

ジオフェンシングサービスのための 間隔可変測位による省電力入圏検出方式の評価

中川 智尋^{†1†2}, 山田 渉^{†1}, 土井 千章^{†1}, 稲村 浩^{†1}, 太田 賢^{†1}
鈴木 誠^{†2}, 森川 博之^{†2}

仮想的に設定した地図上の境界をユーザが越えたことを検知し、予め決められた処理を自動的に実行することで、場所に応じた情報やサービスが提供できる。このようなジオフェンシング技術の実現には、監視対象スポットへの入圏をいかに小さい消費電力で検出するかが課題となる。入圏の検出を省電力化する関連研究として、測位手段切替機能、移動検出機能、間隔可変測位機能が提案されている。間隔可変測位機能では、端末の移動方向や監視対象スポットへの距離に応じて測位回数を削減することで、さらに省電力化を図ることができる。本稿では、距離に基づく移動検出間隔を決定する移動検出機能と、間隔可変測位機能における接近速度の補正アルゴリズムとして線形補正方式、部分的補正強化方式、常時補正強化方式を提案する。シミュレーションにより提案方式を評価した結果、最も省電力効果の高い常時補正強化方式では、接近速度の補正を行わない既存の間隔可変測位方式と比較して、監視対象スポットが1つのシナリオで消費電力を45%から54%削減し、検出漏れ率は既存方式と同水準の5%未満であった。また、提案する移動検出機能は、同シナリオにおいて、入圏の検出漏れを増大させることなく、消費電力の削減に9.5%から32%寄与することが確認された。

Evaluation of Variable Interval Positioning Method for Power-saving Geofencing

TOMOHIRO NAKAGAWA^{†1†2} WATARU YAMADA^{†1}
CHIAKI DOI^{†1} KEN OHTA^{†1} HIROSHI INAMURA^{†1}
MAKOTO SUZUKI^{†2} HIROYUKI MORIKAWA^{†2}

1. はじめに

仮想的に設定した地図上の境界をユーザが越えたことを検知し、予め決められた処理を自動的に実行することで、場所に応じた情報やサービスが提供できる。このようなジオフェンシング技術は、日常生活におけるリマインドや、子供の見守りや盗難防止などの安心安全サービス、ターゲット広告やモバイル決済など広い応用が期待される[11]。以下では、検知対象の境界に囲まれた領域を監視対象スポットと呼ぶ。

本研究では、監視対象スポットへの入圏を少ない消費電力で検出する省電力入圏検出方式の実現を目的とする。例えば、自宅、職場、店舗などを監視対象スポットとして設定し、その領域への入圏を加速度センサ、基地局測位、GPS測位を効率的に組み合わせる。検出精度を高めるには測位の時間間隔を短くする必要があるが、その反面、測位頻度が増して消費電力が増大するトレードオフがある。また、高精度な測位手段は消費電力が高い傾向があるため、監視対象スポットまでの距離や移動速度に応じて測位手段を選択する必要がある。

入圏の検出を省電力化する関連研究として、移動検出機

能[5][6]、間隔可変測位機能[4][7][8][9][10]、測位手段切替機能[11][12][13]が提案されている。移動検出機能は、加速度センサ等によりユーザが移動状態か静止状態かを判別することで測位の可否を判定する機能である。間隔可変測位機能は、監視対象スポットまでの距離やユーザの移動速度に応じて測位契機を変動させることで測位回数を削減する。測位手段切替機能は、GPS測位や基地局測位などの測位手段を切り替えて、精度を確保しつつも省電力化を図る機能である。

間隔可変測位機能では、端末の移動方向に応じて測位回数を削減することで、さらに省電力化を図ることができる。このような間隔可変測位機能への拡張は、従来、筆者らが提案した省電力入圏検出方式[1]にも適用できる。従来の提案方式では、監視対象スポットから離れた場合や移動速度が小さい場合に、低頻度で測位処理を行う。これに加えて、本稿の提案方式では、監視対象スポットから逸れた方向に向かっている場合に測位回数を削減することにより、消費電力を抑制することができる。

間隔可変測位機能をさらに省電力化する際、ユーザの速度が変化する状況で、誤差を含む少数の測位履歴から監視対象スポットへの到達時刻を予測することが課題となる。監視対象スポットへの到達時刻は、測位履歴から推定した監視対象スポットまでの距離、端末の移動速度や方向に基づいて算出される。この際、測位誤差およびユーザの速度変化に起因する入圏の検出漏れが問題となる。特に、提案

^{†1} NTT ドコモ先進技術研究所 Research Laboratories, NTT DOCOMO, Inc.

^{†2} 東京大学先端科学技術研究センター RCAST, The University of Tokyo.

