

ジョギング時における情報機器利用のための 足ステップ入力方式

山本 哲也^{†1} 寺田 努^{†2}
塚本 昌彦^{†2} 義久 智樹^{†3}

携帯型音楽プレーヤの小型化にともない、人々はいつでもどこでも音楽を聴きながら生活するようになった。特に、ジョギング時には走ることへのモチベーションを維持するために音楽プレーヤが使われており、楽しく運動できる環境をつくることは重要である。一方、ジョギング時に音楽プレーヤの選曲など簡単な入力を行う場合、従来のインタフェースでは入力デバイスを取り出す必要があり、手がふさがるといった問題があった。そこで、本研究では足のステップを用いたジェスチャ入力インタフェースを提案する。両足に3軸の加速度センサを取り付け、通常のジョギングとは異なる足ステップを行うことで、ユーザはシステムへの入力を行う。実験により、足ステップは十分な操作精度を持ち、さらに足ステップを用いることでジョギングにゲーム的な楽しさを提供できることが分かった。

A FootStep Input Method for Operating Information Devices while Jogging

TETSUYA YAMAMOTO,^{†2} TSUTOMU TERADA,^{†2}
MASAHIKO TSUKAMOTO^{†2} and TOMOKI YOSHIHISA^{†3}

Due to the downsizing of music players and cell phones, we often listen to music in various situations. Especially, music players are used to keep motivations when users are jogging. Therefore, providing some kind of entertainment for jogging is important. On the other hand, conventional interfaces are not suitable because they must be took out from somewhere. In this paper, we propose an input interface using foot steps for information appliances and investigate its availability. In our proposed interface, attaching 3-axis acceleration sensors to user's foot, the user controls the appliance using foot steps that differ from normal foot movements. Our experiments confirmed that footstep has adequate precision to operate menu and gives a user pleasure to jog.

1. はじめに

近年の情報機器の小型化、高性能化にともない、人々は様々な情報機器を日常生活において用いるようになった。特に携帯電話や携帯型音楽プレーヤは年々多機能化し、その利用方法も多様化している。これらの情報機器の利用方法は、大まかに以下の3通りに分けられる。

- (1) コミュニケーション：電話、メールなどの他者との通信
- (2) 情報取得：情報検索、地図表示、電卓など
- (3) エンタテインメント：音楽やゲームなど楽しむためのもの

それぞれの利用方法に適した入力インタフェースを考えると、まず(1)や(2)の目的では、電話を受けたり、文字入力を行ったりするといったような入力を中心となるため、高速で効率の良い入力方式が求められる。一方、(3)の目的においては、正しく操作するだけでなく、入力方式自体にもエンタテインメント性を持たせることで情報機器をより楽しく利用することも重要な要素の1つとなる。

ユーザが情報機器をエンタテインメント目的に使う例にジョギングがある。ジョギングなどの有酸素運動は軽い運動強度でも長時間続けることが効果的であり¹⁾、ジョギング中に音楽を聴くことで、楽しく運動できたり、気分を高揚させたりと、走ることへのモチベーションが高まり長く走り続けるための動機付けとなる。近年ではジョギングしながら情報機器を利用するケースが増えており、本研究では、ジョギング時における入力方式に焦点を当て、より楽しく走れる環境を提供することを目的とする。従来のコンピュータ操作インタフェースを用いた場合、ジョギングとまったく関係のない方法で入力を行うことになるため、本研究ではジョギングのリズムとジェスチャ入力を組み合わせた足ステップインタフェースを提案し、身体性を活かした入力を行えるようにする。提案方式を用いて音楽選択を行うと、ゲームのような感覚で、音楽だけでなく選択も楽しみながらジョギングを続けられるようになると考えられる。

