

行動による音楽検索システムの試作と評価

Development of Music Retrieval System by Analysis of Walking Pattern

キーワード：音楽検索, センシング

KEYWORDS : Music Retrieval , Sensing

○石田篤史¹ 龍田成示² 杉原良平² 大村哲弥³ 石川智治⁴ 加藤俊一¹ (中央大学¹ オリンパス(株)
未来創造研究所² 尚美学園大学³ 北陸先端科学技術大学院大学⁴)

1. はじめに

近年では、音楽の利用の場がどんどん広がっている。以前は大型の機器を利用して家空間や、店舗内、公共施設、イベント会場など固定した広い空間に向けた利用が主であったが、MP3 ポータブルプレイヤーや携帯電話など小型の機器の普及によって、いつでもどこでも大容量の音楽が長時間利用できるようになった。

小型の再生機器はたくさんの曲が入る一方で、画面が小さいので一度にたくさんの曲を探せないという問題がある、しかし曲を不便なく探す手段として、音楽をポータブルプレイヤーに追加する時、CD から取り込む又はプレイヤーと連動しているサイトから購入しダウンロードするときに、曲自身にタグ情報としてアーティストやアルバム名や日付などのデータを付加することで、ポータブルプレイヤーでもジャンル、アーティスト、アルバム、曲名とツリーの状態を作り、大量の音楽でも整理しやすい形を形成している。そのため個人ごとに違う曲の入るポータブルプレイヤーでも容易に聴きたい曲を直感的に探すことが出来る。またツリー状以外の形式として、好みの曲をプレイリストの形に編集することで、自分にとって好きな曲を連続して聴くことが出来る。

このように、聴きたい曲があらかじめ決まっている場合は上記のような方法を利用して探せばよいが、なんとなく色々な音楽を聴いていたい場合、音楽をシャッフルして聞く方法がある。これは人が何か行動しているときでも機器を操作せずに自分の手持ちの曲からランダムに聞くことが出来る。

しかし、シャッフルの方法では完全にランダムで曲の中身を考慮していないため、クラシックを聞いた後にロックの曲が流れるといった、曲ごとに雰囲気がまったく変わってしまう事や、テンポが速い曲の後に遅い曲が流れてしまうなど、音楽の要素であるリズム・メロディ・ハーモニーがまったく違う曲が再生されることが頻繁に起こってしまうので全体の一体感が無いことがある。一曲一曲は直感的に操作できるが、連続した再生では直感的な検索が出来ず、利用が不便である。そこで、モバイル機器で音楽を利用するときには直感的に曲を検索されるシステムが必要とされている。

それは、屋外での移動中や運動中においては両手がふさがっている場合が多く、画面を注視して検索する時間が取れない場合が多くツリー状の曲を探すことは難しい。行動中や走っている状況においては腕の振りや足の動きを変えることはペースが乱れる要因になる上、走っている状態で数十秒機器を操作するという行為が路上を走る使用者や回りの環境に対して危険になる恐れがある。

そこで本研究では、人の行動するときのリズムに注目して、画面を操作することなく人の行動にあわせた音楽を検索するシステムを試作し評価を行った。

2. 音楽サービスについて

2-1. 音楽と運動の連動サービス

1 で取り上げたポータブルプレイヤーや携帯電話は、小型のコンピュータでもある側面を生かして、音楽以外にもゲームをインストールしてプレイすることや、スケジュール管理や電話帳といった簡単な処理を伴った音楽以外の使い方をすることも出来るようになってきている。それと共に音楽と運動の連動したエクササイズサービスなども行われており、新たな音楽を利用したサービスが生まれている。

最近では運動と音楽の連携として、ポータブルプレイヤーの側から Nike+iPod[2]、携帯電話の側から au Smart Sports[3]のように運動と音楽を連動して利用するサービスがある。Nike+iPod では専用の音楽を流しながら音声により運動をバックアップして、走行距離、時間等を表示することで運動の結果を確認することが出来る、一方 Smart Sports では GPS を用いて自分の位置を確認したり、ビート音に合わせて走ることで楽しむことも行われている。