方式では監視対象スポットから離れた際に消費電力の小さい基地局測位を用いるが、基地局測位の測位誤差はGPS測位と比較して大きい。このため、監視対象スポットに対して測位契機を適切に設定することが難しい。また、ユーザは滞在と移動を繰り返し、移動中にも速度や方向が変化する。測位契機を少なくすると、静止状態から移動を開始した場合や、移動中に監視対象スポットに向かって移動速度を増した場合に検出漏れが発生する。

本稿では、間隔可変測位機能における接近速度の補正アルゴリズムとして、線形補正方式、部分的補正強化方式、常時補正強化方式の3方式を提案する。各方式では、監視対象スポットの方向とユーザの進行方向のなす角度を接近角度と定義し、接近角度の大きさに応じて接近速度が小さくなるように速度を補正する。これにより、端末の進行方向が監視対象スポットから逸れるに従って測位契機の間隔を増加させて測位回数を抑制し、省電力化を図る。線形補正方式では、接近角度に対する線形変換により速度を補正する。部分的補正強化方式では、端末が監視対象スポットから離れる方向に進行している場合に接近速度を小さく見積もる。常時補正強化方式では、接近角度に関わらず他の2方式と比較して補正を強化し、接近速度を小さく見積もる。

シミュレーションにより提案方式を評価した結果、各補正方式は既存の間隔可変測位方式と比較して消費電力を削減する効果があった。最も良い省電力性能を示した常時補正強化方式では、監視対象スポットが1つのシナリオにおいて、消費電力を45%から54%削減した。また、監視対象スポットへの入圏の検出漏れ率は、既存方式と同水準の5%以下に抑制された。監視対象スポットが9つ存在するシナリオにおいても、検出精度を既存方式と同水準に維持しつつ、消費電力を各補正方式で16%から42%削減できることを確認した。また、提案する移動検出機能を併用することにより、監視対象スポットが1つのシナリオにおいて、検出漏れ率に影響を与えずに消費電力をさらに9.5%から32.1%削減することが確認された。

2. 要求条件

ジオフェンシングのアプリケーションは多岐に渡り、アプリケーションに依存して監視対象スポットの数やサイズは変化すると想定される。また、ジオフェンシングサービスを実現する上で、電池残量と測位精度のトレードオフを考慮した制御が重要である。これらのことから、省電力なジオフェンシングサービスを実現するにあたっての要求条件として、以下が挙げられる。

- 端末が監視対象スポットへ到着したことを高精度で検出すること

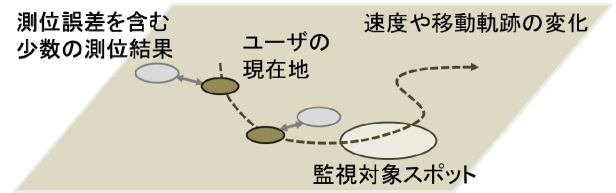


図1. 省電力ジオフェンシングにおける問題

- 異なる監視ポリシーを持つ複数の監視対象スポットを独立に検出すること
- センシングや測位に要する消費電力を抑制すること

これらの要求条件を満たすには、利用可能性、測位精度、消費電力、測位時間等の特徴が異なる複数の測位手段を効率的に組み合わせることが必要である9)。さらに、携帯端末のプロセッサや関連するモジュールが動作している場合の消費電力は、これらが動作していない場合と比較して数百倍程度大きくなる17)。すなわち、測位時間が長くなると携帯端末のシステムはスリープ状態に移行できないため、消費電力への影響が大きくなる。

上記の要求条件を満たすにあたって、測位回数が少なく誤差を含むことおよびユーザの移動経路が予測できないことが問題となる(図1)。消費電力を抑制するにあたり利用できる測位履歴のデータは間欠的かつ少量である。さらに、ユーザの目的や状況によって滞在時間や進路および移動速度は変化する。このように、測位誤差やユーザの移動経路の変化に対して耐性のある方式が必要となる。

3. 関連研究

ジオフェンシングに適用できる省電力機能の既存技術として、移動検出機能5)6)、間隔可変測位機能4)7)8)9)10)、および測位方式切替機能11)12)13)がある。

3.1 移動検出機能

移動検出機能は、端末が静止している場合にセンシングや測位頻度を抑制することにより消費電力を抑制するために利用できるが、端末が移動した場合の省電力化はスコープ外である。静止判定と屋内外の判定の結果に基づいて位置の記録間隔を調整することで省電力化を行う方式5)が提案されている。この方式では、屋外で移動している場合の位置取得間隔は定期的であるため、消費電力を抑制できない。監視対象スポットまでの距離に応じて測位契機を決定する際に、想定する最大速度を適用する方式6)についても、同様の議論が当てはまる。

3.2 間隔可変測位機能

間隔可変測位方式の既存の研究は、各方式毎に省電力化が不十分な側面がある。監視対象スポットの周辺に検出漏れの許容区間を設定する方式4)では、事前に設定した最大の速度を利用するため、消費電力を十分に抑制できない。

このような最大速度の最適値を推定する方式 14)も検討されているが、最大値を固定値とする以上、消費電力の抑制効果は限定的である。センシングと位置情報の送信頻度を動的に変更することにより消費電力を抑制する方式 8)では、移動端末が線形の移動パターンに従う仮定を置いており、移動方向の変化正しく検知するには測位間隔を短くする必要があるため、検出漏れの防止と省電力化を両立することが難しい。

個人の習慣的な移動傾向を利用して省電力で位置を特定する方式 9)では、習慣的な移動経路から離れた場合の経路を、多数の他人の移動経路を統計処理して推定している。この方式では、監視対象スポットへの入圏の検出精度が、経路の予測精度に大きく依存する問題がある。電力消費を抑制するために測位契機を動的に決定する方式は他にも存在するが 10)、細粒度での位置取得によるユーザのトラッキングを目的としているため、本研究には適用できない。

3.3 測位手段切替機能

測位手段を切り替えることで省電力化を図る方式は複数提案されているが、いずれも本研究の目的に合致しておらず適用できない。サーバからセルラー通信の基地局 ID を端末へ通知することにより、端末が監視対象スポットから離れている場合に測位を実施しない方式 11)では、監視対象スポットの存在する基地局 ID を受信すると定期的な測位を実施するため、監視対象スポット付近において消費電力を抑制できない。拡張カルマンフィルタを用いて GSM による測位と GPS のデータを併用する方式 12)は、高層建築物が密集した都市部や屋内を対象とした検討であり、本研究の目的には合致しない。GSM の測位結果を用いて GPS 測位機能の有効化を制御する方式 13)では、静止に近い状態を想定しており、端末が移動している際の省電力化は検討されていない。

4. 提案方式

4.1 システムアーキテクチャ

本研究で提案するシステムのアーキテクチャは、省電力なジオフェンシング機能、監視ポリシーデータベース、ジオフェンシング API から構成される (図 2)。ジオフェンシングアプリケーションは、起動後に、ジオフェンシング API を利用して、ポリシーファイルを監視ポリシーデータベースに登録する。省電力ジオフェンシング機能は、端末がポリシーファイルに記載された監視対象スポットに入圏したことを検知する。検知されたイベントはジオフェンシング API を経由してアプリケーションに対してコールバックにより通知される。

ポリシーファイルは監視対象スポットの位置と半径、発火状態、抑止期間、発火回数を規定する。監視対象スポットは指定した中心地点と半径で示された円形の形状とする。

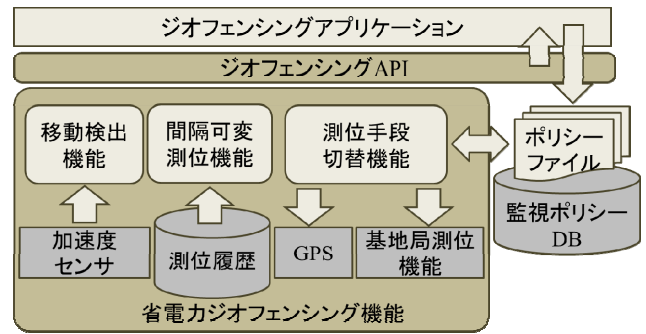


図 2. 省電力ジオフェンシングのシステムアーキテクチャ

発火状態とは端末が監視対象スポットへ入圏したか否かを示し、提案方式においてシステムが入圏と判定すると、発火状態とする。抑止期間とは検知された発火状態の監視対象スポットが一時的に監視対象から除外される期間を示す。例えば、リマインドのアプリケーションにおいて、抑止期間を 1 時間とした場合、最初にリマインドした後、1 時間後に同一のエリアに入圏した状態であれば再度リマインドを行う。複数の監視対象スポットが存在する場合、発火状態が真となっている監視対象スポットのみが監視対象として有効となる。抑止期間が経過すると、発火状態は偽に戻る。発火回数とは、監視対象スポットへの入圏を検出する回数の上限である。発火回数に達した監視ポリシーファイルは破棄し、入圏検出に伴う測位のリソース消費を抑制する。

提案方式は、3 つの省電力機能から構成され、各機能は 2 章で示した要件を満たすために独自の拡張を行っている。

移動検出機能の拡張として、加速度センサによる移動検出の契機を監視対象スポットまでの距離に応じて変化させる機能を追加した。この機能により、システムはより長時間、スリープ状態を維持する。移動検出の時間間隔 T は以下の式により決定する。

$$T = m\sqrt{d}, \quad (1)$$

ここで、 m は時間間隔を調整するパラメータであり、 d は最新の測位結果に基づいて算出した監視対象スポットまでの距離である。ユーザは目的地までの距離が離れているほど高速の移動手段を利用する傾向にあると考えられる。そこで、検出漏れを抑制するため、監視対象スポットまでの距離 d の平方根に比例する値とした。

間隔可変測位機能についても、端末の移動方向を用いて監視対象スポットに対する接近速度を補正する機能を追加した。監視対象スポットへの接近速度を定義する目的は、端末が監視対象スポットに向かっていない場合に測位回数を抑制することである。接近速度の補正アルゴリズムの詳細は 4.2 節で述べる。

測位手段切替機能は、測位誤差の水準と監視対象スポットまでの距離に応じて測位手段を変更する。測位誤差が監視対象スポットの半径に対して大きい場合には、代替の測位手段を利用する。また、監視対象スポットからの距離が閾値を超えた場合には、位置取得精度は低い消費電力の小さい測位手段に切り替える。

4.2 間隔可変測位のアルゴリズム

測位契機は、端末が監視対象スポットに入圏すると予測される時刻に設定する。入圏予測時刻は、各測位契機において得られた位置から監視対象スポットの境界までの距離 d を監視対象スポットに対する接近速度 V_a で除した d/V_a として算出する。なお、測位間隔の最小値をガード値として保持し、高速に監視対象スポットへ向かって移動した場合でも、測位頻度が過度に高頻度にならないよう制御する。

接近速度 V_a とは、端末の移動速度を、監視対象スポット方向を基準とした移動方向に基づいて補正した速度である。補正方式として、線形補正方式、部分的補正強化方式、常時補正強化方式を提案する。各方式における接近速度 V_a は、それぞれ以下の3式により定義する。

$$V_a = \left\{ 1 - \left(1 - \frac{1}{n} \right) \frac{\theta}{\pi} \right\} v \quad (2)$$

$$V_a = \left(\frac{1+n}{2n} - \frac{1-n}{2n} \cos \theta \right) v \quad (3)$$

$$V_a = \left\{ 1 - \left(1 - \frac{1}{n} \right) \sin \frac{\theta}{2} \right\} v \quad (4)$$

ここで、各式における端末の速度 v は最新2回の測位結果に基づいて算出した速度であり、接近角度 θ は、端末の進行方向と監視対象スポットまでの最短距離を与える方向とのなす角である (図3)。

図4に接近速度の補正結果の例を示す。係数 n は接近速度の補正の程度を示すパラメータである。上記(2)~(4)に示した各方式において、端末が監視対象スポットに対して最短距離の方向で進行している場合 ($\theta=0$) には、接近速度 V_a は速度 v に等しく、 θ が大きくなり端末の進行方向が監視対象スポットから逸れるに従って接近速度 V_a は小さくなる。端末の進行方向が監視対象スポットと正反対の方向の場合 ($\theta=\pi$) に、接近速度 V_a は $1/n$ となる。

図5に各方式における接近速度の補正結果の比較を示す。式(2)に示した線形補正方式では、接近角度 θ に対して線形に速度の補正を行う。これに対して、式(3)に示した部分的補正強化方式では、端末が監視対象スポットと逆方向に進行している場合に補正の程度を強化する。すなわち、端末が監視対象スポットの方向に向かっていている場合には端末の速度に近い値を接近速度とし、逆方向に向かっていている場合

