

バーチャルヒューマンを使った個人指導用エアロビクス

伊丹 由和 吉田 典正 北嶋 克寛

東京農工大学大学院 工学研究科 電子情報工学専攻

E-mail: y@itami.com, norimasa@cc.tuat.ac.jp, kitajima@cc.tuat.ac.jp

本研究は、個々人の身体状況に合わせた運動(エアロビクス)指導プログラムを効果的に組み立て個人指導を行うことを目的とし、心拍数と運動の強度の関係をアルゴリズム化したカルボーネン法と運動指導を効果的に行うためのバーチャルヒューマン(仮想インストラクター)を用いた総合的な個人指導用エアロビクス運動生成ソフトウェアの開発を行い、その有効性を検証した。

本研究では、その成果を実用技術として応用する際に最も重要となる部分、すなわち、運動強度を制御するために必要なアニメーション表示テンポ制御とサウンド出力テンポの制御を同期させる研究に主眼をおいて開発を行った。

Virtual Aerobics Instructor for Personal Training

Yoshikazu Itami, Norimasa Yoshida and Katsuhiko Kitajima

Tokyo University of Agriculture and Technology, Department of Computer Science

2-24-16 Naka-cho Koganei-shi Tokyo, 184-8588 Japan

This research aims at providing an exercise guidance program which conforms to an individual's fitness level. We have developed a virtual aerobics instructor for individual guidance and verified its validity based on *karvonen* method, which takes both the pulse rate and the athletic fitness into consideration. Targeted for practical applications, a major feature of our software lies in the synchronization of animation and sound, which controls the pace of exercise depending on individual's level of fitness.

1. はじめに

近年、インターネットが普及するにつれ、多くのコンテンツがインターネット上で利用できるようになってきた。しかし、コンテンツの多くは不特定ユーザーへ向けての一般的な情報提示を行うにとどまり、個々のユーザーが、自分がほしい又は必要とする情報だけを、効果的に検索して取得することは現状ではきわめて難しい。健康に関する情報に関しても多くの情報がインターネット上に氾濫しているが、自分にとって本当に必要な情報だけ

を見つけることは容易ではない。まして、自分の身体状況や健康状態に適合した健康運動指導情報を見つけ出すことは、現在のところ、不可能である。

一方、健康を害した国民に給付される社会保障給付金は国民所得の19%を占め[1]、年間1人あたり、57万3000円に達している。このように、健康を害した人をケアすることには、医療(及びそれを支える研究)という形で莫大な社会投資がなされているが、個々人の健康をいかに持続させるか、

という観点からの社会投資はそれほど進んでいない。しかし、病気になった後のケアよりも、病気にならないようにするケアの方が、本人にとってだけでなく、社会全体にとっても実は重要なのである。実際、高齢者が社会給付金全体の3分の2を受けていることから、高齢者が健康でいられる期間が1ヶ月延びただけで、国民1人あたりが支払わなければならない社会保障負担金を1年間で約33,000円軽減できる、という計算が成り立つ。したがって、今後IT技術をいかに国民の健康増進、維持に役立てていくか、という研究は、国家的取組みを行うべき最重要テーマのひとつになることが予想される。

2. エアロビクスとカルボーネン法[2]

本研究の大きな目標は、個人の体力や健康に応じた健康運動指導プログラムを提供することによって、国民の健康増進・維持に貢献することにある。本報告では、各種健康運動の中で体力や健康状態に最も忠実に対応した運動指導を行うことが可能なエアロビクスを採用する。エアロビクスは、年齢や体力に応じて運動内容を組み立てることができる各種健康運動の中で、医学的に健康運動指導法が確立されている数少ない運動の一つである。すなわち、エアロビクスは有酸素運動を基本とし、呼吸と心拍数の情報から有効な運動指導プログラムを組み立てることができるのである。特に、適正な運動量を決定することを目的に構築された、最高心拍数の推定とカルボーネン法による目標心拍数の設定理論は、多くの運動指導現場でその効果が実証され、エアロビクススタジオにおける運動プログラムに多くとり入れられている。しかし、後述のように、これまで行われてきている指導方法は、一定の集団に対して平均的な運動プログラムを提供するものであり、個人にとって最も効果的な運動指導を提供することまでは行わ

れていない。

もともと、カルボーネン法は、年齢、安静時の心拍数、運動不足度、虚血性心疾患の危険因子（喫煙などを原因とした心筋梗塞、狭心症、高血圧などの循環器疾病）の有無をもとに、適切な運動強度及び難易度を決定することから、個人の身体情報にもとづいた運動プログラムの設定を可能にする理論である。このような有効な個人指導用運動プログラム設定理論が確立しているにもかかわらず、今日適正な運動指導が個人単位で行われていない最大の理由は、適正な知識をもつ運動指導員不足の問題とその人件費等のコストの問題にある。

