとも一部は弾性がある。アップパー101の外面102の弾性部分より下に、ストリップの形の複数の膨張可能な要素301が配置される。もちろん、膨張可能な要素301の数が異なってもよく、また膨張可能な要素の形状が異なってもよい。例えば膨張可能な要素の数は、1から10の間の範囲とすることができるが、さらに多くの膨張可能な要素を用いることも可能である。さらに、ストリップではなく、点形状または波状の膨張可能な要素を用いることもできる。

【0100】

アップパー101の外面102の特性を変える部分は、足前部領域、内側面のみ、外側面のみ、両面、踵領域、（内側および／または外側の）中足領域などに配置することができる。該当部分は、前述の領域の任意の組み合わせに配置することもできる。したがって、「部分」とは、アップパー101の面102上の単一の領域、または2つ以上の分かれた別個の領域と理解される。一般に、特性を変える部分は、アップパー101の面102上の任意の位置に配置することができる。

【0101】

図3Bに詳しく示すように、膨張可能な要素301は、アクチュエータ104として空

10

20

30

40

50

気圧弁を含むモジュール 302 に接続される。接続はホース 303 を介して行われる。図 3 A、3 B および 4 のこれらの実施形態では、モジュール 302 は空気圧弁だけではなく、処理ユニット 106 およびセンサ 105 も収容する。もちろん、そうではなく、処理ユニット 106 および／またはセンサ 105 を、空気圧弁 104 から離して配置することも可能である。空気溜め 304 によって、加圧空気が空気圧弁に供給される。空気溜め 304 は、他のホース 305 を介して空気圧弁に接続される。図 3 A、3 B および 4 のこれらの実施形態では、加圧空気は、シューズ 100 を着用する競技者の動作によって加圧空気を発生させる空気ポンプ 306 によって空気溜め 304 に供給される。したがって、競技者が歩くとき、走るとき、跳ぶときなどに、空気溜め 304 が加圧空気で充填される。しかしながら、競技者の動作によって駆動される空気ポンプの代わりに、例えば電力によって駆動される小型の圧縮器を用いることも可能であることに留意されたい。

10

【0102】

図 3 A、3 B および 4 のこれらの実施形態では、モジュール 302 内の空気圧弁は、空気溜め 304 からの加圧空気を膨張可能な要素 301 に供給するように構成される。要素 301 を膨張させると、要素 301 は、アッパー 101 の弾性がある外面 102 を通って現れる。こうして、外面 102 の一部の少なくとも 1 つの表面特性が変えられる。

【0103】

加圧空気は、例えば三方弁を用いることによって、膨張可能な要素 301 から解放することができる。膨張可能な要素 301 は弁の中央ポートに接続され、弁の中央ポートは、弁が第 1 の状態にあるときには側方ポートの一方に接続され、弁が異なる第 2 の状態にあるときには他方の側方ポートに接続される。空気溜め 304 は一方の側方ポートに接続され、他方の側方ポートは開放されたままであり、すなわち、他方の側方のポートを通気に用いることができる。したがって、第 1 の状態では膨張可能な要素 301 を弁によって加圧することができ、他方の弁の第 2 の状態では膨張可能な要素 301 は通気する。

20

【0104】

バッテリーの電力を節約するために、ラッチ弁を用いることができる。したがって、弁の異なる状態間で切り換える間だけ、弁に電力を加えなければならない。

【0105】

図 4 は、膨張可能な要素、モジュール、ホース、空気溜め、ホースおよび空気ポンプを含む前述の機構 300 の、シューズ 100 のソール 103 に対する配置を分解図として示している。したがって、空気ポンプ 306 は、ソール 103 の踵部とシューズを着用する競技者の踵との間に配置される。この位置では、競技者の動作のエネルギーが、ポンプ 306 によって供給される加圧空気以最も適切に変換される。例えば踵またはつま先の下など、空気ポンプ 306 の異なる位置も可能である。

30

【0106】

図 4 に示すように、モジュール 302 は、競技者の足弓の下に位置するソール 103 の空洞 401 の内側に配置される。この位置では、モジュール 302 は競技者の邪魔をせず、衝撃から保護される。例えば踵またはつま先の下など、空気ポンプ 306 の異なる位置も可能である。

【0107】

図 5 A、5 B および 6 を参照して、アクチュエータ 104 によってアッパーの外面 102 の一部の少なくとも 1 つの表面特性を変える他の例示的な機構 500 について説明する。これらの実施形態でも、アッパー 101 の外面 102 の少なくとも一部は弾性がある。アッパー 101 の外面 102 の弾性部分より下に、複数のピン 501 が配置される。複数のピン 501 より下に、波状構造 502 が配置される。波状構造 502 は、波状構造 502 をピン 501 に対して動かすことができるようにアクチュエータ 104 に接続される。こうして、ピン 501 を外面 102 に対して降ろし又は起こすことが可能になる。ピン 501 がアッパー 101 の弾性がある外面 102 より下に配置されるため、外面 102 の表面構造を変えることができ、すなわち、ピン 501 を上げると、バックルまたは隆起部が表面上に現れる。

40

50

【0108】

本発明の文脈における「ピン」とは、弾性がある外面に対して動くことによって表面特性を変えることができる任意の構造と理解される。したがって、ピンは、ニブ、球、角錐、立方体などの形状を有することができる。

【0109】

アッパー101の外面102の特性を変える部分は、足前部領域、内側面のみ、外側面のみ、両面、踵領域、（内側および／または外側の）中足領域などに配置することができる。該当部分は、前述の領域の任意の組み合わせに配置することもできる。したがって、「部分」とは、アッパー101の面102上の単一の領域、または2つ以上の分かれた別個の領域と理解される。一般に、特性を変える部分は、アッパー101の面102上の任意の位置に配置することができる。

10

【0110】

図5Aでは、ピン501は下方位置に示されている。この位置では、ピン501は波状構造502の窪み503の中に位置する。アクチュエータ104が波状構造502をピン501に対して動かすと、ピン501が持ち上げられる。したがって図5Bでは、ピン501は、波状構造502の窪み503がピン501から離れるように移動した上方位置に示されている。

【0111】

この機構のある特定の実施形態を図6に示す。ピン501のための開口603を含む中間層602の頂部に、アッパー101の外面102の弾性部分601が配置される。中間層602より下に、案内層604が配置される。案内層604は、ピン501を垂直方向に案内する。しかしながら、案内層604は任意選択であり、ピン501を適所に保持するには中間層602で十分であろう。ピン501より下に、窪み503を有する波状構造502が配置される。波状構造502は、基層605によって囲まれる。図6に示す機構の動作は、図5Aおよび5Bを参照して既に説明している。

20

【0112】

図7Aおよび7Bを参照して、アクチュエータ104によってアッパーの外面102の一部の少なくとも1つの表面特性を変える、他の例示的な機構700について説明する。これらの実施形態では、アッパー101の外面102は複数のフラップ701を含む。フラップ701は、アクチュエータ104（図7Aおよび7Bには図示せず）によって降ろされ又は起こされるように適合される。図7Aおよび7Bにおいて理解されるように、フラップ701より下に、波状の表面構造を有する層702が配置される。層702の波状の表面構造は、フラップ701の構造と相補的である。アクチュエータ104が層702を引くまたは押すと、フラップ701は下げられるまたは持ち上げられる。1つの選択肢として、外面102より上にカバー層を配置することができる。

30

【0113】

アッパー101の外面102の特性を変える部分は、足前部領域、内側面のみ、外側面のみ、両面、踵領域、（内側および／または外側の）中足領域などに配置することができる。該当部分は、前述の領域の任意の組み合わせに配置することもできる。したがって、「部分」とは、アッパー101の面102上の単一の領域、または2つ以上の分かれた別個の領域と理解される。一般に、特性を変える部分は、アッパー101の面102上の任意の位置に配置することができる。

40

【0114】

図7Aでは、フラップ701は下方位置にあり、下方位置では、フラップ701の頭部703が、フラップ701より下に配置された層702の対応する陥凹部704の中に位置する。図7Bでは、アクチュエータ104は、層702をフラップ701に対して移動させている。ここでは、層702の波状構造によって、フラップ701は持ち上げられた位置にある。こうして、アッパー101の外面102の表面構造を変えることができる。

【0115】

アクチュエータ104は、電気活性ポリマーとすることができる。そうしたポリマーは

50

、電氣的な刺激に応答して形状変化を示す。例えばそうしたポリマーに電圧を加えた場合、ポリマーは、力線の方向に収縮し、力線に垂直に膨張することができる。電気活性ポリマーは、誘電エラストマーの薄いフィルムを、カーボンを含む柔軟なポリマーフィルムと前後に重ね合わせるによって作成することができる。

【0116】

図8Aおよび8Bは、電気活性ポリマーの原理を示している。この例における電気活性ポリマーは、上側および下側でそれぞれコンプライアント電極82aおよび82bによって覆われた誘電エラストマーフィルム81である。電極82aおよび82bは、誘電エラストマーフィルム81への電圧の印加を可能にする。このために、ワイヤ83aおよび83bがそれぞれ、電極82aおよび82bに接続される。図8Aは、電圧が加えられていない状態の電気活性ポリマーを示している。

10

【0117】

図8Bでは、誘電エラストマーフィルム81の両端に、ワイヤ83aおよび83b、ならびに電極82aおよび82bを介して電圧Vが加えられている。図8Bに示すように、誘電エラストマーフィルム81の厚さは、それぞれ矢印84aおよび84bによって示すように減少している。同時に、誘電エラストマーフィルム81の幅および深さは、矢印85a、85b、85cおよび85dによって示すように増大している。形状の変化は、加えられた電圧によって引き起こされる。

【0118】

本発明の文脈において使用可能な電気活性ポリマーの主なタイプは、電界によって駆動される電子的な電気活性ポリマー、イオンの移動性を必要とするイオン性電気活性ポリマー、およびナノチューブを含む。

