

消費カロリーを暗黙的に管理する 散歩ナビゲーションシステムの提案

Proposal of Walking Navigation System with Implicit Control of Consumed Calorie

奥村 尚史¹ 佐々木 渉¹ 高間 康史^{1*}

Takafumi Okumura¹, Wataru Sasaki¹, Yasufumi Takama¹

¹ 首都大学東京大学院システムデザイン研究科

¹Graduate School of System Design, Tokyo Metropolitan University

Abstract: 近年、運動不足に起因する生活習慣病の対策として、誰でも気軽に行うことができるウォーキングが注目されている。特に、活動量計との併用は運動効果を実感でき、長期の運動に対するモチベーションの持続が期待されている。しかし、目標のカロリーを消費するためには歩行中常にカロリーを意識する必要があるため、運動する義務感や煩わしさが継続性を阻害する要因となりうる。そこで本稿では、消費カロリーを暗黙的に管理する散歩ナビゲーションシステムを提案する。

1 はじめに

本稿は、消費カロリーを暗黙的に管理する散歩ナビゲーションシステムを提案する。近年、運動能力低下が問題視されており、交通機関やコンビニエンスストアの発達による利便性の向上や基礎体力低下による運動持続の困難などが理由として挙げられている[12]。そこで、誰でも気軽に行うことができるウォーキングが運動不足の改善手段として注目されているが、長期に渡る運動の継続と運動の単調さから運動効果を実感することは難しい。そのため、ウォーキングに対するモチベーションを維持することは容易ではなく、ウォーキングの習慣化を支援することが重要と考える。

また近年、歩数計や活動量計が普及しつつあり、手軽に運動効果を実感できることから運動に対するモチベーションの持続につながることを期待されている。しかし市販の活動量計では自身でカロリーを管理する必要があり、目標のカロリーを消費するためには歩行中常にカロリーを意識することになる。そのため、カロリー消費を意識した運動に対する義務感や管理することへの煩わしさが継続性を阻害する要因となりうる。そこで本稿では、消費カロリーを暗黙的に管理する散歩ナビゲーションシステムを提案する。

提案するナビゲーションシステムでは、現在の消費カロリーをリアルタイムに計算し、目標カロリーに対する残余カロリーを算出する。提案手法は、次の目的地を反復的に推薦する往路モードと、自宅までの帰宅ルートを推薦する復路モードに大別される。往路モードでは、各交差点をノードとした道路ネットワークを構築し、残余カロリー以内で到達可能な目的地を繰り返し推薦する。復路モードでは、残余カロリーをなるべく満たす帰宅ルートを推薦することで、目標カロリーを消費できる散歩ルートの推薦を可能とする。また、歩行者向けのナビゲーションは、ルート案内のための手法や進路情報の提示方法などがヒューマンインタフェースの分野で研究されている[2][8][9]。本稿では、わかりやすさや安全性を考慮して、地図ベースではない直感型ナビゲーションインタフェースを提案する。

上述の通り、提案システムは、往路推薦モード、帰宅推薦モード、ナビゲーションインタフェースなど複数の要素から構成される。このうち、帰宅推薦モードに関して、探索アルゴリズムの分野では、既定のコストを満たすルートの推薦手法は未だ確立していない。そこで本稿では、既定のカロリーを消費することを目的とした帰宅ルート推薦アルゴリズムを提案し、予備実験結果を示す。

*連絡先: 首都大学東京大学院システムデザイン研究科

〒191-0065 東京都日野市旭が丘6-6

E-mail: ytakama@sd.tmu.ac.jp

2 関連研究

2.1 継続性を考慮した運動支援システム

運動不足に起因する生活習慣病を予防するための取り組みが、全国の病院や自治体を中心に活発化しており、その改善に向けた研究も行われている[3]. 生活習慣病の予防には適度な運動を継続することが重要であるが、長期に渡る運動の継続とそれに伴う身体への負担から継続的な運動に対するモチベーションを維持することは容易ではなく、一人で継続しようとしてもなかなか長続きしないのが現状である。このため、ユーザの継続的な運動への取り組みを支援するための研究が数多く行われている[11][14].

山村ら[14]は、利用者同士の交流を促す SNS (Social Network Service) の仕組みを活用したウォーキング支援システムを提案している。このシステムでは、毎日の歩行実績を管理し、視覚的に確認できる仕組みを提供する。家族や友人など現実世界の人間関係をシステムに持ち込み共有することで、歩行状況の確認やコミュニケーションを容易にし、対抗意識や仲間意識を促進する。また、顔見知りのいないユーザを考慮したライバル関係を採用することで、誰でも仮想的な競争手を確保することができる。

酒田ら[11]は、Situating Music をユーザへの刺激として提供するインタラクティブジョギングシステムを提案している。Situating Music とは、ユーザの状況や環境に即し選択・再生される楽曲やそのための枠組みである。ユーザに無理なく目標を達成させる手法として、ユーザの意識・無意識に働きかけ運動量を自然に調整する方法がある。酒田らはユーザのジョギングペースから時間内に目標距離を走破可能か推定し、ペースの乱れをテンポの速い曲や遅い曲、また、エフェクトをかけて調整することで、ユーザの身体への過負荷を未然に防止することを目指している。

2.2 経路推薦のための歩行ナビゲーションシステム

今日の高度情報化社会の進展により、様々な移動体情報端末が開発された結果、カーナビゲーションシステムだけでなく歩行者を誘導する歩行者ナビゲーションシステムも普及しつつある。カーナビゲーションの経路推薦では、移動手段が車であることから移動距離は長く、交通渋滞や移動時間などを考慮した経路情報を付加することで経路の選定が可能となる。しかし、対象が歩行者である場合には移動距離は短いことや、歩行者の嗜好パターンが複雑であ

るなどの違いがあるため、カーナビゲーションの推薦システムをそのまま適用するのは困難である。従って、歩行者を対象とした経路推薦手法は確立しきれていないのが現状である。このため、歩行者向けの経路推薦を目的としたナビゲーションシステムが数多く研究されている[1][4][7][13].

荒井ら[1]は、歩行者の嗜好を反映した最適経路を提供することを目的として、屋内に特化した経路探索手法を提案している。屋内空間では、道路という概念がなく、道路ネットワークの構築・利用が困難である。そこで荒井らは、屋内にある店舗などのオブジェクトを構成する輪郭線が交わる頂点をノード、それらを結ぶ線をエッジとすることで屋内型ネットワークデータを構築している。さらに、車椅子やベビーカーの所有の有無をユーザに確認し、その結果をルート推薦時に昇降機の利用として反映させることで、ユーザの負担を考慮した最適経路を提供する。

生田目ら[7]は、歩行者の歩行履歴情報から信頼性のある位置情報をノードとして抽出し経路ネットワークの構築を行うことで、施設内における歩行者向けのナビゲーションシステムを提案している。歩行者の複雑な行動パターンに対応することを目的として、歩行者が歩行するエリアこそが経路であると定義している。ユーザの歩行履歴情報から取得した位置情報のうち、同じ緯度・経度となる位置情報の頻度に基づきユーザの歩行頻度の高い経路を構成する位置をノードとして抽出する。各ノードの信頼性を基準に経路ネットワークを構築することで、ユーザへの推薦歩行経路を提供する。

山本ら[13]は、ユーザから投稿された情報の時間・位置データを利用し、ユーザの現在地を考慮したリアルタイムのナビゲーションシステムを提案している。ユーザが投稿する情報の種類は、バリア情報、店の内容とその評価情報、その他のスポット情報に分けられる。バリア情報は道路などの状況を示すもので経路の推薦に活用し、店やスポット情報は目的地の推薦に活用する。現状のバリアフリーマップは頻繁に更新が行えないために、情報の即時性が懸念されているが、山本らが提案しているシステムを用いることで、その時点における所在地に適した鮮度の高い情報を得ることが可能となる。

3 消費カロリーを暗黙的に管理する散歩ナビゲーションシステム

3.1 システム構成

提案システムは、ウォーキングを通して運動を行いたいユーザを対象とし、3 軸加速度センサおよび

GPS センサを搭載したスマートフォン用アプリケーションとしての利用を想定する。提案する散歩ナビゲーションのシステム構成を図 1 に示す。提案システムは、道路情報を RDF 形式で格納する FusekiServer およびカロリー情報の管理・推薦サービスを行う Server, Googlemap¹により作成したシミュレータ, ユーザが所持するスマートフォンから構成される。FusekiServer で管理する道路情報は、各交差点の位置情報である。ユーザへのナビゲーションは Android を用いたナビゲーションインタフェースにより行うが、推薦ルートの閲覧・検証はシミュレータを用いて行うこともできる。

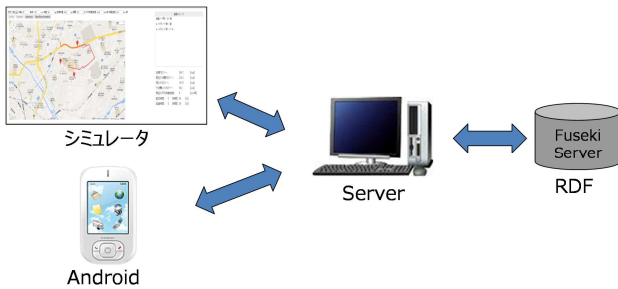


図 1 消費カロリーを管理する散歩ナビゲーションのシステム構成

3.2 カロリーを考慮した散歩ルート推薦

提案システムでは、ユーザからプロフィールとして取得する性別・年齢・身長・体重・目標体重、および目標体重を達成するまでに要する期間からカロリーを算出する。厚生労働省が定義している下記の算出式[6]を用いて、各ルートに対するユーザの消費カロリーを求める。

$$C = RMR * W * METS * T \quad (1)$$

$$RMR \cong BMR * 1.2 \quad (2)$$

$$BMR(\text{Man}) = 66.47 + (13.75 * W) + (5.0 * H) + (6.76 * \text{Age}) \quad (3)$$

$$BMR(\text{Woman}) = 655.1 + (9.56 * W) + (1.85 * H) + (4.68 * \text{Age}) \quad (4)$$

ここで、 $C[\text{kcal}]$ は消費カロリーを表し、座位安静時代謝量 $RMR[\text{kcal}]$, 体重 $W[\text{kg}]$, 時間 $T[\text{h}]$ から算出される。 RMR は、基礎代謝量 $BMR[\text{kcal}]$ から概算を求めることができ[10], BMR は、欧米にて確立された評価法であるハリス・ベネディクト計算式を用いて体重 $W[\text{kg}]$, 身長 $H[\text{cm}]$, 年齢 Age から算出する。

散歩ルート推薦システムのフローチャートを図 2 に示す。提案システムによる推薦は、次の目的地を反復的に推薦する往路モードと、自宅までの帰宅ル

ートを推薦する復路モードに大別される。往路モードでは、帰宅時に消費するカロリーを考慮しながら、反復的に目的地を選択し、ユーザに推薦する。図 2 において、 t 回目の反復における目的地候補集合を S_t , その中から選択・推薦される目的地を P_t とし、また、現在地から S_t 内の各目的地を経由した帰宅地点までに消費すると思われるカロリーを推定消費カロリー、目標カロリーから現在までの消費カロリーを差し引いた値を残余カロリーとする。推定消費カロリーが残余カロリーより小さい目的地が S_t 内に存在するとき、 S_t の中からランダムに一つ目的地を選択することで P_t を決定する。この条件を満たす目的地が S_t 内に存在しない場合は、新たな目的地を推薦せずに復路モードに移行する。なお、残余カロリーの初期値は目標カロリーとする。

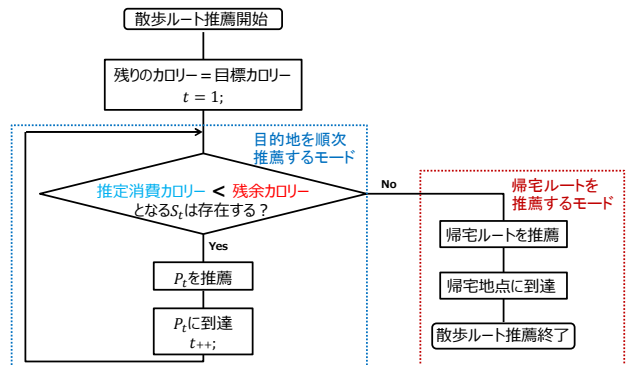


図 2 散歩ルート推薦システムのフローチャート

図 3 は推薦経路をシミュレータ上に表示したものである。シミュレータ上では、目的地までのルート上に位置する交差点にマーカを設置し、通過したルートをラインにより表示している。提案システムでは、目的地へ向かう道中にユーザが消費するカロリーをリアルタイムに計算し、残余カロリーを算出する。ユーザが推薦した進路方向以外へ移動すると、再び目的地までのルートを進行。これによりユーザは必ずしもシステム側の示す進路方向に従う必要はなく、カロリー消費のためのナビゲーションを意識せずに目標カロリーを消費できる。また、ユーザの運動ペースを考慮して目標カロリーの更新を行う。経過時間が散歩予定時間の半分を過ぎたとき、ユーザの現在の平均移動速度が普段の平均移動速度を下回っていれば、現在の歩行ペースで予定時間通りに散歩を終えることが可能な値まで目標カロリーを低減する。目的地に到達すると、再び残余カロリーに応じて目的地を推薦する。以降推薦目的地の候補がなくなるまで繰り返す。

¹<https://maps.google.co.jp/maps?hl=ja&tab=w1>



図3 推薦されたルート

前述の通り、推薦できる目的地がなくなると復路モードへ移行し、残余カロリーをなるべく満たす帰宅ルートを推薦する。図4に示すシミュレータ上では、通過したルートを赤線、帰宅経路として推薦したルートを青線により表示している。最適なルートを推薦するためには、考えられる全てのルートを探索する必要があるが、探索範囲は一般に膨大となるため、リアルタイムに最適ルートを求めることは困難である。そこで本稿では、道のりの近似値を求めることで探索範囲を絞り込む手法を提案する。以下に帰宅ルート推薦アルゴリズムを示す。



図4 推薦された帰宅ルート

- Step1 現在地から各交差点 x_i を経由した帰宅地点までの距離 d_{i1} を計算する
- Step2 $d_{i2} = d_{i1} * \{(\sqrt{2} + 1)/2\}$
- Step3 d_{i2} を平均移動速度を用いてカロリー c_i に変換する
- Step4 c_i が残余カロリー値に近い上位 25 交差点 $\{x_i^*\}$ を中継交差点候補として抽出する
- Step5 現在地から x_i^* を経由した帰宅地点までの最短経路 d_{i3} を計算する
- Step6 d_{i3} のカロリー換算値が残余カロリー値に最も近いルートを推薦する

Step 2 では、図5に示す考えに基づき、2点間の最短経路の道のりを近似している。2点間の最短経路の道のりは距離（図中赤線）以上となるが、最大値

を直角二等辺三角形（図中の黒線）の2等辺の和と想定する。現在地と x_i の距離、および x_i と帰宅地点間距離の和である d_{i1} に対し、最小値 d_{i1} と最大値 $\sqrt{2}d_{i1}$ の平均値として、この経路の道のりを近似する。Step 4 では、抽出する交差点の数を上位 25 個としているが、その値は4節に示す実験結果に基づき決定した。Step 5 では、 x_i^* を経由した帰宅地への最短経路を求めているが、探索範囲を限定しているため4節で示すように短時間での計算が可能である。



図5 2点間の道のり近似値の計算

3.3 直感型ナビゲーションインタフェース

3.2節に示した散歩ルート推薦結果に基づき、進路情報をユーザへ提示するためのナビゲーションインタフェースを提案する。サーバから推薦ルートを構成する各交差点の位置情報を WebSocket 通信を用いて Android に転送する。このとき TooTallNate / Java-WebSocket・GitHub をライブラリとして使用し、通信のフォーマットに JSON を利用した。

Android により開発した直感型ナビゲーションインタフェースのスクリーンショットを図6、図7に示す。サーバから推薦ルート上の交差点位置情報を取得し、交差点ごとに次の進路情報を矢印により提示する（図6(a)）。端末の向きとサーバから取得する進路方向を考慮し、リアルタイムに進路情報を更新・表示する（図6(b)、図7(a)）。ユーザが交差点に到達すると、端末の振動により到達の告知を行い進路情報を更新する（図7(b)）。



図6 直感型ナビゲーションインタフェースのスクリーンショット (1)

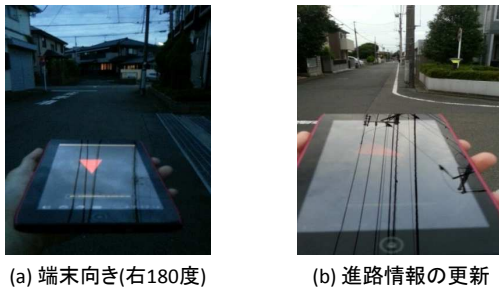


図7 直感型ナビゲーションインタフェースのスクリーンショット (2)

4 帰宅ルート推薦の評価と考察

3.2 節で提案した帰宅ルート推薦アルゴリズムの計算時間および推薦精度について、最適解（経路）を求めた結果と比較することで、その有効性を示す。

8つの地点（復路出発地点）から、提案手法による推薦ルートで帰宅した時の残余カロリー値を表1に示す。このとき、各復路出発地点から帰宅地点到着までの間に消費したいカロリー（復路目標カロリー）およびその距離換算値は、表の2,3行目に示す値としている。この距離換算値は、20代の平均的成人男性の場合を想定した算出値とする。また、3.2節のStep4で抽出する交差点数を上位5個、10個、15個、20個、25個、30個にした場合それぞれについて、得られた経路による残余カロリーおよび経路探索に要した平均処理時間を示している。近似値を用いずに、残余カロリーが最も小さくなる最適解を求めたときの残余カロリー値を、上位5経路について表2に示す。このとき最上位の経路を探索するのに要した平均処理時間は3分8秒であった。

表1 提案手法による残余カロリー値（絶対値）

復路出発地点	A	B	C	D	E	F	G	H	平均処理時間[s]
帰宅地点までの距離[m]	590	1017	762	935	236	982	491	849	
復路目標カロリー[kcal]	178	137.9	161.8	145.6	211.2	141.2	187.2	153.6	
距離換算値[m]	1780	1379	1618	1456	2112	1412	1872	1536	
上位5交差点[kcal]	1.69	0.85	1.6	3.5	3.2	0.18	0.38	4.4	2.26
上位10交差点[kcal]	1.69	0.09	1.6	0.18	2.0	0.18	0.38	2.8	3.21
上位15交差点[kcal]	1.69	0.09	1.6	0.18	2.0	0.18	0.38	1.79	3.95
上位20交差点[kcal]	1.69	0.09	0.10	0.18	2.0	0.18	0.38	1.41	5.15
上位25交差点[kcal]	1.69	0.09	0.10	0.18	0.57	0.18	0.38	1.41	5.83
上位30交差点[kcal]	1.69	0.09	0.10	0.18	0.57	0.18	0.38	1.41	7.09

表2 最適解探索による上位5経路の残余カロリー値（絶対値）[kcal]

復路出発地点	A	B	C	D	E	F	G	H
1位	0.00	0.09	0.10	0.09	0.38	0.18	0.38	1.41
2位	1.12	0.74	0.47	0.10	0.56	0.38	0.47	1.69
3位	1.69	0.75	0.75	0.18	0.57	1.13	0.85	1.79
4位	1.78	0.75	1.40	1.04	0.57	1.32	1.04	2.25
5位	1.79	0.85	1.40	1.31	0.75	1.59	1.22	2.26

抽出交差点数が増えるほど、残余カロリーは減少するものの処理時間も増加することがわかる。表2に示す結果と比較すると、抽出交差点数25個以上では、全地点について最適解を求めた場合の3位以内に入っていることがわかる。

計算時間に関しては、提案システムではユーザーの体調や気分を考慮し、任意のタイミングで帰宅ルート推薦モードに切り替わることを想定している。従って、あらかじめルートを計算しておくのではなく、リアルタイムに求める必要がある。計算機からの応答時間により発生するユーザーの待ち時間が1.5~6秒の場合に、心理的負担が最も抑えられることが先行研究により示されている[5]。この知見を考慮すると、上位25交差点を探索範囲とすることが適切と考える。このとき、カロリーの誤差（残余カロリーの絶対値）は平均0.575kcalであり、これを式(1)により距離に換算すると5.8mとなる。これは暗黙的なカロリー管理の数値として十分な性能と考える。

また、中継する交差点の数を2個に増やした場合も検証した。近似値による抽出交差点数を上位25個としたときの中継交差点数1個と2個の結果を表3に示す。

表3 中継交差点数の違いによる残余カロリーの比較（単位[kcal]）

復路出発地点	A	B	C	D	E	F	G	H	平均処理時間[s]
中継交差点数: 1個	1.69	0.09	0.10	0.18	0.57	0.18	0.38	1.41	5.83
中継交差点数: 2個	0.66	0.75	0.00	0.56	0.94	0.00	0.47	0.19	81.02

目的地B, D, E, Gでは、中継する交差点の数は1個の方が優れた結果となったが、A, C, F, Hでは2個の方が優れた結果となった。平均値を取ると1個では0.575kcal、2個では0.446kcalとなり2個の方が優れているが、処理時間は大幅に増加していることがわかる。

中継する交差点数が2個の場合に探索範囲となる経路は、交差点数1個の場合を包含するため、目標カロリーに近い経路が探索範囲に存在する可能性は高くなる。しかし、本稿で提案する近似値と実際の

最短経路の誤差は交差点ごとにまちまちであるため、表3に示すように必ずしも2個の方が優れた結果が出るとは限らない。一方、探索範囲の拡大による処理時間の増加は大きく、実用的な側面から利用できるとは言い難い。よって、中継する交差点の数は1個で、近似値により抽出する交差点の数は上位25個のとき、暗黙的なカロリー管理に十分な精度を実用的な処理時間で実現可能と考える。

5 おわりに

本稿では、ユーザがカロリーを意識せずに目標のカロリーを消費できることを目的として、消費カロリーを暗黙的に管理する散歩ナビゲーションシステムを提案し、帰宅ルート推薦アルゴリズムに関する予備実験を行った。

帰宅ルート推薦アルゴリズムにおいて、近似値により抽出する交差点数と精度および処理時間の関係について検証を行った結果、上位25個の交差点を抽出した場合に、処理時間・精度の両面で良い結果が得られた。また、中継交差点数を2個に増やした場合の実験も行ったが、精度向上効果はそれほど見られない一方、処理時間が大幅に増加するため実用には適さないことを示した。

今後は、直感型ナビゲーションインタフェースの視認性や操作性をさらに向上させ、ユーザインタフェースとしての完成度を高めることで、利用者の負荷軽減が期待できる。また、ナビゲーションインタフェースに関しては、案内のわかりやすさや、歩行時の安全性などの観点から、実験協力者による評価実験を行う予定である。

参考文献

- [1] 荒井 亨, 戸川 望, 柳澤 政生, 大附 辰夫: 屋内歩行者ナビゲーションにおける歩行者の嗜好を反映させる経路探索手法, 電子情報通信学会技術研究報告.ITS, Vol. 106, No. 266, pp. 47-52, 2006
- [2] 福井 良太郎, 白川 洋, 歌川 由香, 重野 寛, 岡田 謙一, 松下 温: 携帯電話における歩行者ナビゲーション情報の表示方法に関する提案と評価, 情報処理学会論文誌, Vol. 44, No. 12, pp. 2968-2978, 2003
- [3] 石原 礼子, 馬場園 明, 亀 千保子, 八尋 玄德, 西岡 和男: 生活習慣病予防事業におけるメンタルヘルスの変化と生活習慣改善および身体的健康度改善との関連, 日本衛生学雑誌, Vol. 60, No. 4, pp. 442-449, 2005
- [4] 川端 将之, 日裏 博之, 上田 真由美, 上島 紳一: 利用者コンテキストを考慮した歩行者ナビゲーションシステムの利用可能性について, 情報研究: 関西大学総合情報学部紀要, Vol. 22, pp. 91-104, 2005
- [5] 小松原 明哲, 横溝 克己: 計算機応答時間の人間工学的許容範囲に関する一考察, 人間工学, Vol. 24, No. 3, pp. 195-202, 1988
- [6] 厚生労働省: 健康づくりのための運動指針 2006, エクササイズガイド, p. 6, 2006
- [7] 生田目 宏昭, 神戸 英利, 三井 浩康, 小泉 寿男: 歩行履歴情報を基にした歩行者ナビゲーションシステムの構築, 情報処理学会 データベース・システム研究会報告, Vol. 2008, No. 7, pp. 13-18, 2008
- [8] 長岡 哲郎, 矢内 裕之, 長谷川 孝明: 上腕部での振動により歩行者道案内を行う WYSIWYAS 案内バンドについて, 電子情報通信学会技術研究報告.ITS, Vol. 106, No. 616, pp. 37-42, 2007
- [9] 二宮 直也, 戸川 望, 柳澤 政生, 大附 辰夫: 歩行者ナビゲーションにおける微小画面での視認性とユーザの迷いにくさを考慮した略地図生成手法, 電子情報通信学会技術研究報告.ITS, Vol. 106, No. 266, pp. 53-58, 2006
- [10] 佐川 貢一, 石原 正, 猪岡 光, 猪岡 英二: 歩行形態の違いを考慮した消費カロリーの無拘束推定, 計測自動制御学会東北支部 第183回研究集会, No. 183-7, pp. 1-8, 1999
- [11] 酒田 信親, 興梠 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
- [12] 若吉 浩二, 高橋 豪仁, 今枝 和与, 岸田 悟, 長谷川 芳彦, 石川 元美, 田辺 正友: 小学生児童における運動能力・運動習慣の経年的変化: スポーツ教室開催の影響 (自然科学). 奈良教育大学紀要, 自然科学, Vol. 54, No. 2, pp. 39-47, 2005
- [13] 山本 浩司, 安村 禎明, 片上 大輔, 新田 克己, 相場亮, 宮城 政雄, 桑田 仁: ユーザの投稿情報に基づく経路ナビゲーション, 人工知能学会全国大会論文集, Vol. 18, pp. 1B3-01, 2004
- [14] 山村 豊, 井上 悦子, 吉廣 卓哉, 中川 優: 生活習慣病予防のための SNS の仕組みを用いたウォーキング継続支援システム, 電子情報通信学会 第19回データ工学ワークショップ(DEWS2008), pp. A8-6, 2008