

平成 22 年 5 月 28 日現在

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2008～2009

課題番号：20700086

研究課題名（和文） 移動履歴に基づく行動ナビゲーションシステムの研究

研究課題名（英文） Study on User Navigation System based on Movement History

研究代表者 寺西 裕一（TERANISHI YUUCHI）

大阪大学・大学院情報科学研究科・准教授

研究者番号：30403009

## 研究成果の概要（和文）：

本研究では、携帯端末が持つ位置検出手段により自動的に得られるユーザの位置情報を、移動履歴プロファイルとして用いることにより、ユーザ登録等を強いることなく行動ナビゲーションを提供するシステムを提案した。提案システムは、GPS の移動情報、端末における無線電波強度等を基に滞在地(スポット)の系列を得た上で、それらの類似度をユーザ間で算出し、協調フィルタリングを適用することで行動ナビゲーションを提供する。

## 研究成果の概要（英文）：

This study proposed a zero-input user navigation system construction method based on movement history profile, using user locations detected by location detection mechanisms on the mobile terminals. Proposed system provides user navigations by applying collaborative filtering method to movement history of the user, that consists of spots calculated using user locations detected by GPS or RSSI.

## 交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,600,000	480,000	2,080,000
2009年度	1,400,000	420,000	1,820,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,000,000	900,000	3,900,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：メディア情報学・データベース

キーワード：モバイル, ナビゲーション, プロファイル, 情報推薦, P2P

## 1. 研究開始当初の背景

近年の携帯端末の小型化やモバイル通信技術などの発展により、「いつでも・どこでも」情報をやり取りできる、いわゆるユビキタス環境が整いつつある。このようなユビキタス

環境においては、ユーザの位置や状況、周囲にあるモノの状態などに応じてサービスの内容を変化させるコンテキストウェアサービスが有効と考えられ、関連する研究が盛んに行なわれている。

コンテキストウェアサービスのなかでも、ユーザが次に行うべき適切な行動を推測し、ユーザが持つ端末等に情報として推薦・提示する「行動ナビゲーション」は重要なアプリケーションと考えられる。例えば、車椅子のユーザに最寄りのバリアフリーな施設を提示する、観光客に現地の特産物の特売所を提示するといったサービスである。

研究段階のものを含めた従来の行動ナビゲーションシステムでは、嗜好を反映するための入力や、コンテンツ・属性のメンテナンスが必須であった。ユーザの嗜好は時間などに応じて変化すると考えられる上、道路や建物、交通手段は逐次変更される。こうした行動ナビゲーションにおいて必要となるあらゆるデータやコンテンツをすべてメンテナンスし続けることは難しい。

さらに、ユーザが行動ナビゲーションを要求するのは、多くの場合訪問したことがない土地であると考えられるが、上記いずれにおいても、その土地ならではの特色を反映できるよう十分に趣味・嗜好などの情報を揃え、マッチングできない限り、ユーザが求めるナビゲーションを行うことは困難であった。

## 2. 研究の目的

本研究では、既存手法の問題を解決する新たな行動ナビゲーション手法を提案する。本手法では、GPS などの位置探知デバイスから自動的に得られるユーザの移動情報のみ利用し、移動の特徴を分析することでユーザ間の類似度やスポットを算出した上で、協調フィルタリング手法を適用することとする。移動履歴参照型とコミュニティ協調型を組み合わせ、外部データへの依存を最小限とする方法であるといえる。協調フィルタリングを適用することにより、他の類似ユーザが訪問したことがあるスポットで、ユーザ自身が未訪問のスポットが推薦される。

参照する情報が移動履歴のみであるため、ユーザによる特別なプロフィール入力や、地理的コンテンツのメンテナンスの手間を省くことができ、さらに、移動履歴をもとに協調フィルタリングを行なうことによりユーザが未訪問の土地であっても、必要なナビゲーションが得られることが期待できる。

## 3. 研究の方法

本研究では、大きく分けて以下の3つの検討・取り組みを行なう。

- (1) アルゴリズム検討
- (2) 実装および実証評価
- (3) ナビゲーションシステム高度化手法の検討

(1) については、移動履歴に基づき協調フィルタリングを行うことにより行動ナビゲーションを行なう手法を提案する。そのためのスポット抽出アルゴリズム、ユーザ間の類似