20

【0119】

電子的な電気活性ポリマーは、強誘電ポリマー、誘電エラストマー、電歪ポリマーおよび液晶材料など、複数のサブタイプに分けることができる。電子的な電気活性ポリマーの活性原理は、ポリマー内の電荷に直接作用することによって形状変化をもたらす加えられた電界に基づく。電子的な電気活性ポリマーは、迅速な応答を示し、能率的であり（1.5mWまで）、かつ温度および湿度の変動に比較的鈍感である。電子的な電気活性ポリマーは、高電圧および低電流で動作する。

【0120】

優れたイオン性電気活性ポリマーは、イオノマーポリマー—金属複合物、イオン性ポリマーゲル、導電性ポリマーおよび電気粘性流体を含む。イオン性電気活性ポリマーの活性原理は、イオンまたは荷電種の電氣的に駆動される質量輸送に基づき、それによって形状変化が引き起こされる。イオン性電気活性ポリマーは、比較的高い圧力を及ぼすことができ、かつ低い電圧によって駆動することができる。

30

【0121】

図9Aおよび9Bは、本発明の文脈において使用可能な電気活性ポリマーのある特定の実施形態を示し、図9Aは電気活性ポリマーの非活性（すなわち、電圧が加えられていない）状態を示し、図9Bは活性（すなわち、電圧が加えられた）状態を示す。電気活性ポリマーは、それぞれ電極92aおよび92bによって被覆された薄いフィルム91である。図9Aに示すように、非活性状態では、フィルム91は平坦な構成になる。図8Aおよび8Bに関連して説明したように、電極を介してフィルム91の両端に電圧Vを加えると、フィルム91は平坦化され、その幅および深さ、すなわちその表面積を増大させる。表面積が増大することによって、フィルム91が反り、半球状の構成を得る。示されていないが、フィルム91が異なる形状（例えば、立方体、長方形、・・・）を有することも可能であろう。電圧が遮断された場合、フィルム91は、図9Aに示す平坦な構成に戻る。

40

【0122】

本発明の文脈では、そうした電気活性ポリマー81および91を以下のように用いることができる。すなわち、アッパー101の外周面102の少なくとも一部は弾性があるとすることができ、電気活性ポリマー81、91は弾性部分より下に配置することができ、し

50

たがって、電気活性ポリマー 8 1、9 1 の形状の変化が、アッパー 1 0 1 の外面 1 0 2 の弾性部分の表面特性の変化を生じさせる。こうして、他の機構を用いずに、アクチュエータ 8 1、9 1 によって表面特性を直接的に変えることができる。電気活性ポリマー 8 1、9 1 の形状の変化は、長さ、体積、厚さ、幅、表面積、弾性率および／または剛性率の変化を含むことができる。

【0 1 2 3】

図 1 0 は、図 9 A および 9 B に関連して説明したエラストマー性ポリマーを含むモジュール 1 0 0 0 を示している。エラストマー性ポリマーがモジュール 1 0 0 0 の上側に隆起部（すなわち、小さい半球体）として現れる、（電圧が加えられた）活性状態のモジュールが示してある。そうした隆起部のうちの 3 つが、参照番号 1 0 0 1 によって例示的に示されている。非活性状態では、隆起部は見えなくなる。モジュール 1 0 0 0 は、それぞれモジュール 1 0 0 0 に電圧を加えるワイヤ 1 0 0 2 a および 1 0 0 2 b も含む。

10

【0 1 2 4】

モジュール 1 0 0 0 は、例えばアッパー 1 0 1 の外面 1 0 2 の弾性部分の下に取り付けることが可能である。したがって、モジュール上に形成される隆起部は、外面 1 0 2 の弾性部分に現れることになる。こうして、モジュール 1 0 0 0、およびその内部でアクチュエータとして作用するエラストマー性ポリマーによって、摩擦、表面積および表面構造などの表面特性を簡単に変えることができる。

【0 1 2 5】

電気活性ポリマーは、アッパー 1 0 1 の外面 1 0 2 の該当部分の表面特性を間接的に変えることもできる。このために、図 8 A、8 B、および 9 A、9 B にそれぞれ示すポリマー 8 1 および 9 1 などの電気活性ポリマーは、電気活性ポリマーがアッパー 1 0 1 の外面 1 0 2 の一部の表面特性をそれを介して変えることができるような機構に結合することが可能である。機構は、本明細書において詳しく説明する機構、すなわちピン、フラップおよび／またはフィンなどとすることができる。

20

【0 1 2 6】

図 1 1 は、アッパー 1 0 1 の外面 1 0 2 の、本発明に従って少なくとも 1 つの特性を変える部分 1 1 0 1 の例示的な配置を示している。図 1 1 に示すように、該当部分 1 1 0 1 は、甲の上のつま先に近いシューズの外側面から、足弓に近い内側面へ延びる。この配置は、サッカー、アメリカンフットボールおよびラグビーなどの球技において最も重要であるインステップのフルキックおよびハーフキックに望ましい場合がある。図 1 1 に示す該当部分 1 1 0 1 より下に、前述の例示的な機構の 1 つを配置することができる。

30

【0 1 2 7】

しかしながら、アッパー 1 0 1 の外面 1 0 2 の特性を変える部分は、足前部領域、内側面のみ、外側面のみ、両面、踵領域、（内側および／または外側の）中足領域などに配置することもできる。該当部分は、前述の領域の任意の組み合わせに配置することもできる。したがって、「部分」とは、アッパー 1 0 1 の面 1 0 2 上の単一の領域、または 2 つ以上の分かれた別個の領域と理解される。一般に、特性を変える部分は、アッパー 1 0 1 の面 1 0 2 上の任意の位置に配置することができる。

【0 1 2 8】

以下では、センサ 1 0 5 によって提供されるデータ中の既定の事象をどのように検知し、それによって処理ユニット 1 0 6 が、アクチュエータ 1 0 4 にアッパー 1 0 1 の外面 1 0 2 の一部の少なくとも 1 つの表面特性を変えるように指示するかについて例示的な方法を説明する。

40

【0 1 2 9】

そうした方法 1 2 0 の全体的な概要を図 1 2 に示す。第 1 の方法ステップ 1 2 1 では、ノイズの低減および計算効率のために生のセンサデータを前処理する、すなわち、低域フィルタおよびデシメーションのような信号処理方法を適用する。第 2 の方法ステップ 1 2 2 では、時系列値をセグメントに分割する。第 3 の方法ステップ 1 2 3 では、セグメント化された時系列値から特徴を抽出する。第 4 の方法ステップ 1 2 4 では、抽出された特徴

50

を分類して事象を検知する。

【0130】

時系列値は、例えば非巡回型移動平均フィルタ、カスケード積分楕形（「CIC」）フィルタまたはフィルタバンクを用いたデジタルフィルタリングによって前処理することができる。

【0131】

センサデータを時系列値 $T = (s[0], \dots, s[k-1], s[k])$ （式中、 s は過去のサンプリングポイントにおける1つのセンサ軸の信号振幅を表し、 k は最新のサンプリングポイントを示す）と書くことができる。

【0132】

3軸加速度計から得られる例示的な時系列値を図13に示す。このプロットでは、横座標は秒単位の時間を示し、縦座標は地球の重力加速度 g の単位で測定した加速度を示す。プロットは、3次元（3軸）すべてにおいて加速度の時間発展を示している。この例示的な時系列値は、シューズを着用しているサッカーの競技者がインステップキックを行っている間に、サッカーシューズの内側に配置した加速度計によって得られた。

【0133】

時系列値のセンサデータを読み出し、方法ステップ121で前処理した後、図14に示すように、方法ステップ122において時系列値をウィンドウにセグメント化する。ウィンドウは、 $W = (s[k_1], \dots, s[k_2])$ （式中、 k_1 および k_2 はその境界を決める）と定義される。時系列値 T からセグメント化されたウィンドウを、図14に示すように、 $1, \dots, n, \{W^{(1)}, \dots, W^{(n-1)}, W^{(n)}\}$ によって表す。

【0134】

セグメント化ステップ122の例示的な結果を図15に示す。セグメント化ステップ122によって得られた2つの例示的なウィンドウ151および152が図示されている。例示的なウィンドウ151および152は、約210msの持続時間を有する。一般に、時系列値のセグメント化されたウィンドウは、目下の用途に適した任意の持続時間、例えば10~1000ms、サッカーの用途では好ましくは210msを有することができる。しかしながら、選択されたウィンドウのサイズが小さすぎた場合、重要な全体的な特徴の計算はほぼ不可能になる。対照的に、ウィンドウのサイズが大きすぎた場合、ある特定のタイムスタンプまでのリアルタイムの計算がより困難になる。

【0135】

図15の例示的なウィンドウ151および152は、50%だけ重複している。重複する領域を参照番号153で示す。図15に示す時系列値のセグメント化122は、一定の大きさおよび重複率を有するスライディングウィンドウに基づく。そうしたスライディングウィンドウのセグメント化の代わりに、時系列値中に存在するある特定の条件に基づくセグメント化を用いることができる。例えば条件は、決められた閾値のセンサデータのクロッシングとすることができる。どちらかの方向で閾値を超えた場合にウィンドウが始まり、ウィンドウは次のクロッシングで終わる。最小および最大のウィンドウの長さは、関連性のないデータを省き、計算の労力を軽減するように設定することができる。例示的な最小のウィンドウの長さは50msであり、例示的な最大のウィンドウの長さは300msである。さらに、最小加速度の閾値によって、検知すべき事象に属さない関連性のないウィンドウの数を減らすことができる。したがって、閾値に基づくウィンドウの制限は、身体または身体の一部、例えばキックしている足の前後への加速度によって決まる。時系列値は、予め記録された事象の既知の信号を用いて決定される事象のテンプレートとのマッチングの使用に基づき、複数のウィンドウにセグメント化することもできる。マッチングは、相関関係、マッチドフィルタリング、動的タイムワーピングまたは最長共通部分列（「LCSS」）およびそのスライディングウィンドウの変量、ワーピングLCSSに基づくことができる。

