

# GPS と無線 LAN を用いたシームレス位置推定に関する研究

代表研究者 前 原 文 明 早稲田大学 基幹理工学部 教授  
共同研究者 小 川 賀 代 日本女子大学 理学部 教授

## 1 はじめに

近年、スマートフォンに代表される携帯端末の普及は著しく、高機能化が進んでいる。このような高機能携帯端末には、電話・データ機能だけでなく、GPS(Global Positioning System)、無線 LAN といった複数の無線システムが標準的に搭載されていることから[1],[2]、無線通信と位置測位を融合した付加価値の高いモバイルサービスのさらなる発展が期待できる。モバイルサービスにおいて、高機能端末により得られる位置測位情報をより一層効果的に活用するためには、位置推定精度の向上は必須課題であり、元来位置測位を目的とした GPS に、同時に搭載されている無線 LAN の位置測位能力を活かすことにより、位置推定精度のさらなる向上が図られるものと考えられる。これまで、GPS と無線 LAN を屋内外でシームレスに融合した位置推定技術が提案されているが[1]、公衆無線 LAN の普及が今後より一層促進されること[3]を考慮に入れると、GPS と無線 LAN の両無線システムが利用可能となるエリアにおいて、GPS の位置推定精度が無線 LAN の積極的な活用によりどの程度高められるかを検討することは、意義あるものと考えられる。

GPS は、国内外を問わず、広い範囲で利用可能な位置推定技術であり、一般コンシューマ向けの機器の場合、その位置推定精度は 10m 程度である[1],[2]。一方、無線 LAN は、そもそも各アクセスポイントの無線ゾーンが小さいため、比較的高精度に位置推定を実現できる[4]-[8]。近年、公衆無線 LAN サービスが著しく普及していることから[3]、今後、GPS と無線 LAN の両方が利用できるオーバーラッピングエリアが拡大することも予想される。このようなオーバーラッピングエリアでは、GPS だけでなく無線 LAN による位置推定が可能となることから、これらの位置推定能力を適切に融合することにより、より一層の位置推定の高精度化が図れるものと考えられる。

これまでに、GPS と無線 LAN を用いた位置推定技術については、GPS 測位に無線 LAN により得られた距離情報を活用する方法が提案されている[9]。具体的には、GPS の可視衛星数が 4 以下となる測位精度が不安定な場合、GPS 測位計算に無線 LAN から取得した距離情報を外挿するものである。しかしながら、本方式では、無線 LAN から取得した距離情報の精度が十分でないために、通常の GPS が有する測位精度を担保することが難しいといった問題がある。一方、文献[10]では、ToA(Time-Of-Arrival)により得られた距離情報から、3 辺測量により位置推定を行う方式が提案されている。しかしながら、この本方式では、GPS と無線 LAN の時間同期が ToA 実現のために必須となり、通常の携帯端末の機能のみでは実現が困難といった問題がある。

以上の点に鑑み、本研究では、GPS の可視衛星数と無線 LAN の受信信号強度(RSSI;Received Signal Strength Indicator)から得られる携帯端末の存在確率分布を 1 次元上で結合することにより、簡易に位置推定を行う方式を提案する。一般に、各アンカーノードから得られる存在確率分布を結合する方法では、2 次元上で確率計算を行うことから、計算コストが大きくなる問題があるが[11]、提案方式では、アンカーノードから得られる存在確率分布が互いに異なれば一次元上の確率計算で位置推定が可能となる点に着目しており、確率計算のコストを低減した簡易な位置推定を実現している。また、提案方式の有効性を検証すべく、コンシューマ向けの GPS の位置推定特性と無線 LAN の伝搬特性を実験的に取得するとともに、実伝搬データに基づく計算機シミュレーションにより位置推定特性を取得・評価する。

## 2 提案する GPS と無線 LAN を用いた位置推定法

本章では、提案する GPS と無線 LAN を用いた位置推定法概念と動作原理について述べる。図 1 は、提案方式の概念を示したものである。GPS と無線 LAN の両方を具備した高機能携帯端末が、GPS において、可視衛星数情報及び測位結果を送信し、無線 LAN においては、RSSI が最大となる AP 情報及びその RSSI 値をネットワーク側に送信する。ネットワーク側では、無線 LAN の伝搬減衰定数は既知とし、端末から送信された、これらのシステムパラメータを用いて、携帯端末が存在する存在確率分布の結合確率を計算すると

