

音楽のテンポ変化による歩行速度変化を利用した待ち合わせ 到着時刻ナビゲーションシステム

小林亮介^{†1} 杉本麻樹^{†1}

概要: 時間ナビゲーションを使用することによってユーザに位置情報だけでなく到着時間も提示することが可能である。本研究では、ユーザに音楽のテンポに合わせて歩行してもらうことでユーザの歩行速度を自動的に調整し、複数のユーザを同時に目的地に誘導するシステムを作成した。このシステムを用いて複数のユーザを誘導する実験を行い、システムの効果を検証した。

キーワード: 到着時刻ナビゲーション, モバイルアプリケーション

1. はじめに

ナビゲーションとは人間に働きかけることでその人間の行動を誘導することである。代表的な例を挙げるとカーナビゲーションがある。カーナビゲーションは画像や音声等で現在地から目的地までのルートをユーザに提示することによってユーザを目的地に到着させるように誘導する。現在ではモバイルデバイスにも搭載されている GPS による位置計測で自分の位置が分かるようになっており、ユーザがモバイルデバイスを操作することで GPS によるナビゲーションを利用することが出来る。

また別の例を挙げると電車の乗り換え案内アプリケーションがある。ユーザは出発する駅と目的の駅を入力し、出発時間あるいは到着時間を入力することでシステムはその条件にあった電車を提示するので、最も速く到着する場合や最も料金の安い場合など何パターンかの中からユーザは好きなルートを選ぶことができる。

このようなナビゲーションの中に音楽を使ったナビゲーションというものがある。適切な音楽を選んで再生したり、再生している音楽を変化させたりすることでユーザを誘導するものである。しかし、既存の音楽ナビゲーションは特定の場所に指定した時間に到着するように誘導するものであり 1 人のユーザを誘導することを前提に考えられており、複数のユーザを同時に誘導することは想定されていない。

複数のユーザを同時に誘導する場合として考えられるのは待ち合わせである。一人のユーザが遅れたり、逆に速くなったときユーザ同士は目的地に同時に到着することができない。

そこで、本研究では音楽を用いた複数のユーザの待ち合わせナビゲーションを提案する。

2. 関連研究

人間の行動を誘導する研究としては、5 感の中でも人間に対して提示を行いやすい視覚、触覚、聴覚による誘導を用いるものがある。

視覚による誘導を用いるものとしては Google Maps[1], Google Now が挙げられる。これらのアプリケーションは GPS による位置計測を用いてナビゲーションを行うアプリケーションである。Google Maps は目的地の名前や住所、緯度経度を入力することによってその地点を中心とした地図を表示するアプリケーションである。また、出発地と目的地を入力することによって 2 点間のルートを表示することも出来る。Google Now は GPS によって取得した現在地付近の天気を自動で画面に表示したり、カレンダーと連動して事前に登録しておいた予定が近づくとその旨を通知したりするアプリケーションである。

触覚によって歩行者を誘導するものには以下のものがある。渡邊らは靴型歩行周期誘導インタフェースを提案した[2]。このインタフェースは引き込みという現象を利用して歩行者の歩行周期の誘導を行うものである。実験を行ったところ、振動刺激を与えるタイミングは踵が接地する時にすると最も引き込みが起りやすいと考えられ、つまり効果的な誘導が可能であることを明らかにした。山本らは振動を用いた歩行者ナビゲーションシステムを提案した[3]。歩行者は両腕に振動を伝える腕時計型の振動装置を装着し、右左折、直進、経路から外れた場合の 4 パターンを振動の有無で歩行者を誘導するシステムである。小島らは耳を引っ張ることで歩行者をナビゲーションする Pull-Navi というシステムを提案した[4]。このシステムは耳たぶを 2 つのクリップをモータを用いて、右左折を行う場合には曲がる側の耳たぶを引っ張り、歩く速度を速くするときは前に、遅くするときは後ろに両方の耳たぶを引っ張り、階段を上るときは上に、下るときは下に両方の耳たぶを引っ張るというものである。

聴覚によって歩行者を誘導するものには以下のものがある。三宅らは Walk-Mate というシステムを開発した[5]。これは歩行者に仮想ロボットの歩行に合わせてステップ音を提示することで歩行リズムを制御するシステムである。このシステムの重要な機能は、人間と仮想ロボットの歩行