【0136】

図 1 2 に示す次のステップは、特徴の抽出 1 2 3 である。このステップ 9 3 0 では、ウィンドウのそれぞれにおいてセンサデータから複数の特徴を抽出する。特徴（特性変数とも表す）を抽出し、図 1 6 に示すように、特定のウィンドウをより低い次元で表現する。したがって、すべてのウィンドウ 1, . . . , n から、F 次元の特徴値を含む特徴ベクトル x を計算する： $x^{(n)} = f(W^{(n)})$ （式中、 $f(\cdot)$ は多次元関数である）。

【0 1 3 7】

抽出される特徴は、例えばウェーブレット変換、主成分分析（PCA）、線形予測コーダ（「LPC」）の係数、高速フーリエ変換（「FFT」）の係数（例えば、スペクトル中心および帯域幅）を適用することによって、時間統計、時空間統計、スペクトル統計またはアンサンブル統計の少なくとも 1 つに基づくことができる。他の特徴を用いることも

10

【0 1 3 8】

人の運動は、人の関節に似た限られた自由度を有し、そのため、複数のセンサ軸による冗長な観測結果になる。例えばキックを開始するために後方へ動く間、身体の軸が関係付けられる。センサ軸の間、すなわち観測結果の異なる次元の間の線形の関係を、標本相関によって測定することができる。2 つのセンサ軸の間の相関係数は、ピアソン相関係数によって推定することができる。

【0 1 3 9】

ウィンドウの標本平均は、1 次元のデータ標本、すなわち、1 つのセンサ軸に関連付けられたデータを平均することによって決まる。さらに信号エネルギーは、運動強度のエビデンスを与える。したがって、人の事象は強度を反映することによって解析することができる。例えばサッカーでは、キックをする事象は、ショートパスまたはドリブルをする動作のような他の事象より大きい力を有すると考えられる。次元 d （すなわち、センサ軸 d ）の 1 つの観測ウィンドウにおける信号エネルギーを、

20

【数 1】

$$E_d = \frac{1}{K} \sum_{k=0}^{K-1} (s_d[k])^2$$

（式中、ウィンドウの長さは K によって表される）によって評価する。

【0 1 4 0】

人の運動の全体的な強度を表現するために、全次元 D にわたる正規化されたエネルギーの累計として、運動強度 MI を導入する：

30

【数 2】

$$MI = \frac{1}{D} \sum_{d=1}^D E_d$$

。さらに、正規化された信号強度面積 SMA を、絶対値 $|s_d[k]|$ を合計することによって、

【数 3】

$$SMA = \frac{1}{KD} \sum_{k=0}^{K-1} \sum_{d=1}^D |s_d[k]|$$

40

と定義する。尖度および非対称度のようなより高次の統計値を用いることも可能である。

【0 1 4 1】

追加としてまたは別法として、ウィンドウ W の寸法に沿った最小値および最大値などの時空間的特徴は、信号中の強いピークに関する情報を捉えることができる。したがって、例示的な時間統計および時空間統計は、標本平均、正規化された信号エネルギー、運動強度、信号強度面積、軸間の相関関係、ウィンドウ内の最大値およびウィンドウ内の最小値を含む。

【0 1 4 2】

50

時間統計もしくは時空間統計の追加としてまたは別法として、特徴の抽出 1 2 3 にウェーブレット解析を用いることができる。ウェーブレット解析は、スペクトル統計が経時的に変化する、非定常信号を特徴付けることができる。さらに、ウェーブレット解析は、信号の時間的な特徴とスペクトル的な特徴を同時に捉えるため、過渡的な事象を反映するという特性を有する。ウェーブレット変換は、帯域フィルタと同等であるウェーブレットと呼ばれるただ 1 つのプロトタイプ関数を用いて行われる。ウェーブレットを多重化したものを信号と共に畳み込み、ウェーブレットを縮約／消去したものによって信号の高／低周波数成分を抽出する。センサデータの観測結果のウィンドウが与えられると、基底ウェーブレットを拡張することによって、時間一周波数ドメインにおける多重解像度解析が実行される。ウェーブレット変換は、高周波数成分の優れた時間解像度、および低周波数成分の優れた周波数解像度をもたらす。ウェーブレット解析の詳細は、Martin Vetterli and Cormac Herley, “Wavelets and filter banks: Theory and design”, IEEE Transactions on Signal Processing, 40(9): 2207-2232, 1992に見出される。

【0143】

離散ウェーブレット変換を用いて、人の運動の特徴を捉えることができる。離散ウェーブレット変換は、高速のウェーブレット変換として効率的に実施することができる。離散ウェーブレット変換は、図 17 に示す一連の低域フィルタおよび高域フィルタによって信号を分解するフィルタバンクによって表される。各レベル i において、入力信号 $s[k]$ が、低域フィルタ $g_i[k]$ および高域フィルタ $h_i[k]$ によってフィルタにかけられる。後続のレベルにおいて、低域フィルタにかけられた信号は、半分にダウンサンプリングすることによってより低い解像度に連続的に分解され、一方、高域フィルタにかけられた信号から詳細係数 q_i を抽出することができ、詳細係数 q_i はそれぞれのウィンドウの特徴として用いることができる。高域信号が均等に分解された場合、その変換をウェーブレットパケット分解と呼ぶ。人の運動の細部を捉える離散ウェーブレット変換の詳細は、Martin Vetterli and Cormac Herley, “Wavelets and filter banks: Theory and design”, IEEE Transactions on Signal Processing, 40(9): 2207-2232, 1992に見出される。

【0144】

本発明の文脈では、ドベシィ (Daubechies) ウェーブレットを用いることが可能であり、その理由は、ドベシィウェーブレットが計算上効率的に実施することができることにある。例えば、特徴の抽出に 7 次のドベシィウェーブレットを用いることができる。

【0145】

時間的、時空間的およびスペクトル的な解析に加えて、人の事象の観測結果のアンサンブル統計により、記録されるデータをより単純に表現することができる。特定の動きに属する取得されたウィンドウは、テンプレートの生成に役立つことができる。第 d 次元において、観測されるウィンドウ $W^{(n)}$ のベクトルは、

【数 4】

$$w_d^{(n)} = [s_d^{(n)}[0], s_d^{(n)}[1], \dots, s_d^{(n)}[k-1]]^T$$

に従って構築される。この後、読みやすくするために次元のインデックス d を省略する。1 つの事象についてすべてのウィンドウ $W^{(n)}$ ($n \in \{1, \dots, N\}$) を集約すると、すべての観測結果 N に対する平均は、テンプレート τ :

【数 5】

$$\tau = [\tau[0], \tau[1], \dots, \tau[k-1]]^T = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N w^{(n)}$$

として役立つことができる。

【0146】

テンプレートマッチング法は、例えばピアソン相関係数を計算することによって、観測

のウィンドウとテンプレートとの間の類似性を測るものである。各観測結果 n は、ベクトル $\phi^{(n)} = w^{(n)} - \tau$ だけテンプレートと異なる。 τ を減算した後、同じ事象に属するすべての観測結果の標本共分散行列 COV を計算することによって、2次統計を適用することができる：

【数 6】

$$COV = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (\phi^{(n)})(\phi^{(n)})^T = \frac{1}{N} \Phi \Phi^T$$

(式中、行列 Φ は中央の観測結果によって張られ、 $\Phi = [\phi^{(1)}, \phi^{(2)}, \dots, \phi^{(N)}]$)。行列 Φ の主成分 (PC) は、 $\Phi \Phi^T v_m = \mu_m v_m$ (式中、 μ_m は、 $\Phi \Phi^T$ の固有ベクトル v_m に属する m 番目の固有値を指し、 $m \in \{1, \dots, N\}$ (フルランク)) を解くことによって、すべての現実値に対する W の偏差の主方向のエビデンスを与える。

10

【0147】

これは、中央の共分散行列 COV の固有ベクトルを計算することと等価である。 M 個の最大固有値 $\mu_1 > \mu_m > \mu_M$ に属する主成分を、特徴の抽出に用いることができる。特定の事象に属するウィンドウ W のすべての次元は、前の観測結果から計算された同じ事象の対応する主成分の線形結合として表すことができる：

【数 7】

$$w \approx \sum_{m=1}^M \omega_m v_m$$

20

(式中、係数 ω_m は、主成分への射影によって計算される：

【数 8】

$$\omega_m = v_m^T \phi$$

)。係数 ω_m は、図 12 の後続の分類ステップ 124 のための特徴とみなすことができる。

【0148】

30

さらに、ウィンドウ W では、縮約された固有空間 $\{v_1, \dots, v_m\}$ までのユークリッド距離 ε が、

【数 9】

$$\varepsilon = \left\| w - \sum_{m=1}^M \omega_m v_m \right\|_2$$

によって与えられる。計算された主成分と同じ事象から得られたウィンドウの場合、ユークリッド距離は、異なる事象のウィンドウの場合より大きいと考えられる。したがって、縮約された固有空間までの距離 ε も特徴として用いることができる。

40

【0149】

したがって、ウェーブレット解析、主成分分析などを適用することにより、時間統計、時空間統計、スペクトル統計またはアンサンブル統計に基づいて、複数の特徴を抽出することができる。例示的な特徴は、標本平均、正規化された信号エネルギー E_d 、運動強度 (MI)、信号強度面積 (SMA)、軸間の相関関係、ウィンドウ内の最大値、ウィンドウ内の最小値、ウェーブレット変換によって得られたレベル l における最大詳細係数 q_l 、テンプレート τ との相関関係、テンプレート τ の第 m 主成分に対する射影 ω_m 、テンプレート τ の固有区間までの距離 ε を含む。

【0150】

抽出されたすべての特徴の特徴セットが与えられたとき、最も関連性がある非冗長の特

50

徴を選択して、方法実施の複雑さを軽減すべきである。特徴間の冗長性によって、無駄に計算コストが増大する可能性がある。同時に、この特徴のサブセットは、最適な分類のパフォーマンスをもたらすべきである。異なる選択技術、すなわちラッパー法、選択フィルタおよび埋め込み型の手法を区別することができる。