本研究では、バーチャルヒューマンを仮想インストラクタとして用いることにより、指導員不足の補完とコスト低減の両者を同時に実現することを目的としている。工学的には、個人の身体状態に適合させた運動モーション組立てプログラムの生成手法と運動強度を支配する運動テンポの制御手法に、独創的なアイデアがある。

以下に、3. で、運動強度設定条件を考察し、これまでのところ、ソフトウェアとして利用されていないカルボーネン法を、効果的なエアロビクス運動プログラム組み立てアルゴリズムとして構造化する方法について述べ、4. で運動テンポの制御手法について、5. でインターネットでの配信方法について、6. で実験結果について述べる。

3. 個人の体力に応じた目標心拍数の設定と運動強度の設定

3.1 最高心拍数の推定とカルボーネン法による目標心拍数の設定

個人に対する適切な運動強度のプログラムを組み立てるためには、その人の目標心拍数(域)を定めることが必要である。はじめに、一般によく用

いられる年齢に基づく推定式、すなわち(220-年齢)(拍/秒)を使って最高心拍数を推定する。カルボーネン法では、この推定最高心拍数をもとにし、次式によって目標心拍数を求める。

$$\text{目標心拍数} = (220 - \text{年齢} - \text{安静時心拍数}) \times \text{個人の運動強度} + \text{安静時心拍数} \quad (1)$$

ここで、安静時心拍数が用いられる理由は、有酸素性作業能力の劣っている人の安静時心拍数は高く、逆に優れている人では低いことから、これを加味することにより、体力の個人差を反映させることが可能になるからである。運動強度によって、運動の激しさが決められるが、後述のように、この値はある範囲で用いられる。

3.2 適切な運動強度の設定

エアロビクスのプログラムは、ウォーミングアップ・セッション・クールダウンの3段階に分けて実行することで、運動指導の安全性と運動効果を得ることができる。この中で特に、エアロビクセッションにおいて適切な目標心拍数が維持されるように運動指導することが重要になる。アメリカ・スポーツ医学会(ACSM: American College of Sports Medicine)のガイドライン[3]では、(1)式において運動の激しさを定めるための運動強度は、0.5~0.85が目安とされる。本研究では、ウォーミングアップとクールダウンも含めたプログラム全体での平均は0.4~0.6とし、初心者・低体力者向けのプログラムで平均0.4、上級者向けで0.6とする。対象を問わず、運動強度の最大は、有効性、安全性の両面から0.8とする。

例として、年齢40歳で、安静時心拍数70拍/分の人にとって、運動強度0.65における目標心拍数は、 $(220 - 40 - 70) \times 0.65 + 70 = 141.5$ となる。

3.3 エアロビクス運動のレベル分け

目標心拍数から、その人にとってふさわしいエアロビクス運動を決めるわけであるが、あまり細かく選択の自由度を設けても意味がない。いくつかのレベルに応じた運動の組合わせを用意する。一般にエアロビクス運動の集団指導では、初心者、中級者、上級者、超上級者の4つのレベルに分けられるが、本研究では定期的な運動習慣がまったくな低い体力レベルの人も対象にし、5レベル(A, B, C, D, E)を設定し、それぞれのレベルでさらに3段階のバリエーションをもたせる。各レベルは、運動強度と動き(ステップ)の難易度の組合わせによって決められ、さらにステップの種類とインパクトの強さによってバリエーションが加えられる。

ある運動強度(たとえば、平均的な0.65)を仮に与え、その運動強度における目標心拍数が、(1)式によって決まると、それによって、仮のレベル(及びバリエーション)が決められる。次に、仮のレベルで実際に運動をし心拍数を計測し、その心拍数が目標心拍数とほぼ一致すれば、そのレベル(又はバリエーション)はそのまま正しいレベルとされるが、実際の心拍数が目標心拍数を上回れば、レベル(又はバリエーション)が下げられ、下回れば上げられる。これによって、仮に決めた運動強度の調整が行われる。

なお、仮のレベル(及びバリエーション)を決める際に、次のような項目も配慮される。

・運動不足度 ・虚血性心疾病の危険因子の有無
・喫煙の有無 ・過度のストレス ・高血圧、肥満、腰痛など

エアロビクスは、心臓血管系の機能を主に動員する運動である。したがって、安全性を確保するために、上記の項目に該当する場合には、運動強度の調節が必要となる。該当する場合には、

