

# ジオフェンシングにおける端末省電力化のための 各種センサを用いた屋内外判定手法の検討

小野 美郁<sup>1</sup> 中村 嘉隆<sup>1,a)</sup> 関谷 仁志<sup>1</sup> 本田 和明<sup>2</sup> 高橋 修<sup>1</sup>

**概要:** ジオフェンシング技術は、対象端末が仮想的に設置された境界を通過したことを検知し、その端末に対してあらかじめ決められた処理を端末が自動的に実行することで、場所に応じたサービスを提供することが可能である。しかし、位置情報の検出には大きな電力を必要とするため、地図上の仮想境界通過をいかに小さい消費電力で検出するかが課題となっている。これまでに、端末の移動検出による静止時の測位停止、状況に応じた測位手段の切り替え、測位間隔の可変性などの手法を用いて省電力化を実現する手法が提案されている。これの3つの機能を組み合わせ、さらなる省電力化を図る手法も研究されているが、いずれも屋内などのGPS測位が困難な状況においては有効性が低下する。本稿では、各種センサを用いて屋内外で差異の発生する物理量を観測し、屋内外の移動を推定することによって、屋内滞在時のGPS測位を停止し、ジオフェンシング技術の省電力化を目指す。

## 1. はじめに

GPS(Global Positioning System) が組み込まれたスマートデバイスの普及により、位置情報の取得が容易になったため、ユーザの位置に応じて適切なサービスを提供する位置情報サービスの需要が高まっている。これらのうち幅広い応用が期待できるM2M(Machine to Machine)形式の位置情報サービス提供手法としてジオフェンシング技術[1]等が注目されている。ジオフェンシング技術は、サービス提供者がWeb上の地図などに予め仮想的に設置した境界(以下ジオフェンス)と、位置情報取得可能な端末を持ったサービス利用者との位置関係を検出し、利用者端末のジオフェンス内への出入り判定に基づいて、予め決められた処理を利用者側の端末で自動的に実行することで、場所に応じた情報やサービスの自動的な提供を可能にする。ジオフェンシング技術を利用したサービスとしては“ご当地information”[2]、“Arrived!”[3]や、利用者の位置情報と最寄り店舗の情報を連動させたO2O(Online to Offline)サービス、車両等の盗難防止や受刑者の監視などの位置監視サービスなどがある。

ジオフェンシング技術を用いたサービスを実現するため

には、ジオフェンス内外の判定を正確に行う必要があるため、高い精度の位置情報を取得する必要がある。屋外におけるジオフェンシング技術を用いたサービスの多くはGPSから利用者側端末の位置情報を取得しており、この情報を用いてジオフェンス内外の判定を行っている。また、基地局からの電波強度(Received Signal Strength Indicator, RSSI)を利用したHexRinger[4]を用いた位置情報取得方式も存在する。また、屋内における位置推定手法は、無線通信技術を用いて推定するもの[5],[6]、無線LAN基地局の位置情報とRSSIを用いて推定するもの[7]、Fingerprint方式を用いて推定するもの[8],[9]がある。屋外のみ、屋内のみにおけるジオフェンシングサービスの利用を考えた場合は、利用場所に応じて上記の各種位置情報取得技術を用いればよいが、屋内外にわたるジオフェンスの存在を考えた場合、屋内用と屋外用の位置情報取得技術を併用して用いる必要がある。

ジオフェンシング技術を用いる際、利用者側端末が絶えず自らの位置情報を取得し続ける必要がある点が大きな問題となっている。一般にGPSなどの位置情報取得技術は大きな電力消費を必要とする。たとえば、GPSを常時起動した状態は待ち受け状態に比べて120倍の電力を消費する。現状では利用者端末の電源容量はそれほど大きくないため、この電力消費問題はジオフェンシングサービス利用可能時間の短縮という問題につながる。文献[10]では利用者端末の移動検出機能、測位手段切替機能、および間隔可変測位機能を組み合わせることで位置情報取得時の端末消