【0151】

ラッパー法は、異なる特徴のサブセットを用いて、本発明による方法のパフォーマンスを評価する。例えば逐次前進選択 (sequential forward selection) は、最適に機能する特徴を繰り返し付加する。

【0152】

選択フィルタは、選択手順に分類器を必要としないため、最も重要な特徴を見出すための高速な方法である。相互情報量は、特徴のサブセットの関連性を示し、異なるフィルタ技術によって推定することができる。

【0153】

最後に、埋め込み型の選択は、ラッパー法による網羅的な検索、および選択フィルタによる確率密度関数の推定を避けるために用いることができる。方法ステップ124で用いる一部の分類器は特徴の重要性の評価を既に含むため、埋め込み型の選択は合理的である。

【0154】

例えば、特徴の選択にランダムフォレスト分類器を用いることができる。ランダムフォレストは、デシジョンツリー分類器のアンサンブルと表現することができ、トレーニングデータの特徴をランダムに選択することによって成長する。ツリーごとに、トレーニングセット全体から置換によってトレーニングデータのサブセットが取り出される (ブートストラッピング)。このサブセットの中で特徴がランダムに選択され、それらの値を用いて、デシジョンツリーの各分岐ノードで閾値が確立される。分類の間、各ツリーによって、観測された特徴ベクトルの最も蓋然的なクラスが判定され、すべてのツリーの出力がマージされる。最多票を有するクラスが分類器の最終的な出力になる (多数決)。ランダムフォレスト分類器の詳細は、Leo Breiman, "Random forests", Machine learning, 45(1):5-32, 2001に見出される。

【0155】

図12に示すように、本発明による方法の次のステップ124では、それぞれのウィンドウでセンサデータから抽出された複数の特徴に基づいて、ウィンドウのそれぞれに関連付けられた事象クラスが推定される。このステップは分類とも称する。

【0156】

分類は、1段階または複数段階で実施することができる。以下では、1段階分類および2段階分類の手法について説明する。図18は、特徴ベクトル x が与えられたときの、時間インスタンス n における例示的な1段階分類を示している。分類ステップ124は、時間インスタンス n で、特徴ベクトル $\{x^{(1)}, \dots, x^{(n-1)}, x^{(n)}\}$ を推定される事象クラス

【数10】

$$\hat{y}^{(n)}$$

にマップする。事象クラスを示すラベルのセットは、例えば $Y = \{0, 1\}$ によって与えることができ、ここで、 $y = 1$ は (例示的なサッカーの用途における) キック事象を指し、 $y = 0$ は $NUL L$ クラス、すなわちキック事象ではないすべての事象を指す。事象クラスを示すラベルの他の例示的なセットは、 $Y = \{SP, CO, LP, ST, NUL L\}$ によって与えることができ、ここで、「 SP 」はショートパスを指し、「 CO 」はコントロールを指し、「 LP 」はロングパスを指し、「 ST 」はシュートを指し、 $NUL L$ は、例えばジョギング、ランニングまたはタックルなどのインスタンスを含む $NUL L$ クラスを指す。したがって、後者の例では事象の分類はよりきめが細かく、キックを識別するだけでなく、キックの種類、すなわち、ショートパス、コントロール、ロングパス、シュー

10

20

30

40

50

トも識別することを可能にする。

【0157】

したがって、方法ステップ124は、それぞれのウィンドウ $\{W^{(1)}, \dots, W^{(n-1)}, W^{(n)}\}$ の特徴ベクトル $\{x^{(1)}, \dots, x^{(n-1)}, x^{(n)}\}$ と関連付けられたラベルを推定する。最適なセグメント化、すなわち、すべてのウィンドウ W が1つの事象クラスのみに属することを想定すると、事象クラスは、条件付き確率密度関数の最大値

【数11】

$$\hat{y}^{(n)} = \underset{y^{(n)} \in Y}{\operatorname{argmax}} p(y^{(n)} | x^{(1)}, \dots, x^{(n)}) \quad 10$$

によって推定することができる。

【0158】

事象 $y^{(n)}$ が v 個のウィンドウの有限時間を有し、前の特徴ベクトル $\{x^{(1)}, \dots, x^{(n-v)}, x^{(n-v+1)}, \dots, x^{(n)}\}$ から統計的に独立していると想定する。この制約が与えられると、前の式における条件付き確率密度関数は、 $p(y^{(n)} | x^{(1)}, \dots, x^{(n-1)}, x^{(n)}) = p(y^{(n)} | x^{(n-v+1)}, \dots, x^{(n)})$ に等しい。したがって、推定には最後の v 個の特徴ベクトル

【数12】

$$\hat{y}^{(n)} = \underset{y^{(n)} \in Y}{\operatorname{argmax}} p(y^{(n)} | x^{(n-v+1)}, \dots, x^{(n)}) \quad 20$$

のみが必要である。したがって、特徴ベクトルは、結合した特徴ベクトル

【数13】

$$\tilde{x}^{(n)} = \operatorname{vec}([x^{(n-v+1)}, \dots, x^{(n)}])$$

(式中、 $\operatorname{vec}(\cdot)$ 演算子は、列ベクトルを互いの下に組み込むことによって行列から列ベクトルを生成する) としてマージされる。事象 $y^{(n)}$ のラベル付けは変更され、

【数14】

$$\tilde{y}^{(n)} = \begin{cases} 1, & \text{if } y^{(n-v+1)} = 1 \wedge \dots \wedge y^{(n)} = 1 \\ 0, & \text{if } y^{(n-v+1)} = 0 \vee \dots \vee y^{(n)} = 0 \end{cases} \quad 30$$

となる。複数の事象を推定する場合(例えば、事象の例示的なセット $Y = \{SP, CO, LP, ST, NULL\}$)、このラベル付けはそれに応じて変更される。

【0159】

これは、推定すべき事象(例えば、キック事象)の最後のセグメント(n)のみが、

【数15】

$$\tilde{y}^{(n)} = 1 \quad 40$$

によって示されることを意味する。推定すべき事象が完全に観測されない場合、

【数16】

$$\tilde{x}^{(n)}$$

は $NULL$ クラス

【数17】

$$\tilde{y}^{(n)} = 0$$

に割り当てられる。したがって、時間のインデックス(n)を下げることにより、推定値は

【数 1 8】

$$\hat{y} = \arg \max_{\tilde{y} \in Y} p(\tilde{y} | \tilde{x})$$

によって与えられる。

【0 1 6 0】

以下では、1 段階分類器とも呼ばれる、

【数 1 9】

$$\tilde{y}$$

10

を推定する 3 つの分類器について説明する。考察する分類器は、単純ベイズ、サポートベクトルマシンおよびランダムフォレストである。しかしながら、この目的のために、アダブースト分類器、最近傍分類器、ニューラルネットワーク分類器、パーセプトロン分類器、ルールベース分類器、ツリーベース分類器など他の分類器を用いることもできる。

【0 1 6 1】

単純ベイズ手法では、ベイズの式を適用して、事後確率密度関数を

【数 2 0】

$$p(\tilde{y} | \tilde{x}) = \frac{p(\tilde{y})p(\tilde{x} | \tilde{y})}{p(\tilde{x})}$$

20

と書くことができる。事後確率密度関数を最大化するのではなく、クラス条件付き確率密度関数

【数 2 1】

$$p(\tilde{x} | \tilde{y})$$

を最大化して、クラス

【数 2 2】

$$\tilde{y}$$

を推定することができる：

30

【数 2 3】

$$\hat{y} = \arg \max_{\tilde{y} \in Y} p(\tilde{y} | \tilde{x}) = \arg \max_{\tilde{y} \in Y} p(\tilde{y})p(\tilde{x} | \tilde{y})$$

。単純ベイズ分類は、特徴ベクトル

【数 2 4】

$$\tilde{x}$$

のすべての成分が互いに独立であるという想定の下に、この方程式を解く。これによって簡易化され、

40

【数 2 5】

$$\hat{y} = \arg \max_{\tilde{y} \in Y} p(\tilde{y}) \prod_{f=1}^{VF} p(\tilde{x}_f | \tilde{y})$$

となる。

【0 1 6 2】

クラス

【数 2 6】

$$\tilde{y}$$

50

が与えられたときの特徴

【数 2 7】

$$\tilde{x}_f$$

を観測するクラス条件付き確率密度関数は、ガウス確率密度関数

【数 2 8】

$$p(\tilde{x}_f | \tilde{y}) \sim N(\tilde{x}_f; \mu_f, \sigma_f^2)$$

であると想定される。したがって、確率密度関数は、それらの平均 μ_f と分散

【数 2 9】

$$\sigma_f^2$$

のみによって定義される。

【0 1 6 3】

トレーニングデータセット

【数 3 0】

$$D = \{(\tilde{y}^{(1)}, \tilde{x}^{(1)}), \dots, (\tilde{y}^{(N)}, \tilde{x}^{(N)})\}$$

が与えられると、確率密度関数

【数 3 1】

$$p(\tilde{x}_f | \tilde{y})$$

が決まる。これは、平均値 μ_f と

【数 3 2】

$$\sigma_f^2$$

の最尤推定法によって行われる。さらに、誤分類のコストに対して事前確率密度関数

【数 3 3】

$$p(\tilde{y})$$

が定義される。例えば、キック事象を見落とすことに対するコストは、N U L L クラスの代わりにキック事象を分類することに対するコストより高いはずであり、そのため、（キック事象のようなただ 1 つの事象を推定する前述の例を想定したとき）確率

【数 3 4】

$$p(\tilde{y}=1)$$

は、

【数 3 5】

$$p(\tilde{y}=0)$$

より大きいと想定することができる。もちろん、前述の手法は、スチューデントの t 分布、レイリー分布、指数分布など、確率密度関数に対する様々な分布に適用することができる。さらに、基本的な確率密度関数のパラメータの最尤推定法の代わりに、異なる手法を用いることもできる。