ACSMのガイドラインに基づいて運動強度を調節する。

4. サウンド出力タイミングの制御とそれに同期するエアロビクス運動の動画生成

画面上の仮想インストラクタが与えられた運動強度に対応するスピードで運動する様子を表す一連の動画の再生は、(使用するパソコンの性能に依存する)表示スピードを適切に制御することで実現することができる。本研究では、画面上での運動に同期させたサウンドのテンポを制御することで、この制御を行う方法をとっている。

ゲームなどで通常用いられている従来の方式では、テンポという考え方が存在しなかったので、アニメーションとサウンドの同期は、1単位のアニメーションファイル(複数のキーフレームによって構成された1組のアニメーション画像列からなるアニメーションファイル)と1単位のサウンドファイルとのファイル間での同期をとることによって行われていた。このため、アニメーションの動きのテンポは最初に設定したテンポに固定され、アニメーションを再生している間にテンポを自由に変更することができないという問題があった。

本研究では、アニメーションの表示速度とサウンドの出力テンポを同期させることで、同期の精度をフレーム単位まで向上させることを可能にした。

以下に、その同期手法を述べる。

サウンドを出力している間、フレームごとにサウンドが再生される実時間を取得し、その実時間からアニメーションが再生される正確なフレーム位置を割り出し、その情報を使いリアルタイムにアニメーションの再生テンポを調節する。この方法によってサウンド出力テンポとアニメーションの表示速度の同期が実現する。図1に示すチャートを用いて、その方法を示す。

・運動生理学上の条件

- 1) エアロビクスは4拍を動きの1単位とする
- 2) エアロビクスは144ビート/分を基準スピードとする
 - ・3次元アニメーション表現上の条件
 - 1) 表示するフレームレートを最大30フレーム/秒とする
 - 2) サウンド出力時間を基準とする

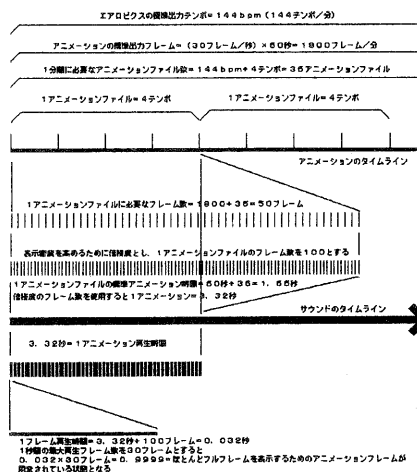


図1 サウンドビートとアニメーション表示フレームの関係を表すチャート

以下に、ある時刻における再生中のファイル番号とフレーム番号を求めるための具体的な計算方法を示す。

Seconds: サウンド再生経過時間

TotalFrames: サウンド再生経過時間に表示されるフレーム数

AniNumber: アニメーションファイル番号

FrameNumber: アニメーションファイル内のフレーム番号

FPA (Frames Per Animation): アニメーションファイルの中に存在しているフレーム数(本計算では1アニメーションファイルに100フレームを与え、30フレーム/秒の出力を想定している。)

とすると、次式によって、あるサウンド再生時間経過における再生中のファイル番号とフレーム番号が計算できる。

$$\text{TotalFrames} = 30(\text{フレーム/秒}) \times \text{Seconds}$$
$$\text{AniNumber} = \text{TotalFrames} / \text{FPA の整数}$$
$$\text{FrameNumber} = \text{TotalFrames} / \text{FPA の余り}$$

たとえば、TotalFrames = 546 (Seconds = 18.2, FPA = 100) では、AniNumber = [546 / 100] = 5, FrameNumber = 546 mod 100 = 46 となる。すなわち、サウンド出力が18.2秒を経過したとき、6番目のアニメーションファイルの第46フレームを再生していることを表す。

この方法によって何秒目のサウンド出力テンポが何フレーム目のアニメーションに対応するかわかる。この計算方法を使うことで、たとえばサウンド出力テンポを速くした場合には対応するフレーム間のアニメーション間隔をサウンドの出力テンポにあわせてフレームの間引き処理を行うだけでアニメーションとサウンドの出力テンポの同期をとることができる。

以上のような一連の動画生成手法により、個人別運動強度の調整機能をプログラムに組み込むことが可能になる。すなわち、最低運動強度に0.5を、最高運動強度に0.85を割り付けその間を等分に区分し、個々人の目標心拍数に適合する運動強度をその中から選択することで、カルボーネン法による目標心拍数と同期させながら、仮想インストラクタによる適切なエアロビクス運動をアニメーション再生することが可能となる。