以下、2章で関連研究について述べ、足ステップによる入力の特徴と提案システムについて

^{†1} 神戸大学大学院自然科学研究科
Graduate School of Science and Technology, Kobe University

^{†2} 神戸大学大学院工学研究科
Graduate School of Engineering, Kobe University

^{†3} 大阪大学サイバーメディアセンター
Cybermedia Center, Osaka University

て3章で述べる．4章で評価・考察により足ステップ入力を評価し，他手法と比較して考察を述べる．5章でまとめを述べる．

2. 関連研究

ジョギングをサポートする商品や研究として以下のような例がある．カラダトレーナー²⁾は耳で心拍数を計測し，運動に適切なジョギングの速度を音声とリズム音で知らせることでジョギングをサポートする．BODiBEAT³⁾は加速度センサによりペースを測定し曲を自動選択するフリーワークアウトモードとイヤフォン付属の脈拍センサから心拍数を計測して，運動に適切なテンポの曲を流すことで，運動に適切なジョギングの速度を知らせるフィットネスモードからなる商品である．また，Elliottらによる PersonalSoundTrack⁴⁾ や酒田らによる Situated Music⁵⁾ も同様に運動のペースにより曲を変更する枠組みを提案するものである．これらはいずれも健康のため，ユーザのコンテキストに合わせて自動的に曲を提案することで楽しくジョギングすることを目的としたものであり，機器の操作はボタンを用いている．また，Muellarらによる Jogging over a Distance⁶⁾ では，ヘッドホンでの声の聞こえる方向を制御することで，遠隔の仲間と一緒にジョギングをしているような感覚を起こさせ，ジョギングする人のネットワークを広げたり楽しくジョギングをすることができたりする．このように，楽しくジョギングすることに注目が集まっているが，入力方法自体をジョギングに適したものにしようという取り組みはこれまで行われていない．上記のシステムにおいても入力方法を提案する方法にすることでさらにジョギングが楽しくなると考えられる．

靴にセンサを取り付ける商品や研究の例としては，Nike+iPod⁷⁾ や Paradiso らによる Dancing Shoes⁸⁾ がある．Nike+iPod では圧電型加速度計によりウォーキングやランニング時の蹴りの強さをモニタし，距離，速度，消費カロリーなどを iPod など確認できる．このシステムを用いることでジョギングのデータを簡単に管理できるが，入力インタフェースとしては利用できない．Dancing Shoes では，靴に圧力センサなど様々なセンサを取り付け，足の動きを解析することで動きに合わせインタラクティブに音楽を自動生成することを目的としている．本研究は Paradiso らとは異なり，ジョギング中にあらかじめ登録されたジェスチャを認識し，コマンド入力として用いることでより楽しく走る環境の構築を目指している点が異なる．

ジェスチャ入力に関する研究としては，Gesture Pendant⁹⁾ や Ubi-Finger¹⁰⁾，FreeDigger¹¹⁾ がある．これらはいずれも手によるジェスチャを用いた簡単な入力方法を提案する

ことを目的としている．また，Tokoroらによる Xangle¹²⁾ では，ウェアラブル環境においてハンズフリーインタフェースを実現するために，腕に加速度センサをつけてポインティングを入力を行う．このような一般的なジェスチャ入力ではジョギングのような特殊な状態に対応できないので工夫が必要である．手を用いた入力はボタンと同様に簡単に入力を行えるが，ジョギングと関連した身体性を活かした入力にはならない．また，屋外で気軽に情報機器を操作するためには，新しいデバイスを用いるのではなく普段から身につけているもので入力できることが望ましい．さらに，ジョギング中に利用するためには，動いている状態でも入力できる必要があるが，これらの方式は移動中の入力を考慮していない．

3. システムの設計

ジョギングが他の状態と最も異なる点は，つねに手足を動かしていることである．この動きを入力インタフェースに採り入れることでジョギングの動作を妨げることなく楽しく入力が行える．したがって，提案手法ではジョギングの特徴である継続的な動作で連続値の入力を行い，ジェスチャによってコマンド入力を行うことを考える．

3.1 ジョギング中の動作

ジョギングは継続的に足を動かす動作である．この継続的な動作は，たとえば，メニュー選択で選択肢を順次選択するといったように，繰り返して行う操作に対応づけることが自然である．一方，ジョギング中においても，足を左に振り上げるなど，ジョギング中には通常現れない意図的な動作が可能である．この意図的な動作はメニューを選択するといった操作に対応づけることが自然になる．

ジョギング中での入力方法として，継続的な動作と意図的な動作という特徴を持つ足ステップとボタン入力，手のジェスチャ，音声認識との違いを表1に示す．また，ボタン入力と足ステップの最初の入力の速さを比較するため，手に持っているとき，腕につけているとき，ポケットに入れているとき，そして足ステップについて実験を行った．実験はジョギング中に音を鳴らしたときから入力を完了するまでの時間を15秒おきに測定した．表2の結果は30回の平均と分散である．

