

ユーザの行動に合わせたサービス実現のための 行動推定技術の開発

近年、多くの携帯端末にGPSが搭載され、位置情報に基づく多くのサービスが提供されている。生活のあらゆるシーンでユーザの行動を支援してくれるケータイを目指し、GPSにより得られる位置情報からユーザの滞在するエリアを識別し、ユーザの属性別に事前に定義した行動の遷移パターンを用いて高精度にユーザの行動を推定する方式を開発した。また、行動推定の技術を活用したサービスを「みんなのドコモ研究室」にて提供した。

サービス&ソリューション
開発部

みやざき ゆういちろう やまだ なおはる
宮崎 雄一郎 山田 直治

すみや てつお いそだ よしのり
住谷 哲夫 磯田 佳徳

1. まえがき

近年、多くの携帯端末にGPSが搭載され、GPSから得られる位置情報から推定されるユーザの状況を利用したサービスが提供されている。生活のあらゆるシーンでユーザの行動を支援するため、今後は位置情報の履歴の蓄積など、より詳細で時系列的な情報を利用したサービスのさらなる高度化が望まれる。

このようなニーズに応えるため、携帯端末から得られる情報を用いてユーザの行動を自動的に推定する行動推定技術を開発した。

本稿では、GPSにより得られる位置情報からユーザの滞在するエリアを識別し、会社員、学生、主婦などのユーザの属性別に、事前に定義した行動の遷移パターンを用いて高精

度にユーザの行動を推定する方式について解説する。また、ユーザの位置情報を長期間蓄積し、ユーザの日常・非日常の行動エリアを推定する方式と、さらに、これらの技術を活用し「みんなのドコモ研究室」[1][2]にて提供したサービスについても解説する。

2. 行動推定技術の開発

行動推定によって実現されるサービス概要を図1に示す。行動推定技術を利用することで、ユーザの現在の状況や行動パターンに合わせたサービスを実現できる。例えば、仕事を終えて帰宅中のユーザにはこれから向かう駅付近の情報を配信するが、仕事中のユーザには情報を配信しない「パーソナル広告サービス」や、普段の行動パターンを踏まえ

て、いつもとは異なる行動をしたときのみ家族にメールで通知する「子どもの見守りサービス」など、各種サービスを高度化することが可能となる。

2.1 行動推定技術概要

開発した行動推定技術は、位置情報や端末の操作ログなどの携帯端末で取得するデータ、自宅・職場などのエリア名称とその位置、起床・就寝・就業などの生活時間帯といったユーザが登録するデータ（以下、ユーザ作成データ）、さらにあらかじめ行動の遷移関係をモデル化した行動遷移テーブル（以下、行動モデル）を用いて、行動を推定する。推定する対象である行動を、推定に利用する位置情報の蓄積期間と推定する行動の抽