<sup>1</sup> 公立はこだて未来大学 システム情報科学部  
School of Systems Information Science, Future University  
Hakodate, Kamedanakano-cho 116-2, Hakodate, Hokkaido,  
041-8655, Japan

<sup>2</sup> 株式会社 IDY  
IDY Corporation

a) y-nakamr@fun.ac.jp

費電力の削減を試みている。しかし、この手法は屋外における測位のみを想定しているため、屋内も含んだジオフェンシングサービスでは、電力削減効果が小さくなる。一方、文献 [11] は、気温情報を用い、屋内など GPS 測位が不可能な状況を検知して GPS 機能を OFF にすることで消費電力を削減している。屋内ジオフェンシングを想定した場合、GPS と屋内位置推定手法を切り替えながら併用して無駄な電力を削減する必要があるが、気温情報は季節や天候に左右されるため、精度の高い屋内外判定ができず、効果的な削減ができない状況も起こりうる。

そこで本稿では、温度情報に加え、照度・紫外線量の情報を用いて高精度な屋内外判定を実現し、屋外におけるジオフェンシングサービスの電力削減技術と組み合わせて、ジオフェンシングサービスの電力消費を改善する手法を検討する。

## 2. 関連研究

### 2.1 GPS 測位抑制を用いた省電力化手法

消費電力の大きい GPS 測位を抑制するために用いられる手法は、移動検出機能、測位手段切替機能、間隔可変測位機能の3つの機能を用いたものが多く見られる。

移動検出機能は、利用者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ために利用される。GPS によって取得された位置情報から、端末が静止状態であると判定できる場合、GPS を停止して加速度センサを起動し、端末の状態を監視する。端末が移動を開始し、加速度が計測されたときに加速度センサを停止して GPS を起動する。利用者は滞在と移動を繰り返すため、滞在状態での測位を抑制でき、効果的な省電力化が可能となる。しかし、加速度による移動検出機能は、端末が移動し続けている状態では消費電力を抑制できないため、文献 [12] では、移動検出機能を拡張して加速度センサによる移動検出タイミングを仮想境界までの距離に応じて変化させる機能を追加している。端末は仮想境界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ており、この手法では、検出漏れを抑制するために仮想境界までの距離の平方根に比例する値を検出間隔としている。この機能により、GPS のスリープ状態を長時間維持することができる。

測位手段切替機能は、環境に応じてより消費電力の小さい測位手段に切り替えるために用いられる。文献 [1], [14] は GPS 測位と無線基地局測位を用い、各測位手段の測位誤差水準と端末から仮想境界までの距離を考慮している。仮想境界までの距離が測位誤差水準より十分大きい場合は、消費電力の大きい GPS 測位を停止して消費電力の小さい基地局測位に切り替えることで省電力化を実現している。

間隔可変測位機能は、仮想境界と端末の距離を算出し、その距離と予想される接近速度から仮想境界への到達時間を算出し、測位間隔を調整することで測位回数を削減す

る [15], [16]。この機能を利用する場合、接近速度の予測が問題となる。端末が移動する最大速度を事前に予測し、利用するものがあるが、文献 [17] では、速度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としている。文献 [12] 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方式を提案している。これらの方式では、仮想境界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している。これにより、端末の進行方向が仮想境界から離れるに従って、測位タイミングの間隔を増大させて測位回数を抑制し、省電力化を図っている。

文献 [10] では、ジオフェンシングにおいて効果的な省電力化を実現するために、これらの移動検出機能、測位手段切替機能および間隔可変測位機能を組み合わせた消費電力削減手法を提案している。

### 2.2 屋内外移動タイミングを用いた省電力化手法

GPS は、GPS 衛星の検出時に大きく電力を消費するため、屋内などの GPS 測位が難しい場所において GPS を起動したままにしておくことは無駄な電力を大量に消費することになる。そこで文献 [13] では、測位精度と端末消費電力の関係から、測位手段としては GPS を優先して利用することが望ましいとし、GPS 測位が困難である場所、すなわち屋内では GPS 測位を停止し、GPS 測位が可能な場所、すなわち屋外に移動次第、GPS 測位を再開することで消費電力の削減を目指している。端末が屋内から屋外へ、もしくは屋内から屋外へ移動した場合、その周辺気温は大きく変化している可能性が高い。そこで、屋内外移動タイミングを推定する手法として気温情報を用いる手法を提案している。この手法では、温度センサを用いて定期的に端末の周辺気温を記録し、その気温変化が大きい時間を屋内外の移動タイミングであると推定している。