^{†1} 慶應義塾大学
Keio University

リズムを同調させた上で、そのタイミングのずれ(位相差)を制御することである。実験を行った結果、位相差が左右対称な場合と位相差が負であった場合に歩行速度が早くなり、位相差が正であった場合は歩行速度が遅くなった。星野らは音声インタフェースによる情報の入出力の簡略化を行ったデモシステムを開発した[6]。このシステムは目的地の入力は音声認識技術を利用し歩行者の声で入力を可能にし、目的地までのルート情報などの情報の出力には音声合成技術を利用し合成音声を用いる。Ronald E. Milliman は、音楽によって人間の行動を誘導する研究としてスーパーマーケット内で流している音楽のテンポの変更による消費者の行動への影響について論じた[7]。実験を行った結果「テンポの遅い音楽を流すことで客の店内での移動速度が遅くなり、店舗の売上が上がる」ということを示した。阿部らにより人間の歩く速度は音楽のテンポにより影響を受けることが判明している[8]。阿部らは公園の400メートルトラックを、音楽を聞きながら2周し、その所要時間を計測するという実験を行った。この研究により、音楽のテンポを変化させることにより歩行速度の変化を促すことが可能である。石田らは人の行動するときのリズムに着目し、画面を操作する子となく人の行動に合わせた音楽を検索するシステムを試作し、評価を行った[9]。試作したシステムは歩行者の歩くテンポを3軸加速度センサを用いて計測し、そのテンポに合わせた音楽を再生するというものである。このシステムについて、実験を行った結果、人間の歩きやすさは聞いている音楽のテンポに影響を受けるということが判明した。渡辺らはユーザに音楽を聞きながらそのテンポに合わせて歩いてもらい、音楽のテンポを変化させることでユーザの目的地への到着時間を誘導するシステムを開発した[10]。目的地と目標到着時刻を設定すると現在地から目的地までのルートを表示し同時に音楽を再生する。GPSが更新されるたびに現在の歩行速度と目標到着時刻に目的地に到着するために必要な歩行速度を計算し、それらと比較しその差に応じて再生する音楽のテンポを変化させる。このシステムについて、被験者に音楽無し、音楽のテンポ変化が3段階、音楽のテンポ変化が5段階の3つの条件で歩いてもらうという実験を行った。音楽のテンポが3段階の場合で、急ぎの状況の際に有効にナビゲーションを行うことができることを明らかにした。

最初に挙げた GoogleMaps, GoogleNow のような GPS を用いた現在地取得と音楽による人間の誘導を組み合わせたものとして Intempo というアプリケーションがある[11]。これは乗り換え案内アプリケーションと同様に乗り換え検索を行うと、検索結果の電車のちょうど乗ることが出来るテンポの音楽を自動で選択し再生する。ユーザは音楽のテンポに合わせて歩くだけで目的の電車が来る時間に駅に着くことが出来るというものである。しかし、このアプリケーション2人以上のユーザを誘導することは出来ない。

よって、GPS を用いた現在地情報を利用して現在地情報と音楽のテンポ変化によるナビゲーションを利用することによって、ユーザ同士が同時に目的地に到着できるシステムを提案する。

3. 提案手法

3.1 システムの概要

このシステムは複数のユーザが同時に同じ目的地に行くということを前提としている。まず GPS を用いて現在地を取得する。現在地を取得すると現在地を中心とした地図が表示される。ユーザが目的地を入力し開始ボタンを押すと、地図上にルートが表示され同時に音楽の再生が始まる。ユーザがルートに沿って歩き現在地が更新されると、端末は現在地から目的地までの距離と更新の間の時間から歩行速度を計算し、それをサーバに送信する。サーバはあらかじめ作成してあるデータベースを更新し、データベースに保持されているもう一方の距離情報と歩行速度を端末に送信する。それを基に再生している音楽のテンポを変化させる。目的地に着くまでの間、現在地の更新が行われる度にサーバとの通信と音楽のテンポ変化を行う。