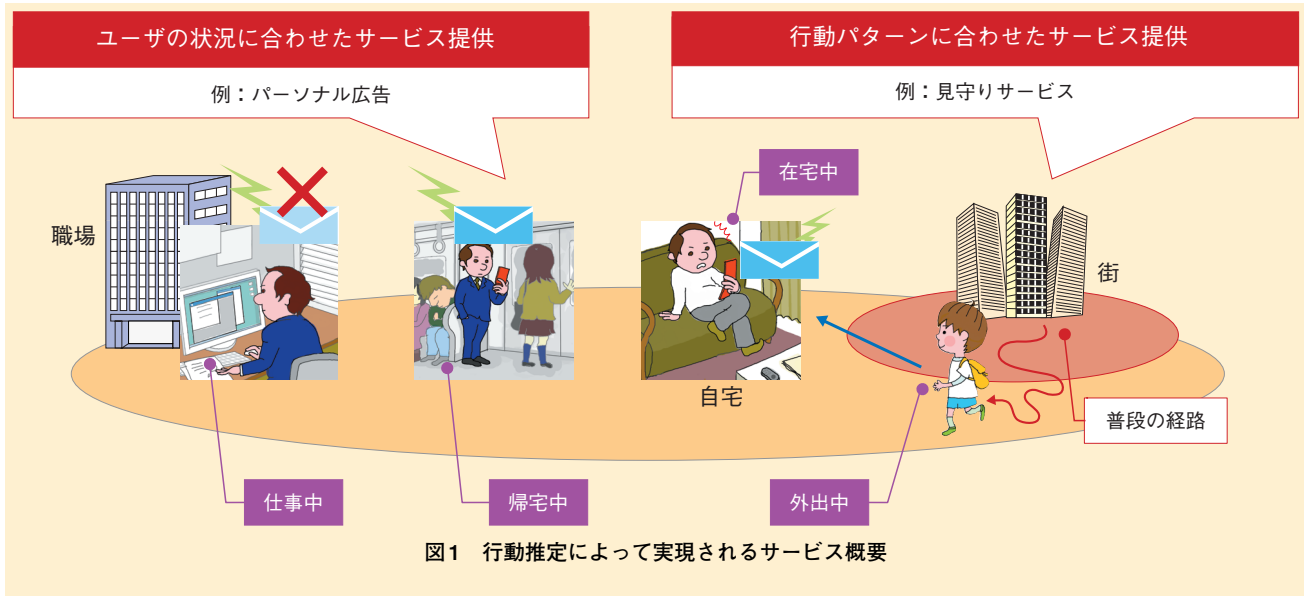


図1 行動推定によって実現されるサービス概要

象度によって分類した(図2)、推定に利用する位置情報を次の3種類に分類した。

- ①単一データ(1組の緯度・経度)
- ②系列データ(行動の開始から終了までの複数組の緯度・経度)
- ③蓄積データ(長期間蓄積された複数組の緯度・経度)

位置情報以外で行動推定に利用する情報として、自宅や職場などの位置に関連付けて登録するエリアデータ、ユーザの入力から取得するユーザ作成データである端末操作ログ、生活時間帯情報、平休日情報がある。

推定する行動は、「行動要素」、「行動」、「生活スタイル」の3種類に分類した。行動要素は位置情報とエリアデータから推定を行う。例えば、あらかじめユーザが設定し、データベースに登録しておいた自宅の緯度・経度の情報と、取

得した位置情報を比較することで「自宅」という存在エリアを推定する。行動は、行動要素、携帯端末から取得する操作ログ、ユーザ作成データおよび直前の行動から行動モデルを用いて推定される。例えば、「職場」という行動要素、勤務時間のユーザ作成データと現在の時間および直前の「工作中」という行動から、同じ場所であっても「工作中」から「残業中」へ行動が遷移したということが推定される。生活スタイルは、行動要素、行動、ユーザ作成データを長期的に蓄積した結果から推定される。例えば、休日に新規に訪問するエリア数が多い場合、そのユーザは「アグレッシブ派」という生活スタイルであることが推定される。これらの行動を、推定に利用する位置情報の蓄積期間によって短期蓄積型行動と長期蓄積型行動に分類した。

2.2 短期蓄積型行動の推定手法

短期蓄積型行動の推定手法は次のとおりである。

(1) 存在エリア推定(図2①)

存在エリアは単一データから推定される行動要素であり、ユーザがある時点で存在する場所を表す。判定のための比較対象となるエリアを有意エリアと呼び、自宅や職場などユーザにとって特別な意味をもつ場所を設定する。有意エリアはユーザ作成データとして事前にデータベースに登録されている。存在エリア判定では、現在の位置情報を緯度・経度を中心として、測位誤差を半径とする円で表現する。そして現在の位置情報が有意エリアと空間的に重複する場合、ユーザが有意エリア内に存在すると判定し、重複しない場合は、有意エリア内に存在しないと判定する。