5. インターネットを用いたエアロビクス運動指導プログラムの配信

本研究におけるテンポ制御方式の制御情報は非常に軽く、個々人の身体情報や運動プログラムを合計しても100KB程度である。したがって、健康状況に合わせた運動指導プログラムやユーザ

管理プログラムをインターネット上のサーバーに置き、表示用データのみをクライアント側に置くことで、運動指導を受けるたびに重いデータをダウンロードすることなく、身体状態に合わせた高度な健康運動指導をインタラクティブに受けることが可能になる。さらに、遠隔地にあるクライアント側で個人の身体状況(心拍数など)を監視し、健康を害しているなどの情報を取得した場合、その日の健康状態に応じてサーバーから適正な運動指導を行うことのできる双方向システムを構築することも可能になる。

6. 実験結果

図2に、運動強度設定の検証のために運動指導を行いながら最高心拍数と最低心拍数を計測し、個人の体力に合わせた目標心拍数(ハートレッドゾーン)を設定して実際にエアロビクス運動を行い、運動中の心拍数がハートレッドゾーンに入っているかどうかを確認するためのグラフを示す。

図3に、適正な運動強度で指導を行う仮想インストラクタのアニメーションデータを生成している様子を示す。(実の)インストラクタが目標心拍数を維持しながらエアロビクス運動を行っている運動情報をビデオ収集し、運動の基本となるポイント(23箇所)の動きを仮想インストラクタの骨格の動きに対応付けている。

図4に、画面上で仮想インストラクタが運動指導しているインターフェースを示す(下段の点表示は運動と目標心拍数の関係を表す)。

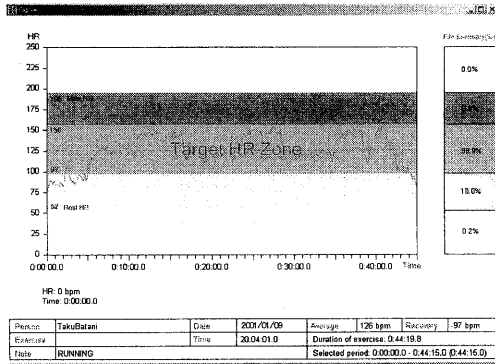


図2 運動中の心拍数の推移を表すグラフ(縦軸: 目標心拍数, 横軸: 時間)

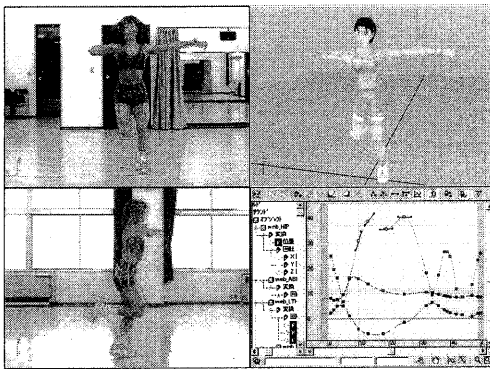


図3 仮想インストラクタのアニメーションデータの生成



図4 エアロビクス運動を指導している様子

7. おわりに

本報告では、目標心拍数に基づく適切な運動強度のエアロビクス運動を仮想インストラクタが指導する一連の手法を提案した。また、実際にプログラムを開発し、各種実証実験を行うことによって、個人に対する適切な運動指導が効果的に行われることを検証した。さらに、インターネット上のサーバーとクライアントコンピュータを使い、遠隔から健康指導を行う双方向システムが異常なく動作することも確認した。

今後はさらに、運動中に身体状況(心拍数)の変化をリアルタイムに計測することができる心拍センサーと無線による心拍数データ取得方法を用い、運動強度を運動中に時々刻々変化させることのできる高度なサービスシステムへと発展させていく予定である。

なお、本研究の一部は、情報処理振興事業協会(IPA)情報ベンチャー事業化支援事業「仮想三次元人間を使った効果的身体運動の提供」の補助によるものである。

参考文献

- [1] 有田 浩子: 毎日新聞平成12年12月29日発行 厚生省国民医療費・国民一人当たり医療費・対国民所得割合の年次推移平成11年度版。
- [2] Cooper, K.H: The New Aerobics, Evans, New York., 1970(邦訳 広田公一, 石川且「エアロビクス」ベースボールマガジン)。
- [3] Guidelines for Graded Exercise Testing and Exercise Prescription, American College of Sports Medicine 2nd edition, Lea & Febiger, 1980.