

# モバイルユーザ群のグループ行動コンテキストを活用した ローカル群衆マッピング

樋口 雄大<sup>1,2</sup> 山口 弘純<sup>1,3</sup> 東野 輝夫<sup>1,3</sup>

**概要:** 駅や懇親会といった人混みの中で、待ち合わせをしている知人を見つけ出すことは、一般に難しい。こうした状況で、モバイル端末を通じて知人のいる場所までユーザを案内するなど、人と人とのコミュニケーションを支援する高度なモバイルアプリケーションを提供するためには、周囲の人々との位置関係を正確に把握する仕組みが欠かせない。本発表では、スマートフォンによるセンシングのみを用いて周囲の人々との相対的な位置関係を認識する手法を提案する。提案方式では、Pedestrian Dead Reckoning (PDR) によって加速度センサと電子コンパスの測定値からユーザの歩行軌跡を推定するとともに、Bluetooth の受信電波強度をもとにユーザ同士の遭遇を検出し、各ユーザの歩行軌跡を遭遇地点で重ね合わせることで、ユーザ間の相対的な位置関係を推定する。このとき、過去一定期間のセンシング情報の履歴をもとに、友人や家族、同僚といった知人同士の集団や、通りや駅において同じ方向へ向かう人の流れなど、互いに類似した行動をとる“グループ”を検出し、行動を共にするユーザ群の振る舞いの特性を活用して推定位置をヒューリスティックに補正することで、センサ誤差等に起因する位置誤差の軽減を図る。Android 端末を用いたフィールド実験を通じて、グループ行動コンテキストに基づく補正により位置推定精度および位置関係の“認識性”が大幅に向上することを確認している。

## Local Crowd Mapping based on Group Activity Context of Mobile Phone Users

TAKAMASA HIGUCHI<sup>1,2</sup> HIROZUMI YAMAGUCHI<sup>1,3</sup> TERUO HIGASHINO<sup>1,3</sup>

**Abstract:** Most of you would have had trouble finding a friend from a surrounding crowd of strangers at a station or at a party place. In such cases, mobile social applications which support social interaction of mobile phone users (e.g. by guiding the user to the friend she is looking for) may offer a solution. Obviously, recognizing fine-grained position relationship between the nearby mobile phone users in such crowded situations is an essential building block of the next-generation mobile social applications. In this presentation, we propose a novel framework to provide relative position between the people in the surrounding crowd using only off-the-shelf smartphones. Our system employs pedestrian dead reckoning (PDR) to estimate user traces while sensing proximity between the users by repeated device discovery via Bluetooth. Overlapping the estimated traces at the points where the users have encountered, we can basically estimate the relative position between the users. To support better recognition of position relationship, we further introduce heuristic error correction mechanism based on group activity context of mobile phone users. It detects group activity of the users by analyzing the recent history of sensing logs, and then corrects deviation of estimated traces by harmonizing with the traces of other group members, assuming that users in the same group have similarity in their positions and traces. Through a field experiment using Android smartphones, we proved that our group-based error correction mechanism successfully enhances “perceptibility” of estimated positions as well as positioning accuracy.

<sup>1</sup> 大阪大学大学院情報科学研究科  
Graduate School of Information Science and Technology, Osaka University, Japan

<sup>2</sup> 日本学術振興会特別研究員 DC

JSPS Research Fellow  
<sup>3</sup> 独立行政法人科学技術振興機構, CREST  
Japan Science and Technology Agency, CREST

## 研究背景

**モバイルソーシャルアプリケーション:**  
 位置情報や経験 (コンテキスト情報) を友人間で共有

"Where are you?"  
 位置情報

"What are you doing?"  
 アクティビティ

"Who are you interacting with?"  
 ソーシャルコンテキスト

## 周辺状況の認識

自分の周りの人々との位置関係を直感的に把握したい  
 e.g., 駅, 待ち合わせ場所, 懇親会, etc...

**モバイルソーシャルナビゲーション:**  
 周囲の人混みの中から特定の知人を見つける

## 位置推定技術

**GPS**

- 屋内では測位が困難

**WiFi 測位**

- 膨大な事前学習が必要
- 電波状況は時間とともに変化

**基準局+(高精度) 測距**

- 多数の基準局を設置
- クライアント側にも特別な受信モジュールが必要

## 関連研究

**Escort (MobiCom 2010)**

PDR+音声ビーコンに基づく遭遇検出で相対位置を推定  
 友人がいる場所までのナビゲーションを実現

目的の人に近づくときカメラを起動  
 画像ベースで人を識別 → ユーザへの負担

## People-centric Navigation (PCN)

スマートフォンによるセンシングのみを用いて  
 近隣ユーザ群の相対位置関係を認識

Trace estimation by PDR

Infrastructure-free  
 .GPS Wi-Fi AP

Proximity sensing with Bluetooth

**Challenge:**  
 センサノイズ等に起因する大きな位置誤差をいかに軽減するか

## アイデア

近隣ユーザ群の **グループ行動コンテキスト** を  
 活用してセンサノイズ等の影響を軽減

過去一定期間のセンシング情報からユーザ群の  
 行動グループを検出

### アイデア

1. グループ内のユーザ群の振る舞いの類似性を利用して **位置誤差を補正**
2. グループ行動コンテキストを用いて位置関係の **認識性を向上**

Target person to be found  
 Your current position

PCN クライアントのプロトタイプ (Android platform)

### Outline

過去一定期間のセンシング履歴の類似性をもとに **グループ行動コンテキストを抽出**

- user traces
- RSS logs

PCN server (mobile cloud)

group (estimated)

### Outline

グループで行動する人々の振る舞いの類似性を利用して **推定移動軌跡の誤差を補正**

- user traces
- RSS logs

PCN server (mobile cloud)

estimated trace  
 corrected trace  
 true trace

group (estimated)

### Outline

補正後の推定軌跡とノード間の Bluetooth RSS をもとにユーザ群の移動軌跡間の距離を修正

group-based error correction  
 proximity sensing

### グループ行動コンテキストの抽出

2つの指標に基づき近隣ノード群を行動グループに分類

近接性

軌跡類似性

同じグループのノード同士は長時間にわたり互いに近くにいる  
 同じグループのノード同士は移動軌跡が時間的・空間的に類似

### グループ行動コンテキストの抽出 (近接性)

-70dBm 以上の RSS が観測されるのは 6m 以内のみ

近接性

過去1分間に閾値以上の RSS が観測された回数

RSS-to-distance mapping of Bluetooth radios

### グループ行動コンテキストの抽出 (軌跡類似性)

**軌跡類似性**

過去1分間の移動軌跡の編集距離

移動軌跡 = “移動ベクトル” のシーケンス

### グループ行動コンテキストの抽出 (軌跡類似性)

**編集距離:**  
 軌跡Aを軌跡Bに変換するために必要な最小の置換・シフト回数

replace: 0, shift: 0

### グループ行動コンテキストの抽出 (軌跡類似性)

**編集距離:**  
 軌跡Aを軌跡Bに変換するために必要な最小の置換・シフト回数

replace: 1, shift: 0

### グループ行動コンテキストの抽出 (軌跡類似性)

**編集距離:**  
 軌跡Aを軌跡Bに変換するために必要な最小の置換・シフト回数

replace: 1, shift: 0

### グループ行動コンテキストの抽出 (軌跡類似性)

**編集距離:**  
 軌跡Aを軌跡Bに変換するために必要な最小の置換・シフト回数

replace: 1, shift: 1

### グループ行動コンテキストの抽出 (軌跡類似性)

**編集距離:**  
 軌跡Aを軌跡Bに変換するために必要な最小の置換・シフト回数

replace: 1, shift: 1

### グループ行動コンテキストの抽出 (軌跡類似性)

**編集距離:**  
 軌跡Aを軌跡Bに変換するために必要な最小の置換・シフト回数

replace: 1, shift: 1

Trace A

Trace B

OSAKA UNIVERSITY

### グループ行動コンテキストの抽出 (軌跡類似性)

**編集距離:**  
 軌跡Aを軌跡Bに変換するために必要な最小の置換・シフト回数

replace: 1, shift: 1

Trace A

Trace B

OSAKA UNIVERSITY

### グループ行動コンテキストの抽出 (軌跡類似性)

**編集距離:**  
 軌跡Aを軌跡Bに変換するために必要な最小の置換・シフト回数

replace: 1, shift: 2

Trace A

Trace B

OSAKA UNIVERSITY

### グループ行動コンテキストの抽出 (軌跡類似性)

**編集距離:**  
 軌跡Aを軌跡Bに変換するために必要な最小の置換・シフト回数

replace: 1, shift: 2

編集距離 =  $\text{replace} + 0.5 \times \text{shift}$

↓

グループ内の移動タイミングのバラつきを許容

OSAKA UNIVERSITY

### グループ推定モデル

特徴量 (近接性 / 軌跡類似性) の分布を事前実験により取得

Distribution of the number of RSS samplings that exceeds -70dBm

近接性

Distribution of edit distance between user traces

軌跡類似性

OSAKA UNIVERSITY

### グループ推定モデル

2つの分布を統合してグループ推定モデルを構成

それぞれのノードのペアについて“グループ尤度”を算出

OSAKA UNIVERSITY

### グループ行動コンテキストの抽出

“グループ化グラフ”を構成

(1) 各ノードに対応する頂点を生成

### グループ行動コンテキストの抽出

“グループ化グラフ”を構成

(2) グループ尤度が閾値以上となるノード間に辺を追加

### グループ行動コンテキストの抽出

“グループ化グラフ”を構成

(3) グラフの連結成分を1つの行動グループと推定

### 移動軌跡の補正

グループ内の軌跡類似性に基づき推定軌跡の誤差を補正

過去の軌跡の類似性に基づきグループを推定

PDRによる移動ベクトル

グループ情報に基づく補正

グループ内の平均移動ベクトル

### PDR 誤差の予測

ステップレベルの誤差予測モデル

歩幅推定誤差  $\Delta l$

移動方向の推定誤差  $\Delta \theta$

$e_k = e_{l_k} + e_{\theta_k}$

$\Delta l \sim \mathcal{N}(0, \sigma_l^2)$

$\Delta \theta \sim \mathcal{N}(0, \sigma_\theta^2)$

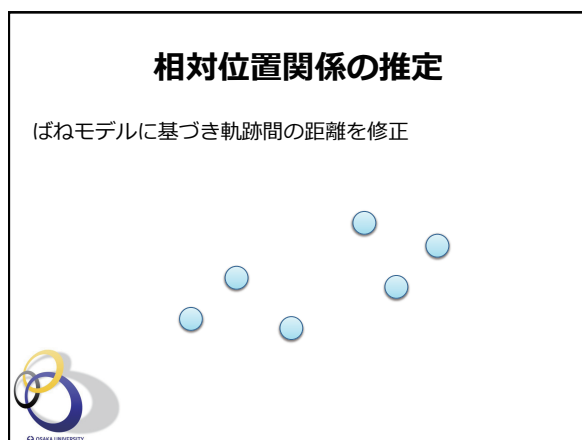
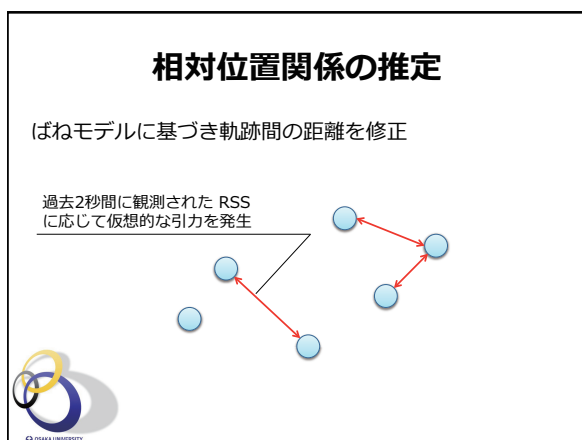
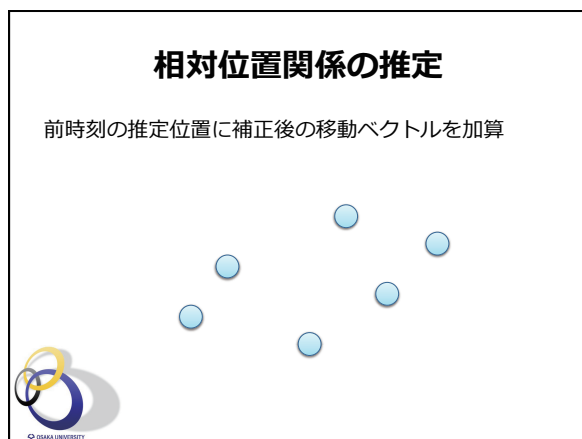
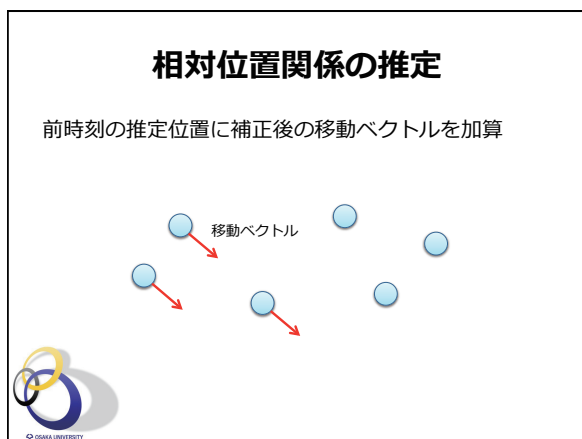
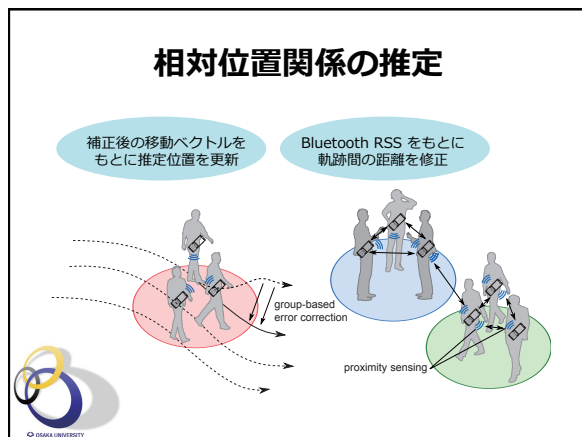
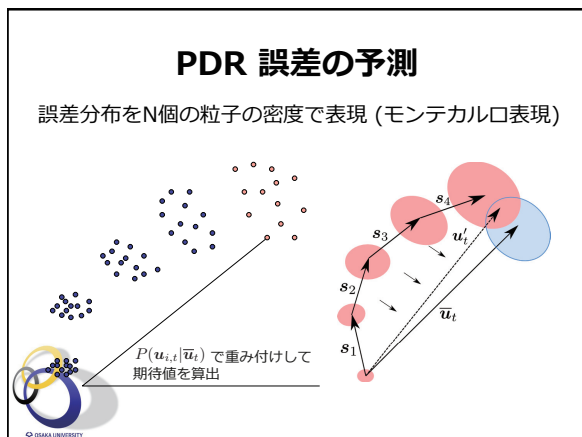
ステップレベルの誤差モデル  $P(e_k | s_k)$

### PDR 誤差の予測

誤差分布をN個の粒子の密度で表現 (モンテカルロ表現)

ステップごとに移動量と誤差サンプルを加算

初期分布からN個のサンプル値を生成





### 相対位置関係の推定

グループ内の **近接性** に基づき位置関係を補正

同一グループ内には微小な引力を発生  
異なるグループ間には微小な斥力を発生

グループ同士を空間的に分離

位置関係の認識性の向上

### フィールド実験

ナレッジキャピタルトライアル2011 見本市会場

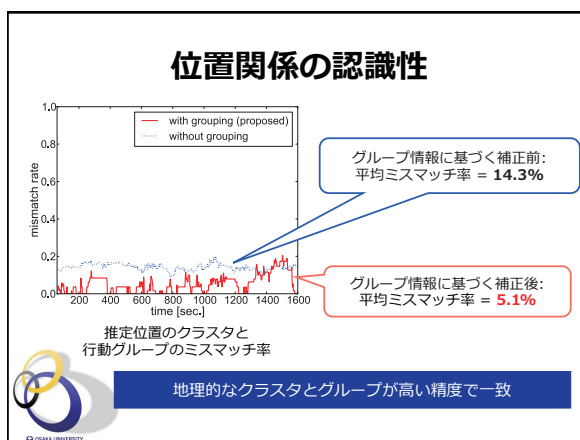
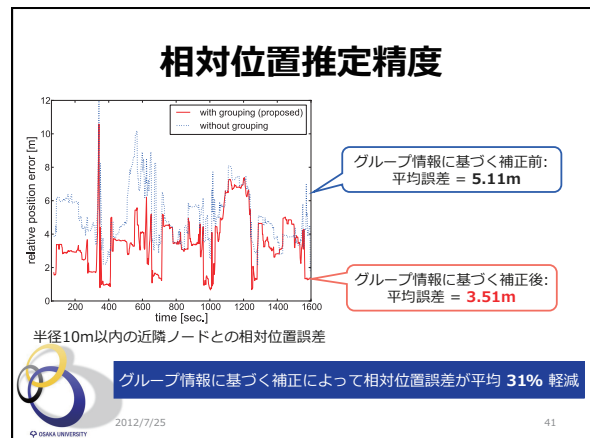
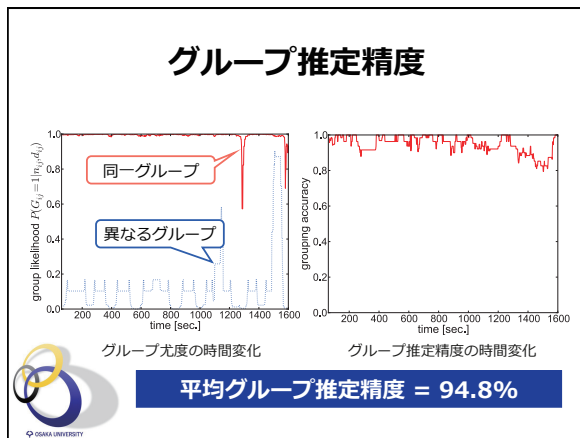
4人×5グループで会場を巡回

Android 端末でセンシングアプリを動作

30分間×3セットの実験により

- Bluetooth RSS
- PDR による推定軌跡

のログを収集



### まとめ

グループ行動コンテキストを活用した近隣スマートフォンユーザー群の位置関係認識手法を提案

- グループ情報に基づく誤差補正により精度を31%改善
- 推定位置のクラスターと行動グループが高い精度で一致

今後の課題

- グループの規模や形状に応じた最適な補正ロジックの検討
- ナビゲーション以外の位置・コンテキストウェアサービスとの連携