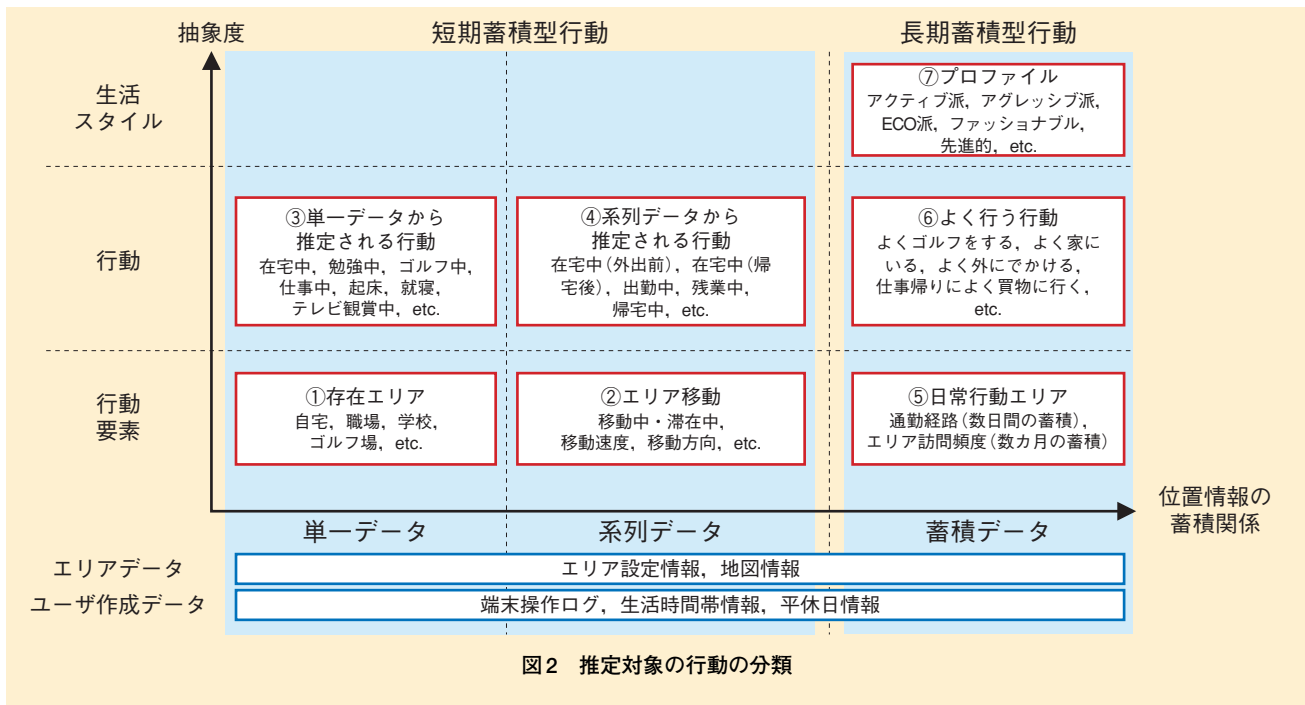


図2 推定対象の行動の分類

(2) エリア移動判定 (図2②)

エリア移動は位置の系列データから推定される行動要素であり、滞在移動判定（移動中か滞在中かというユーザの状態の判定）、移動経路や移動速度、移動方向などの判定を行う。

滞在移動判定は、位置情報 p_i を基準にして、測位した過去 n 回分の位置情報 $\{p_{i-n}, p_{i-n+1}, \dots, p_{i-1}\}$ を取得し、 $\{p_{i-n}, \dots, p_{i-1}\}$ のすべての位置情報と p_i が空間的に重複する場合に滞在中と判定し、空間的に重複しない場合は移動中と判定する。

(3) 単一データから推定される行動と系列データから推定される行動 (図2③④)

行動は、前述の存在エリア推定、エリア移動判定、生活時間帯情報、直前に判定された行動を入力とし、行動の遷移関係をモデル化した行動モデルに基づいて判定される。単一

データからは仕事中やゴルフ中など1カ所における行動、系列データからは通勤中や帰宅中など、行動の最初と最後の複数個所の移動を伴う行動を推定する。

しかし、一般に人の行動は一意に決まるものではなく、在宅中かつ食事中、外出中かつ買い物中など、定義により複数の行動で表現することができる。ここでは、定義された行動の再利用や拡張を容易にし、かつ同時に表現し得る行動を体系化して表現するため、単一データ・系列データから分かる行動を3階層に分類した(図3)。各階層のノードは、その上位の親ノードの行動の下で並列的に発生する可能性があることを表している。このように行動を階層化して定義することで、新しく推定する行動を追加する場合に、ツリー

構造の一部を変更することで対応することができ、汎用性や再利用性を高めることができる。ただし、ユーザの生活パターンや属性により場所の意味が異なる場合があるため(例えば、社会人にとっての「通勤中」は学生にとっての「通学中」となる)、ツリー構造の中身はライフスタイルによって可変とし、ライフスタイルごとに定義する。

2.3 短期蓄積型行動の評価実験

短期蓄積型行動の推定性能を検証するため、GPS搭載の携帯端末を用いた存在エリア判定、滞在移動判定、単一データから推定される行動と、系列データから推定される行動の評価を行った。被験者は2名、データ取得期間は延べ14日間、位置測位間隔は存在エリア

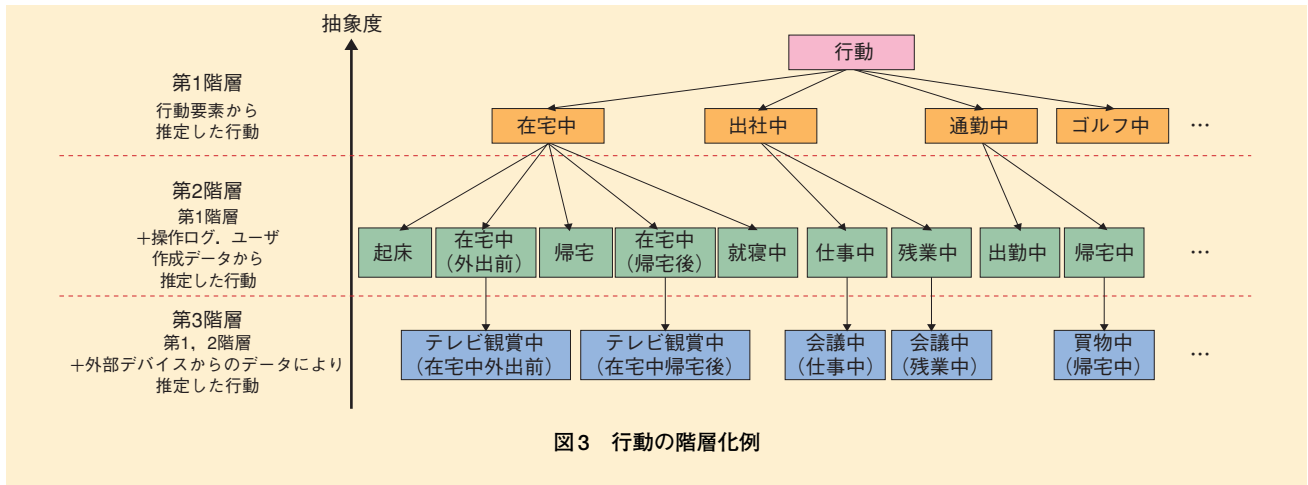


図3 行動の階層化例

判定および滞在移動判定で5分、単一データから推定される行動および系列データから推定される行動で10分、滞在移動判定のエリア移動判定のパラメータは $n=2$ として評価した。

被験者の実際の行動を記録したデータと、行動推定技術で判定した結果を比較し、その正解率で評価を行った結果を表1に示す。

存在エリア判定は、被験者の自宅および職場にいるかどうかを評価し、それぞれ97%以上の正解率を得た。

滞在移動判定は、被験者が通勤や自宅や職場での滞在を評価し、滞在は97%以上の正解率であったが、滞在移動判定における移動中の判定に関しては、滞在した直後の2回以内は移動中のままになることから、70%程度の精度にとどまった。

単一データから推定する行動と系列データから推定する行動の判定の結果、滞在移動判定と同様の理由から、行動推定においても出

勤中、帰宅中の精度は70%程度にとどまっている。

測位間隔を短くすることで、これらの課題は解決されるが、携帯端末の電池の消費量が増加するため、推定される行動によって動的に測位間隔を変更する（例えば、夜間の在宅中は測位間隔を長く、昼間の移動中は測位間隔を短くする）などの制御が必要となる。

2.4 長期蓄積型行動の推定手法

長期行動の推定対象には、日常行動エリア推定、よく行う行動の推定、プロフィール推定がある。後者2つについては評価中であり、主に日常行動エリア推定の方式について解説する。

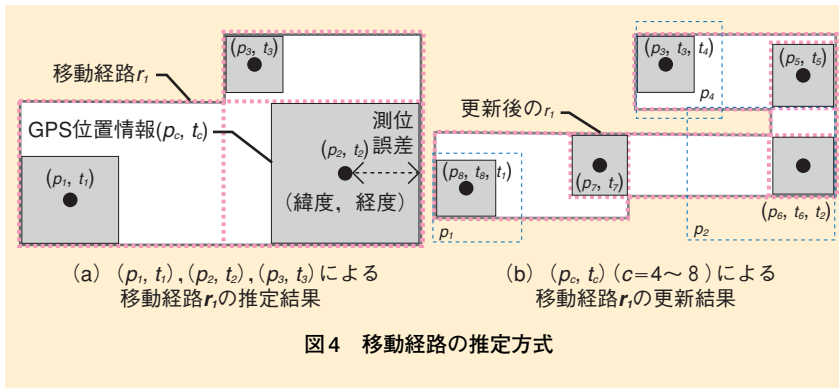
(1) 日常行動エリア推定 (図2⑤)

日常行動エリアは蓄積データから推定される行動要素であり、通勤経路やエリア訪問頻度など、ユーザがよく訪れる場所を表す。GPS位置情報を位置 p_c と測位時刻 t_c で表現する。位置 p_c は緯度・経度を中心と

し、1辺が測位誤差の2倍であるような正方形で表現する(図4)。移動経路は、ユーザが移動中に取得した位置情報を測位時刻順に並べたうえで、隣接する2つの位置、すなわち2つの正方形を包含する最小矩形(MBR: Minimum Bounding Rectangle)で表現する。これにより、移動経路の推定に伴う計算量を軽減することができる。GPS位置情報 (p_b, t_b) 、 (p_c, t_c) 、 (p_d, t_d) を取得した場合に推定される移動経路 r_i の例を図4(a)に

表1 短期蓄積行動の評価結果

評価項目	推定対象	正解率
存在エリア判定	自宅	97%
	職場	98%
エリア移動判定	滞在中	97%
	移動中	70%
単一データから推定する行動、系列データから推定する行動	在宅中	73%
	出勤中	75%
	仕事中	97%
	帰宅中	75%
	就寝中	91%
	外出中	84%



示す。

本手法では移動経路をより正確に推定するために、ユーザが過去に通過した移動経路を再度通過したことを判定し、新たに取得した位置情報を用いて過去の移動経路を更新する。ユーザが過去と同一の移動経路を通過したかどうかの判定は、今回取得したGPS位置情報から生成される移動経路 r_c と過去の移動経路 r_p が部分的にでも重複するかどうかで行う。つまり r_c もしくは r_p について、一方の移動経路を構成する位置情報がもう一方の移動経路と一定回数以上連続して部分的にも重複しない場合には、新規の移動経路であると判定する。それ以外の場合には、 r_c は r_p と同一の移動経路であると判定し、 r_c の位置情報を用いて r_p を更新する。

移動経路の更新では、 r_p の位置情報 (p_p, t_p) を r_c の位置情報 (p_c, t_c) に置き換えることで移動経路を補正するか、もしくは (p_c, t_c) を r_p に追加することで移動経路を補完する。具体的には、2つの位置 p_p, p_c が部分的にでも重複し、 p_p より p_c の測位誤差が小さい場合には、 p_p を p_c に置き換える。この際、 p_p の測位時刻 t_p を t_c と

ともに p_c と関連付けて記録することで、ユーザの通過時刻の情報を保持したまま、移動経路を補正することができる。図4(b)は、(a)の移動経路 r_1 をユーザが再度通過した際に p_4, p_5, p_6, p_7, p_8 を取得した場合の r_1 の更新結果を示している。ここで、 p_4, p_5, p_6 はそれぞれ p_3, p_2, p_1 と完全に重複していることから、測位誤差の大きい p_4, p_5, p_6 を削除し、これらの測位時刻 t_4, t_5, t_6 を p_3, p_2, p_1 へ付与する。このように、測位誤差の大きい位置情報を除去することで、移動経路を補正することができる。

一方、 r_p の位置情報と p_c が空間的に重複しない場合には、 p_c を r_p に追加する。ここで、 r_p の位置情報列のどこに p_c を追加するかが問題となる。最も単純な方法として、 r_p の位置情報列のうち、 p_c の最近傍点を抽出して、その前後いずれかに追加する方法が考えられる。しかしこの方法では、移動経路が曲線の場合に対応できない。例えば、図4(b)においては、 p_7 の最近傍点が p_3 であることから、 p_3 と p_5 の間に追加されてしまい、誤った移動経路となってしまう。

一般に、 r_c と r_p は同一の移動経路

であることから、移動経路の更新前と更新後で、移動経路が大きく変化することはないと考えられる。そこで本手法では、更新に伴う移動経路の長さの変化が最も小さくなるように、 p_c を追加する。具体的には、まず r_p の位置情報列から p_c の N 個の近傍点集合 $\{c_p1, \dots, c_pN\}$ を抽出する。次に $c_pN \in \{c_p1, \dots, c_pN\}$ について、移動経路上の隣接する位置 p_n との距離を $\text{dis}(c_pN, p_n)$ と表現すると、式(1)が最小となる (c_pN, p_n) を特定し、その間に p_c を追加する。

$$\begin{aligned} \text{dis-variation}(p_c, p_n, p_n) \\ = \text{dis}(p_c, c_pN) + \text{dis}(c_pN, p_n) - \text{dis}(p_n, p_n) \quad (1) \end{aligned}$$

例えば、図4(b)の p_7 の場合、 $N=2$ とすると、最近傍点は $\{p_3, p_5\}$ となり、 p_3 と p_5 の間か、 p_5 と p_6 の間に追加することになる。この場合、 $\text{dis-variation}(p_7, p_5, p_6)$ が最小となることから、 p_5 と p_6 の間に p_7 を追加する(図5)。このように、新たに取得した位置情報を過去の移動経路に追加することで、移動経路を補完することができる。

(2) よく行う行動の推定 (図2⑥)

よく行う行動とは、蓄積データから推定される行動であり、ゴルフをよくする、仕事帰りによく買い物するなど、ユーザが頻繁に行う行動を表す。よく行う行動を推定するうえで、図2の③または④の行動推定で得られた行動を蓄積し、各行動の発生頻度を集計する。そのうえで、発生頻度が一定のしきい値以上の行動や、特定のパターン抽出技術によって抽出された行動の系列を、よく行

う行動として特定する。

(3) プロファイル推定 (図2⑦)

プロフィールとは、蓄積データから推定される生活スタイルであり、アクティブ派、アグレッシブ派など、ユーザの行動の特徴を表す。プロフィールを推定するうえでは、まず各プロフィールに特徴的な行動または行動要素を定義し、図2の⑤や⑥で得られた結果に基づいて推定する。例えば、アクティブな人は、多くの場所へ訪れている人であると定義し、滞在エリア数によってアクティブ派かどうかを判定する。