携帯型端末のボタンをポケットに入れている場合は時間がかかるが，腕時計型インタフェースのようにボタンを手首に装着するか手に持っていれば素早く入力ができる．足ステップによる入力は手首につけているときと同程度の速さであるが，ボタンの場合は目視が必要な場合やボタン数の多い場合はさらに時間がかかると考えられる．足ステップの方が，ジョギング中の足の動きがあるためボタンに比べてばらつきがあるが，実際には900msから

表 1 入力方法の比較

Table 1 Comparison among input interfaces.

方式	身体	初動	連続入力	精度	周囲環境の影響
足ステップ	足	速い	遅いが負担小	中	中
ボタン	指先	速い～遅い	速いが負担大	高	小
手のジェスチャ	手	速い	遅いが負担小	低	中
音声認識	声	速い	遅く負担大	低	大

表 2 入力速度の比較

Table 2 Comparison of the first input interval.

方式	平均 (ミリ秒)	分散
ボタンを手に持つ	584	4,924
手首にボタン	1,177	18,542
ポケットの中にボタン	2,568	541,658
足ステップ	1,279	41,598

1,600 ms 程度であり、目立って入力が遅いということはない。また、ストップウォッチのようにつねに手に持つインタフェースであれば素早い入力ができるが、つねに使うわけではないものを手に持ってジョギングをするのは現実的ではない。

連続して入力する際には、ボタンによる入力では1度手をボタンまで移動済みであると連続して素早い入力が可能である。それに対して足ステップでは、1度に多くの入力が必要である場合はボタンほど素早い入力は難しい。ただし、スクロールのような同じコマンドを連続して入力する場合は、足ステップでは継続的な動作を割り当てることで負担を減らせる。また、ボタン入力では連続入力する際、手の動きが制約されジョギングに影響を与える可能性がある。逆に、足ステップの意図的な動作はジョギングに影響を与える可能性があるが、体を動かすというジョギングの目的には合致している。ただし、あまり無理な動作は危険であるため、なるべくシンプルのほうが良いと考えられる。

加速度センサを使った手のジェスチャでは、手の動きの自由度が高いために、認識が難しく意図しない誤動作をおこす可能性がある。これまでの筆者ら経験から、手首にセンサをつけた場合、靴とは違い手首のひねりで加速度センサの向きが変わることがあるため、同じ横に振るジェスチャでも、手首の角度でセンサのXYZ軸にかかる加速度が変わることが分かっており、足に比べて認識が難しい。また、センサ装着時にもセンサを毎回同じ位置にできるように調整しなければ、使用するたびにジェスチャのパターンが変化するため認識率の低

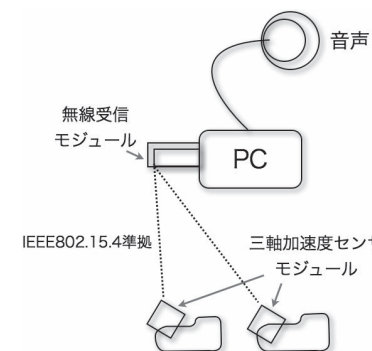


図 1 システム構成図
Fig. 1 System diagram.

下を招く。靴に取り付ける場合は、つねにセンサの位置が固定されているため、安定した入力が行える。また、手にセンサをつけた場合、腕時計を見たり、手をふったり、ポケットから何か取り出したりするなどの動作で誤認識が起こる可能性が高い。

音声認識を用いた場合、このような連続した入力は何回も声を出したりするなどの必要があり、ジョギング時の息や周囲の音に弱いという特徴がありジョギング中の入力としては難しい。

3.2 システム構成

足ステップによる入力システムとしてメニュー操作を行うプロトタイプを構築する。提案システムの構成を図 1 に示す。足の動きの情報を得るために、図 2 のように両足の靴に加速度センサモジュールを取り付けた。加速度センサの情報は、無線通信で無線受信モジュールへ送られ計算機 (PC) で処理する。PC では、メニュー内容を音声で読み上げるアプリケーションが動いており、使用者は PC の画面を見ずにメニュー項目を操作する。