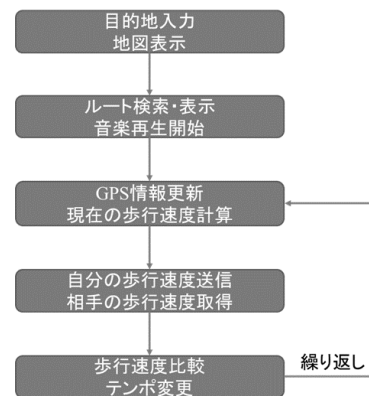


図 1 提案手法の流れ

Figure 1 System Flow

3.2 歩行速度の計算

GPS が一定回数更新されると目的地の位置情報と現在地の位置情報から2点間のルート情報を要求するリクエストが作成される。リクエストは Google Directions API サービスに送信されルート情報が返信される。ルート情報の中には現在地から目的地までの距離情報が含まれており、これとルート情報が返信された時刻をそれぞれ d_n, t_n として記録する。GPS が一定回数更新されると再び現在地から目的地までのルート情報をリクエストし、距離情報とそれが返信された時刻を $d_{\{n+1\}}, t_{\{n+1\}}$ として記録する。そして記録した値から以下の式で歩行速度を計算する。

$$\text{speed(m/s)} = (d_n - d_{\{n+1\}}(m)) / (t_{\{n+1\}} - t_n(s))$$

これにより、一定時間内の歩行速度を取得することができる。なお、初期位置、時刻は開始ボタンを押した位置、時刻となる。

3.3 サーバとの通信

GPS によって現在地情報が 10 回更新されたときにサーバへの通信が行われるように実装した。サーバとの通信は HTTP のリクエストである POST 方式を用いた。

3.4 データベース

サーバ内には SQLite を用いたデータベースを作成しており、このデータベースは図のテーブルを保持している。

一番左の id は自動的に割り振られるテーブル内の識別のための数字であり、歩行データとは関係の無い値である。

now は、スタートからの経過時間を表している。speed は、前回更新した位置から現在地までの歩行速度を表している。現在の歩行速度を表しているものではない。distance は、現在地から目的地までの距離を表している。time は、現在地から目的地までの予想到着時間を表している。この値は”speed”の速度のまま”distance”の距離を歩くのに必要な時間を示している。end は、その端末が目的地に到着しているかどうかを表す。tempo は、現在再生している音楽のテンポを表す。前述した条件を満たすと携帯端末はサーバへの通信を行う。携帯端末からは「スタートからの経過時間」「前回更新した位置から現在地までの歩行速度」、「目的地までの距離」、「目的地までの残り予想到着時間」「目的地に到着しているかどうか」「音楽のテンポ」の 6 つをパラメータとした POST リクエストをサーバへ送信する。サーバのプログラムでは受信したリクエストのパラメータの内容をテーブルのデータとして更新する。その後更新されたテーブルのデータを response メッセージ内に記述して携帯端末へ返信する。

id	now	speed	distance	time	end	tempo
1	9.8	5000	450	324	0.00	1.50
2	10.3	4000	400	360	0.00	1.00
3	11.2	3000	360	432	0.00	0.70

図 2 テーブルの例

Figure 2 Example of Table

3.5 音楽テンポの決定

サーバからの変身に含まれている歩行データを基に再生している音楽のテンポを変更する。以下の式で表される ds 及び average_speed と他の端末の end の値によってテンポを決定する。

$$ds = time - \frac{\text{sumTime} - \text{time}}{M_NUMBER - 1}$$

$$\text{average_speed} = \frac{\text{sumSpeed} - \text{speed}}{M_NUMBER - 1}$$

time はテンポを変更する端末の予想到着時間、sumTime は全端末の予想到着時間の合計、M_NUMBER は全端末数である。自身の端末の予想到着時間から他の全端末の予想到着時間の平均を引いた値が ds となっている。speed はテンポを変更する端末の速度、sumSpeed は全端末の速度の合計である。自身の端末以外のほかの全端末の速度の平均が average_speed となっている。他の端末の end の値が 1, つ