度算出アルゴリズムの検討を行なう。

(2) については、提案手法を実装したプロトタイプシステムを用いて、観光地、ショッピングモールにおいて実証実験を行ない、有効性を確認する。また、恒常的にプロフィールとして移動履歴を蓄積するシステムとして一般公開をめざす。

(3) は、提案システムのナビゲーションをより高度化するための基礎技術検討である。携帯端末が受信する無線電波強度に基づき滞在エリアの判定を高精度で行なうための方法、および、各ユーザが自分の移動履歴を自宅サーバなどに分散管理する環境において、同一の訪問箇所を持つユーザの検索を高速化に行なう方法の検討を進めることとした。

## 4. 研究成果

### (1) アルゴリズム検討

提案手法は次の4ステップから構成される。

1. 移動履歴の蓄積
2. 行動範囲（スポット）と滞在時間の抽出
3. 協調フィルタリングによる類似ユーザの算出
4. 推薦スポットの選定

ステップ1は、GPS 機器などから位置情報を取得し、保存することに対応する。ステップ2では、時間ごとの連続した移動履歴から、ある一定時間以上滞在した場所を行動範囲（スポット）として抽出する。

本研究では、ユーザの緩やかな移動と停止の動作の判定基準をスポット抽出における粒度の閾値としてあらかじめ設定しておき、その値に基づいてユーザの移動履歴からスポットを抽出する手法を提案する。提案手法におけるスポット抽出手順を以下に示す。

1. 移動履歴から速度が閾値  $V_t$  以下となる履歴（以下、スポット候補）を探す

$$\frac{\sqrt{(x_t - x_{t-\alpha})^2 + (y_t - y_{t-\alpha})^2}}{\alpha} < V_t$$

$(x_t, y_t)$  : 時間  $t$  におけるユーザの位置

2. 手順1により見つかったスポット候補を始点とし、距離  $D_t$ 、時間  $T_t$  以内の移動履歴即ち、以下を満たす移動履歴を読み込む。

$$\left\{ \begin{array}{l} \sqrt{(x_{t+\beta} - x_t)^2 + (y_{t+\beta} - y_t)^2} < D_t \\ \beta < T_t \end{array} \right.$$

3. 他のスポット候補が見つかった場合は、見つかったスポット候補を新たな始点として手順2を実行し、存在しない場合には、それまでに発見したスポット候補とその間の

移動履歴をスポットとして抽出する

以上の手順により、ユーザの滞在した場所をスポットとして抽出する。

ステップ3では、協調フィルタリングを用いて全ユーザ間の類似度を算出する。協調フィルタリングにおいて、ユーザが訪れたスポットをコンテンツとし、そのスポットでの滞在時間をコンテンツに対する評価値とみなして計算することで、評価値ベクトルの内積をユーザの類似度として求める。ユーザ K, L のコンテンツ i における類似度  $R_{KL}$  は、ユーザ K, L のコンテンツごとの評価値ベクトルの内積として下式で表わされる。下式において、ユーザが訪れたスポットをコンテンツとし、そのスポットでの滞在時間をコンテンツに対する評価値とみなして計算することで、評価値ベクトルの内積がユーザの類似度として求まる。

$$R_{KL} = \frac{\vec{K} \cdot \vec{L}}{|\vec{K}| \cdot |\vec{L}|} = \frac{\sum_i (K_i L_i)}{\sqrt{\sum_i (K_i)^2} \sqrt{\sum_i (L_i)^2}}$$

ステップ4では、ナビゲーションを受けるユーザと類似度の高いユーザが訪れたスポットのなかから、適切なコンテンツを選択し推薦する。

## (2) 実装および実証実験

前節で示した移動履歴に基づく行動ナビゲーション手法を UAA プロジェクトと協力して青森市青森駅周辺の商店街にてソーシャルキャピタルサービス「和和（にこにこ）」に組み込み、一か月にわたり実証実験を行った。ソーシャルキャピタルサービスとは、ユビキタス技術を活用し、地域に住む人々の協調行動を支援することで、地域社会を活性化させることを目的としたものである。

実験では組み込んだ行動ナビゲーションを使用し、アクセスしてきたユーザに対して現在地周辺のお勧め情報を提供した。ユーザは、GPS 機能を搭載した携帯電話、もしくは街中に設置されている位置情報と関連づけられた QR コードを読み取ることで、サービス側に現在地を通知する。このとき、推薦情報の選出は、ユーザがサービスにアクセスした場所と時間の履歴から、前節で述べた方法によって最も類似度の近いユーザを算出し、そのユーザがアクセスした場所に基づいて行った。