【0 1 6 4】

次に、方法ステップ 1 2 4 において、時間インスタンス n でラベル付けされていない特徴ベクトル

10

20

30

40

【数 3 6】

$\tilde{\mathbf{x}}^{(n)}$

が与えられると、

【数 3 7】

$\tilde{\mathbf{x}}^{(n)}$

の各特徴値における各クラス

【数 3 8】

$\tilde{y} \in Y$

について、ガウス分布

【数 3 9】

$p(\tilde{x}_f^{(n)} | \tilde{y})$

が評価される。次いで、これまでに得られた方程式

【数 4 0】

$$\hat{y} = \arg \max_{\tilde{y} \in Y} p(\tilde{y}) \prod_{f=1}^{VF} p(\tilde{x}_f | \tilde{y})$$

によってクラスが推定され、

【数 4 1】

$\hat{y}^{(n)}$

を得る。こうして、方法ステップ 1 2 4 では、単純ベイズ分類器に基づいて事象クラスを推定することができる。分類のための単純ベイズ手法の概説は、Sergios Theodoridis and Konstantinos Koutroumbas, Pattern Recognition, 4th edition, Elsevier, 2008に見出される。

【0 1 6 5】

方法ステップ 1 2 4 に用いることが可能な他の分類器は、サポートベクトルマシン（「SVM」）に基づくものである。SVMは、直接的にクラス境界に注目する、すなわち、線形SVMの場合には元の特徴空間内のクラス境界に注目する。特徴空間は、多次元系の特徴ベクトルのマッピングとして定義され、特徴ベクトルの各次元は1つの座標軸に対応する。その概念は、図 1 9 に示すように、2つのクラスの特徴ベクトル間の最大の直線マージンを求めることである。この場合、2次元の特徴セットを直線的に分離することができる。サポートベクトルと呼ばれる、マージン 1 9 4 および 1 9 5 上にある特徴ベクトル 1 9 1、1 9 2 および 1 9 3 は、最適な超平面を画定する。

【0 1 6 6】

トレーニングデータセット D が与えられると、推定すべき1つまたは複数の事象および N U L L クラスの特徴ベクトルが、特徴空間において解析される。SVMによって、クラスを最大距離で分離する最大マージンが求められる。この距離は、特徴セットの凸包間の最大距離に等しい。線形カーネルを用いる他に、例えば他項関数またはラジアル基底関数（「RBF」）などの他のカーネルタイプを適用することもできる。詳細な説明は、例えば Richard O. Duda, Peter E. Hart and David G. Stork, “Pattern Classification”, 2nd edition, John Wiley & Sons, 2000に見出される。

【0 1 6 7】

SVMでは、トレーニングエラー、すなわちマージンの反対側にある外れ値を許容する、ソフトマージンモデルを用いることができる。こうしたエラーは、非線形に分離可能な特徴セットによって引き起こされる。最適化問題の範囲内では、クラス y の外れ値にはコストによって対処する（punish）。例えば、推定すべき1つまたは複数の事象のコストを

10

20

30

40

50

N U L L クラスのコストより高く設定して、検知されない事象の数を減らすことができる。最適な超平面をより低いコストを有するクラス y の特徴セットの方へ移動させる。超平面を画定するサポートベクトルは、分類手順ために記憶される。

【0168】

次に、方法ステップ124において、時間インスタンス n でラベル付けされていない特徴ベクトル

【数42】

$$\tilde{\mathbf{x}}^{(n)}$$

が与えられると、それについて特徴空間内で解析が行われる。分離のための超平面に対する距離および位置は、事後確率についてのエビデンスを与える。しかしながら、距離しか測定されないと、確率は直接的に与えられない。線形決定境界に対する位置は、最も蓋然的なクラスに対応し、推定値

【数43】

$$\hat{y}^{(n)}$$

として用いられる。2つ以上の事象を決定する場合には、特徴空間を分離する複数の超平面への距離ベクトルを考慮しなければならない。

【0169】

方法ステップ124に用いることが可能な他の手法は、ランダムフォレストに基づくものである。既に言及したように、ランダムフォレストは、トレーニングデータセットから特徴をランダムに選択することによって成長する、デシジョンツリー分類器のアンサンブルを含む。

【0170】

トレーニングデータ D が与えられると、例えば Trevor Hastie, Robert Tibshirani, Jerome Friedman, “The elements of statistical learning”, volume 2, Springer 2009 に記載されるようにツリーを構築することができる。すべてのツリーについて、トレーニングデータから置換によってデータのサブセットが取り出される（ブートストラップデータ）。次いで、最小ノードサイズに達するまで以下のステップを帰納的に繰り返すことによって、ブートストラップデータから各ツリーを成長させる。すなわち、第1に、特徴のサブセットがランダムに選択される。第2に、そのサブセットの中で、クラス間の最適な分岐を可能にする特徴が選ばれ、現在のノードにおける閾値が確立される。選択された特徴は、次の繰り返しでは省かれる。第3に、このノードが娘ノードに分岐される。

【0171】

次に、方法ステップ124において、時間インスタンス n でラベル付けされていない特徴ベクトル

【数44】

$$\tilde{\mathbf{x}}^{(n)}$$

が与えられると、推定されるクラスのすべてのツリーに従って、クラス

【数45】

$$\tilde{y}^{(n)}$$

が推定される。大多数の票を有するクラスが、ランダムフォレストの推定値

【数46】

$$\hat{y}^{(n)}$$

に相当する。

【0172】

前述の1段階分類器の代わりに、

10

20

30

40

50

【数 4 7】

 $\hat{y}$

を推定する 2 段階分類器を用いることもでき、それについて以下に説明する。この 2 段階の手法は、事象が完了する前にその事象を推定することを可能にし、 v 個のウィンドウすべてが観測される。したがって、リアルタイムの用途（オンライン処理）での使用に望ましい場合がある。図 20 に示すように、この手法の 2 つの段階は、位相分類、およびその後の隠れマルコフモデル（「HMM」）による逐次的なモデル化である。本質的には、検知すべき事象および N U L L クラスの系列行動を、早い事象検知を維持するようにモデル化する必要がある。

10

【0 1 7 3】

まず、検知すべき事象は、
位相

【数 4 8】

$$z_K^{(n)} = \begin{cases} 1, & \text{if } z_K^{(n-1)} = 0 \wedge y^{(n)} = 1 \\ 2, & \text{if } z_K^{(n-1)} = 1 \wedge y^{(n)} = 1 \\ \vdots \\ v, & \text{if } z_K^{(n-1)} = v-1 \wedge y^{(n)} = 1 \end{cases}$$

20

（式中、ランダム変数

【数 4 9】

 $z_K^{(n)}$

は、時間インスタンス n における検知すべき事象の現在の位相を示す）によって特徴付けられる。この逐次的な過程は、図 2 1 に示すように、状態 z_K を伴うマルコフ連鎖として記述することができる。1 次マルコフ連鎖は、次の状態

【数 5 0】

 $z_K^{(n+1)}$

30

が現在の状態

【数 5 1】

 $z_K^{(n)}$

にのみ依存する、確率論的な過程として定義される。分類の間、検知すべき事象の位相、すなわち状態 z_K は、分かっていないかまたは「隠されている」。状態の出力 y （例えば、特徴ベクトル）のみを観測することができる。これによって HMM が導出されるが、以下では HMM について説明する。

【0 1 7 4】

図 2 2 に示すように、検知すべき事象の状態に加えて、N U L L クラスも有限数の状態 $z_N \in \{1, 2\}$ によってモデル化される。これらの状態間の遷移は演繹的に特定されず、HMM のトレーニングの間に特定される。HMM は、N U L L クラスのモデルを改善するために、さらに多くの状態に拡張することができる。

40

【0 1 7 5】

計算された特徴ベクトルが与えられたとき、問題は基本的なモデルを求めること、すなわち、特徴ベクトルが、検知すべき事象または N U L L クラスの HMM によって除外されたかどうかである。したがって、所与の状態において出力 y を観測する確率 $p(y | z_K)$ および $p(y | z_N)$ を決定しなければならない。観測された特徴ベクトルは、HMM の出力として直接用いられない。

【0 1 7 6】

50

第1段階の分類器は、検知すべき事象（そのHMMの状態）とNUL Lクラスの異なる位相を区別する。各ウィンドウは独立に分類される。特徴ベクトル x が与えられると、事後確率密度関数

【数52】

$$p(\tilde{z} | x)$$

の状態

【数53】

$$\tilde{z} = \begin{cases} z_K, & \text{if } y=1 \\ 0, & \text{if } y=0 \end{cases} \quad 10$$

が計算される。すべての状態

【数54】

$$\tilde{z}$$

の個々の確率が、ベクトル

【数55】

$$\gamma = [p(\tilde{z}=0 | x), \dots, p(\tilde{z}=v | x)]^T \quad 20$$

に挿入される。

【0177】

第2段階の分類器は、図21および22に示すHMMによって、検知すべき事象およびNUL Lクラスの系列行動をモデル化する。時間インスタンス n で第1段階の分類器によって計算された出力（ $\gamma^{(n-v+1)}, \dots, \gamma^{(n)}$ ）が与えられると、観測結果が検知すべき事象またはNUL LクラスのHMMによって除外されたかどうか判定される。その前に、それぞれ図23および24に示すように、HMMを記述するパラメータを決めなければならない。

【0178】

HMMは、状態間の遷移確率によって記述される。検知すべき事象のHMMに関して、状態 30

【数56】

$$z_K^{(n)} = i$$

から状態

【数57】

$$z_K^{(n+1)} = j$$

（式中、 $i, j \in \{1, \dots, v\}$ ）への遷移確率は、

【数58】

$$a_{K,ij} = P(z_K^{(n+1)} = j | z_K^{(n)} = i)$$

によって与えられる。遷移行列 $A_K = \{a_{K,ij}\}$ （式中、 $a_{K,ij}$ は、第 i 行および第 j 列の要素に対応する）は、これらの確率を含む。図23から理解することができるように、すべての状態 z_K で1つの遷移のみが可能であるため、遷移行列は疎である。 40