2.5 長期蓄積型行動の評価実験

日常行動エリア推定手法のうち、移動経路推定手法の推定性能を検証するために、GPS搭載の携帯電話を用いて評価実験を実施した。実験では、5分間隔でGPSの位置情報を取得し、同一の移動経路を6回移動した。1回目移動後と、6回目移動後に推定された移動経路をそれぞれ図6[3]に示す。1回目移動後に推定された移動経路では、測位誤差が大きな位置情報が移動経路上に存在し、各MBRのサイズも大きい。しかし6回目移動後には、移動経路上の位置情報が増えたことで、測位誤差の大きな位置情報は高精度なものによって置き換えられ、MBRのサイズも小さくなることが確認できた。これにより、ユーザがよく利用する移動経路については、より詳細に移動経路を推定できることが分かった。なお、サイズが大き

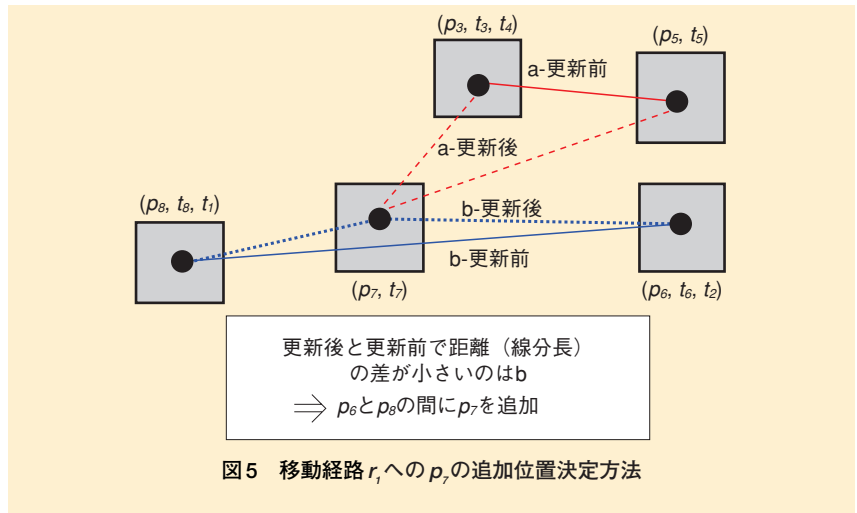


図5 移動経路 r_1 への p_7 の追加位置決定方法

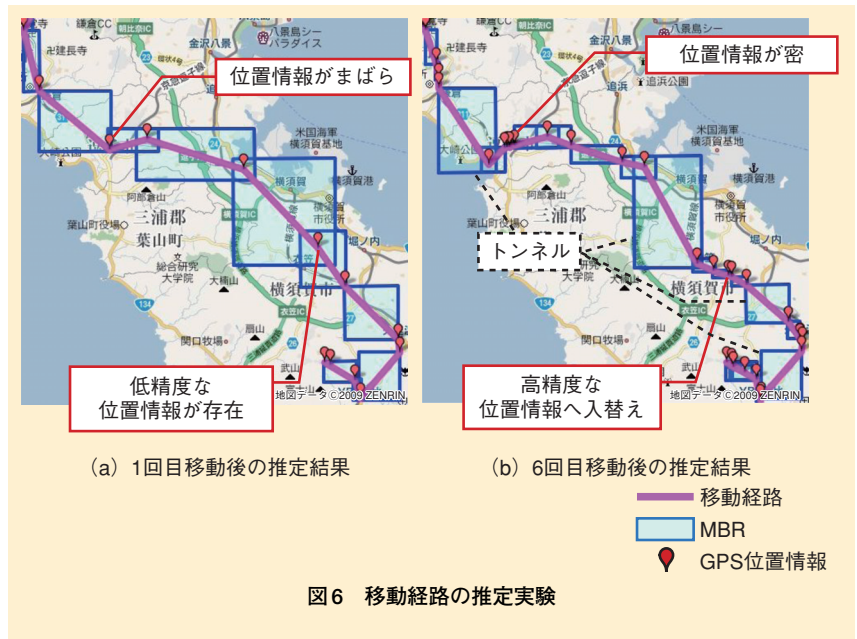


図6 移動経路の推定実験

なMBRも依然存在するが、これはトンネル内を移動中であり、GPSでの測位ができないためである。

3. 行動推定サービスの開発

行動推定技術を用いた各種サービスを開発した(図7)。これらのサービスでは、ユーザの状況や行

動パターンを自動的に推定し、きめ細やかかつ適切にユーザのライフスタイルをサポートする。また、これらのサービスを「みんなのドコモ研究室」にて提供した。

3.1 ココロ支援エージェント

ココロ支援エージェントサービス(以下、ココロピタン[®]*)は、携帯電

*1 ココロピタン[®]: (株)NTTドコモの登録商標。



(a) ココロ支援エージェント (b) 眺めてつながるツール (c) TPO UI

図7 行動推定を利用するサービスの画面イメージ

話を擬人化したエージェントであるココロピタンがユーザの行動に密着した対話で癒しを提供するサービスである。例えば、残業中にはユーザの体の疲れをいたわり、時にモチベーションを上げるような励ましの言葉をかけてくれる。またユーザの日々の生活パターンを学習し、睡眠時間が減少している場合や仕事時間が増加している場合には、体調を気遣う言葉を投げかけ、体調の問診を行うなどの柔軟な対話機能を備えている。

3.2 眺めてつながるツール