ユーザの住んでいる地域とアクセスを行った場所の関連性について述べる。ある2つの集合に関して、集合の要素がどの程度一致しているか、すなわち、それら2つの集合間の近さを示す指標に、次式で表わされる L2-Norm がある。L2-Norm は次の通り表さ

れ、ベクトル B と R の集合間の近さを表現することができる。

$$L2(B, R) = \frac{|B \cap R|}{\sqrt{|B| \cdot |R|}}$$

$|B|$ ,  $|R|$  は集合に含まれる要素の数を表す。L2-Norm によって、それぞれの地域ごとに、そこに住むユーザがアクセスした場所について、その共通性を求めた。表1に結果を示す。値が大きいほど、同じ場所でサービスにアクセスした割合が高いことを意味している。

表1: ユーザの住所とアクセス場所の共通性

住所組み合わせ	L2-Norm	住所組み合わせ	L2-Norm
県外-郊外	0.144263	市街地-郊外	0.220488
県外-市街地	0.112883	市街地-市外	0.154604
県外-市外	0.151733	郊外-市外	0.213922

表1より、県外に住むユーザと県内に住むユーザについてアクセスしたコンテンツの共通性を見た場合、その値は県内に住むユーザ同士について、アクセスしたコンテンツの共通性を求めたものより低いことがわかる。以上から、県外に住むユーザと県内に住むユーザとで、サービスへのアクセス回数やアクセスを行う場所に違いがあり、これらの違いを検出することで移動履歴のみからユーザの状況が把握できると期待される。

実証実験では、ユーザに興味のある事柄を選択して入力していただいている。このユーザが明示的に示したプロフィールと移動履歴の類似度に関連性が見られるかを評価した。なお、プロフィールの項目は「まちづくり」、「商店街」といった日常生活に関するもののほか、「和食・すし」、「カフェ・スイーツ」などの飲食関連のもの、また「温泉」や「自然景勝地」といった観光に関するものがある。図1は日常生活や飲食関連の項目について、図2は観光やレジャー関連の項目について、県内に住むユーザと県外に住むユーザに分けて、項目ごとに節で示した類似度の平均を興味のあるユーザ間と興味のないユーザ間で求めたものである。図から、県内に住むユーザは、興味の有無に関わらず平均類似度が高い値を示している。対して県外に住むユーザでは、興味のあるユーザ間の方が、興味のないユーザ間よりも多くの項目で高い類似度をとることが分かる。特に「民芸・美術・みやげ」や「史跡・歴史・資料館・文学」、「レジャー施設・カルチャー」などその地域に深く関わる事柄について、類似度に差が表れて

いる．飲食関連の項目では，地域によらず興味の有無がアクセス傾向に与える影響は見受けられなかった．以上から，県内に住むユーザに対しては，アクセス傾向から嗜好の類似性を見出すことはできなかったが，県外に住むユーザに関しては，観光やレジャーといった分野において，興味の有無がアクセス傾向に現れる場合があると分かった．実験の結果から，ユーザの持つ嗜好がサービスの利用特性として表れることを確認した．ユーザの動的な状況は，ユーザのアクセス回数，およびアクセスした場所の内容から抽出することができ，静的嗜好については，ユーザ間の類似度から抽出することが可能であると期待される．ナビゲーションを行う際にユーザの状況(モード)が地元を移動している場合，ユーザ個人の嗜好よりもその土地で人気のあるコンテンツを推薦し，県外から訪れた観光客のようなユーザに対してはユーザの嗜好を重視したコンテンツを推薦することで効果的な行動ナビゲーションを提供することができるかと期待される．