文献 [18] では2010年の東京における各季節の屋内平均気温を調査している。これと気象庁の観測した2010年の屋外平均気温 [19] を比較すると、表1のようになる。これ

表 1 2010年東京における屋内外温度差

季節	屋内平均気温 (°C)	屋外平均気温 (°C)	温度差 (°C)
春	20.2	13.5	6.7
夏	28.0	27.1	0.9
秋	24.7	19.2	5.5
冬	17.6	7.8	9.8

によると、夏以外の季節においては屋内外に一定以上の温度差があり、温度による屋内外移動推定が可能であるように見える。しかし、夏は温度差がほとんどないことや、建物の構造によっては屋内外の温度差が小さくなることが考

えられるため、温度のみによる推定では正確な屋内外移動推定は難しい。また、利用者端末を携帯することを想定した場合、端末自身や利用者の身体等、大気以外の発熱体が温度センサに与える影響も大きくなる。このため、効果的な消費電力の削減を実現するためには、温度以外の情報を用いて屋内外移動タイミング推定の精度を向上させる必要がある。

### 3. 提案手法

温度以外に屋内外で特徴が異なる物理量として、照度および紫外線量が挙げられる。照度は夜間の屋外、夜間の屋内、昼間の屋内、曇天・雨天時の昼間の屋外、晴天時の昼間の屋外で大きく異なる値が得られることが知られている [20]。例えば、夜間の街灯の照度と屋内の蛍光灯の照度には 50~1000 倍の差がある。また、紫外線はガラスを隔てるだけで大半が遮断されるため、屋内は屋外の 10%以下になるという調査結果がある [21]。そこで、本稿では、温度センサに加え、照度センサ、紫外線センサを用いることにより、より正確な屋内外移動タイミング推定方式を検討し、既存の屋外ジオフェンシング省電力化技術と組み合わせることでより効果的な消費電力削減手法を提案する。

#### 3.1 想定環境

まず、利用者端末には GPS モジュール、加速度センサ、温度センサ、照度センサ、紫外線センサが搭載されているものとする。また、ジオフェンシングは屋内外に跨がって設定されるようなケースを想定する。

#### 3.2 屋内外移動タイミングの推定

屋外から屋内に入る場合、まず GPS 測位が正しい結果を返さなくなり、その後屋内外の環境差に応じて温度・照度・紫外線量等の各物理量の変化が始まる。逆に屋内から屋外に出る場合は、各物理量が変化し始めた後に、正しい GPS 測位結果が得られるようになる。従って、各センサの起動・停止を同時に行うと、障害物などで GPS 測位がしにくい箇所や屋内に入ってからすぐに出てきた（屋外に出てすぐに屋内に戻った）場合などに、現在の状況を把握できなくなる虞がある。例えば、屋外にいるにもかかわらず屋内にいると判定して、GPS モジュールを起動しない状態を維持し続けてしまうパターンが考えられる。

そこで、屋外モード、屋内外移動判定モード、屋内モードの 3 つの状態を用意する。屋外モードでは GPS モジュールのみを起動して、測位を行う。GPS が不正確な測位結果を返した時点で、屋外から屋内への移動が開始されていると予測できるため、屋内外移動判定モードに入る。屋内外移動判定モードでは GPS モジュールとともに温度・照度・紫外線の各センサを起動する。屋内への移動完了後の屋内モードでは、GPS モジュールを停止し、文献 [22] な

どの既存の屋内位置推定手法を用いてジオフェンシングを継続する。屋内モードにおいて各センサのデータに変化が現れたときには GPS モジュールを起動して屋内外移動判定モードに戻る。

この時の状態遷移は図 1 のようになる。

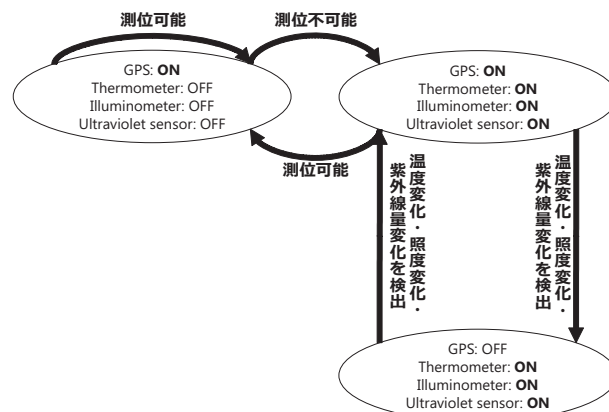


図 1 屋内外移動タイミング推定

#### 3.3 省電力ジオフェンシング手法

文献 [10] の既存ジオフェンシング手法を拡張して、3.2 節の屋内外移動タイミング推定機能を取り入れることで、端末の消費電力を削減したジオフェンシング手法を提案する。提案ジオフェンシング手法の概要は図 2 の通りである。

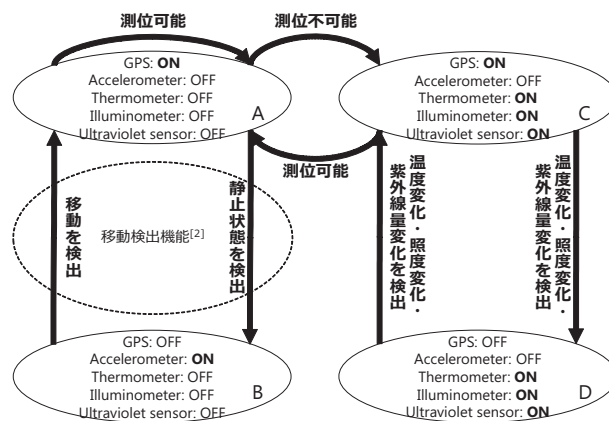


図 2 提案ジオフェンシング手法概要

まず、屋外滞在時は利用者が移動している限り GPS 測位を継続し、ジオフェンシングとの位置関係を監視し続ける（状態 A：屋外モード）。このときも、文献 [10] の移動検出機能・測位手段切替機能・間隔可変測位機能を用いることで省電力化を図る（状態 B）。一方、GPS モジュールが不正な位置情報を返すなど、正しい測位が困難な状況になった場合、GPS モジュール以外の温度センサ・照度センサ・紫外線センサを起動し、周辺状況の監視を開始する（状態 C：屋内外移動判定モード）。その後、再び GPS 測位が可

能となった場合は、屋外であると判断して温度・照度・紫外線の各センサを停止し、GPSによる屋外ジオフェンシングを継続する(状態 A)。屋外から屋内への移動が行われた場合には、温度・照度・紫外線量のいずれかにおいて急激な変動が得られる。そこで、これらのセンサにおいて観測したデータの変化量が一定の閾値を超えた場合に、屋内外の移動が行われたと推定する(状態 C → D)。各センサの観測データの変動がなくなり、屋内外移動が完了したと推定された場合は、GPSを停止し、温度センサ・照度センサ・紫外線センサによる屋内での移動を監視する状態に移行する(状態 D: 屋内モード)。屋内では屋内用ジオフェンシング手法を用いてジオフェンシングを継続する。屋内モードにおいて、各センサで屋内から屋外への移動に値する変化量が観測された場合、GPSモジュールを起動して測位を開始し、屋外での移動に備える(状態 C: 屋内外移動判定モード)。

## 4. 実験

### 4.1 温度による屋内外推定

温度による屋内外推定が可能であるかどうかを確認するため、スマートフォン内蔵センサ及び外付け温度センサを用いて、温度変化の計測実験を行った。

まず、スマートフォン端末(Samsung製 GALAXY SII)の内部温度センサによって、屋内外を移動した際の温度を計測した。2013年12月に公立ほこだて未来大学内にて実験を行い、計測開始から1分後(=60秒後)に屋内から屋外に移動するシナリオで計測している。この時の屋内温度は約23°C、屋外温度は約0°Cであった。また、温度センサの計測周期は30秒としている。

計測結果は図3のようになった。縦軸が計測された温度(°C)、横軸は計測開始からの経過時間(sec)である。計測

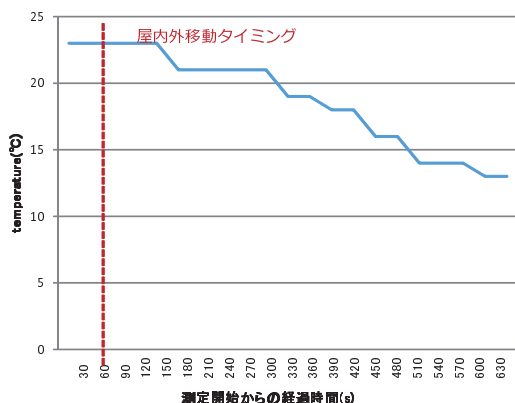


図3 内蔵温度センサを用いた温度変化計測

結果より、屋内から屋外に移動してしばらくした後から、計測温度が徐々に低下し始めるが、移動後約10分経っても10°C程度しか低下しておらず、屋内外移動に伴う温度

変化に追従できていないことがわかる。

次に外付けの温度センサ(National Semiconductor社製 LM35CZ)によって、屋内外を移動した際の温度を計測した。2013年12月に公立ほこだて未来大学内にて実験を行い、計測開始から3分後(=180秒後)に屋内から屋外に移動するシナリオで計測している。この時の屋内温度は約23°C、屋外温度は約0°Cであった。また、温度センサの計測周期は1秒としている。

計測結果は図4のようになった。縦軸が計測された温度(°C)、横軸は計測開始からの経過時間(sec)である。計測

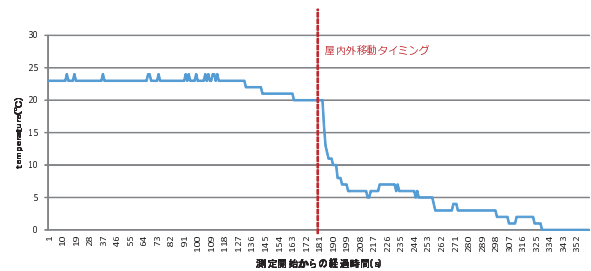


図4 外付け温度センサを用いた温度変化計測

結果から、屋内から屋外に移動したタイミングで、急激に温度データが低下していることがわかる。

スマートフォンの内部温度センサはスマートフォンのバッテリー温度計測を目的に搭載されている。そのため、内部温度センサによる温度計測は、端末自身から発生する熱の影響を大きく受けており、端末周辺温度の計測には不向きであると言える。一方、外付けの温度センサを用いれば、端末自身の熱の影響を小さくすることができ、比較的正確な端末周辺温度を計測可能である。以上の結果より、外付けの温度センサを用いた場合は、屋内から屋外への移動の推定が十分可能である。

### 4.2 照度による屋内外推定

タブレット端末 NEXUS 7(ASUS製 ME370T)の内蔵照度計を用い、2014年10月に公立ほこだて未来大学内において、屋内外における照度の比較実験を行った。図5のように校舎は南面、天井の一部がガラス張りであり、一般的な建物より屋内外の照度差が小さい環境である。まず、曇りの日(2014年10月8日)に、端末を体前面に保持しながら図6のような経路で移動し、その間連続的に照度計測実験を行った。この実験では13時42分02秒の時点で屋外から屋内に入り、13時44分55秒で一旦屋外に出て、13時46分45秒時点で再び屋内に入っている。ちなみに、このときのGPS測位結果は図7のようになり、屋内での位置推定はほとんどできていないことがわかる。照度計測結果は図8の通りである。縦軸は照度(lx)、横軸は時刻を表わしている。曇りの日であるために、雲の移動や建物による日光の遮蔽によって照度差が生じているものの、屋内で

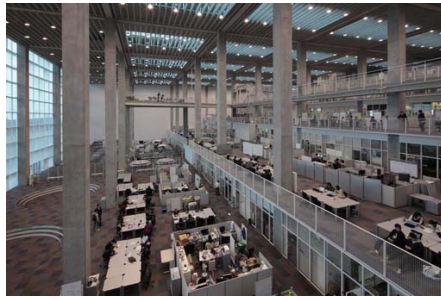


図 5 実験環境

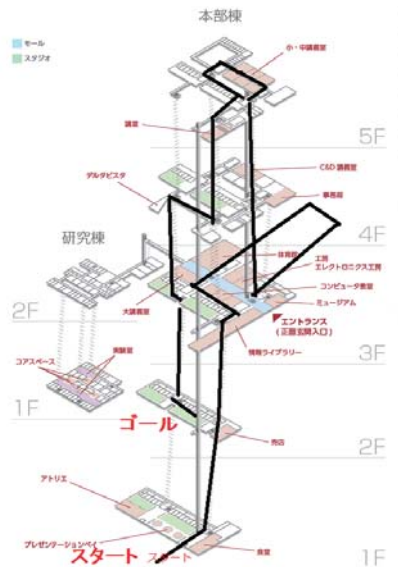


図 6 実験経路

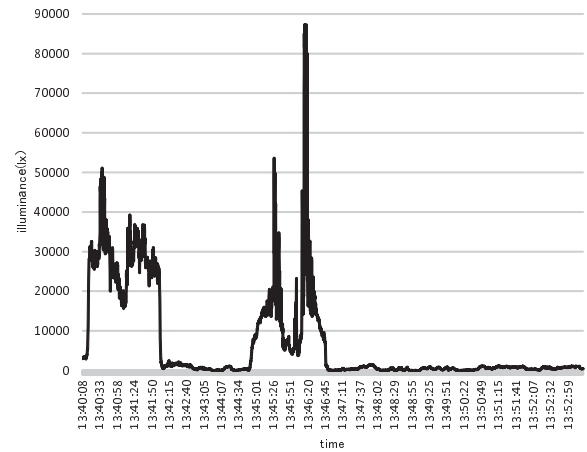


図 8 照度変化 (曇り)

る。照度計測結果は図 10 の通りである。縦軸は照度 (lx),

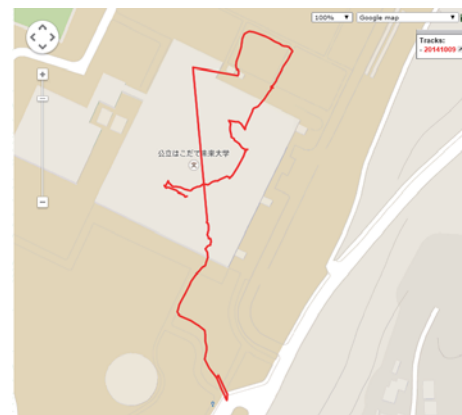


図 9 GPS 計測結果 (晴れ)

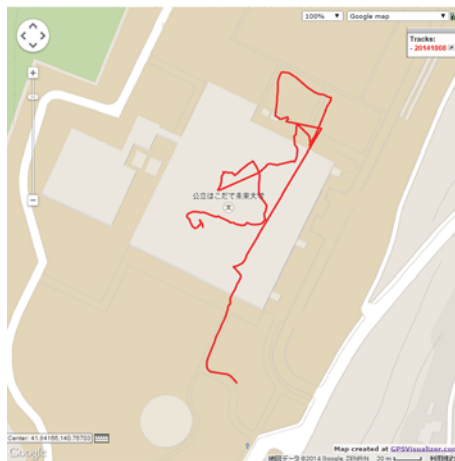


図 7 GPS 計測結果 (曇り)

横軸は時刻を表わしている。曇りの日よりも屋外では全体

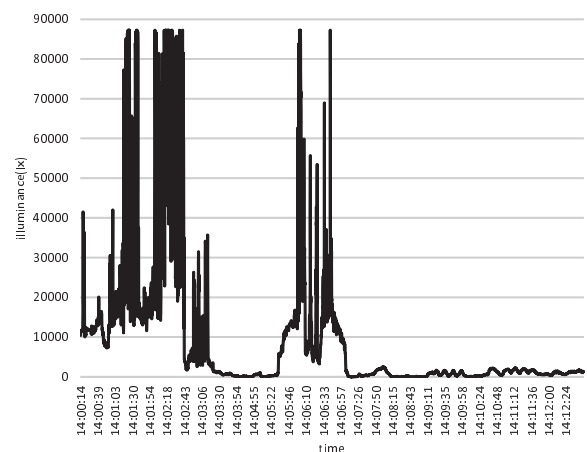


図 10 照度変化 (晴れ)

の照度はそれらの照度よりずっと低いため、屋内と屋外を判別する閾値が存在しうることがわかる。

また、晴れの日 (2014 年 10 月 9 日) にも同一環境において連続的に照度計測実験を行った。この実験では 14 時 03 分 21 秒の時点で屋外から屋内に入り、14 時 05 分 31 秒で一旦屋外に出て、14 時 07 分 05 秒時点で再び屋内に入っている。このときの GPS 測位結果は図 9 のようになり、やはり屋内での位置推定はほとんどできていないことがわか

的に照度が高くなっているものの、屋内での照度はほとんど変わっておらず、この場合も屋内と屋外を判別する閾値が存在しうることがわかる。

これらの実験結果より、昼間の時間帯では照度による屋内から屋外への移動の推定は十分可能であるといえる。

## 5. 消費電力に関する考察

GPS モジュールを他のセンサに切り替えた場合の消費電力の差を調査した。使用したセンサはスマートフォンにも用いられているものであり、Broadcom 製 GPS モジュール BCM4751, 村田製作所製照度センサ LT-1PA01, ラピスセミコンダクタ製紫外線センサ ML8511, National Semiconductor 社製温度センサ LM35CZ である。比較結果は表 2 の通りである。どのセンサも GPS モジュールに比べ格段に低い消費電力であるといえ、複数のセンサを同時に起動した場合でも、GPS モジュールを起動するより低電力にできる。このため、GPS 測位が困難な地点においてこれらのセンサで屋内外移動の推定を行うことは、ジオフェンシングの省電力化に貢献できると考えられる。

表 2 センサの消費電力

センサ	消費電流	GPS モジュールとの比較
GPS モジュール	50 mA	1
照度センサ	80 $\mu$ A	約 1/1000
紫外線センサ	300 $\mu$ A	約 1/100
温度センサ	70 $\mu$ A	約 1/1000

## 6. まとめ

本稿では、温度センサおよび照度センサ、紫外線センサを用いて、より正確な屋内外の移動タイミングを推定することで、屋内の場合のみ GPS 測位を停止させ、屋内における電力消費を抑える手法を提案した。実験の結果、温度センサおよび照度センサを用いた場合、屋内外の移動を推定するに十分な物理量の差異が観測された。今後は、紫外線センサを用いた紫外線変化量評価実験、および季節・天候・時間等を変化させた様々な環境における屋内外推定の精度評価を行う必要がある。

## 参考文献

[1] U. Bareth: "Privacy-aware and Energy-efficient Geofencing through Reverse Cellular Positioning," Proceedings of the 8th International Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC2012), pp.153-158, 2012.

[2] NTT タウンページ株式会社: "ご当地 information," <https://itp.ne.jp/contents/sangyohyakusen/mitoshi/appinfo/index.html>.

[3] underscore.Inc.: "Arrived!," <http://us.classmethod.jp/apps/arrived>.

[4] amay077: "HexRinger," <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.amay077.android.hexringer&hl=ja>.

[5] 藤田隆弘, 大槻知明, 金子敏信: "NLOS 環境に適した低複雑度 TOA 位置推定アルゴリズム," 情報処理学会研究報告, Vol.2007, No.74, pp.69-74, 2007.

[6] 茂木俊浩, 大槻知明: "局所伝播環境推定を用いた受信信号強度重み付け到来時間位置推定法," 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.107, No.53, pp.43-48, 2007.

[7] 北須賀輝明, 中西恒夫, 福田晃: "無線 LAN を用いた屋内向けユーザ位置測定方式 WiPS の実装," マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2004) シンポジウム論文集, pp.349-352, 2004.

[8] 小西秀典, 大木哲史, 金井謙治, 甲藤二郎: "Wi-Fi を用いた Indoor Fingerprint Localization における精度の検討," マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2013) シンポジウム論文集, pp.1111-1115, 2013.

[9] 和田悠佑, 山口弘純, 東野輝夫: "レーザレンジスキャナと Wi-Fi Fingerprint を併用した歩行者の位置推定手法の提案," 情報処理学会研究報告, Vol.2013, No.26, pp.1-7, 2013.

[10] 中川智尋, 山田渉, 土井千章, 稲村浩, 太田賢, 鈴木誠, 森川博之: "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法の評価," マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2013) シンポジウム論文集, pp.1116-1122, 2013.

[11] 瀬古俊一, 八木貴史, 茂木学, 武藤洋洋: "GPS の消費電力軽減にむけた気温情報を用いた屋内外移動タイミング推定手法," 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.110, No.450, pp.131-136, 2011.

[12] C. Lee, M. Lee, and D. Han: "Energy-efficient Location Logging for Mobile Device," Proceedings of the 10th IEEE/IPSJ International Symposium on Applications and the Internet (SAINT2010), pp.84-90, 2010.

[13] Y. Chon, and H. Cha: "LifeMap: a smartphone-Based context Provider for Location-Based services," IEEE Pervasive Computing, Vol.10, No.2, pp.58-67, 2011.

[14] C. Fritsche, A. Klein, and D. Wurtz: "Hybrid GPS/GSM Localization of Mobile Terminals using the Extended Kalman Filter," Proceedings of the 6th Workshop on Positioning, Navigation and Communication (WPNC2009), pp.189-194, 2009.

[15] T. Farrell, R. Lange, and K. Rothermel: "Energy-efficient tracking of mobile objects with early distance-based reporting," Proceedings of the 4th Annual International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems: Networking & Services (MobiQuitous2007), pp.1-8, 2007.

[16] I. Constandache, S. Gaonkar, M. Sayler, R.R. Choudhury, and L. Cox: "EnLoc: Energy-Efficient Localization for Mobile Phones," Proceedings of INFOCOM2009, pp.19-25, 2009.

[17] 清原良三, 三井聡, 松本光弘, 沼尾正行, 栗原聡: "携帯電話におけるコンテキスト情報としての低消費電力位置情報取得方式," 情報処理学会研究報告, Vol.2008, No.44, pp.33-38, 2008.

[18] 吉村咲希, リジナル・ホーム・パハドゥル: "夏と秋における住宅の快適温度に関する研究," 日本建築学会関東支部研究発表会学術講演梗概集, Vol.82, No.II, pp.113-116, 2012.

[19] 気象庁: "過去の気象データ," [http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/view/monthly\\_s1.php?prec\\_no=44&block\\_no=47662&year=2010&month=&day=&view=p1](http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/view/monthly_s1.php?prec_no=44&block_no=47662&year=2010&month=&day=&view=p1).

[20] セキュリティハウス: "防犯監視カメラ: カメラ基礎知識: 照度の目安," <http://www.bouhancamera.net/basicknowledge/illumiance/>.

[21] 環境省: "紫外線環境保健マニュアル 2008," 2008.

[22] 副島康太郎, 白石陽: "屋内ジオフェンシングのための位置推定手法の提案," 情報処理学会第 76 回全国大会講演論文集, pp.3.191-3.192, 2014.