【数 5 9】

$$A_K = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & 1 \end{pmatrix}$$

対照的に、N U L Lクラスの遷移行列 $A_N \in [0, 1]^{2 \times 2}$ は、トレーニング中に決定される（以下に記載する）。

【0 1 7 9】

10

遷移確率の他に、放出確率密度関数（emission probability density function）がHMMを特徴付けている。検知すべき事象のHMMの場合、状態 $z_K = i$ に関する放出確率密度関数は、 $b_{K, i} = p(\gamma^{(i)} | z_K = i)$ によって与えられる。

【0 1 8 0】

放出確率密度関数は、行列 $B_K = \{b_{K, i}\}$ （式中、 $b_{K, i}$ は第 i 行の要素に対応する）としてまとめられる。放出確率密度関数は、

【数 6 0】

$$|\tilde{z}|$$

次元の平均ベクトル $\mu_{K, i}$ 、および

20

【数 6 1】

$$|\tilde{z}| \times |\tilde{z}|$$

の共分散行列 $\Sigma_{K, i}$ （ここで、

【数 6 2】

$$|\tilde{z}|$$

は、マルコフ連鎖の可能な状態の数を示す）を伴うガウス分布型 $p(\gamma | z_K = i) \sim N(\gamma; \mu_{K, i}, \Sigma_{K, i})$ であると想定することができる。共分散行列が対角行列である場合、 γ の各成分は統計学的に独立である。もちろん、ガウス分布型の放出確率密度関数の代わりに、他の多変量分布を考慮することも可能である。

30

【0 1 8 1】

B_N （図 2 4 参照）は、N U L Lクラスの放出確率密度関数を含む。各状態について、放出確率密度関数は、

【数 6 3】

$$|\tilde{z}|$$

次元の平均ベクトル $\mu_{N, i}$ 、および

【数 6 4】

$$|\tilde{z}| \times |\tilde{z}|$$

40

の共分散行列 $\Sigma_{N, i}$ （ここで、

【数 6 5】

$$|\tilde{z}|$$

は、マルコフ連鎖の可能な状態の数を示す）を伴う $p(\gamma^{(i)} | z_N = i) \sim N(\gamma^{(i)}; \mu_{N, i}, \Sigma_{N, i})$ である。

【0 1 8 2】

さらに、初期状態の確率 $\pi_{K, i} = P(z_K = i)$ および $\pi_{N, i} = P(z_N = i)$ は、パラメータセット $\Theta_K = (A_K, B_K, \pi_K)$ および $\Theta_N = (A_N, B_N, \pi_N)$ によ

50

ってHMMを完全に記述するように決めなければならない。パラメータセット Θ_K および Θ_N は、以下のパラグラフに記載するように、HMMをトレーニングする間に学習される。

【0183】

第1段階の分類器の出力としてラベル付けされた数列 $D^* = ((z^{(1)}, y^{(1)}), \dots, (z^{(N)}, y^{(N)}))$ が与えられると、検知すべき事象のHMMは、教師あり学習によってトレーニングされる。教師ありとは、決定すべき事象の状態 z_K が分かっていることを意味する。これは、

【数66】

$$\tilde{z}^{(n)} \in \{z_K\}$$

10

を伴う観測結果 $y^{(n)}$ が与えられると、放出確率密度関数 $p(y | z_K)$ を μ_K および Σ_K の最尤推定法によって直接計算することが可能であることを意味する。したがって、 B_K が得られる。 A_K が演繹的に分かり、初期状態の確率 π_K がすべての状態について等しいと想定すると、これによって、検知すべき事象の完全に定義されたHMM、 Θ_K が導出される。

【0184】

第1段階の分類器の出力としてラベル付けされた数列 D^* が与えられると、NUL LクラスのHMMは、教師なし学習によってトレーニングされる。教師なしとは、NUL Lクラスの状態 z_N が分かっていないことを意味する。これは、対応する状態 z_N が分からない状態でパラメータセット Θ_N を推定する必要があることを意味する。これは、第1に、 D^* （ここで、 $z^{(n)} = 0$ のままである）の部分列を求めることによって行われる。こうした部分列は、調節されたトレーニングデータとして役立つ。第2に、期待値最大化アルゴリズムが、パラメータ A_N 、 B_N および π_N の最尤推定を見出す。このアルゴリズムは、バウム－ウェルチ（Baum-Welch）アルゴリズムとしても知られており、Collin F. Baker, Charles J. Fillmore and John B. Lowe, “The Berkeley fragment project”, Proceedings of the 36th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics and 17th International Conference on Computational Linguistics - Volume 1, 86-90, Association for Computational Linguistics, 1998に記載されている。

20

【0185】

最後に、分類、すなわち方法ステップ124における事象クラスの推定は、以下のように行われる。すなわち、時間インスタンス n で第1段階の分類器の出力としてラベル付けされていない数列 $(y^{(n-v+1)}, \dots, y^{(n)})$ が与えられると、事象クラス $y^{(n)}$ は、 $L_K = P(D^* | \Theta_K)$ および $L_N = P(D^* | \Theta_N)$ 、すなわち数列 D^* を放出する検知すべき事象およびNUL LクラスのHMMの尤度を評価することによって推定される。これは、HMMを通る可能性あるすべての経路の確率を再帰的に評価する後ろ向きアルゴリズムによって行われる。後ろ向きアルゴリズムは、Richard O. Duda, Peter E. Hart and David G. Stork, “Pattern Classification”, 2nd edition, John Wiley & Sons, 2000に記載されている。後ろ向きアルゴリズムの代わりに、後ろ向きアルゴリズムの時間反転バージョンとして前向きアルゴリズムを用いることもできる。

40

【0186】

後ろ向きアルゴリズムは、以下の（擬似コードの）ステップを実行する。

【数 6 7】

$$\beta_j^{(n)} \leftarrow 1 \forall j \in \{1, \dots, |z|\}$$

for $t \leftarrow t - 1$ to $t = n - \eta + 1$ do

$$\beta_i^{(t)} \leftarrow \sum_{j=1}^{|z|} \beta_j^{(t+1)} a_{ij} b_j(\gamma^{(t+1)}) \forall i \in \{1, \dots, |z|\}$$

end for

$$\text{return } L \leftarrow \sum_{i=1}^{|z|} \pi_i b_i(\gamma^{(n-\eta+1)}) \beta_i^{(n-\eta+1)}$$

10

【0 1 8 7】

インデックス $\eta \leq v$ は、後方伝搬の長さを示す。したがって、確率 $b_{K,j}(\gamma) = p(\gamma | z_K = j)$ および $b_{N,j}(\gamma) = p(\gamma | z_N = j)$ は、すべての状態 z_K および z_N について、 $\gamma^{(n-\eta+1)}, \dots, \gamma^{(n)}$ における放出確率密度関数を評価することによって計算される。得られた方程式はどちらの場合にも当てはまるため、検知すべき事象または N U L L クラスを示すインデックス K および N は、上記の後ろ向きアルゴリズムの擬似コードでは省かれている。検知すべき事象の場合、 A_K が疎であり、すべての状態 $z_K \in \{1, \dots, v\}$ で 1 つの遷移のみが可能であるため、アルゴリズムは簡単になり、

【数 6 8】

20

$$L_K = \sum_{i=1}^{|z_K|} \pi_{K,i} \prod_{j=\max(1, i-\eta+1)}^i b_{K,j}(\gamma^{(n+j-i)})$$

となる。尤度 L_K および L_N を計算した後、

【数 6 9】

$$\hat{y}^{(n)} = \begin{cases} 1, & \text{if } \log(L_K) - \log(L_N) > \delta \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

30

を評価することによって、

【数 7 0】

$$\hat{y}^{(n)}$$

が求められる。閾値 δ は設計パラメータである。 δ を超えた場合、検知すべき事象（

【数 7 1】

$$\hat{y}^{(n)} = 1$$

）と判定される。そうでなければ、観測結果は、N U L L クラス（

【数 7 2】

40

$$\hat{y}^{(n)} = 0$$

）に属する可能性がある。

【0 1 8 8】

以下では、本発明の理解を容易にするために他の例について記載する。

1. 球技用シューズ（1 0 0）であって、

a. 外面（1 0 2）を有するアッパー（1 0 1）と、

b. 前記アッパー（1 0 1）の前記外面（1 0 2）の一部の少なくとも 1 つの表面特性を変えるように構成されたアクチュエータ（1 0 4）と、

c. 前記シューズ（1 0 0）の動きに感応するセンサ（1 0 5）と、

50

d. 前記アクチュエータ（１０４）および前記センサ（１０５）に接続され、前記センサ（１０５）から読み出されたセンサデータを処理し、前記センサデータ中に既定の事象が検知された場合には、前記アクチュエータ（１０４）が前記アッパー（１０１）の前記外面（１０２）の前記部分の前記少なくとも１つの表面特性を変えるように構成された処理ユニット（１０６）と

を含む球技用シューズ（１００）。

２．前記少なくとも１つの表面特性が前記外面の前記部分の表面構造である、例１に記載のシューズ。

３．前記少なくとも１つの表面特性が前記外面の前記部分の摩擦である、例１または２に記載のシューズ。

４．前記少なくとも１つの表面特性が前記外面の前記部分の表面積である、例１から３の１つに記載のシューズ。

５．前記アッパーの前記外面の少なくとも前記部分は弾性があり、前記シューズが、前記アッパーの前記外面の前記部分より下に配置され、前記アクチュエータに接続された複数のフィンであって、前記アクチュエータによって降ろされ又は起こされ、前記弾性がある外面の前記少なくとも１つの表面特性を変えることができる複数のフィン

をさらに含む、例１から４の１つに記載のシューズ。

６．前記アッパーの前記外面の少なくとも前記部分は弾性があり、前記アクチュエータが空気圧弁であり、前記シューズが、前記空気圧弁に加圧空気を供給するように構成された空気ポンプと、前記アッパーの前記弾性がある外面の下に配置された少なくとも１つの膨張可能な要素と

をさらに含み、前記空気圧弁が、加圧空気を前記膨張可能な要素に供給して前記膨張可能な要素を膨張させ、前記外面の前記部分の前記少なくとも１つの表面特性を変えるように構成される、例１に記載のシューズ。

７．前記加圧空気が前記シューズを着用する競技者の動作によって生成される、例６に記載のシューズ。

８．前記アッパーの前記外面の少なくとも前記部分は弾性があり、前記シューズが、前記アッパーの前記弾性がある外面より下に配置された複数のピンと、前記複数のピンより下に配置され、前記アクチュエータに接続された波状構造であって、前記ピンに対して動かし、前記ピンを前記外面に対して降ろし又は起こし、前記外面の前記部分の前記少なくとも１つの表面特性を変えることができる波状構造と

をさらに含む、例１に記載のシューズ。

９．前記外面の前記部分が、前記アクチュエータによって降ろされ又は起こされるように構成された複数のフラップを含む、例１に記載のシューズ。

１０．前記アクチュエータが、形状記憶合金または電気モータに基づく、例１から９の１つに記載のシューズ。

１１．前記センサが、加速度計、ジャイロスコープまたは磁界センサである、例１から１０の１つに記載のシューズ。

１２．外前記面が皮膚状である、例１から１１の１つに記載のシューズ。

１３．ソールをさらに含み、前記センサ、前記アクチュエータおよび前記処理ユニットが前記ソールに組み込まれる、例１から１２の１つに記載のシューズ。

１４．前記既定の事象がキックである、例１３に記載のシューズ。

１５．前記既定の事象が、ショートパス、ロングパス、シュートまたはボールのコントロールである、例１から１４の１つに記載のシューズ。

１６．前記処理ユニットが、
a. 前記センサから時系列値のセンサデータを読み出すステップと、
b. 前記時系列値を前処理するステップ（１２１）と、
c. 前記時系列値を複数のウィンドウにセグメント化するステップ（１２２）と、
d. 前記複数のウィンドウのそれぞれにおいて前記センサデータから複数の特徴を抽出

10

20

30

40

50

するステップ（１２３）と、

e. 前記複数のウィンドウにおいて前記センサデータから抽出された前記複数の特徴に基づいて、前記複数のウィンドウに関連付けられる事象クラスを推定するステップ（１２４）と

を実施することによって、前記既定の事象を検知するように適合される、例１から１５の１つに記載のシューズ。

１７．前記時系列値が、例えば非巡回型移動平均フィルタ、カスケード積分楕形（ＣＩＣ）フィルタまたはフィルタバンクを用いたデジタルフィルタリングによって前処理される、例１６に記載のシューズ。

１８．前記事象クラスが、少なくとも前記検知すべき事象と、特定の事象に属さないセンサデータに関連付けられるＮＵＬＬクラスとを含む、例１６または１７に記載のシューズ。

１９．前記特徴が、例えばウェーブレット解析、主成分分析ＰＣＡまたは高速フーリエ変換ＦＦＴを適用することによって、少なくとも時間統計、時空間統計、スペクトル統計またはアンサンブル統計の１つに基づく、例１６から１８の１つに記載のシューズ。

２０．前記特徴が、単純平均、正規化された信号エネルギー、運動強度、信号強度面積、軸間の相関関係、ウィンドウ内の最大値、ウィンドウ内の最小値、ウェーブレット変換の最大詳細係数、テンプレートとの相関関係、テンプレートの主成分に対する射影、テンプレートの固有空間までの距離、スペクトル中心、帯域幅または卓越振動数の１つに基づく、例１６から１９の１つに記載のシューズ。

２１．前記時系列値が、スライディングウィンドウに基づいて複数のウィンドウにセグメント化される、例１６から２０の１つに記載のシューズ。

２２．前記時系列値が、前記時系列値中に存在する少なくとも１つの条件に基づいて複数のウィンドウにセグメント化される、例１６から２１の１つに記載のシューズ。

２３．前記条件が、決められた閾値の前記センサデータのクロッシング、または相関関係、マッチドフィルタリング、動的タイムワーピング、もしくは最長共通部分列（ＬＣＳＳ）およびそのスライディングウィンドウの変量、ワーピングＬＣＳＳを用いたテンプレートのマッチングである、例２２に記載のシューズ。

２４．前記事象クラスが、単純ベイズ分類器などのベイズ分類器、サポートベクトルマシンなどの最大マージン分類器、アダブースト分類器およびランダムフォレスト分類器などのアンサンブル学習アルゴリズム、最近傍分類器、ニューラルネットワーク分類器、ルールベース分類器、またはツリーベース分類器に基づいて推定される、例１６から２３の１つに記載のシューズ。

２５．前記事象クラスが、条件付き確率場または動的ベイジアンネットワークなどによって前記事象およびＮＵＬＬクラスの系列行動を確率論的にモデル化することに基づいて推定される、例１６から２４の１つに記載のシューズ。

２６．前記事象クラスが、

a. 前記検知すべき事象およびＮＵＬＬクラスの異なる位相を区別するステップであって、前記ＮＵＬＬクラスが特定の事象に属さないセンサデータに関連付けられる、ステップと、

b. 動的ベイジアンネットワークによって前記事象および前記ＮＵＬＬクラスの前記系列行動をモデル化するステップと

を含むハイブリッド分類器に基づいて推定される、例１６から２５の１つに記載のシューズ。

２７．前記推定ステップが、教師あり学習によってトレーニングされた分類器に基づく、例１６から２６の１つに記載のシューズ。

２８．前記推定ステップが、オンライン学習によってトレーニングされた分類器に基づく、例１６から２７の１つに記載のシューズ。

２９．前記推定ステップが、教師なし学習によってトレーニングされた動的ベイシアンネットワークに基づく、例１６から２８の１つに記載のシューズ。

30. 前記既定の事象がリアルタイムで検知される、例1から29の1つに記載のシューズ。

【0189】

これまでに図面に示したまたは記載した構成要素の異なる配置、ならびに図示または記載していない構成要素およびステップも可能である。同様に、いくつかの特徴および部分的組み合わせが有用であり、他の特徴および部分的組み合わせに関係なく使用することができる。本発明の実施形態を、例示的かつ非限定的な目的のために記載してきたが、本特許の読者には代替的实施形態が明らかになるであろう。したがって、本発明は、これまでに記載したまたは図面に示した実施形態に限定されず、以下の特許請求の範囲の範囲から逸脱することなく、様々な実施形態および修正形態を作成することが可能である。

10

【符号の説明】

【0190】

- 100 シューズ
- 101 アッパー
- 102 外面、面
- 103 ソール
- 104 アクチュエータ、空気圧弁
- 105 センサ
- 106 処理ユニット
- 107 バッテリ
- 200 機構
- 201 フィン
- 202 摺動層
- 203 フィーチャ
- 300 機構
- 301 膨張可能な要素、要素
- 302 モジュール
- 303 ホース
- 304 空気溜め
- 305 ホース
- 306 空気ポンプ、ポンプ
- 401 空洞
- 500 機構
- 501 ピン
- 502 波状構造
- 503 窪み
- 601 弾性部分
- 602 中間層
- 603 開口
- 604 案内層
- 605 基層
- 700 機構
- 701 フラップ
- 702 層
- 703 頭部
- 704 陥凹部
- 81 誘電エラストマーフィルム、電気活性ポリマー、アクチュエータ、ポリマー
- 82 a、82 b 電極
- 83 a、83 b ワイヤ
- 84 a、84 b 矢印

20

30

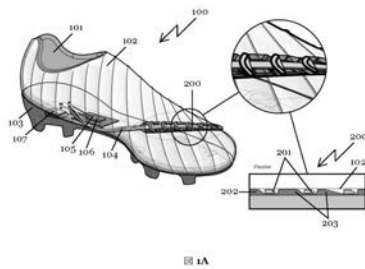
40

50

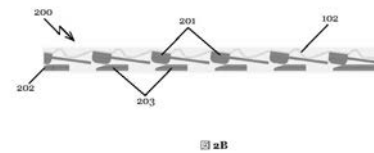
85a、85b、85c、85d 矢印
 91 フィルム、電気活性ポリマー、アクチュエータ、ポリマー
 92a、92b 電極
 1000 モジュール
 1001 隆起部
 1002a、1002b ワイヤ
 1101 特性を変える部分
 120 方法
 121 第1の方法ステップ
 122 第2の方法ステップ、セグメント化ステップ、セグメント化
 123 第3の方法ステップ、特徴の抽出
 124 第4の方法ステップ、分類ステップ
 151、152 例示的なウィンドウ
 153 重複する領域
 191、192、193 特徴ベクトル
 194、195 マージン