しかし、どちらのサービスも自分が取り入れている音楽を検索して運動につなげるといったサービスは行われていない。Nike+iPod は距離や速度、時間などは計測できるが音楽が独自に作成した歩行用プログラムを付加した曲のため、自分の音楽を利用できない。一方 Smart Sports は独自に用意されたテンポ音に合わせた運動サービスはあるが、自分が登録している曲を利用した音楽テンポに合わせて運動することが出来ない。つまり現状では自分の所有している大量の音楽を持ち歩いているのに、それらを有効に

利用できない問題がある。

最近ではそのような問題を解決する手段として、新しい検索手法として音楽を特徴量で解析してイメージ語として提示する試み[1]も行われている。このような方法に自分が聞きたい感じの音楽アーティスト名やアルバム名などの名義情報ではない方法から、自動で探すことが出来る。このシステムであれば単なるシャッフルでも曲同士の近さが判別できるので、「爽やかな音楽が聴きたい」とか「落ち着いた音楽が聴きたい」と思った場合には似たような曲を連続して再生することは出来る。しかし、屋外での移動中、運動中においては、イメージ語を利用するよりも、人の行動の周期性を利用して音楽を検索することが望ましいと考える。

2-2. 新しい音楽サービスの提案

以上の問題を解決し自分の所持・保存している曲にテンポの情報を付加してそのテンポ情報を利用して自動的に音楽を検索することで、新たに音楽と運動を楽しむサービスができるのではないかと考える。

そこで、運動中の体の動きにおける周期性を利用して、そこから歩行のテンポを抽出し、そのテンポから音楽を検索し、運動したい時に聞きたい曲を不自由なく探して聞ける事で、利用者への余計な時間やストレスを与えずに運動に集中しながら音楽を聴くことが出来ると考えられる。

本研究では運動の例としてウォーキングを取り上げ、歩行中のテンポを三軸の加速度センサーで計測し、その歩行テンポに対して合う音楽を検索し提示するシステムを試作した。試作したシステムが有効に利用できているか、また複数のテンポの音楽を提示して、歩行者のその場の歩行テンポに対してどのようなテンポの曲を提示すればよいかシステムを試作し、その機器を用いて実験を行い計測した。

3. システムの構成

3-1. システムの概要

今回作成した音楽検索システムについての説明をする。今回作成したシステムは、大きく分けて「処理部」と「検索部」の2つの部分に分かれていて、歩行時のテンポを読み取り、そのテンポに合った音楽を提示するシステムとなっている。処理部では外部の三軸加速度センサーのデータをPCに送信し読み取りテンポ計算を行っている。加速度センサーを用いた理由は、縦・横・垂直の三軸方向のデータが取得できるため、ウォーキングに限らず、一つのセンサーで複数のシステムを構築できるため今後様々な運動に応用できるためである。

検索部では処理部で計算したテンポから音楽のテンポを読み取り被験者にPCから音楽ファイルを提示するまでの

部分である。今回は、テンポはあらかじめわかっているものとして、歩行テンポを処理する部分を中心に構成している。

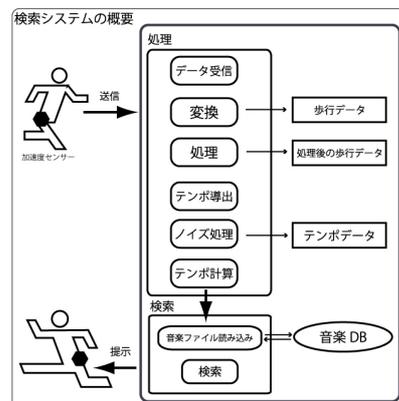


図 1 : システム概要

3-2. 処理部

3-2-1. ノイズ処理

利用者の腰に装着している加速度センサーがデータを送信し、そのデータをモバイルPCが取得する。そのデータはそのままでは利用できないので、利用できる形に変換処理を行う。

変換したデータをそのままテンポの導出に利用しようとすると、ノイズが多くデータがきちんと解析できないことが予備実験で計測できたため、平滑化の手段として以下の三つの処理を行うことで解決を図っている。

- 5点間のデータの平均を取ることで、ノイズを軽減している

$$y_i = \frac{y_{i-4} + y_{i-3} + y_{i-2} + y_{i-1} + y_i}{5}$$

$$i = 5, 6, 7, \dots, n \quad (n: \text{歩行データ数})$$

- 検出した頂点からの微小時間内の頂点は検出しない
- ノイズが含まれやすい部分の頂点は検出しない。

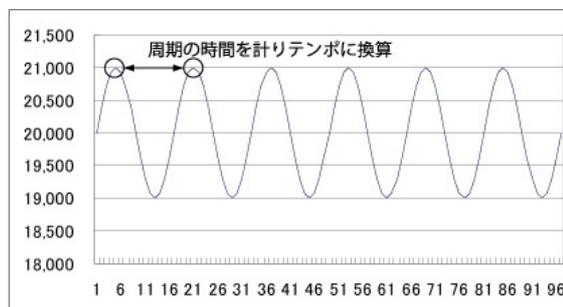


図 2 : テンポの計測方法

以上の操作を行う理由は、図2は理想的な歩行データの図を描いているが、実際にはきれいなデータとは行かず図3のデータのようなになるので、頂点同士をただ計算すると

テンポがうまく取得できないので、Yの変位、微小時間の除外の二つでフィルターをかけてテンポを導出する。

加速度センサーにはあらかじめ初期値が設定されていて、そのデータの前後は加速度センサーに何も動きを与えない状態でも外部からの振動や内部のノイズによりその初期値からいくらか動いた値をとる。しかし、運動中はそのノイズ以上の動きを加速度センサーは検出することがあらかじめわかっているため、図3の暗い部分のように初期値+ノイズより大きい値以上の点しか検出しないようにすることによってフィルターをかけている。

次に、足の動きに付随したノイズが発生するので、それを除去するために微小時間内ではテンポを検出しないように設定する。その決定に当たりBPM200以上で歩く人はほとんど居ないと推測されるので、頂点を検出してからBPM200=0.3sec以内にある頂点の値も検出しない設定にしている。それが図3の縦線部分である、平均を取る処理と、以上の二つの処理によって大体のノイズは除去される。

3-2-2. テンポ計算

ノイズを軽減したデータから、テンポの計算を行う。今回のテンポの計算方式はグラフの頂点同士の時間の差を測りその時間を1分間辺りのビート数：BPM (Beat per minute)の形にすることをテンポとしている。

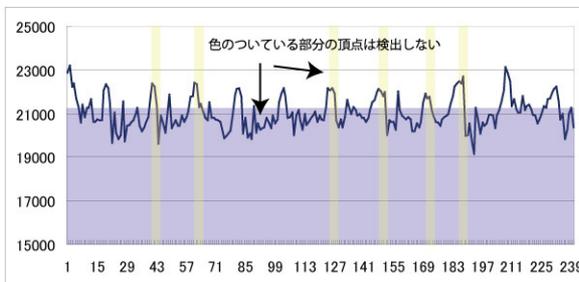


図 3: 実際の加速度データ

本システムでは全体のテンポと設定した時間ごとのテンポを二つ導出するシステムとなっている。その人が全体としてのどのくらいのテンポで歩くのか、また、ある時間ごとのテンポの推移はどうなっているのか解析するためである。ある時間ごとのテンポは可変して設定することが出来るが、短すぎるとノイズの多いデータから推測するために本当のテンポからずれやすい問題があり、また長すぎるとデータのサンプル数が減るため解析が難しくなる。それらを解消するために今回は10秒ごとにテンポを計算するように設定している。全体のテンポは最初に検出した点と最後に検出した点の間にいくつ検出点があったか、またその時間はどれくらいか、つまり（最後の検出点-最初の検出