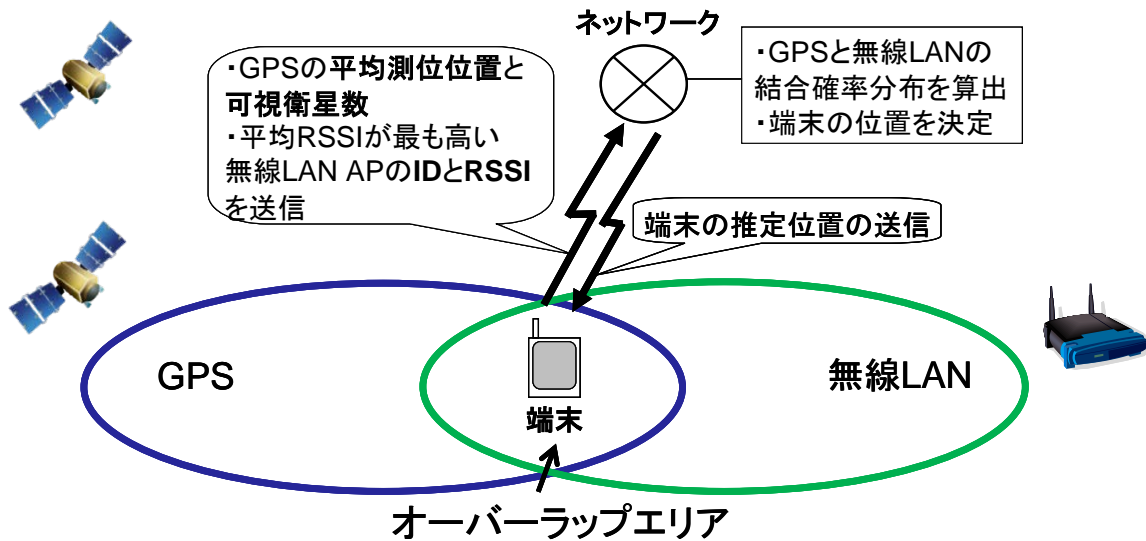


図1 GPSと無線LANを用いた位置推定法

ともに、結合確率が最大となる位置を推定位置として定める。ここで、提案方式では、GPSの位置推定誤差がレイリー分布に従うものと仮定するとともに、その分散が可視衛星数に依存するといった特性を利用して、携帯端末の存在確率分布を算定している。最後に、端末にネットワークにより算出された推定位置情報を送信し、位置推定を完了する。このように、提案方式はGPSと無線LANが利用可能なオーバーラッピングエリアにおいて、GPSの可視衛星数や無線LANのRSSIの情報を用いて、高精度な位置推定を実現するものである。

図2は、実験的に取得したGPSの位置推定誤差の確率分布を可視衛星数毎に分けて示したものである。同図より、可視衛星数にかかわらず、位置誤差の確率分布は、レイリー分布に概ね近似することができ、可視衛星数が減少するにつれて位置推定誤差の平均値が大きくなるのがわかる。実験的に得られた本特性より、提案方式では、GPSにより得られた携帯端末の存在確率分布を複素ガウス分布と仮定し、位置推定を行うものとする。

一方、無線LANにおいて、携帯端末の存在確率分布を求めるためには、伝搬減衰定数とRSSIの把握が不可欠である。図3は、実験的に取得した無線LANにおける通信距離とRSSIとの関係を示したものである。提案方式では、図3に示す実験的に取得した無線LANの伝搬特性から伝搬減衰定数とシャドウイングマージンを測定し、それらの値とRSSIを用いて、携帯端末の存在確率分布の算定を行う。

図4は、GPSの可視衛星数が6及び無線LANのRSSIが-70[dBm]の場合の携帯端末の存在確率分布を示したものである。同図において、GPSからみたときの携帯端末の存在確率分布は、可視衛星数により決定され