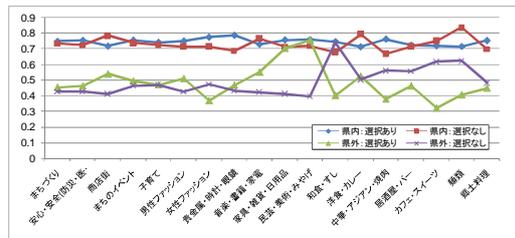


図 1: 日常生活，飲食関連プロフィールと移動履歴類似度との関係

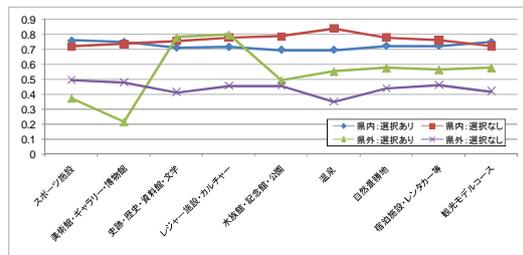


図 2: 観光・レジャー関連プロフィールと移動履歴類似度との関係

### (3) ナビゲーションシステム高度化手法の検討

#### (3)-1 ユーザ移動履歴の分散管理手法

本研究のナビゲーションシステムでは，ユーザ間で共通の移動履歴を持つことを判定できる必要がある．このとき，移動履歴を単一のサーバで管理すると，膨大なユーザが参加したときに，トラフィックが集中してしまう問題がある．この問題に対する対処法として，各ユーザがホームサーバなどの各自の専用サーバへ移動履歴を保持する P2P 型の構成を

検討した．

上記想定において，ユーザ探索を実現する方式としては，一つのピアに複数の要素を保持し，要素の探索を行なう手法の適用が考えられる．しかし，この方法では，膨大な要素が分散保持された状況のもとでは，検索条件として指定するキーが複数ある場合メッセージ数が増大するという問題がある．本研究では，こうしたメッセージ数の増大を抑えた上で，指定した移動履歴を持つユーザ探索を実現するため，P2P 環境において文書のキーワード検索をするための手法の一つである Bloom Finger Table(BFT)を用いて移動履歴の探索の実現する方法を提案した．本研究では，あらかじめ訪問場所，訪問時刻に識別子となる spotID と time が割り振られ，座標から spotID へ変換できる辞書を各ユーザで共有し，(spotID, time)の組が移動履歴として端末(ピア)に集積される環境を想定する．また，探索には AND 検索と OR 検索があることを想定する．AND 検索は複数の場所すべてに行ったユーザの探索であり，OR 検索は複数の場所のいずれかに行ったユーザの探索である．

本研究では，BloomFilter を用いて各ピアが保持する移動履歴と検索要求を一つに集約する．BloomFilter はハッシュ関数を用いて情報を削減する手法であり，要素の存在を一定のビット列で表現でき，論理和をとることで複数要素を集約できる．提案手法では，Bloom Filter として，ユーザの訪問地 (spotID) と，訪問時刻にそれぞれ Bloom Filter を適用し，それらを連結したキーを BFT により探索する(図 3)．spotID と訪問時刻を分離した構造とすることにより，時刻によらず，指定された複数の訪問地を訪れたユーザの探索，時刻を含む訪問パスを指定したユーザ探索が可能となる．BFT は，分散ハッシュテーブル Chord におけるルーティング構造にそって Bloom Filter を集約することで，複数要素を持つピアの探索を効率的に行なう手法である．BFT では，各ピアが保持する Chord のルーティングテーブルに，対応するピアの BloomFilter の論理和を要素として持たせ，検索要求の BloomFilter が含まれるときにメッセージを転送する．

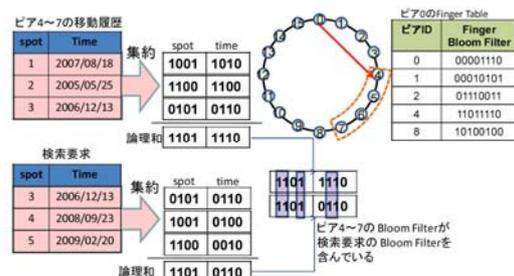


図 3: BloomFilter による移動履歴の検索

また、上記 BFT による移動履歴の探索を効率化するため、自宅等のユーザの行動拠点に基づいたピア ID の割り振りを提案する。これにより、共通ビットを持つピアが隣接しやすくなり、クエリのばらつきを抑えることができる。

図 4 は spot 数を 1000 スポット、ピア一つ当たり 100 個の移動履歴を保持し、検索する移動履歴数を 5 個、ユーザの訪問 SpotID が Zipf 分布に従うときのピア数を変化させたときの AND/OR 検索のメッセージ数の推移を示している。提案手法は MKSG より大幅にメッセージ数を抑えられていることがわかる。

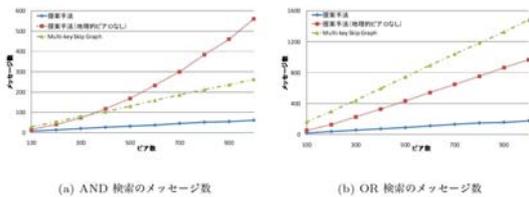


図 4: 性能評価 (検索メッセージ数)