加速度センサモジュールは筆者らの研究グループで開発した 25 mm × 25 mm の無線モジュール (Nao_RF¹³) を用いた。Nao_RF の CPU には、ATMEL 社製 AVR ATMEGA168、無線 IC には ATMEL 社製 AT86RF230 を採用し、2.4 GHz 帯での IEEE802.15.4 準拠の通信を行う。加速度センサには、Freescale 社製 MA7260 を採用した。PC には、SONY の VAIO type-U (CPU: Intel Core Solo 1.2 GHz / メモリ: 512 MB) を用いた。加速度センサのサンプリングは 100 Hz で行い、メニュー項目の読み上げには MS Agent¹⁴) を用いた。



図 2 靴と加速度センサモジュール
Fig. 2 Shoes with acceleration sensor.



図 3 PC と無線受信モジュール
Fig. 3 PC with wireless receiver.

3.3 加速度センサのデータの解析

加速度センサ値の解析方法として、しきい値による解析と DP マッチングを用いた解析を用いた。各方法が、継続的な動作と意図的な動作のどちらに適しているかは評価の章で述べる。ここでは、各方法の説明を行う。

3.3.1 しきい値による解析

ジョギング中の足の歩みの解析方法としてしきい値による解析を試みた。図 4 は、x 軸、y 軸、z 軸の加速度センサの値を重ねたものである。静止状態の加速度センサの値からあるしきい値を超えたときに 1 歩進んだと判断する。ジョギング中では、最も振幅の大きな前後方向である y 軸に対してしきい値を用いる。なお、各軸の値は静止状態の加速度センサ値との差になるようにしている。適切なしきい値を用いて平らな直線で 200 歩走った場合に、通常のジョギングのステップを 98%の精度で検出できた。

3.3.2 DP マッチングによる解析

DP マッチングとは、動的計画法 (Dynamic Programming) を用いて系列データどうしの

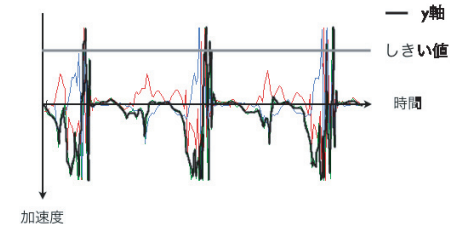


図 4 加速度センサの値としきい値
Fig. 4 Values of acceleration sensor and threshold.

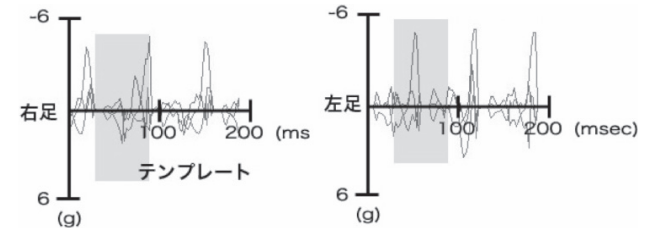


図 5 DP マッチングにおけるテンプレート取得例
Fig. 5 An example of templates for DP matching.

類似度を比較するアルゴリズムである。提案システムではあらかじめ登録された加速度センサの時系列データ (テンプレート) を用い、つねにリアルタイムで DP マッチングを行う。テンプレートとどれだけ近いかを判定するために、静止時の加速度センサの値と現在の値との最小累積距離を α とすると、テンプレートと現在の値との最小累積距離 β が $\beta < \alpha$ であればテンプレートとのマッチングがとれたとしてメニューへの入力とする。

テンプレートは、図 5 のグレーの部分のように両足の 3 軸の加速度をある時間で区切ったデータとする。今回用いたテンプレートの時間軸の長さはすべて 600 msec である。

3.4 メニュー操作

本システムでは画面を見ずに操作することを前提しており、選択されるたびに読み上げられるメニュー項目を聞きながら選択をする階層型メニュー構造を採用した。提案システムではディスプレイを利用しないが、確認用にメニュー画面を実装した (図 6)。メニュー項目は上下にならんでおり、1 つのメニュー項目を選択すると詳細なメニューに遷移できる、iPod で採用されているような階層構造を持つ。メニュー画面では下にカーソルが動き、下

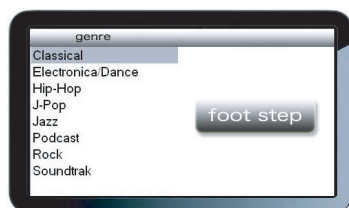


図 6 メニュー画面

Fig. 6 An example of menu display.