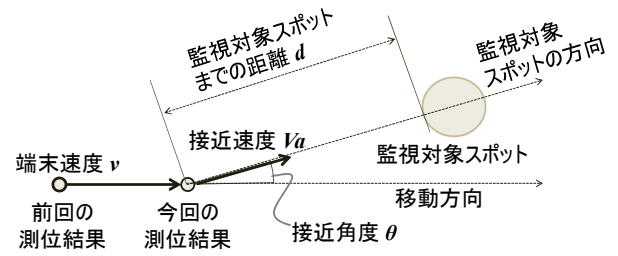


図3. 測位契機を決定するためのパラメータ

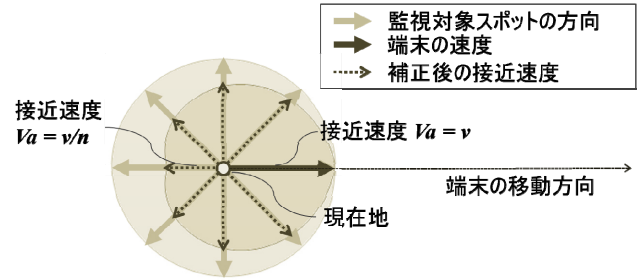


図4. 進行方向と接近速度の関係

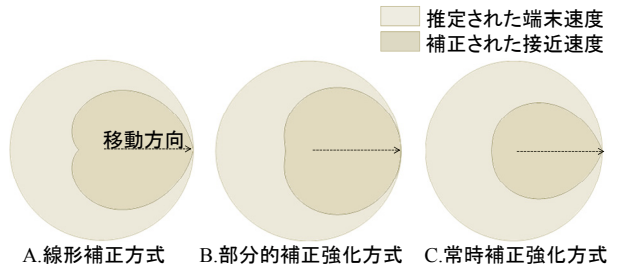


図5. 各補正方式の比較

には、端末速度の $1/n$ に近い値を接近速度とする。式(4)に示した常時補正強化方式では、全方向について、他の2方式と比較して補正の程度を強める。

強い補正を行って接近速度が小さい値に変換された場合、測位間隔が大きくなるため消費電力を抑制する効果は高くなるが、監視対象スポットへの入圏の検出漏れが増加する可能性が高くなる。

5. 評価

5.1 評価環境

Weighted Waypoint 移動モデル (14)を階層的に拡張し、Random Waypoint 移動モデルや Gauss-Markov 移動モデル (18)と比較してより現実的な移動モデルにより、提案方式を評価した。この移動モデルでは、自宅エリア、職場エリアや商業エリアなど、利用者が頻繁に滞在するエリアが存在することを仮定する。従来の Weighted Waypoint 移動モデルをカスタマイズし、広域移動と局地的移動を組み合わせた移動モデルを生成した (図6)。利用者はこれらの滞在エリア間を移動し、一定の確率に従って、実行時にランダムに選択された別のエリアに移動する。滞在エリア間の広域移動は表1の遷移確率行列に従う。表1に含まれる安定度係

数 p は、利用者が自宅から職場に直行する確率を示しており、シミュレーションでは 0.5 とした。移動速度は、広域移動では平均 40km/h、標準偏差 20km/h の正規分布に従い、局地的移動は平均 4km/h、標準偏差 1km/h の正規分布に従うものとし、滞在エリアを出発する度に決定する。また、移動中の速度変化を模擬するため、広域移動時の滞在エリア内での移動速度は局地的移動の速度とした。シミュレーションのエリア全体は 120km 四方の正方形とした。

監視対象スポットの数を変更した 2 つのシナリオで提案方式の評価を行った。シナリオ 1 では、単一の監視対象スポットを商業エリアの中心に配置した。監視対象スポットの半径は各シナリオで共通して 1km とした。シナリオ 2 では、9 箇所の監視対象スポットを (20km, 20km), (60km, 20km), (100km, 20km), (60km, 20km), (60km, 60km), (60km, 100km), (100km, 20km), (100km, 60km), (100km, 100km) の位置に格子状に配置した。シナリオ 2 は、監視対象スポットが滞在エリアの外部に設定されており、端末はこれらの監視対象スポットを移動中に短時間で通過することから、検出漏れを発生しやすいシナリオである。なお、滞在エリアがシミュレーション中にランダムに設定される場合には、これらの監視対象スポット内となる可能性もある。さらに、シナリオ 1 と比較して監視対象スポットが密に存在することにより、端末は監視対象スポットの近傍に位置する時間が長くなる。このため、監視対象スポットへの入圏の検知精度を維持するには、測位頻度を高くすることが必要となる。

5.2 評価方式

シミュレーションでは、接近距離を補正する方式と補正しない方式について提案方式の評価を行った。接近距離の補正に利用するパラメータ n は 1 から 5 までの整数値で変化させ、もっとも良い性能を示す 4 とした。比較対象の既存方式として、5 分毎に定期的に測位を行う定期測位方式と、GPS のみを用いて間隔可変測位を行う方式を評価した。また、提案方式と既存の間隔可変測位方式における最小の測位間隔のガード値は 1 分間とした。また、監視対象スポットまでの距離に応じて可変の時間間隔で実施する提案方式を評価するため、移動検出を定期的に実施する方式と比較した。移動検出の定期実施の時間間隔は 1 分間とした。移動検出を可変時間間隔とする提案方式における時間間隔の調整パラメータ m は 4 とした。各方式は 1,000 回の平均値により結果を算出した。

GPS 測位の消費電力は測定環境に依存して変化するため、楽観値と悲観値を設定して評価した。シミュレーションにより得られた測定回数に基づき、センシングや位置測位の効率化を検討した文献 2)17)より得た表 2 に記載の値を用いて消費電力に換算した。各文献で示された値とセンシングもしくは測位処理の時間からシステム起動を含む消費電