### (3)-2 無線基地局の電波強度に基づくユーザ位置推定手法

ナビゲーションサービス等の位置依存サービスにおいては、ユーザの位置情報の把握が重要となる。既に多くの機器にも搭載されている GPS を利用してユーザの位置を取得することも可能であるが、GPS による測位では測位が安定するまでに時間がかかる点や、屋内では測位不可能である点、電池の消耗が激しい点が問題となる。こうした問題に対応するために、近年、無線通信のための基地局の位置情報を基にしたユーザ位置推定の研究が盛んに行われている。これまでに行われている研究の多くは、ユーザの位置座標の推定を目的としている。しかし、本研究のように、特定の領域(滞在地)にユーザが存在したかどうかを判定できれば良い場合、ユーザの位置座標自体ではなく、ユーザがその領域に存在するかどうかの判定(領域判定)を正確に行えることが重要になる。この領域推定及び座標推定を共に精度よく実現する手法は、これまでに提案されていない。また、位置情報を伝播させ推定精度の向上を図る手法も提案されているが、基地局が疎な環境では、座標推定の誤差が大きくなり、位置情報の伝播をさせる際に、誤差の伝播の影響が大きくなってしまふ。領域を推定する手法においては、推定存在領域が絞り込めず、領域判定の適合率が低くなる。そこで本研究では、無線電波強度に基づく存在確率分布を伝播させ、ユーザの位置推定を行う手法を提案した。

提案手法では、確率分布の伝播によって、精度の向上を図り、推定の結果として、地理的

な存在確率分布を表現することで座標推定と領域推定の両立を実現している。

本研究では、少数のアンカーノードと大量のモバイルノードが存在する環境を想定する。アンカーノードとは、何らかの手段で自身の絶対位置を把握しており、自身の位置情報をビーコンパケットと呼ばれるパケットに載せ周囲に送信するノードで、モバイルノードは、ビーコンパケットを元に自身の位置推定を行うノードである。各ノードは、無線通信機能を備えており、無線通信時の受信電波強度の測定も可能であるとする。

提案手法の概要を図 5 に示す。提案手法では、推定対象となるモバイルノードが取得したビーコンパケットと、受信電波強度を元にそれぞれの存在確率分布を算出する。それぞれの確率分布が独立であれば、それらすべての確率分布を掛け合わせることでモバイルノードの存在確率分布を推定できる。推定結果として、地理的な存在確率を表現することで、ユーザの位置座標の推定を行えると同時に、精度の良い領域判定が可能となる。また、図 5 に示される M2 から M1 の部分では、存在確率分布を伝播させている。存在確率分布を電波させることで、位置情報伝播に伴う推定誤差伝播の抑制が期待できる。

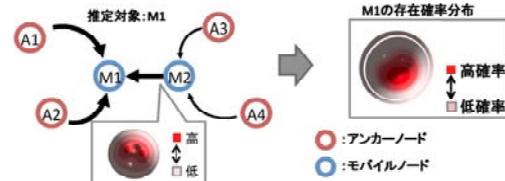


図 5: 提案手法の概要

推定対象のモバイルノードが、周囲のアンカーノードから直接ビーコンパケットを受信した場合、まず受信時の電波強度とノード間距離の相関性を利用し、推定距離を求める。次に、推定された距離から離れるほど存在確率が低下するものとし、分布を算出する。存在確率分布の伝播は、中継ノードの存在確率分布及び中継ノードからパケットを受信した際に取得する電波強度を基にした存在確率分布を利用し畳み込み演算により表現できる。

シミュレーションにより、座標推定による誤差評価と、領域判定検索時の再現率及び適合率の評価を行った。領域判定検索では、特定の領域内に存在する推定確率が設定された閾値以上の際に配信を行うものとする。比較手法として、座標推定では重み付平均値計算を行う手法、領域判定検索では接続情報を元に存在領域推定を行う手法、それぞれで提案手法において伝播を行わない手法を用いた。シミュレーションフィールドは 100m x 100m で、モバイルノードを 200 配置し、各ノードの通信距離は 10m としている。図 6 に

