

Sport support system using realtime audio feedback

Yuki Yamamoto, Daisuke Takafuji, Yasuaki Ito, and Koji Nakano
Department of Information Engineering
Hiroshima University
Kagamiyama 1-4-1, Higashi Hiroshima, 739-8527 Japan

Tomoko Kashima
Department of Informatics
Kinki University
Takaya Umenobe 1, Higashi Hiroshima, 739-2116 Japan

Abstract—In recent years, a smart phone which has highly efficient processor and a large number of sensors is gaining popularity. Since the smart phone is so small, it is convenient to carry, and many sport supporting systems have been developed using smartphone sensors. However, they are so simple that for example, a running support system calculates mileage, pace and records a route, and a pedometer records the number of steps. In this research, we propose sport support system using an Apple iPhone which analyzes movement data from accelerator, and gives with real time audio feedback.

Keywords-Accelerometer, Fourier transform, Audio feedback

I. INTRODUCTION

本提案システムは、反復運動や繰り返し運動を基本動作とする運動動作において、汎用的に運動動作をサポートするスポーツ支援システムである。例を挙げると、スキーのターンや、二輪車教習や全国白バイ安全運転競技大会などで行われるバイクのスラロームターン、ランニングペースのキープ等に対して使用可能であり、リアルタイムに音声フィードバックを行うことで支援を行う。

本システムは、初志者から上級者まで誰でも気軽に、どの様なレベルであっても効果的なサポートを行うことができるシステムを目指して開発を行った。本提案システムの特徴は特に、前述の様な反復動作に関してその再現性に着目して運動動作の評価を行った点である。再現性の高い動作は、ユーザに高度にコントロールされているスムーズで無駄のない良い動作と言い換える事ができ、本提案システムが出力する採点結果の高得点を目指すことで、ユーザの運動動作を改善することができるという見識に基づいている。

提案システムを使用する際、ユーザはシステムが発生する音声に合わせて反復運動を行う。その際、システムはiPhone 端末に搭載された加速度センサから加速度の計測を行い、システムはその結果を被験者に音声フィードバックで伝える。被験者の運動がスムーズで、発音ごとの動作が一定であればあるほど高得点となり、高得点を維持して運動動作を練習することで、滑らかで繊細な運動動作を習得することができる。更に、iPhone 端末には運動中の運動波形が表示されており、被験者は運動動作の終了後、運動波形を遡って見ることができ、被験者は自身の運動動作にどのような特徴が有るか確認し、改善することができる。

本研究では、3軸加速度センサが搭載された iPhone4s[1] を体の一部に装着して運動を行い、そのセンサで得られる情報を用いて支援を行う。iPhone4s はイヤフォンを用いて屋外でも音声を聞くことができ、3.5 インチのディスプレイを搭載しているため、測定結果をその場ですぐに確認することができる。そのため、大きな専用測定装置をスキー場や練習場で持ち歩く必要はなく、安価に効率的なスポーツ支援を行うことができると思われる。

提案システムでは、運動動作中の加速度を用いてリアルタイムに音声フィードバックを行うことで、効果的に運動スキルを向上させることができる。最後に検証実験として本提案システムを実際に使用し、バイクスラローム動作における加速度の変化とフーリエ解析結果の違いを明らかにした。本提案システムの検証実験の様子を Figure 1 に示す。

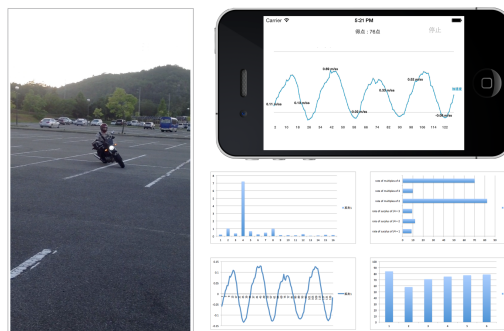


Figure 1. Test and analysis of our system.

II. 関連研究

これまでの運動解析では、ビデオ映像を元にした映像解析が主流である [2]. ビデオ映像をもとにして運動動作を改善する例としてゴルフのスイングがあるが、ゴルフ場では自分のスイングを自動で録画し、プロと比較した動画を確認できるシステムがゴルフ場で導入されはじめています。また、近年は専用センサとスマートフォンを接続することで効果的にスポーツ支援を行うシステムが開発され始めている。例を挙げると、Figure 2 に示した ACCESS 社が販売する「Fullmiere」というシステムは、スマートフォンと専用測定装置を無線接続し、スイング中に専用測定装置でサンプリングしたデータを後にスマートフォンに送り、ス

スマートフォンやパソコン画面に表示することでゴルフスイングの解析を行うシステムである [3]。他の例では、Figure 3 に示すように、ランニングやジョギングの際の走行ルートや走行距離、走行時間やおよその消費カロリー、ペースを記録する Nike+iPod [4] が実用化されている。本研究では、これらの動画解析や特別な測定装置を用いたシステムとは異なるアプローチでスポーツ支援を行うシステムを開発した。本提案システムは、スキーやバイクスラロームのように、反復運動を基本動作とする運動動作に対して汎用的に使用することができる。本提案システムでは特別な測定装置を使用することなく、iPhone に搭載されたセンサのみを用いて支援を行う。さらに、動画解析の様な単なる比較ではなく、フーリエ解析の手法を用いて運動動作に特徴を見出し、その結果を元に運動動作中にリアルタイム音声フィードバックを行う点で既存のシステムと異なる。加えて、これまでのシステムでは、被験者は運動動作の終了後にフィードバックを得ていたが、本提案システムでは、運動中にフィードバックを得られるため効果的にスポーツ支援を行うことができる。既存研究として、iPhone1 台と複数台のカメラを使用した手法 [5] などがあるが、スキー場ではこれらの機材を持ち運ぶには不便であり、降雪環境の中でのカメラ撮影では後の画像解析に悪影響となることも考えられる。本提案システムでは iPhone 端末のみを使用することで余計な機材を持ち運ぶ手間を省き、カメラを使用しないことで周りの環境の影響を受けにくいシステムとなっている。したがって、提案システムはコストや利便性の点でより実用的であり、汎用性が高いシステムと考えている。

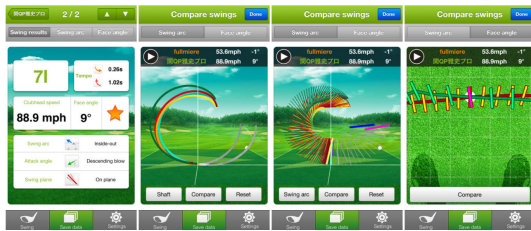


Figure 2. Fullmiere[3].



Figure 3. Nike+iPod[4].

III. 加速度センサから得られる情報

本提案システムでは加速度センサの値を運動解析に使用している。加速度とは、一定時間あたりの速度の変化量

のことである。加速度センサはこの加速度を計測するセンサであり、電車の振動制御やロボットの姿勢制御、自動車のエアバッグシステムや家庭用ゲーム機など幅広い分野において利用されている。iPhone4s は 3 軸加速度センサを搭載しており、Figure 4 に示す 3 つの軸方向の加速度を計測することができる。Figure 5 は加速度センサを用いて 3 軸方向の加速度を測定した図であり、机に画面を伏せて静置した状態から z 軸方向→x 軸方向→y 軸方向へ振った際の波形を示している。机の上などの平らな場所に画面を伏せて静置した場合、加速度センサは重力加速度によって z 軸方向におよそ +1.0 を出力する。Figure 5 では一番下の波形が z 軸方向の波形であり、静置した状態では重力加速度の加速度:1.0 を出力していることが確認できる。また、振った向きに応じて対応する軸の値が大きく変化していることが確認できる。本システムでは、これらの 3 軸の加速度の値を合成し、その値から 1.0 を引くことで重力加速度の大きさを取り除いて測定データとしている。

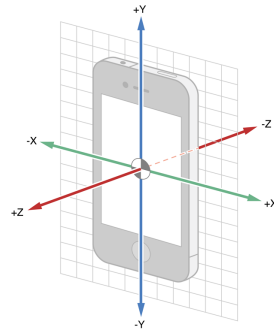


Figure 4. 3-axis accelerometer[6].

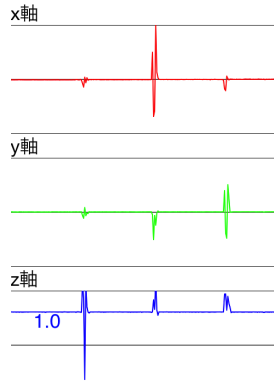


Figure 5. Each output of 3-axis accelerometer.

IV. 提案システムの全体像

スキーやバイクスラローム等のスキル向上のため、ズボンのポケットや iPhone 固定用ベルトに装着した iPhone 端末から得られる加速度データを解析し、被験者にその結果を用いてリアルタイム音声フィードバックを行うシステム

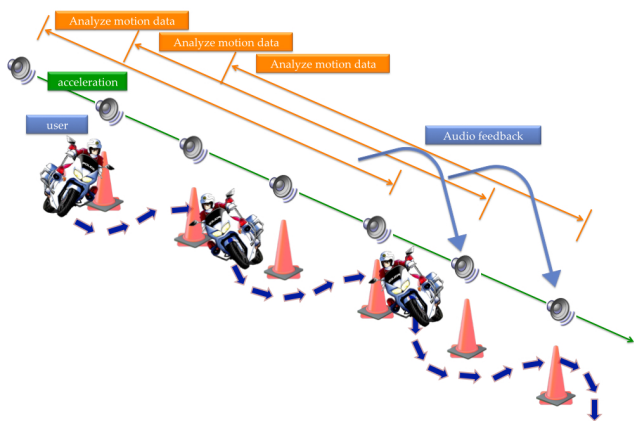


Figure 6. System overview.

を開発した。被験者は本提案システムが発声する音声に合わせてターン運動を行い、システムはその発音ごとに過去4発音区間を解析する。Figure 6に提案システムの全体像を示す。

A. 波形解析

1) 波形解析の流れ: システムの波形解析の流れを以下に示す。

- Step1. 過去5発音区間の3軸加速度取得
- Step2. バイリニア補間
- Step3. カルマンフィルタ
- Step4. 過去4発音区間に対してフーリエ変換
- Step5. 運動波形の評価

本システムでは50Hzのサンプリングレートで加速度のサンプリングを行っている。被験者の運動中、システムは常に加速度をサンプリングし続ける。被験者は、システムが発生する音声に合わせて反復運動を行い、システムはその間、発音ごとに過去4発音間の加速度波形に対して解析を行う。4発音区間の波形解析のために、システムはまず、Step1で加速度を取得し、過去5発音間の加速度データを切り出す。Step2において、この加速度データに対し、データ間の時間間隔が均一になるようにバイリニア補間を行う。Step3では、この補間したデータに対して、分散の計算に使用するサンプル数を20としてカルマンフィルタを適用する。加速度センサを用いた測定には必ず誤差が生じるが、カルマンフィルタは、直前までの情報と今取得したデータをもとに推定値を更新することでノイズを除去し、もっともらしい値を推定する、再帰的な線形平滑化手法である[7]。本システムでは、加速度波形の平滑化のためにカルマンフィルタを使用している。この加速度データから初めの1区間を切り取り、4発音区間とする。この切り取った1区間は、カルマンフィルタのノイズ除去効果が十分に発揮されるまでの予備区間である。Step4では、この波形データから等間隔で128サンプルを抽出し、フーリエ変換を適用する。このフーリエ変換とは、対象波形の長さを1波長と

みなしたとき、対象波形に含まれる周波数成分分布を求める手法である。最後にStep5において、Step4で求めた周波数成分をもとに運動波形の評価を行う。再びStep1に戻り、これを繰り返す。

2) 波形の採点方法: 発音ごとの運動動作が完璧に一致した最良の運動動作の一つを示すモデルとして、理想的な波形のフーリエ変換結果をFigure 7に示す。左の波形が理想的な波形であり、右のグラフがそのフーリエ変換結果である周波数スペクトルである。最良のターンとは、被験者によって高度にコントロールされ、一定のリズムで同じターンが継続できているターン動作であると考えられる。最良のターン動作であれば、運動波形は滑らかで周期的な波形になると考えられ、4発音間の波形同士はほとんど一致するはずである。一方、最良でないターン動作では、無駄な動作やターンタイミングの不一致によって波形が乱れ、4発音間の波形は一致しない。このFigure 7に示した理想的な波形は、この見識を元に4発音間の波形が完全に一致するように意図的に作成したものである。右の周波数成分分布のグラフでは4の倍数の周波数にしか値が現れておらず、それ以外の周波数成分の値は“0”である。この結果から、システムの発生する音声タイミングに対してリズム感よく、安定した運動動作ができていれば、周波数スペクトルの4の倍数周波数に大きな値が集中するはずである。この例では4の倍数の周波数が全周波数の100%である。Figure 8は左右それぞれのターンに癖があるモデルを示している。このモデルは、右ターン同士と左ターン同士は揃っているが、左右のターンは揃っていない場合を想定している。この場合は、4で割ると2余る周波数成分にも値が現れており、全周波数あたりの4の倍数の周波数の割合は78.91%となっている。また、前半の二回と後半の二回がそれぞれ一致しているモデルをFigure 9に示した。このモデルは、二回と三回目のターンの間にリズムが変わってしまった場合に対応している。4の倍数の周波数成分はやはり多いが、4で割ると1余る周波数成分と、4で割ると3余る周波数成分にも比較的大きな値が現れており、4の倍数の周波数成分の割合は67.18%となっている。これらのことから、解析対象波形の4の倍数の周波数成分の割合を見ることで、反復運動動作の安定感やスムーズさなどの特徴を抽出できると考えられる。

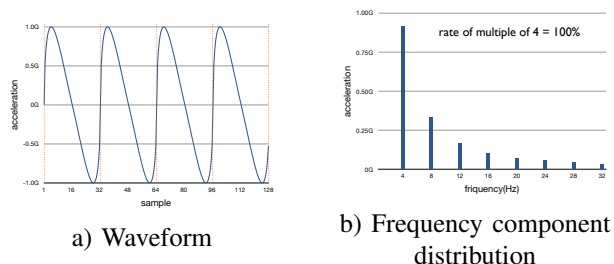


Figure 7. Ideal turn model.

B. 音声フィードバックと得点

表Iに4の倍数の周波数成分の割合と音声フィードバックのランクの対応を示す。被験者への音声フィードバック

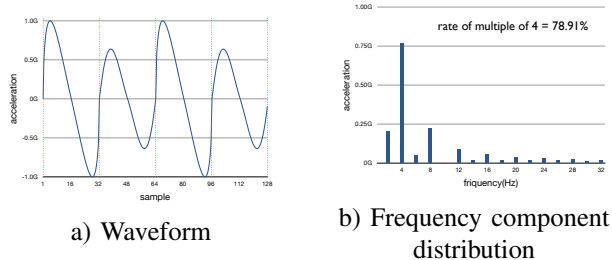


Figure 8. The turn model which has peculiarity in the turn of each right and left.

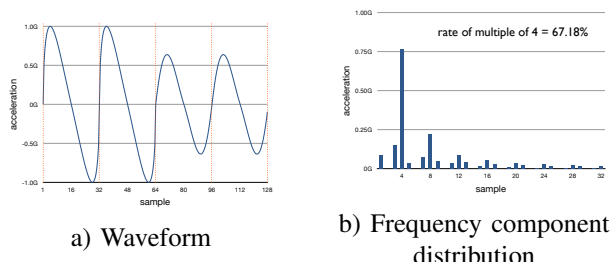


Figure 9. The turn model whose each of the first half and the second half corresponds.

は、波形解析による4の倍数の周波数成分の割合に対応した表Iに示すランク付けに応じて、ターンのタイミングとして発音している音声の音程を変更することで行った。この様にする事で、被験者はシステムが発音する音声を聞き、音程が高くなれば高得点、低くなれば低得点と認識できる。また、運動波形の採点は、4の倍数の周波数成分の割合が20%のときを0点、80%のときを100点として簡易的に採点した。

4の倍数周波数の割合	ランク	音声フィードバックの音程
65%以上	S	最高音
55%以上	A	高音
45%以上	B	基準の音程
35%以上	C	低音
35%未満	D	最低音

Table I
CORRESPONDING RANK OF AUDIO FEEDBACK AND RATE OF THE FREQUENCY COMPONENTS OF MULTIPLE OF 4

V. 検証実験

A. 実験の設定

検証実験として、本提案システムをインストールしたiPhone4s 端末を被験者の左ポケットに入れてバイクスラロームを行い、その様子をiPad 端末で撮影した。実験車種はVTR250で、被験者は免許取得から2年半が経過した一般的な運転手である。

B. 実験結果

実験結果のうち、高得点であったものをFigure 10に示す。図の加速度波形は、見やすさのために0を基準に正規

化しているが、本システムの評価手法には影響しない。左の波形からは左右のターンに癖が見られるが、比較的一定のリズムでターンできているように見える。4の倍数の周波数の割合は70.13%であり、音声フィードバックはSランクを示している。次に、ターン中の波形の中で、スムーズにターンできていないと思われる波形をFigure 11に示した。この場合は4の倍数の周波数は34.57%と小さく、音声フィードバックのランクは最低ランクの”D”となった。また以上の実験に加えて、実験と同時に撮影した動画と提案システムの発音・採点の同期をとり、採点結果と運動動作の対応を確認したところ、発音タイミングとほとんど同じタイミングでターンできていた場合には音声フィードバックは高いランクを示しており、そうでない時には低いランクを示していることが確認できた。最後に、Figure 12に実験と解析の様子を示した。

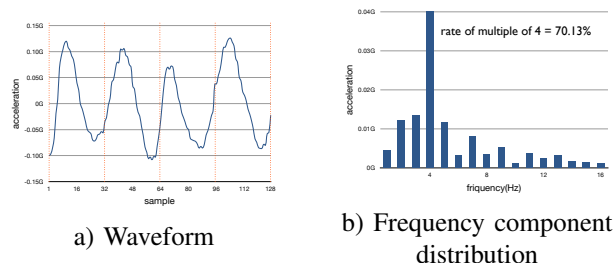


Figure 10. The result of the turn considered to be comparatively good.

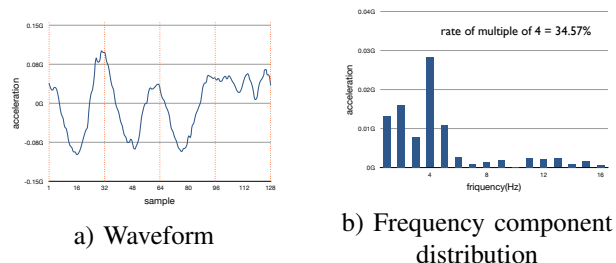


Figure 11. The result of the turn considered to be comparatively bad.

VI. まとめ

本研究では、スキーやスラロームを中心とする反復運動を基本とした運動動作に対して、iPhone 端末のみを用いてスポーツ支援を行うシステム開発を行った。検証実験を行い、本提案システムの出力する結果と運動動作の良し悪しに有効な関係性が有ることが確認できた。今後は採点の精度を向上させるために、ジャイロスコープやピーク検出、波形の振幅や位相をあわせて用いることで、より実用的なシステムの実現を目指す。

REFERENCES

[1] Apple. Apple iPhone4s. [Online]. Available: <http://www.apple.com/iphone/>



Figure 12. Experiment and analysis.

- [2] S. K. Fung, K. Sundaraj, N. U. Ahamed, L. C. Kiang, S. Nadarajah, A. Sahayadhas, M. A. Ali, M. A. Islam, and R. Palaniappan, "Hybrid markerless tracking of complex articulated motion in golf swings," *Journal of Bodywork and Movement Therapies*, in press.
- [3] ACCESS. Fullmiere. [Online]. Available: <http://www.fullmiere.com>
- [4] Nike. Nike+iPod. [Online]. Available: <http://www.nike.com/jp/>
- [5] 岡部智弘, "iPhone を用いたスポーツ支援," 広島大学大学院工学研究科修士論文, 2011.
- [6] Apple, *Event Handling Guide for iOS*.
- [7] 吾郷祐紀, "加速度センサと地磁気センサを用いた Kalman Filter モデルの作成," 広島大学卒業論文, 2011.