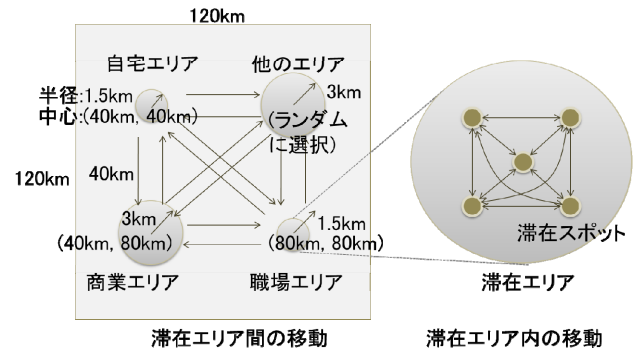


図 6. 階層型 Weighted Waypoint 移動モデル

表 1. 滞在エリア間の移動の遷移確率行列

		今回の滞在エリア			
		自宅エリア	職場エリア	商業エリア	他のエリア
現状の滞在エリア	自宅エリア	0.1	p	$(0.9-p)/2$	$(0.9-p)/2$
	職場エリア	p	0.1	$(0.9-p)/2$	$(0.9-p)/2$
	商業エリア	p	$(0.9-p)/2$	0.1	$(0.9-p)/2$
	他のエリア	p	$(0.9-p)/2$	$(0.9-p)/2$	0.1

p : 安定度係数

表 2. センシングに要する消費電力のパラメータ

	システム アイドル状態	加速度 センサ	GPS		基地局 測位
			楽観値	悲観値	
消費電力 (Ws)	-	-	1.323	6.616 [2]	1.013 [2]
消費電流 (mA)	100 [17]	100 [17]	-	-	-
センシング/測位時間(s)	-	1	3	30	3 [2]
システムを含む 消費電力 (mAh)	-	0.0556	0.183	0.913	0.159

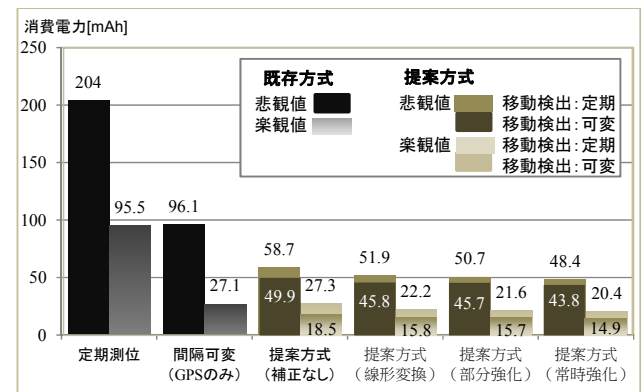


図 7. 消費電力 (単一の監視対象スポット)

力として評価を行った。

5.3 シナリオ 1 の評価結果

シナリオ 1 では、接近速度の補正を行なう 3 方式は、補正を行わない場合と比較して省電力化の効果が大きく、常時強化方式は最も高い省電力性能を示した (図 7)。提案方式における補正方式の効果は、移動検出機能を定期間隔としたグラフにより比較できる。提案方式では補正無しの場合、既存の間隔可変測位方式と比較して悲観値では 38% の

改善となり、楽観値では0.7%の悪化となった。一方、本稿の提案である各補正方式では、悲観値で46%から50%の改善となり、楽観値で18%から25%の改善となった。また、移動検出機能の時間間隔を可変とした場合、さらに消費電力が削減され、最も省電力性能の高い常時強化方式では、既存の間隔可変測位方式と比較して悲観値で54%、楽観値で45%の消費電力が削減された。

シナリオ1における検出漏れ率は、既存方式と提案方式を含む全方式が5%未満であり、提案方式は既存の定期測位方式や間隔可変測位方式よりも小さい値となった(図8)。移動検出機能の時間間隔を可変とした場合でも、図8とほぼ同様の結果であった。このことから、移動検出機能時間間隔を可変とした場合、検出漏れへの影響をほとんど発生させずに消費電力の抑制に寄与しているといえる。

5.4 シナリオ2の評価結果

シナリオ2における消費電力についても、シナリオ1と同じ傾向を示し、提案の3方式において補正の効果が確認され、常時強化方式は最も高い省電力性能を示した(図9)。移動検出機能の時間間隔を固定とした場合、提案方式では補正無しの場合、既存の間隔可変測位方式と比較して、悲観値では29%の改善となり、楽観値では0.5%悪化した。一方、補正方式では、悲観値で36%から40%の改善となり、楽観値で16%から22%の改善となった。また、提案方式で移動検出機能の時間間隔を可変とした場合、さらに消費電力が削減され、常時強化方式では既存の間隔可変測位方式と比較して悲観値で43%、楽観値で37%の改善となった。

シナリオ2における検出漏れ率は、定期測位や間隔可変測位および提案方式のいずれも11%程度であった(図10)。シナリオ1と比較して検出漏れ率は全方式で悪化したものの、提案方式では、既存方式と同水準の検出漏れ率を維持しつつ、消費電力を抑制できているといえる。また、シナリオ1と同様に、移動検出機能の時間間隔を可変とした場合でも、図10とほぼ同様の結果であった。

5.5 提案方式における省電力化の寄与率

以上の結果から、提案方式における各補正方式はいずれも検出漏れを増大させることなく、消費電力を削減する効果があることが確認された。表3に各補正方式の補正を行わない提案方式に対する消費電力削減の寄与率を示す。いずれの方式も約10%以上の消費電力削減効果を示したが、常時補正方式が最も高い省電力性能を示し、補正を行わない場合と比較して各シナリオで15.2%~25.2%の寄与率であった。

また、提案方式における移動検出機能は、検出漏れに影響を与えることなく、消費電力を削減する効果があることが確認された。表4に移動検出機能による消費電力削減の寄与率を示す。シナリオ1において9.5%から32.1%、シナリオ2において4.1%から23.8%の消費電力を削減する効果が確認された。

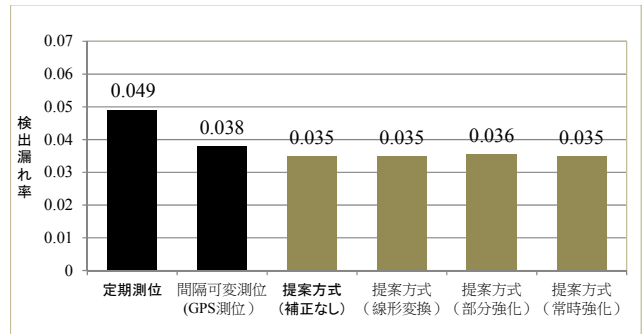


図8. 検出漏れ率 (単一の監視対象スポット)

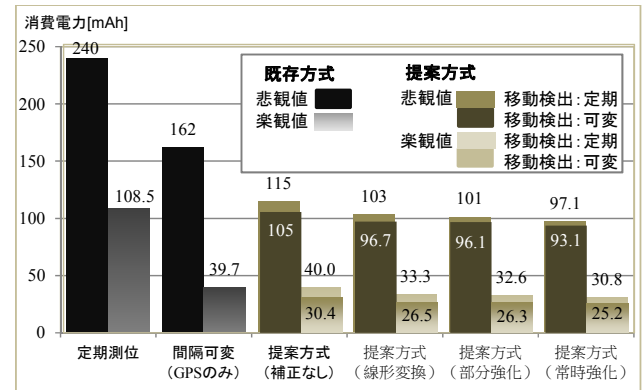


図9. 消費電力 (9箇所の監視対象スポット)

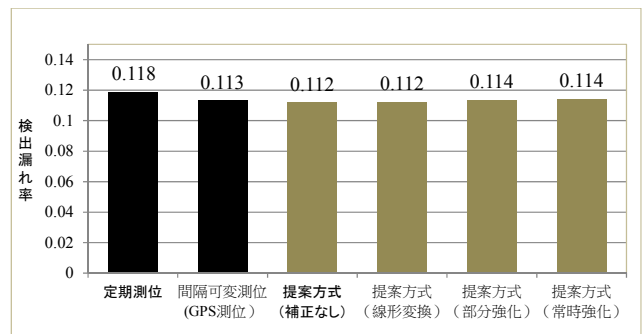


図10. 消費電力 (9箇所の監視対象スポット)

表3. 各補正方式の消費電力削減の寄与率

		線形補正方式	部分補正強化方式	常時補正強化方式
シナリオ1	悲観値	11.6%	13.6%	17.5%
	楽観値	18.4%	20.7%	25.2%
シナリオ2	悲観値	9.9%	11.6%	15.2%
	楽観値	16.7%	18.4%	22.9%

表4. 移動検出機能の消費電力削減の寄与率

		提案方式補正なし	線形補正方式	部分補正強化方式	常時補正強化方式
シナリオ1	悲観値	15.0%	11.6%	9.9%	9.5%
	楽観値	32.1%	28.9%	27.4%	26.9%
シナリオ2	悲観値	8.4%	6.3%	5.0%	4.1%
	楽観値	23.8%	20.3%	19.2%	18.1%

6. おわりに

本論文では、既存の省電力機能を独自に拡張して組み合わせたジオフェンシングに適したシステムのアーキテクチャを示した。特に、接近速度を補正する機能を間隔可変測位方式に組み込むことにより、端末の進行方向に応じて測位間隔を削減する方式を提案した。シミュレーションにより、監視対象スポットが1つのシナリオでは、提案方式では既存の間隔可変測位方式と比較して消費電力を45%から54%削減し、検出漏れ率は5%未満に維持できることが確認された。また、監視対象スポットまでの距離に応じて可変の時間間隔でセンシングを行う移動検出機能は、同シナリオにおいて、検出漏れに影響を与えることなく消費電力を9.5%から32.1%削減できることが確認された。

今後の課題として、屋内や地下におけるGPSの測位誤差の増大など、測位誤差が変動した場合の評価を行う。また、提案方式をスマートフォンに実装し、シミュレーション結果との整合性を評価する。

参考文献

- 1) 中川 智尋, 土井 千章, 太田 賢, 稲村 浩, “コンテキストウェア・サービスのための間欠的切替測位による省電力入圏検出方式,” DICOMO2012, 2012.
- 2) U. Bareth and K. Axel, “Energy-Efficient Position Tracking in Proactive Location-Based Services for Smartphone Environments,” pp. 535–540, IEEE COMPSAC, 2011.
- 3) J. Martens and U. Bareth, “A declarative approach to a user-centric markup language for location-based services,” in Proceedings of the 6th International Conference on Mobile Technology, Application & Systems. ACM, 2009.
- 4) T. Farrell, U. Stuttgart, R. Cheng, H. Kong, and K. Rothermel, “Energy-Efficient Monitoring of Mobile Objects with Uncertainty-Aware Tolerances,” IEEE IDEAS, 2007.
- 5) C. Lee, M. Lee, and D. Han, “Energy-efficient Location Logging for Mobile Device,” IEEE 10th Annual International Symposium on Applications and the Internet (SAINT), 2010.
- 6) Y. Chon and H. Cha, “LifeMap: a smartphone- Based context Provider for Location-Based services,” IEEE Pervasive Computing, pp. 58–67, 2011.
- 7) I. M. Taylor and M. A. Labrador, “Improving the Energy Consumption in Mobile Phones by Filtering Noisy GPS Fixes with Modified Kalman Filters,” IEEE WCNC, pp. 2006–2011, 2011.
- 8) T. Farrell, R. Lange, and K. Rothermel, “Energy-efficient tracking of mobile objects with early distance-based reporting,” IEEE MobiQuitous, 2007.
- 9) I. C. Duke, S. G. Uiuic, M. S. Duke, R. Roy, C. Duke, and L. C. Duke, “EnLoc : Energy-Efficient Localization for Mobile Phones,” INFOCOM '09, no. 4, pp. 2716–2720, 2009.
- 10) M. B. Kjærgaard, J. Langdal, T. Godsk, and T. Toftkjær, “EnTracked : Energy-Efficient Robust Position Tracking for Mobile Devices,” ACM MobiSys '09, pp. 221–234, 2009.
- 11) U. Bareth, “Privacy-aware and Energy-efficient Geofencing through Reverse Cellular Positioning,” IEEE IWCMC, pp. 153–158, 2012.
- 12) C. Fritsche, A. Klein, and D. Würtz “Hybrid GPS/GSM Localization of Mobile Terminals using the Extended Kalman Filter,” the 6th Workshop on Positioning, Navigation, and Communication 2009 (WPNC'09), 2009.
- 13) N. Deblauwe and G. Treu, “Hybrid GPS and GSM Localization - Energy-efficient Detection of Spatial Triggers,” the 6th Workshop on Positioning, Navigation, and Communication 2008 (WPNC'08), 2008.
- 14) W. Hsu, K. Merchant, H. Shu, C. Hsu, and A. Helmy, “Weighted Waypoint Mobility Model and its Impact on Ad Hoc Networks,” ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review, pp. 59-63, 2005.
- 15) D. Pfoser and C. Jensen: “Capturing the Uncertainty of Moving-Object Representations,” the 6th Int'l Symp. Spatial Databases (SSD'99), Hong Kong, 1999.
- 16) D. Raskovic and D. Giessel, “Battery-Aware Embedded GPS Receiver Node,” 4th Annual International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems: Networking and Services (MobiQuitous 2007), IEEE, 2007.
- 17) B. Priyantha, D. Lymberopoulos, and J. Liu, “LittleRock : Enabling Energy- Efficient Continuous Sensing on Mobile Phones,” IEEE Pervasive Computing, pp. 12–15, 2011.
- 18) J. Ariyakhajorn, P. Wannawilai, and C. Sathitwiriawong, “Comparative Study of Random Waypoint and Gauss-Markov Mobility Models in the Performance Evaluation of MANET,” IEEE ISCT '06, pp. 894–899, 2006.