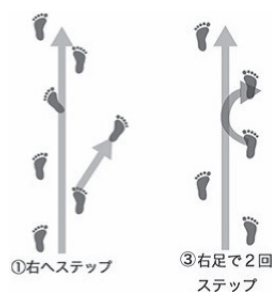


図 7 足ステップ (1), (3)

Fig. 7 footsteps (1), (3).

限の次は一番上に戻るようにした。また、ジョギング中はカーソルが動くたびにメニュー項目が音声で読み上げられ、曲だけを聴きたいときに邪魔なため、足ステップ入力 on/off できるようにした。したがって、入力としては「決定」、「戻る」、「下にカーソルを動かす」、「足ステップ入力 on/off」の 4 つのパターンがある。

3.4.1 メニュー操作に用いる動作

ジョギング中の通常とは異なる足ステップである意図的な足ステップとして、ジョギング中でも比較の入力しやすい下記の 4 種類の足ステップを用いる。図 7 にステップ (1), (3) を図示する。ステップ (2), (4) は (1), (3) の足を替えたものである。

- (1) 右に大きく踏み込む
- (2) 左に大きく踏み込む
- (3) 右足で 2 回ステップ
- (4) 左足で 2 回ステップ

ここで、左右に大きく踏み込むとは、足の横方向の加速度を増やすことで認識率を高める

表 3 4 種類の足ステップの実験結果

Table 3 result of 4 footsteps.

	1	2	3	4
1	95.8%	0	0	0
2	0	94.1%	0	0
3	0	0	90.8%	0
4	0	0	0	90.0%

ことができるので、横方向へ軽く跳ぶようなジェスチャとなるようにした。実際はジョギングしながら真横には跳べないので、斜め前に踏み込むようになる。被験者に対しては「なるべく横方向に移動すること」、「素早くコンパクトに跳ぶこと」を指示した。

上記のステップが適切に認識できるかを予備実験により確認した。予備実験は 4 人の被験者で行い、それぞれの被験者に対して 4 種類のテンプレートを登録させて 30 分間の練習を行った後認識精度を評価した。各ステップを 30 回行ったときの検出率を表 3 に示す。表中の認識率はそれぞれ 4 人の被験者の平均値である。表の縦の項目が行ったステップ、横の項目がそのときに検出されたステップの割合である。

表から分かるとおり、通常のジョギング中にステップが誤って認識されることはなかった。また、それぞれの足ステップの認識率は 9 割以上であった。したがって、これらのステップを入力に用いることに精度上の問題はないことが分かった。この結果に従い、4 つのメニューへの入力を以下のように決定した。

- 決定：右に大きく踏み込む
- 戻る：左に大きく踏み込む
- 下にカーソルを動かす：左足の通常ステップ
- 足ステップ入力 on/off：右足で 2 回ステップ

認識率の高いステップ (1) および (2) をそれぞれ「決定」と「戻る」に割り当てた。また、しきい値により検出できる通常のジョギングの歩みを「下にカーソルを動かす」に割り当てた。これにより継続的な動きを利用して入力を行える。ただし、通常ステップのすべての歩みを入力とするとカーソルの動く速度が速すぎたため、左足の通常ステップ 3 回につき 1 度の入力とした。また、ある程度項目が読み上げられた後でないと選択の判断ができないため、決定入力が行われたときに読み上げている項目ではなく、1 つ前の項目を選択するようにした。

4. 評価・考察

従来の入力方法はボタン入力がほとんどであり、ボタンを使ったインタフェースと提案システムを比較することで、両方式の特徴を把握できる。そこで、足ステップ入力とボタン入力との比較を行った。本章ではその実験について議論する。従来手法として、図 8 のような 4 つのボタンからなるデバイスを作成した。ボタン操作では足ステップ入力と同じフィードバックは音声で行い、「決定」、「戻る」、「カーソルを下に動かす」、「カーソルを上を動かす」を、画面を見ずに行う。裏にクリップがついており、ジョギング時には衣服に身につけ、指でボタンを操作する。