10

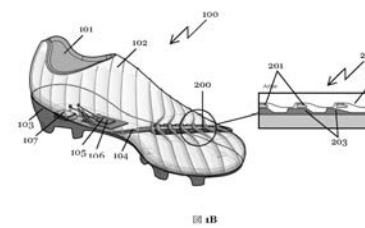
【図1A】



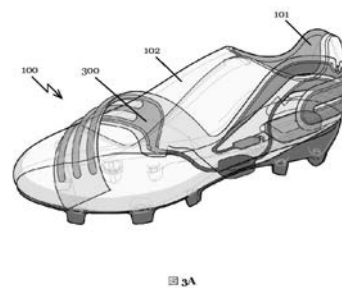
【図2B】



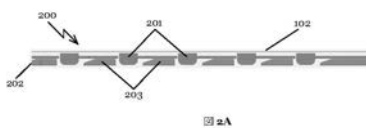
【図1B】



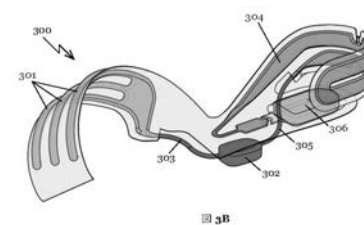
【図3A】



【図2A】



【図3B】



【図 4】

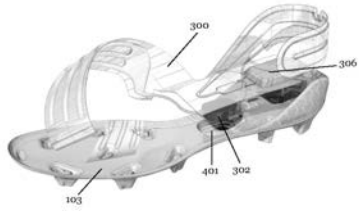


図 4

【図 5 A】

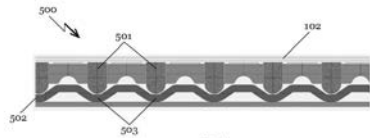


図 5A

【図 5 B】

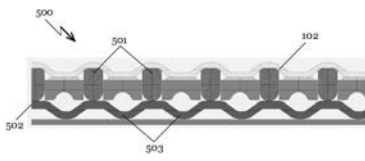


図 5B

【図 8 A】

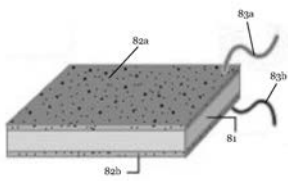


図 8A

【図 8 B】

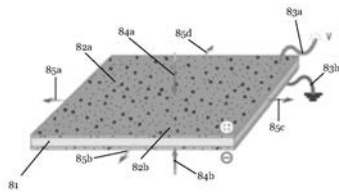


図 8B

【図 9 A】

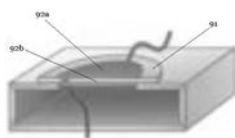


図 9A

【図 6】

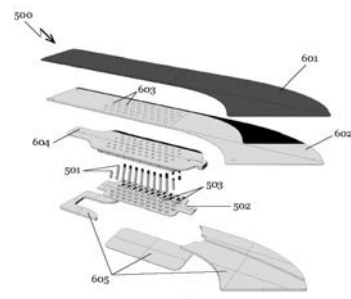


図 6

【図 7 A】

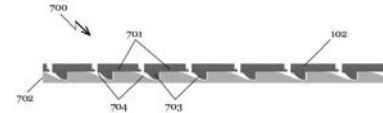


図 7A

【図 7 B】

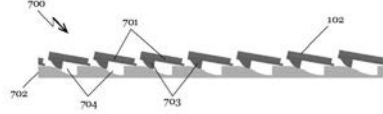


図 7B

【図 9 B】

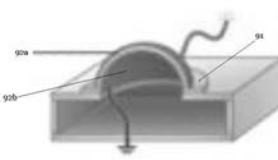


図 9B

【図 10】

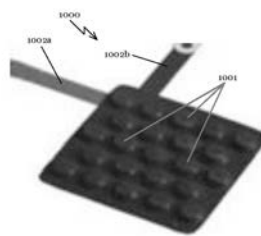


図 10

【図 11】

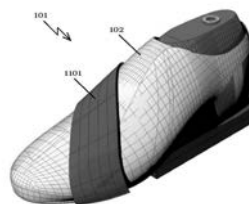


図 11

【図 1 2】

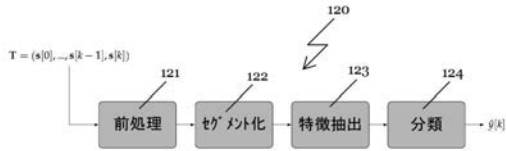


図 12

【図 1 3】

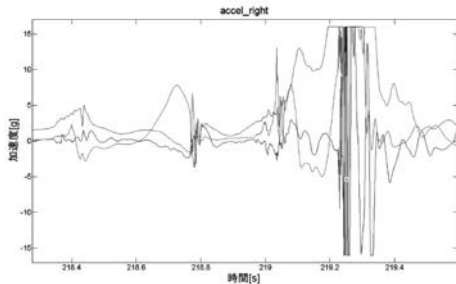


図 13

【図 1 4】

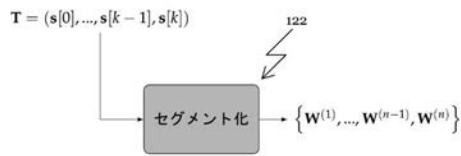


図 14

【図 1 7】

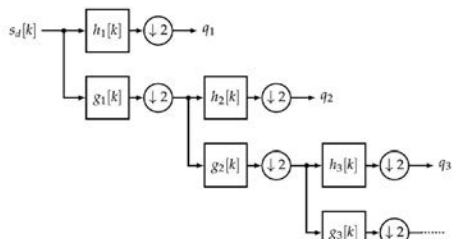


図 17

【図 1 8】



図 18

【図 1 5】

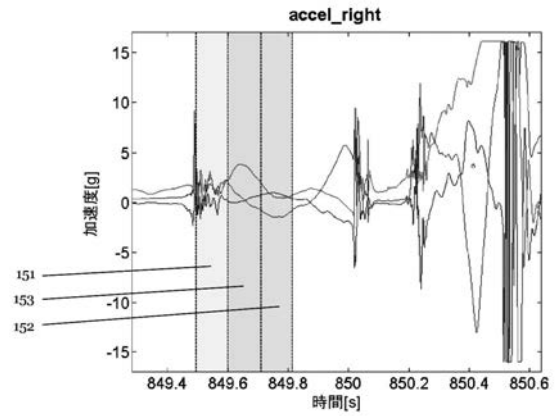


図 15

【図 1 6】



図 16

【図 1 9】

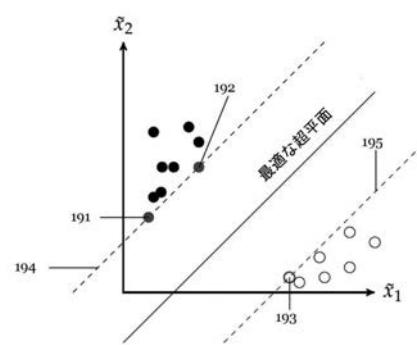


図 19

【図 2 0】

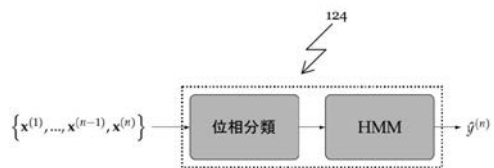


図 20

【図 2 1】

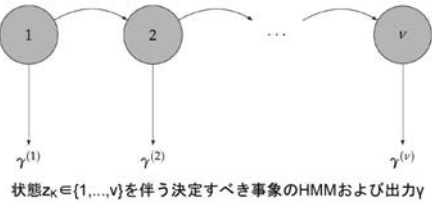


図 21

【図 2 3】

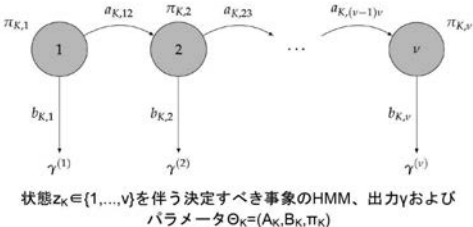


図 23

【図 2 2】

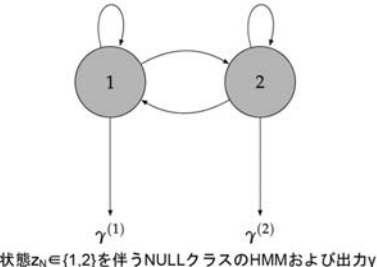


図 22

【図 2 4】

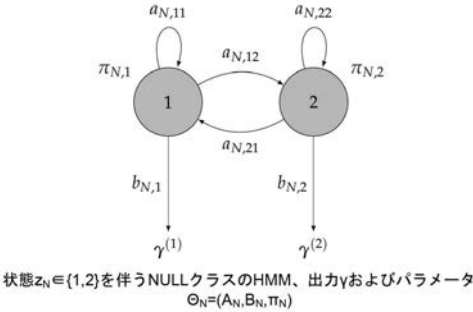


図 24

フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I テーマコード (参考)
G 0 6 N 99/00 (2010.01) G 0 6 N 99/00 1 5 0

- (72)発明者 ロバート フランク カーク
 ドイツ連邦共和国 9 1 0 7 4 ヘルツオーゲンアウラッハ アディ ダスラー シュトラーセ
 1
- (72)発明者 コンスタンチン ズウィック
 ドイツ連邦共和国 9 1 0 7 4 ヘルツオーゲンアウラッハ アディ ダスラー シュトラーセ
 1
- (72)発明者 クリスチャン ディベネデット
 ドイツ連邦共和国 9 1 0 7 4 ヘルツオーゲンアウラッハ アディ ダスラー シュトラーセ
 1
- (72)発明者 ドミニク シュルドハウス
 ドイツ連邦共和国 9 1 0 7 4 ヘルツオーゲンアウラッハ アディ ダスラー シュトラーセ
 1
- (72)発明者 ビョルン ミカエル エスコフィエール
 ドイツ連邦共和国 9 1 0 7 4 ヘルツオーゲンアウラッハ アディ ダスラー シュトラーセ
 1
- (72)発明者 エヴァ アンドレア ドロスキー
 ドイツ連邦共和国 9 1 0 7 4 ヘルツオーゲンアウラッハ アディ ダスラー シュトラーセ
 1
- (72)発明者 ライン ジェームス ザッバートン
 ドイツ連邦共和国 9 1 0 7 4 ヘルツオーゲンアウラッハ アディ ダスラー シュトラーセ
 1
- (72)発明者 ピーター ジョージ ライテンベルガー
 ドイツ連邦共和国 9 1 0 7 4 ヘルツオーゲンアウラッハ アディ ダスラー シュトラーセ
 1

Fターム(参考) 4F050 AA01 BC00 EA00 EA17 GA30 HA55 HA56 HA58 JA06

【外国語明細書】
2016221251000001.pdf