示すように、提案手法ではアンカーノードが疎な環境において推定誤差を低く抑えられており、確率分布の伝播による精度向上が確認できる。図7では、折れ線グラフが再現率を、棒グラフが適合率を示しており、提案手法が再現率を維持しつつ、余分な判定を抑えられていることがわかる。

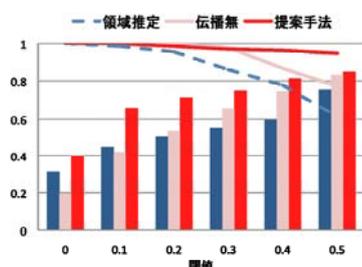


図6: 座標推定誤差

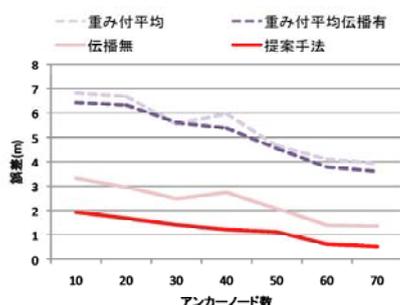


図7: 領域判定検索における再現率点適合率

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表](計7件)

[1] 藤原謙太郎, 寺西 裕一, 秋山 豊和, 春本 要, 竹内 亨, 西尾章治郎, “存在確率分布の伝播を用いたユーザ位置推定手法”, 情報処理学会研究報告(マルチメディア通信と分散処理 Vol. 2010-DPS-142), No. 25, pp.1-6, Mar. 2010(査読なし), 発表日: 2010年3月5日(仙台市).

[2] Toru Shiraki, Yuuichi Teranishi, Susumu Takeuchi, Kaname Harumoto, Shojiro Nishio, “Proposal and Evaluation of a Bloom Filter-Based User Search Method for Movement Records on P2P Network”, Proc. of The Fourth International Conference on Ubiquitous Information Management and Communication (ICUIMC 2010), pp. 57-64, Jan. 2010(査読あり), 発表日: 2010年1月14日(スウォン).

[3] 藤原謙太郎, 寺西 裕一, 秋山 豊和, 春本 要, 竹内 亨, 西尾章治郎, “無線電波強

度分布に基づくユーザ存在範囲推定手法について”, 情報処理学会研究報告(マルチメディア通信と分散処理 Vol. 2009-DPS-141), No. 24, pp.1-6, Nov. 2009 (査読なし), 発表日: 2009年11月27日(呉市).

[4] Toru Shiraki, Yuuichi Teranishi, Susumu Takeuchi, Kaname Harumoto, Shojiro Nishio, “A Bloom Filter-Based User Search Method Based on Movement Records for P2P Network”, Proc. of Int'l Workshop for Ubiquitous Networking and Enablers to Context-Aware Services (UNECAS 2009), pp. 170-180, July 2009(査読あり), 発表日: 2009年7月23日(シアトル).

[5] 白木 徹, 寺西 裕一, 竹内 亨, 春本 要, 西尾章治郎, “P2P環境における Bloom Filter を用いた移動履歴に基づくユーザ探索手法”, 情報処理学会マルチメディア, 分散, 協調とモバイル(DICOMO 2009)シンポジウム論文集 Vol. 2009, No. 1, pp. 1330-1335, July 2009 (査読あり), 発表日: 2009年7月9日(熊本市).

[6] Yuuichi Teranishi, Michiharu Takemoto, Keita Kumamaru, Yuki Yokohata, Makoto Hamada, Toshiro Nakamura and Shinji Shimojo, “Field Trial Evaluation of a Location-aware Social Capital Service,” Proceedings of The 9th International Symposium on Autonomous Decentralized System (ISADS 2009), pp.121-128, March 2009 (査読あり), 発表日: 2009年3月23日(アテネ).

[7] 熊丸 恵太, 竹内 亨, 寺西 裕一, 春本 要, 横畑 夕貴, 武本 充治, 下條 真司, 西尾 章治郎, “移動履歴に基づく行動ナビゲーションのソーシャルキャピタルサービスへの適用と利用特性評価,” 情報処理学会研究報告(マルチメディア通信と分散処理 2008-DPS-135), pp.41-44, June 2008 (査読なし), 発表日: 2008年6月19日(会津若松市).

[その他]

位置検出・記録ツール iSpotter  
<http://ispotter.net/>

## 6. 研究組織

(1)研究代表者

寺西 裕一 (TERANISHI YUUICHI)

大阪大学・大学院情報科学研究科・准教授  
研究者番号: 30403009

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし