

マルチセンサ方式によるトランポリンインタフェース

藤枝 知行 森 博志 白鳥 和人 星野 准一

筑波大学大学院システム情報工学研究科

ミニトランポリンを用いたエアロビクスはトランポビクスと呼ばれ、バランス感覚の向上や内臓の活性化、内臓脂肪の燃焼など様々な運動効果が得られることが知られている。また、床上での運動と比べ、身体にかかる負担が小さいので、足腰を痛めずに効果的に運動をすることができる。そこで本研究では、トランポビクスの運動効果に着目し、ミニトランポリンを入力インタフェースとして、ミニトランポリン運動を視覚的に拡張するエンタテインメントシステム“Kangaroo”を開発した。本稿では、トランポリン膜面下にセンサを複数個配置したマルチセンサ方式によって、3D空間内におけるより自由な運動を実現する。

The trampoline interface with multiple sensor method

Tomoyuki Fujieda Hiroshi Mori Kazuhito Shiratori Junichi Hoshino

University of Tsukuba, Graduate School of System and Information Engineering

Trampobics is an aerobics training method using a mini trampoline. The benefits of trampobics include an improvement in balance, more active internal organs, and burning of fat. Thus, it substantially decreases damage to the joints compared with aerobics on the floor. We create the trampoline entertainment system “Kangaroo”, which add visual effects to an aerobics training method using a mini trampoline. In this paper, we proposed the trampoline interface with multiple sensor method. This interface consists of a mini trampoline and multiple PSD sensors, which is installed under the mini trampoline and measures the amount of change on the trampoline bed. By using this method, the user can walk and jump in VR space more freely.

1. はじめに

近年、ゲーム技術の発達や様々な種類のゲーム機の普及などによりゲームのプレイ時間が増加している一方で、運動する時間が減少してきていることが深刻な問題となっている[1]。運動時間が減少すると、身体が弱くなり、風邪にかかりやすくなるなど健康的な生活が阻害されることに加え、生活習慣病などの深刻な病気を引き起こすことも懸念される[2]。このような背景を受け、健康を損なうことなくゲームを楽しむことができる手法が求められている。そこで本稿では、ミニトランポリンを題材とした、全身を使って健康的にゲームを楽しむことができる入力インタフェースを提案する。

ミニトランポリンを用いたエアロビクスは、トランポビクスと呼ばれ、硬い床上での運動に比べて関節にかかる負担が小さく、足腰に負担をかけずに運動ができることから、高齢者でも無理なく運動することができる。また、一人一人の運動心拍数を守りながら、短時間で効果的なエアロビクスができることから、新しい生涯運動として期待されている。さらに、運動後には下痢・便秘の解消、肩こりの解消、疲労感が爽快感に変わるなどの効果が得られることが知られている。

そこで本研究では、家庭でも気軽に行うことができ、高い運動効果が確認されているトランポビクスで用いられるミニトランポリンを入力インタフェースとして、ユーザのトランポリン上でのジャンプ運動やウォーキング運動に対応した3D空間内での誇張映像を投影することができるエンタテインメントシステム“Kangaroo”を構築した。システム全

体の様子を図1に示す。

本稿では、複数のセンサを使用したマルチセンサ方式により、ユーザがVR空間内で行うことができる運動の幅を広げる。マルチセンサ方式によって、ユーザはミニトランポリン上で様々な動作を自然に行うことができるようになり、遊びながら健康な身体作りを行うことができるようになる効果が見込まれる。

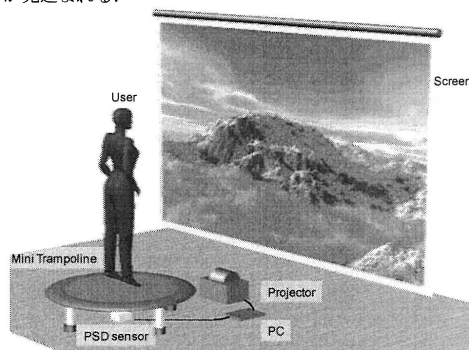


図1 システム全体の様子

1.1. 従来研究

トランポビクスの運動効果を検証する研究には三浦らの研究がある。三浦らはミニトランポリン上でのジャンプ運動の主観的な運動強度が床上でのジャンプ運動よりも低いこ

とを実証している[3]。また、井上らはトランポックスによって体重の減少、バランス感覚の向上などの効果が得られることを明らかにしている[4]。

ゲームを楽しみながら運動ができるように支援する研究も様々に行われている。

Mokka らは、エアロビクスバイクで VR 空間を探検できるシステムを提案している[5]。広田らはエクササイズ型エンタテインメントシステムに物語要素を加え、運動をしながらゲームを楽しむことができるシステムを提案している[6]。また、益子らはボクササイズゲームにおいて、攻撃動作の負荷を高・中・小に分類し、心拍数を制御する手法を提案している[7]。

本研究で提案するトランポリンインタフェースでは、ゲームを楽しみながら、能率的に運動することができるようになる効果が期待される。

2. システムの構成

システムは、2つの測距センサとミニトランポリンからなる入力デバイスと、PC、短焦点プロジェクタ、スクリーンからなるカンガルーアプリケーションで構成される。

ユーザがトランポリン上でジャンプやウォーキングなどの運動を行うと、トランポリン膜面中心の真下から等間隔に並んだ2つの測距センサがトランポリン膜面の変化量を測定する。測定データはPCに送られ、距離値に変換され、4

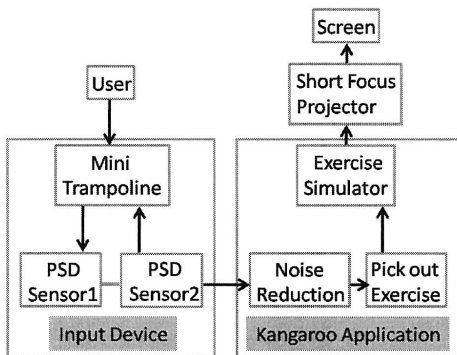


図2 処理の流れ

章で述べる手法によって運動状態の判別が行われる。すると、各運動状態に対応した3D空間内での誇張映像が短焦点プロジェクタからユーザ前方のスクリーンに投影されるので、ユーザはあたかも3D空間内を跳び回っているような感覚を得ることができる。

処理のおおまかな流れを図2に示す。

3. 膜面変化量の計測

本システムでは、ミニトランポリンの真下に設置された2つの測距センサ(Sharp社製GP2Y0A21YK0F)を用いて床と膜面の距離の変化を測定し、変化量の違いによって運動状態の判別を行う。この時、取得したデータに関して、ローパスフィルタで高周波成分を除去する。

図3は2つのセンサの膜面変化データの平均を運動状態ごとに示したグラフである。左からトランポリン膜面の初期状態、トランポリン上でユーザが静止した状態、歩行状態、走行状態、小ジャンプ、大ジャンプした状態である。小ジャンプとはジャンプ間隔が短く、滞空時間が短いジャンプ、大ジャンプとはジャンプ間隔が長く滞空時間が長いジャンプである。図からユーザの運動状態の違いから異なる膜面沈み込み量が計測できていることがわかる。

図4に体重の異なるユーザによる静止した状態、歩行した状態、ジャンプした状態におけるそれぞれの膜面変化を示す。図から静止状態においてユーザの体重が重いほど膜面の変化量が大きいことがわかる。しかし、体重が異なるユーザにおいて小ジャンプを行った際の膜面変化量はほぼ等しくなっている。これは一定以上の力かトランポリン膜面に働いた時のトランポリン膜面の特性による最大変化量であると考えられる。また、図3から一定の体重以上のユーザによるジャンプの大小に関わらず膜面変化の最大量のみからでは運動を判別できないことがわかる。

4. 運動の判定

4.1. 歩行運動

歩行運動の検出は次のように行う。図4に示した事前にサンプルから求めたユーザの体重と膜面の変化量を基に運動状態の判別を行う。ここでユーザの体重を w とした時の静止状態における膜面の高さの基準値を、 $H^{stand}(w)$ 、歩行運動状態における最下限の膜面の高さの基準値を $H^{walk}(w)$ 、ジャンプ

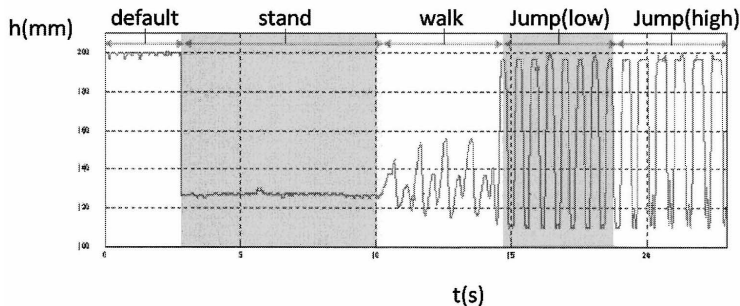


図3 運動状態ごとの膜面変化量の違い

運動時における最下限の膜面の高さの基準値を $H^{jump}(w)$ とする (図5)。

体重 w のユーザがトランポリン運動を行った際の2つのセンサの膜面変化量の平均値の時系列信号を $h(t)$ とすると、

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} h(t) &= 0, \\ (H^{stand}(w) - h(t))^2 &\geq (H^{walk}(w) - h(t))^2, \\ (H^{jump}(w) - h(t))^2 &\geq (H^{walk}(w) - h(t))^2, \end{aligned} \quad (1)$$

を満たす時刻 t を歩行の開始時刻とする。

検出した歩行状態に応じた VR 空間内でのユーザ位置は次のように決める。

$$d_{step} = d_0 \cdot \gamma t, \quad (2)$$

d_{step} は1歩踏み込んだ際の移動距離、 d_0 は初期移動量、 γ は減衰量、 t は時間である。 d_0 と γ に関しては映像コンテンツに応じて違和感のない値を設定した。これによって、ユーザは投影された映像世界内を散歩しながら、運動を楽しむことができる。

4.2. ジャンプ運動

トランポックスにおけるジャンプ運動において、トランポリン膜面が最下点に到達後、膜面からの反力によって押し出される際にユーザはジャンプを開始したと考えられる。そのため膜面がジャンプ運動だと考えられる変化量とり、且つ極小値をとった時刻がユーザのジャンプ開始時刻である。

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} h(t) &= 0, \\ (H^{stand}(w) - h(t))^2 &\geq (H^{jump}(w) - h(t))^2, \\ (H^{walk}(w) - h(t))^2 &\geq (H^{jump}(w) - h(t))^2, \end{aligned} \quad (3)$$

$H^{jump}(w)$ の値は予備実験によりジャンプの大小に関わらずトランポリン膜面の特性による最大変化量に限りなく近い値であることがわかっている。

ジャンプ運動に面白さを付加するために、タイミング良くジャンプした時には、VR 空間でのユーザ位置が上昇していくような効果を加える。このジャンプ運動の演出表現は次のように行う。

(3)式によりジャンプを検出した時刻を t_0 とすると時刻 t におけるユーザ位置は

$$y = v_0(t - t_0) - \frac{1}{2}a(t - t_0)^2 + y_{previous} \quad (4)$$

で表現される。 y は VR 空間における y 軸方向のユーザ位置、 v_0 はジャンプ検出したときの初速度、 a は加速度、 $y_{previous}$ は

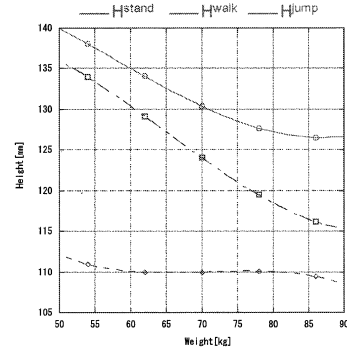


図4 体重ごとの膜面沈み込み最大量の関係

ジャンプ開始時の y 軸方向のユーザ位置である。

(4)式において、速度 v_0 において $y = y_{previous}$ となる時間 T_0 をジャンプの周期として本稿では定義する。ここで膜面の沈み込み最下点の周期を T_{cycle} とすると、

$$T_0 < T_{cycle}. \quad (5)$$

となる VR 空間におけるユーザ速度 v_0 では、次のジャンプが始まる前に、ジャンプ開始位置に戻ってしまう。

そこで、ユーザ位置をジャンプする毎に上昇するように、

$$v_i = v_{i-1} + \Delta v, \quad (6)$$

ただし $T_i < T_{cycle}$ の場合

とする。 v_i はジャンプ速度、 v_{i-1} は1つ前のジャンプ速度、 Δv はジャンプ増加量である。

(6)式によりユーザ速度 v_i が増加していき、 $T_i > T_{cycle}$ 、すなわち $y_{previous} > 0$ となったときの速度 v_i を上昇速度とすることで、タイミングよくジャンプを継続することによりユーザは空中を弾むように上昇していく感覚を得ることができる。

4.3. ジャンプ状態の判定

継続性を高めるという目的から、運動に面白さを加えるため、ジャンプを小ジャンプと大ジャンプの2種類に分けた。小ジャンプは低く、間隔の短いジャンプで、ジャンプを繰り返すことによって、徐々に高度を上げていくことができる。大ジャンプは高く、間隔の長いジャンプで、一気に高度を

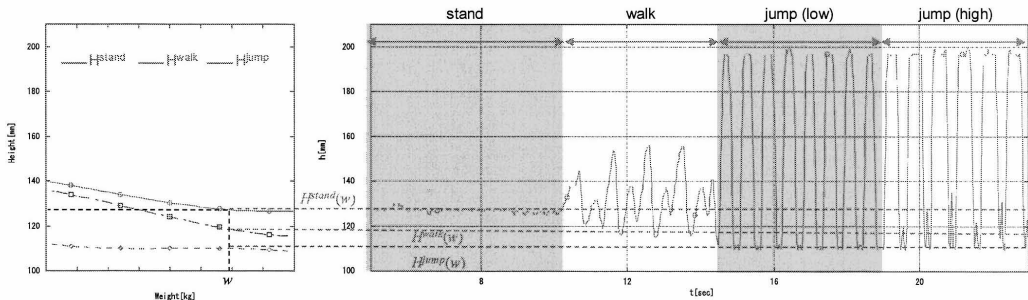


図5 運動状態の判別

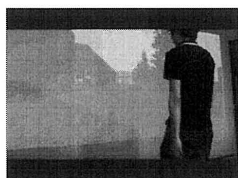
上げて、空から地面を眺めたり、建物を飛び越えたりすることができ、日常では味わえない迫力のある体験を提供する。

2種類のジャンプの判定は次のように行う。図5に示すように各ジャンプによる膜面の変化量からは判別することが難しいため、それぞれのジャンプの滞空時間の長さから判別を行った。

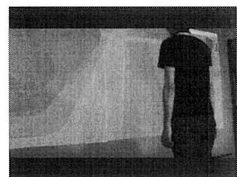
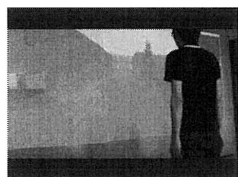
ユーザがジャンプをしているとき、膜面はユーザが乗っていないときの初期位置付近で微振動しているため、この膜面

の変化からユーザの滞空時間を知ることができる。膜面変化から検出されたユーザの滞空時間 T_{jump} を、大小ジャンプの判定のための閾値を $T_{high-low}$ とすると、 $T_{jump} < T_{high-low}$ となるジャンプを小ジャンプ、 $T_{high-low} \leq T_{jump}$ となるジャンプを大ジャンプとする。

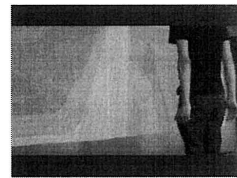
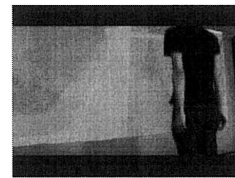
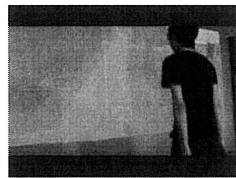
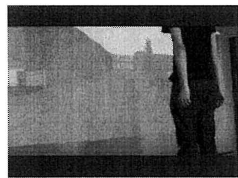
この大小のジャンプの判別は、ジャンプ運動における滞空時間、即ち踏み切りから着地までの時間から判別している。そのため、ジャンプの大小が分かるのは着地したとき、即ち



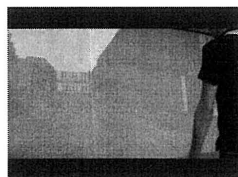
(a) 歩行運動



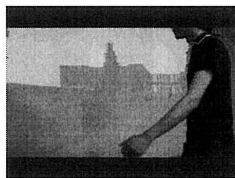
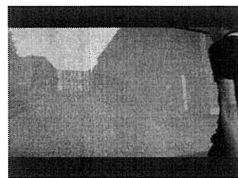
(b) 小ジャンプ運動



(c) 大ジャンプ運動



(d) 右回転



(e) 左回転

図6 映像投影結果

ジャンプ運動の終了後である。そこで、ジャンプにおける映像視点の計算は4.2節で述べた様に行い、大ジャンプが数回連続して行われた後の次のジャンプにおけるVR空間におけるユーザのジャンプの初速度 v_i を $v_i = \alpha v_{i-1}$ とすることで、VR空間において一気に高度を上げることができるジャンプを体験することができる。 α はコンテンツに応じて決定する任意の定数である。

4.4. 方向の転換

方向の転換は2つのセンサ値の比較によって行う。ユーザがトランポリン上で右回転を行うとき、トランポリン膜面下で中心より右側にセットされたセンサの測定値 $h_{right}(t)$ が左側にセットされたセンサの測定値 $h_{left}(t)$ よりも大きくなることを利用し、

$$h_{right}(t) < h_{left}(t) + \delta, \quad (7)$$

の関係を満たすとき、VR空間内での視線方向を右に回転させる。同様に、左回転では、

$$h_{left}(t) < h_{right}(t) + \delta, \quad (8)$$

の関係を満たすとき、視線方向を左に回転させる。ここで、 δ はジャンプ運動や前進歩行運動における2つのセンサ値の差の最大値などを考慮し、実験的に設定した値である。

ユーザが方向転換を行った後は、再び4.1節から4.3節で述べた方法によって運動状態が判別され、ウォーキング運動やジャンプ運動を行うことができ、ユーザはVR空間内を自由に動き回ったり跳び回ったりすることができる。図6に実際に、歩行、小ジャンプ、大ジャンプ、方向転換を行っている様子を示す。

5. 実験

本システムの有効性を示すために、実装したシステムを用いて評価実験を行った。

被験者10人に対し、トランポビクス、運動と無関係な映像を見ながらのトランポビクス、提案システムをそれぞれ3分間ずつ体験してもらい、体験直後にアンケートと自由記述に答えてもらった。実験順序による結果のばらつきを防ぐために、それぞれの被験者ごとに実験を行う順序を入れ替えた。

5.1. アンケートによる評価結果

それぞれの項目について、t検定を行ったところ、提案システムの方がトランポビクスよりも「もう少し運動を続けていたい」、「飽きずに運動ができた」、「時間がたつのが早く感じた」など、運動の継続性の向上につながったと思われる質問項目において有意な差を得ることができた(表1)。

また、運動と無関係な映像を見ながらのトランポビクスとの比較においては、「もう少し運動を続けていたい」、「飽きずに運動ができた」、「トランポリン上で色々な動きをしてみたくなった」などの質問項目において有意な差を得ることができた(表2)。この結果から、提案システムでは、楽しみながらトランポビクスを行う、ウォーキング運動やジャンプ運動などをバランス良く行う、といったようなトランポビクスの目的にかなった運動法が実現できていると考えられる。

5.2. 自由記述項目による評価結果

自由記述において得られた意見をプラス評価、マイナス評価のそれぞれについてまとめる。

プラス評価の意見には「映像とシンクロして面白」、
「爽快感があった」などがあった。この結果から、センサによるデータ受信から映像投影までの時間遅れがユーザの運動に影響していないという結果を得ることができたと思われる。また、映像コンテンツの狙いである、「現実世界で体験できない面白さ」、「大空高く跳びあがる爽快感」を与えることが実現できていると思われる。