足によるジェスチャで上下のカーソルが移動する向きを変更させることもできたが、操作が複雑になり誤認識も増えてしまう。また、足によるジェスチャではジョギングの足に合わせてカーソルを動かす設計のためカーソルを細かく動かすことには向いていない。このような理由から、足ステップによる入力では上方向の入力を廃した。ボタン入力ではそのような心配はないため、上にもカーソルを動かせるように設計した。

評価は、10 人の被験者にそれぞれの方式を試してもらい、アンケートにより行った。被験者はすべて 20 代前半の男性でジョギングを日常的に行ってはおらず、ジョギングは多くて年に数回程度である。また、すべての被験者は音楽プレーヤを日常的に使用しており、ジョギング中の音楽プレーヤの使用経験がある。アンケート内容は下記の 5 段階評価とボタンと自由記述からなる。

- ユーザビリティ (5 : 非常に使いやすい, 1 : 非常に使いにくい)
- 入力の疲労度 (5 : まったく疲れなかった, 1 : 非常に疲れた)
- 好み (5 : 非常に好き, 1 : まったく好きではない)

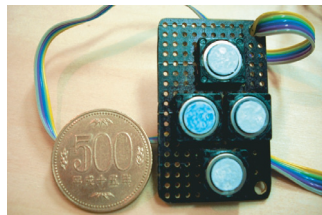


図 8 ボタン操作
Fig. 8 button operations.

- 楽しさ (5 : 非常に楽しい, 1 : まったく楽しくない)

実験では、iPod と同様の音楽プレーヤを想定し 150 の曲がジャンル、アーティスト、アルバム、曲の階層的な構造で選択できるアプリケーションを構築して使用した。被験者は事前にどのような曲が入っているか知っており、ジョギングしながら好きな曲をいくつか選ぶ。提案手法を利用する場合は、各被験者ごとに各足ステップのテンプレートをとって入力精度を確認し、ある程度操作に慣れた後に 30 分程度ジョギングさせてジョギング中に曲を選ばせた。10 人の被験者のアンケート結果を図 9、図 10、図 11、図 12 に示す。

ユーザビリティに関しては、ボタンの入力の方が足ステップより高速に入力である一方、足ステップはボタンに手を伸ばさず動作が不要なため、評価にばらつきがあるが、全体としては

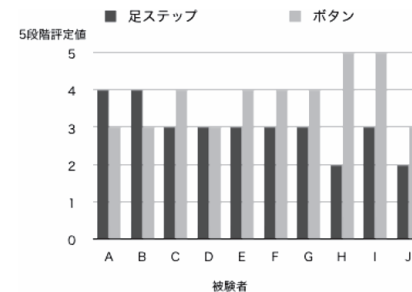


図 9 ユーザビリティの結果
Fig. 9 The result of usability.

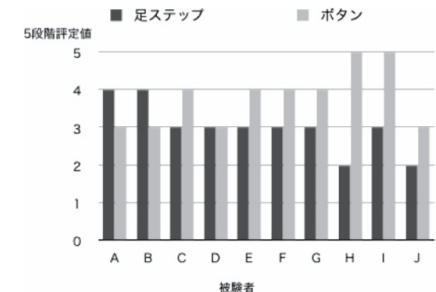


図 10 疲労度の結果
Fig. 10 The result of exhaustion.

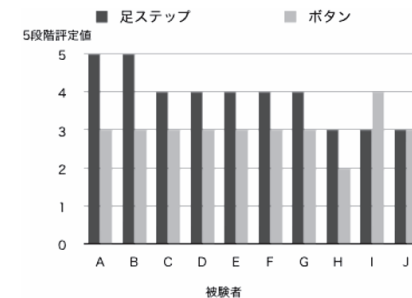


図 11 好みの結果
Fig. 11 The result of preferences.

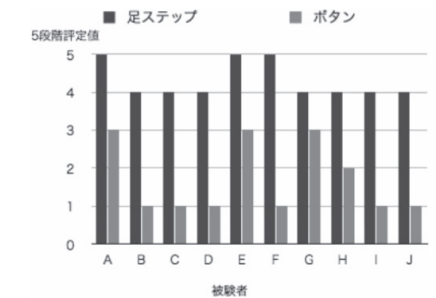


図 12 楽しさの結果
Fig. 12 The result of pleasure.

ボタンの方がやや評価が高い。入力の疲労度はボタンの方が疲れないと多くの被験者が回答したが、ジョギング自体の疲れもあるためか大きな差にはならず、足ステップによる動作が極端に負担が高く入力が困難であるという結果にはならなかった。また、足ステップが好みであるとの回答が多数であり、入力手法として提案手法は受け入れられている。楽しさに関しては全被験者が足ステップが楽しいという結果を得たため、楽しくジョギングを続けられるという意味では、他の入力方法よりも足ステップが適しているといえる。

ここで、自由記述によるアンケートの結果の例をいくつかあげる。

[足ステップの記述]

- 歩調を曲のリズムに合わせてしまうので、曲に合わせて題名が流れていくのを聴くのも楽しい。
- 目的の曲が出てきたところでコマンド（足ステップ）を打つのがゲームみたい。
- 走っている時間が短く感じる。
- 普通に走っているだけで、曲を探せるのが良い。
- ついついいろんな曲を選択して聴いてしまう。
- たまに目的の曲が流せず別の曲がかかる。
- 目的の曲まで遠いと、そこまで変える気がなくなる。
- 行き過ぎたときに1周待つのがちょっと面倒だった。

[ボタン入力の記述]

- 足ステップよりも早く入力できた。
- 簡単に選曲ができる。
- 早く入力できたが、面白くない。
- 選ぶときには手をつねにボタンにあてる必要があり、曲を選ぶ気力が足ステップにくらべて落ちる。

足ステップ入力では体の動きで入力をするのとメニュー操作が一体化しており、これが曲を探すゲームをしているかのような感覚を生むことが分かった。

また、アンケートから面倒であるなどのネガティブな意見も散見されたが、これは選択しようとした曲が確実に選択できるわけではないことによるもので、足ステップでは曲の指定が難しいという点である。ここで先に述べたような、違う曲を探してみようという気を起こさせているのは、走ることで様々な曲を次々に提示され、左右に跳ねるだけで選択できるという、曲の変更の容易さにあると考えられる。そのため、足ステップは曲は容易に変更可能だが、指定することは難しいということにより、ゲーム的な楽しさを持つことになると考え

られる。

ボタン入力と足ステップ入力は相補的な役割を持っており、思いどおりの曲を早く選びたいのであればボタンで入力で行い、そうでなければ足ステップで入力するという方法がジョギングには良い。ジョギング中に曲を選ぶ気がなければ、シャッフル機能のように完全にランダムに選曲する方法しかなかったが、足ステップの選択方法では、完全にランダムではないが確実に意識的に選ぶわけでもないゲーム的な楽しさを持つ新たなジョギングスタイルを提供できる。

5. ま と め

本研究では、ジョギング時における入力インタフェースとして、足ステップによるメニュー制御システムの設計と実装を行った。移動中の動作には継続的な動作と意図的な動作があるため、提案方式ではしきい値判定で継続的な動作を認識し、DP マッチングで意図的な動作を認識するようにした。このインタフェースにより、ジョギング時などの移動中のメニュー選択に対して、足ステップを用いた入力を可能にした。実験により、足ステップによるジョギング中のメニュー選択行ではユーザにゲーム的な楽しさを与えることができ、より楽しく走れるための環境を提供することができることが分かった。

今後の課題としては、長期間使用した場合の楽しさの継続性を調べることや、ランニングのような速いスピードのときにも動的に対応できるようにすること、ジェスチャ入力を活かしたよりジョギングが楽しくなるようなゲームを組み込むことがあげられる。

謝辞 本研究の一部は、科学研究費補助金特定領域研究（21013034）の支援によるものである。ここに記して謝意を表す。

参 考 文 献

- 1) 村山正博, 太田寿城, 小田清一: 有酸素運動の健康科学, 朝倉書店 (1991).
- 2) カラダトレーナー. <http://www.segatoys.co.jp/karadatrainer/>
- 3) BODiBEAT. <http://www.yamaha.co.jp/product/bodibeat/>
- 4) Elliott, G.T. and Tomlinson, B.: PersonalSoundtrack: context-aware playlists that adapt to user pace, *CHI '06 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, pp.736–741 (2006).
- 5) 酒田信親, 興相正克, 大隈隆史, 蔵田武志: Situated Music: インタラクティブジョギングへの応用, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2005, pp.459–462 (2005).
- 6) Mueller, F., O'Brien, S. and Thorogood, A.: Jogging over a Distance – Supporting a “Jogging Together” Experience Although Being Apart, *Proc. ACM CHI 2007 Con-*

- ference on Human Factors in Computing Systems 2007 v.2, pp.1989–1994 (2007).
- 7) Nike + iPod. <http://www.apple.com/jp/ipod/nike/>
 - 8) Paradiso, J., Hsiao, K. and Hu, E.: Interactive music for Instrumented Dancing Shoes, *Proc. 1999 International Computer Music Conference*, pp.453–456 (1999).
 - 9) Starner, T., Auxier, J., Ashbrook, D. and Gandy, M.: The Gesture Pendant: A Self-illuminating, Wearable, Infrared Computer Vision System for Home Automation Control and Medical Monitoring (*ISWC 2000*) (2000).
 - 10) 塚田浩二, 安村通晃: Ubi-Finger: モバイル指向ジェスチャ入力デバイスの研究, 情報処理学会論文誌, Vol.43, No.12 (2002).
 - 11) Metzger, C., Anderson, M. and Starner, T.: FreeDigiter: a Contact-free Device for Gesture Control, *8th IEEE International Symposium on Wearable Computers (ISWC 2004)*, pp.18–21 (2004).
 - 12) Tokoro, Y., Terada, T. and Tsukamoto, M.: A Pointing Method Using Two Accelerometers for Wearable Computing, *Proc. 24th Annual ACM Symposium on Applied Computing (SAC 2009)*, pp.136–141 (2009).
 - 13) 藤田直生, 義久智樹, 塚本昌彦: 放送型配信を用いたデータ収集のためのセンシングシステム, マルチメディア, 分散, 協調とモバイルシンポジウム (DICOMO2007), pp.1440–1447 (2007).
 - 14) Microsoft Agent. <http://www.microsoft.com/Msagent/>

(平成 21 年 3 月 19 日受付)

(平成 21 年 9 月 11 日採録)



山本 哲也

2002 年神戸大学工学部電気電子工学科卒業。2004 年同大学院工学研究科博士前期課程修了。同年富士通(株)入社。現在, 神戸大学院自然科学研究科博士前期課程に在籍。ウェアラブルコンピューティング, ヒューマンコンピュータインタラクションの研究に従事。YEN DESIGN のメンバ。



寺田 努(正会員)

1997 年大阪大学工学部情報システム工学科卒業。1999 年同大学院工学研究科博士前期課程修了。2000 年同大学院工学研究科博士後期課程退学。同年より大阪大学サイバーメディアセンター助手。2005 年より同講師。2007 年神戸大学大学院工学研究科准教授。現在に至る。2004 年より特定非営利活動法人ウェアラブルコンピュータ研究開発機構理事, 2005 年には同機構事務局長を兼務。工学博士。アクティブデータベース, ウェアラブルコンピューティング, コピキタスコンピューティングの研究に従事。IEEE, 電子情報通信学会, 日本データベース学会, ヒューマンインタフェース学会の各会員。



塚本 昌彦(正会員)

1987 年京都大学工学部数理工学科卒業。1989 年同大学院工学研究科修士課程修了。同年シャープ(株)入社。1995 年大阪大学大学院工学研究科情報システム工学専攻講師, 1996 年同専攻助教授, 2002 年同大学院情報科学研究科マルチメディア工学専攻助教授, 2004 年神戸大学電気電子工学科教授となり, 現在に至る。2004 年より特定非営利活動法人ウェアラブルコンピュータ研究開発機構理事長を兼務。工学博士。ウェアラブルコンピューティングとコピキタスコンピューティングの研究に従事。ACM, IEEE 等 8 学会の会員。



義久 智樹(正会員)

2002 年大阪大学工学部電子情報エネルギー工学科卒業。2003 年同大学院情報科学研究科マルチメディア工学専攻博士前期課程を修了し, 2005 年同専攻博士後期課程修了。博士(情報科学)。2005 年京都大学学術情報メディアセンター助教。2008 年大阪大学サイバーメディアセンター講師を経て 2009 年より同准教授となり, 現在に至る。この間, カリフォルニア大学アーバイン校客員研究員。端末伝送型インターネット放送に興味を持つ。電子情報通信学会, IEEE 各会員。