「眺めてつながるツール」は、待受け画面に家族や友人のアバター^{*2}と、行動推定技術によって判定されるユーザの行動が表示され、携帯電話を開くと互いの様子を知ることができるツールである。類似サービスにインスタントメッセージなどがあるが、待受け画面上に表示する内容は、端末の行動推定技術により自動的に推定される点の特徴である。「眺めてつながるツール」は待受けiアプリで実装されており、15種類の行動を推定する。メンバの登

録には、事前にユーザ間で相互にメールアドレスを用いて認証する仕組みを取り入れている。そのため、ユーザが知らない不特定の相手から自分が発見され、勝手に登録されてしまうということはない。また、蓄積した行動履歴を閲覧する専用サイトも用意した。閲覧サイトでは、ユーザの行動履歴を地図上にマッピングし、カレンダーと連動して日ごとに履歴を閲覧することができる。また携帯端末・PCの両方からの閲覧に対応し、サービスの継続利用を促進している。

3.3 TPO UI

TPO UIとは、Time（時間）、Place（場所）、Occasion（場合）に合わせ、素早く各種サービスを起動できるユーザインタフェースを提供し、ユーザの端末操作性向上を目指すサービスである。TPO UIは、ユーザの行動や端末操作ログ、さらに嗜好が類似していると判断された他のユーザの端末操作ログに関する情報を利用し、例えば、メールの利用頻度が高い在宅中と、

ニュースや乗換え案内の利用頻度が高い出勤中で、それぞれ携帯端末のディスプレイに表示する情報および各種機能・サービスへのショートカットを柔軟に切り替えて表示する。

4. あとがき

本稿では、新たに開発した行動推定技術の概要および行動推定手法と、その評価結果および行動推定技術を用いたサービス例について解説した。今後、これらアプリケーションを「みんなのドコモ研究室」でトライアル評価するとともに、将来の発展サービスとして長期の行動履歴から推定される行動パターンの学習やユーザのプロファイル分析など、さらなる高機能化、推定精度向上、サービスの拡張へ向け、継続して検討を行っていく。

参 考

- [1] みんなのドコモ研究室
<http://trial.nttdocomo.co.jp/>
- [2] みんなのドコモ研究室(i-mode版)
<http://trial.nttdocomo.co.jp/i/>
- [3] 複製許諾番号：Z09LE第069号

*2 アバター：自分の分身として画面上に表示するキャラクター。