まり目的地に到着している場合は音楽のテンポは 1.5 倍とした。他の端末の end の値が全て 0 の場合は以下のように音楽のテンポを決定する。ds > 30 の場合、他の端末の平均より 30 秒以上遅く到着すると予想でき、音楽のテンポは 1.5 倍とした。15 < ds ≤ 30 の場合、他の端末の平均より 15 秒以上遅く到着すると予想でき、average_speed が遅い速度のしきい値以下の場合には 1.0 倍のテンポ、それ以上の場合には 1.5 倍のテンポとした。-15 < ds ≤ 15 の場合、他の端末とほぼ同時に到着できると予想でき、average_speed が遅い速度のしきい値以下の場合には 0.7 倍のテンポ、速い速度のしきい値以上の場合には 1.5 倍のテンポ、それ以外の場合には 1.0 倍のテンポとした。-30 < ds ≤ -15 の場合、他の端末の平均より 15 秒以上早く到着すると予想でき、average_speed が速い速度のしきい値以上の場合には 1.0 倍のテンポ、それ以下の場合には 0.7 倍のテンポとした。ds ≤ -30 の場合、他の端末の平均より 30 秒以上早く到着すると予想できるので、音楽のテンポは 0.7 倍とした。

4. 実験

作成したシステムの性能を評価するために実験を行った。同時に 3 人の被験者にアプリケーションをインストールした端末を与え、指定されたスタート地点から同時にアプリケーションをスタートさせ同じ目的地まで歩行するように指示した。被験者は再生される音楽のテンポに合わせて歩行速度を変化させながら歩行し、目的地に到着するまでの時間の差を計測した。

4.1 実験条件

実験条件として、被験者は 3 人 4 組の計 12 人（男性 9 名、女性 3 名）で 1 回の実験に対し表に示した 10 パターンを行った。音楽ありの場合は音楽のテンポに従い、無しの場合は普段と同じ速度で歩行するよう指示した。

	1人目の距離	2人目の距離	3人目の距離	プログラム
条件1	400m	400m	400m	あり
条件2	400m	400m	400m	なし
条件3	360m	400m	440m	あり
条件4	360m	400m	440m	なし
条件5	320m	400m	480m	あり
条件6	320m	400m	480m	なし
条件7	360m	360m	440m	あり
条件8	360m	360m	440m	なし
条件9	320m	360m	480m	あり
条件10	320m	360m	480m	なし

図 3 実験条件

Figure 3 Experimental Condition

4.2 実験結果及び考察

(1) 到着時間差の評価

はじめに本システムを使用した場合としなかった場合の被験者間の総到着時間の差を図 4 に示す。なお、1 人目と 2 人目の到着時間差、1 人目と 3 人目の到着時間差、2 人目と 3 人目の到着時間差の合計を総到着時間差とする。

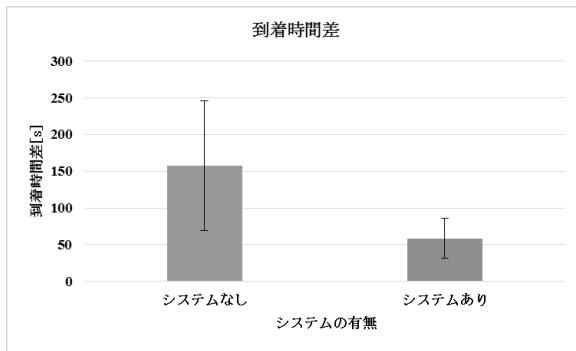


図 4 システムなしとシステムありの場合の到着時間差
Figure 4 Arrival time difference

本システムを使用なかった場合の平均総到着時間差は 157.38 秒, 使用した場合の平均総到着時間差は 58.57 秒となり, 総到着時間差の差は 98.81 秒となった. 平均層到着時間差の標準偏差は本システムを使用しなかった場合 88.08 秒, 使用した場合は 26.98 秒となった. 本システムを使用した場合と使用しなかった場合に対して両側 t 検定を行ったところ p 値が 0.00001 (<0.01) となり, 1%有意水準で有意差が認められ, 本システムを使用した場合, 使用しなかった場合よりもユーザ間の到着時間差が小さくなっていることが分かった. また, 同様の条件で両側 f 検定を行ったところ p 値が 0.0000018 (<0.01) となり, 1%有意水準で有意差が認められ, 到着時間差のばらつきが小さくなっていることが分かった.

(2) 条件毎の到着時間差の評価

本システムを使用した場合としなかった場合の条件毎の被験者間の総到着時間差を図 5 に示す. なお図 3 に示したように条件 1 と 2, 条件 3 と 4, 条件 5 と 6, 条件 7 と 8 条件 9 と 10 はそれぞれ同じ距離で, システムの有無のみ違う.

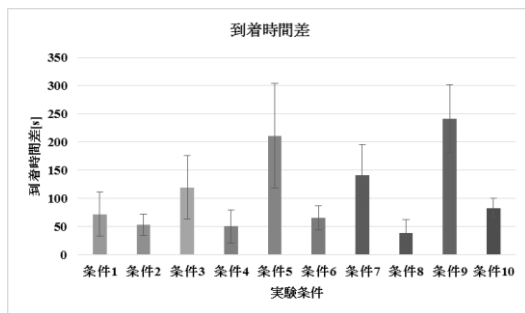


図 5 距離差別の到着時間差
Figure 5 Arrival time difference

同じ距離でシステムの有無のみ違う 5 つの組み合わせに対して, t 検定と f 検定を行った. 有意差が認められたものについて以下に示す. 条件 5 と 6 の組み合わせに f 検定を行ったところ, p 値は 0.019 (<0.05) となり 5%水準で有意差が認められ, システムを使用した場合到着時間差のばらつきが小さくなっていることが分かった. 条件 7 と 8 の組み合わせに t 検定を行ったところ p 値は 0.04 (<0.05) となり 5%有意水準で有意差が認められ, システムを使用した

場合, 到着時間差が小さくなっていることが分かった. 条件 9 と 10 の組み合わせに t 検定を行ったところ, p 値は 0.02 (<0.05), f 検定を行ったところ p 値は 0.03 (<0.05) となり, どちらも 5%有意水準で有意差が認められ到着時間差が小さくなり, ばらつきも小さくなっていることが分かった. 有意差が認められなかったものについて考えられる理由としては, 3 人の目的地までの距離差がないため普段の歩行速度のままでも到着時間に差がなかった場合と, システムを使用した場合の分散が大きかったことが考えられる. 条件 1 と 2 の組み合わせについては前者の理由で, 条件 3 と 4 の組み合わせについては後者の理由と考えられる. 後者については音楽のテンポを決定する式の要素を増やすことで, 分散を小さくすることができると思われる.

5. 結論

ユーザの歩行状況に合わせて再生する音楽のテンポを変化させ, そのテンポに合わせてユーザに歩行してもらうことで目的地までの到着時間差を自動的に調整するシステムを作成した.

実験の結果より, 本システムはユーザ間の到着時間差を小さくすることができることが分かった.

参考文献

- [1] Google Maps
<https://www.google.co.jp/maps>.
- [2] 渡邊淳司, 安藤英由紀, 朝原佳昭, 杉本麻樹, 前田太郎: 靴型インタフェースによる歩行ナビゲーションシステムの研究(ユーザインタフェース), 情報処理学会論文誌, Vol.46, No.5, pp.1354-1362(2005)
- [3] 山本篤史, 屋代智之: 振動を用いた歩行者ナビゲーションの提案(セッション 2), 情報処理学会研究報告. ITS, [高度交通システム], Vol.2003, No.56, pp.55-62(2003)
- [4] Yuichiro Kojima, Yuki Hashimoto, Shogo Fukushima, Hiroyuki Kajimoto: Pull-navi: A novel tactile navigation interface by pulling the ears, ACM SIGGRAPH 2009 Emerging Technologies, pp.19:1-19:1(2009)
- [5] 野本竜太, 三宅美博: 共創型介助システム walk-mate による歩行リズム制御, 自律分散システム・シンポジウム資料, Vol.18, pp.17-22(2006)
- [6] 星野順至, 正井康之: 共創型介助システム walk-mate による歩行リズム制御, 東芝レビュー, Vol.59, No.4, pp36-39(2004).
- [7] Ronald-E Milliman, Using background music to affect the behavior of supermarket shoppers, The journal of Marketing, pp.86-91(1982)
- [8] 阿部麻美, 新垣紀子: Bgm のテンポの違いが作業効率に与える影響, 日本認知科学会第 27 回大会発表論文集, pp.853-859(2010)
- [9] 石田 篤史, 龍田 成示, 杉原 良平, 大村哲弥, 石川 智治, 加藤 俊一: 行動による音楽検索システムの試作と評価, 日本感性工学会論文誌, Vol.8, No.3(2009)
- [10] 渡邊 英樹: 音楽の bpm 変化を用いた時間指向ナビゲーションシステム, Master's thesis, 慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科(2012)
- [11] Intempo
<http://intempo.jp/>.