点）/総時間から一分当たりのBPMに換算している。

3-3. 検索部

3-2で検出したテンポの値を利用してそのテンポに合う音楽を検索部で検索する。

まず、音楽DBから音楽ファイルを読み込む処理を行う。次に音楽テンポと歩行テンポが同じ曲、すなわち、音楽テンポ-歩行テンポの絶対値がプラスマイナス0に近い曲を利用者に提示することである。音楽DB内にあるすべての曲のテンポと歩行のテンポを引き算した値を絶対値にする、またそのデータが前の結果よりも小さいならば、その曲を提示する第一優先曲としてストックする。

$$tempo = |\text{音楽}tempo_i - \text{歩行}tenmpo|$$
$$i = 1, 2, \dots, k (k = \text{曲数})$$

以上の処理を行った後、歩行テンポと音楽テンポが同じ音楽を利用者に提示するのがこのシステムである。

4. ウォーキングに対する音楽提示

4-1. 実験目的

3で説明したシステムの安定性と提示する音楽テンポの有効性を実験により解析する。ここで言う安定性とは、加速度センサーのデータが正しく取得でき正しい歩行テンポが処理できること。実効性とはその提示した音楽テンポがその人にとって歩きやすいものであったかを評価することである。

4-2. 実験概要

実験は被験者に加速度センサーとヘッドフォンを装着し、音楽を流さずにその場歩行をしてもらい、その歩行テンポを計測する。その計測したテンポを被験者の基本歩行テンポとし、そのテンポから±0, +5, +10, +15, +20, 最後に±0の音楽テンポを被験者に装着したヘッドフォンに順に流し、被験者には、音楽テンポに合わせて歩行してもらい歩行テンポの変化をみる。

曲は音楽の三要素であるリズム、メロディー、ハーモニーのうちリズムだけを抽出し、他の要素を排除するためにポピュラーミュージックでよく使われる8ビートのドラムパターンを採用しMIDIで作成した。

被験者は22-23歳の男性の大学生5人に対して、他の音や物理的妨害を防ぐために研究室で行った。実験終了後には各回のテンポが歩きやすかったかどうかを7段階で評価して貰った。

実験時間はすべて合計して9分半で最初に音がない状態で30秒次に音がある状態で1分、音がない状態で30秒を繰り返して、最後の音になり終えて無音状態で30秒歩いた後終了とした。



図 4:加速度センサー

4-3. 評価内容

評価は

- ・システムが安定的に使えたかどうか
- ・被験者に現時点と異なるテンポを提示したときに歩きやすさが変わるか、また実際の歩行テンポに差があったか

の二つの評価を行った。

システムが安定的に使えたかどうかは、システムから取得できる生データやノイズ処理を行ったデータが綺麗なカーブを描いているかどうかで判断する。

歩きやすさが変わるかどうかについては、歩行のテンポが上がって、安定的に使えれば相関係数が高くなると考え、ノイズが多ければ低くなる。また、歩きやすいと評価した主観的なデータと、実際に歩行したテンポとの比較を行う。

5. 実験結果

以下が実験結果である。被験者に音を提示していないとき、提示しているときのテンポの平均は表 1 に記載してある。歩行テンポは音がない状態に比べて音楽があるほうのテンポが増加している。また、データについて回帰分析を行って相関係数を求めた結果が表 2 にある。被験者にアンケートを行った結果、音を提示しているときの歩きやすさは図表 3 ようになり、10 秒ごとのテンポの推移は図 5 のようになった。

表 1: 被験者の平均テンポ

テンポ	A	B	C	D	E
音あり	106	112	138	125	120
音なし	105	97	99	106	78

表 2: 個人のテンポデータ全体の相関係数

相関係数	
A	0.70
B	0.84
C	0.87
D	0.33
E	0.79

表 3: 音楽を聞かせたときの歩きやすさ

歩きやすさ	A	B	C	D	E	平均
1回目	5	6	2	6	7	5.2
2回目	5	5	2	4	4	4.0
3回目	3	2	2	3	3	2.6
4回目	3	1	1	4	3	2.4
5回目	3	1	1	5	3	2.6
6回目	5	6	7	6	7	6.2
平均	4.0	3.5	2.5	4.7	4.5	

表 4: 提示したテンポと実際との差

歩行テンポと音楽テンポの差	0	5	10	15	20	0	
実際のテンポとの差(絶対値)	14.77	15.19	18.39	22.22	20.02	20.43	
歩きやすさ		5.2	4	2.6	2.4	2.6	6.2

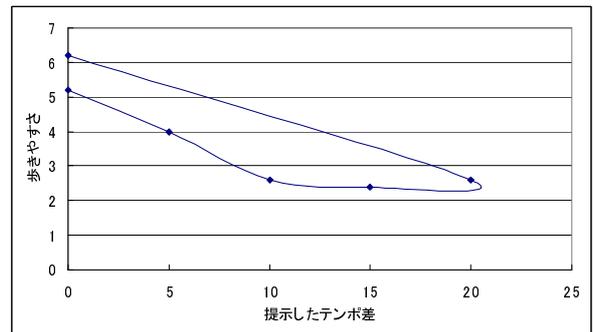


図 6: 提示したテンポに対する歩きやすさ

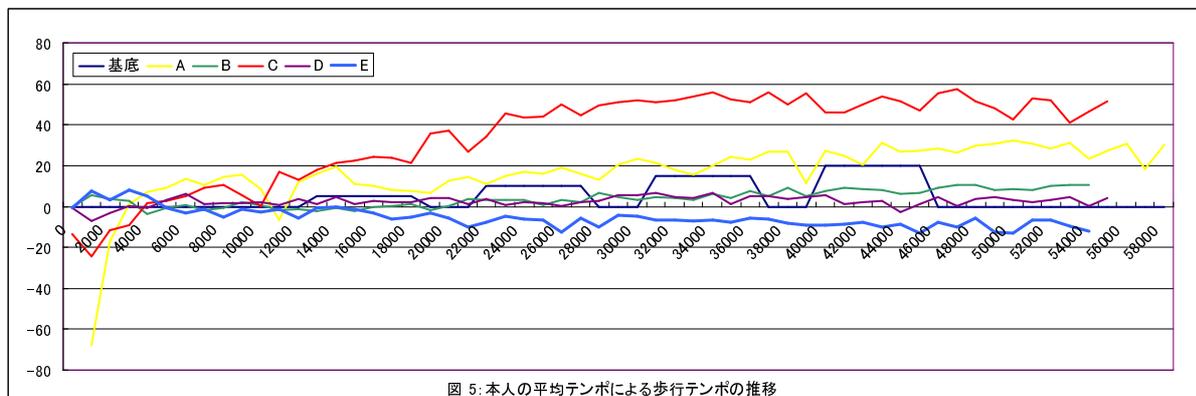


図 5: 本人の平均テンポによる歩行テンポの推移

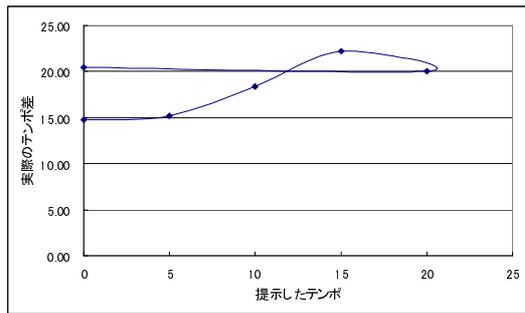


図7: 提示したテンポと実際の歩行とのテンポ差

6. システムの安定性についての結果と考察

5の実験結果よりシステムの安定性についてのわかったことは以下である。

- 人により歩行の動きに差があり、ノイズがのりやすい人とそうでない人が居る。
- ノイズがのると歩行のテンポが正しく分析できない場合がある。
- ノイズがのりにくい人の方が回帰分析したときに相関係数が高い。

加速度センサーから取得するデータにノイズがのりやすいというところは以下の図によって説明する、以下の四つの図は二人の被験者の加速度センサーのデータである。

一人目のデータは加速度センサーのデータがよく取得できていて、ノイズ処理を行うとほとんどノイズのないデータになるので頂点のデータが取りやすくなる。

一方二人目のデータは加速度センサーのデータがよく取得できていないので、ノイズ処理を行ってもあまりきれいなデータにはならない。

このような結果となった理由として考えられるのは、加速度センサーの位置である。今回被験者には腰の位置に加速度センサーをつけて実験を行ったのだが、その場歩行時に腰が動きやすい人と動きにくい人が居るのではないかと考えられる。言い換えると、腰から足全体を使って歩行している人と、足のみを使って歩行している人がいる、ということである。腰全体を使って歩いている人は、歩き始めに加速度センサーのついていているほうの腰が上に動いて、一歩前に出た段階で元の位置に戻り、そしてもう片方の足が出たときに加速度センサーのついていている側の腰が少し沈んでその足が前に出たときに元の位置に戻る。ということである。

今回の実験ではその場歩きであったため、腰から歩くような歩行をしていない人が居たことも考えられるためきれいなデータが取得できていない、改善点としては

- 研究室内又は、往復できる長さの平坦な直線の道で実験すること。
- 加速度センサーがよく動き、歩行の実験データを得ら

れやすい取り付け場所の検討。

- 被験者に実験時に大きめに歩いてもらう、もしくは、腰を使って歩くように指示する。

次に、ノイズがのった時に正しく歩行解析が出来ない問題である。これは、テンポの取得方法がプラスの位置の頂点同士の時間差をテンポとしているので被験者Aのような場合では一周期がはっきりしているため、テンポを正しく計算できるが、被験者Bのような場合はノイズ処理を行っても一周期がはっきりしていないので、テンポを正しく計算することが出来ない。テンポに同期していることがわかる場合であれば、時間とテンポで回帰分析を行うと、プラスの傾きを持った直線となり、相関係数も高い値をとるが、データがうまく解析できていない場合だと、相関係数が低くなるという結果になった。

7. システムの実効性についての結果と考察

5の結果からシステムの実効性についてわかったことは以下の通りである。

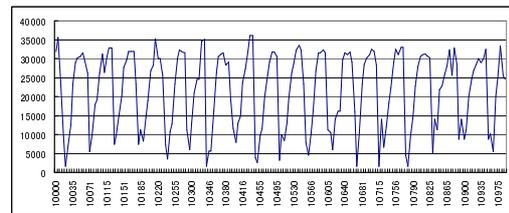


図8: 被験者Aの生データ

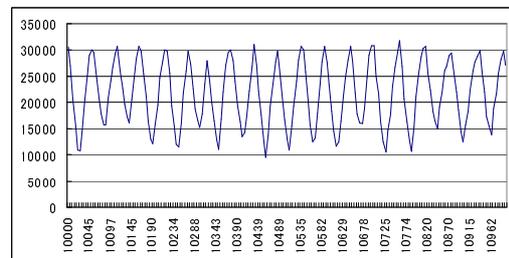


図9: 被験者Aのノイズ処理したデータ

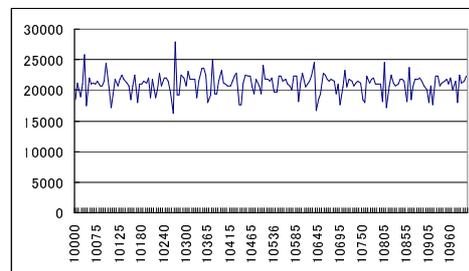


図10: 被験者Bの生データ

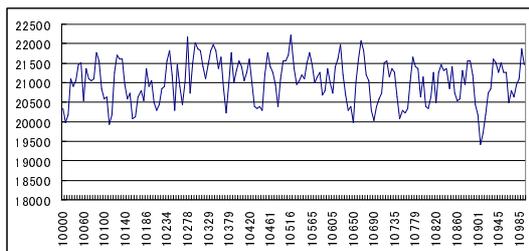


図 11:被験者 B の処理したデータ

- ・ 歩行のテンポは音が無いときに比べて増加している、つまりテンポの高いほうに引き込まれていると考えられる。
- ・ アンケートにより、最初に計測したテンポより +10,+15,+20 のときに歩きやすいと感じている人が多い。
- ・ 急激な変化のテンポを提示すると歩きにくいと感じる。

アンケートの結果から、最初の状態から+10~+20 のテンポにしたときにもっとも歩きやすいという回答になった。これは少しずつテンポを上げていったことが関係していると考えられる。最初のテンポに対して、同じテンポを聞いて歩くよりも、少し早いテンポを聞いてそれを目標に歩いたほうが歩きやすいと感じる結果になった。それを考慮するとある程度のテンポに達するまでは、自分が今歩いているテンポに対して少し早いテンポを提示するほうが、同じテンポの曲を提示して歩くよりも良いのではないかと考えられる。

また、急激にテンポを落とした場合では、被験者全員が歩きにくいと感じているとともに、歩くテンポにあまり変化は見られない結果になった。急激なテンポの変化には体がうまく反応しないと考えられる。以上よりどのくらい早い、または遅いテンポを提示しても歩きやすいと感じるか今後実験する必要がある。

8. まとめ

本研究では、運動を行う人に対して不自由なく自分のもっている曲を有効利用できるシステムを試作し評価する実験を行った。

歩行のデータを取得からテンポに変換し提示するシステムを試作し、そのシステムが加速度のデータを安定して物理的にテンポが変化すること、その変化は被験者がどう感じているかという部分について評価を行った。

音楽を聞かせることで引き込みが観測できることは多少わかってきたが、加速度センサーから取得されるデータによって解析結果がかなり左右されてしまうこともわかった。今後は加速度センサーのデータを正しく取るために、被験者に取り付ける位置の検討すること、歩き方による取得

結果の違い、一度に同調するテンポの上限、下限の取得実験、リアルタイムに対応したシステムの構築など課題がある。

この中でもリアルタイムに対応したシステムの構築が必要である。今回は実験のためデータを取得する PC とテンポを変化させて流す PC を分けて実験を行ったが、実際のサービスにするときにはすべて一台のマシンで行わなければならない。そうするとリアルタイムに連続して数曲の音楽を再生できるシステムが必要である。現段階では歩行のデータを解析してから実験という間に解析する時間が必要のため、取得→解析→提示をリアルタイムで正確にデータが取得できるように試作したシステムをさらに改良する必要がある。また、実験用に作成したのは MIDI 音源であるため、実際の音楽で引き込みが観測できるかどうか、テンポだけの側面によってそれが可能なかをさらに実際の音楽を用いた実験を行っていく必要がある。

謝辞

日頃より、熱心な研究討論や実験への協力を戴く中央大学理工学部ヒューマンメディア研究室の皆様、感性ロボティクス研究センター、オリンパス（株）未来創造研究所の皆様に感謝します。

本研究は、一部、科学研究費補助金・基盤研究（S）「実空間における複合感性和状況理解の多様性のロボティクスのモデル化とその応用」（課題番号 19100004）、中央大学理工学研究部・共同研究「感性ロボティクス環境による共生的生活空間の構築と感性サービスへの応用」などの支援を受けて実施した。

参考文献

- [1] 村上昌志, 川口和夫, 大村哲弥, 加藤俊一: 音楽の主観的分類のための特徴量の検討: 第 9 回日本感性高価会予稿集 2007 H02
- [2] Nike-iPod: <http://www.apple.com/jp/ipod/nike/>
- [3] jau Smart Sports: <http://www.au.kddi.com/sports/index.htm>
- [4] 石田篤史, 板野愛, 須藤健太, 宇津木嵩行, 戸塚貴之, 龍田成示, 杉原良平, 井場陽一, 加藤俊一: 日常生活で気付きを支援するマルチモーダルな情報配信の提案: 第 9 回日本感性高価会予稿集 2007 P42