マイナス評価の意見には「高くジャンプした時に鳥や飛行機が飛んでいたらもっと面白い」、「街に人がいないのが寂しい」など、コンテンツの充実を求める意見が多く見られた。

表1 各アンケート項目におけるトランポビクス、提案システムそれぞれの評価点とt値

(自由度9での有意水準5%のt値: 2.262)

アンケート項目	トランポビクス	提案システム	t 値
もう少し運動を続けていたい	-1.3	1.2	-4.16
トランポリン運動の面白さを感じた	0.9	1.6	-1.77
日常で体験できない面白さがあった	-0.9	1.1	-3.59
飽きずに運動ができた	-0.7	2.2	-6.33
精神的につらくなかった	0.4	1.4	-3
時間がたつのが早く感じた	-1.2	2.0	-5.09
運動をしていて爽快感があった	0.2	1.4	-4.81
トランポリン上で色々な動きをしてみたくなった	0.4	1.3	-1.78

表2 各アンケート項目における運動と無関係な映像を見ながらのトランポビクスと提案システムの評価点とt値

(自由度9での有意水準5%のt値: 2.262)

アンケート項目	トランポビクス	提案システム	t 値
もう少し運動を続けていたい	-0.4	1.2	-3.36
飽きずに運動ができた	-1.0	2.1	-3.97
精神的につらくなかった	1.5	1.6	-0.287
時間がたつのが早く感じた	-1.1	1.8	-1.56
運動をしていて爽快感があった	-0.3	1.4	-4.02
トランポリン上で色々な動きをしてみたくなった	-1.0	1.3	-4.12
映像によってリズムを崩されること がなかった	0.1	0.5	-0.57

6. まとめ

今回、ゲームを楽しみながらも運動を行うことができるインタフェースとしてミニトランポリンを用いたトランポリンインタフェースを提案した。そして、ミニトランポリン上でのユーザの運動状態に対応した誇張映像をユーザ前方のスクリーンに投影することができるエンタテインメントシステム“Kangaroo”を開発した。

評価実験で、実際に複数の人たちに体験してもらい、アンケート調査を行ったところ、本システムでは通常のトランポボックスと比較して、「トランポリン上でもっといろいろな動きをしてみたい」、「もっと運動を続けていたい」などの項目で有意な差を得ることができた。この結果から、トランポリンインタフェースは健康促進の点で有用なインタフェースであると考えられる。

今後は、3個のセンサを用いた前方向へのジャンプ機能などを加える。これによって、川や山を飛び越えることができるような日常では体験できない面白さのあるコンテンツを加えていきたい。

また、トランポリンインタフェースの利用法の応用として、映像の制御だけではなく、音を制御する楽器としての利用なども検討していく。

文 献

- [1] 健康日本 21, <http://www.kenkounippon21.gr.jp/>
- [2] 富永祐民, 生活習慣病と健康づくりと生活習慣の予防, 中部大学生命健康科学研究所紀要, vol.2, pp.21-27, (2006).
- [3] 三浦孝仁, 鈴木俊哉, 松本美和子, 宅野栄子, ミニ・トランポリンを用いたエアロビク・ジャンプ運動法の検討, 日本体力医学会大会号, vol.35, No.6, pp.56, (1986)
- [4] 井上紀子, 内藤純子, 権藤弘之, 松村夫美子, 沢村太郎, 111×16 トランポボックス健康法にみるトレーニング効果について(第 1 報), 日本体育学会大会号, No.41B, pp.773, (1990)
- [5] Sari Mokka, Antti Väättänen, Juhani Heinilä, Pasi Välikkynen, Fitness Computer Game with a Bodily User Interface, the Second International Conference on Entertainment Computing, pp.1-3, (2003).
- [6] 広田健一, 益子宗, 星野准一, ストーリー型エクサティンメント, 情報処理学会, エンタテインメントコンピューティング 2005, pp.145-146, (2005)
- [7] 益子宗, 星野准一, 心拍数制御を用いた運動支援ゲームの提案, 芸術科学会論文誌, 6(3), pp.136-144, (2007)