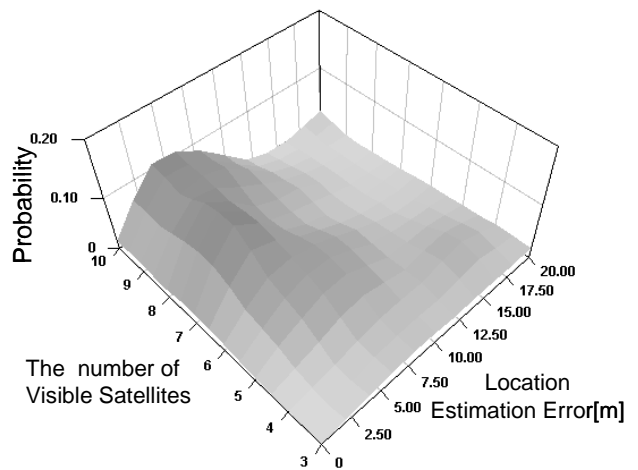


図2 可視衛星数をパラメータにとったときのGPSの位置推定誤差の確率分布（実験値）

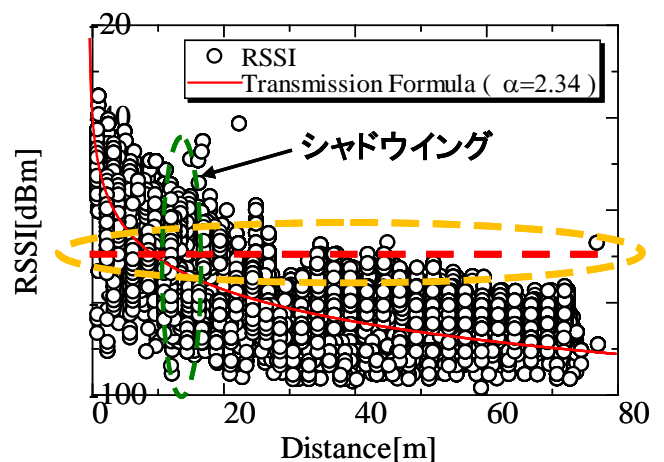


図3 無線LANの通信距離対RSSI特性（実験値）

る分散を有する複素ガウス分布となり、無線 LAN からみたときのそれは、RSSI とネットワーク側で既知の伝搬減衰定数とシャドウイングマージンから決定されるリング状の分布[11]となることわかる。一般に、携帯端末の推定位置は、GPS と無線 LAN より得られた、2つの異なる分布の結合確率を2次元的に算出することとなるが、提案方式では、これらの分布の形状が異なれば、各分布の中心を結んだ直線上に推定位置が存在することを利用して、1次元上の結合確率の計算により、簡易に位置の推定を行うことを特長とする。

図5は、提案方式において、GPS と無線 LAN から得られる存在確率分布の結合確率を1次元上で算出する様子を示したものである。同図において、提案方式では、GPS の推定位置と無線 LAN の AP の位置を結ぶ直線上において、異なる形状を有する GPS と無線 LAN の確率分布を乗積し、結合確率を求めるとともに、それが最大となる位置を推定位置として決定する。これにより、GPS と無線 LAN から得られる携帯端末の存在確率分布を1次元上で簡易に結合することができる。なお、通常、携帯端末では、複数の無線 LAN AP からの電波が観測されるが、提案方式では、位置推定の精度向上を図るべく、RSSI が最大となる無線 LAN AP を存在確率分布の算出に用いるものとする。さらに、提案方式では、位置推定精度が GPS により測位された位置推定誤差の分散や無線 LAN におけるシャドウイングの影響に依存することに鑑み、GPS の測位回数と無線 LAN の RSSI の測定回数を1回から複数回に増加させることにより、GPS の位置推定誤差の分散や無線 LAN におけるシャドウイングといった無線伝搬の影響の低減を図るものとする。特に、GPS では、測位情報そのものに誤差が含まれることから、複数の測位情報が得られた場合、それらを合成することにより、GPS 測位情報の精度を高めることができる。具体的には、可視衛星数に依存した位置推定誤差の分散が、1回から M 回に測定回数を増加させた場合、 $1/M$  に低減できるものと考えられる。すなわち、GPS 測位の場合、複数回の測位により、位置推定精度そのものの向上だけでなく、推定誤差の分散の低減も併せて期待できる。

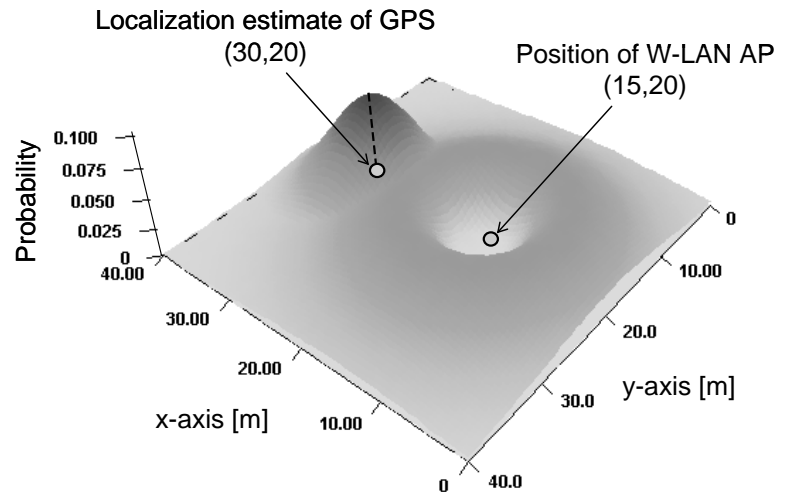


図4 GPS と無線 LAN から得られる携帯端末の存在確率分布

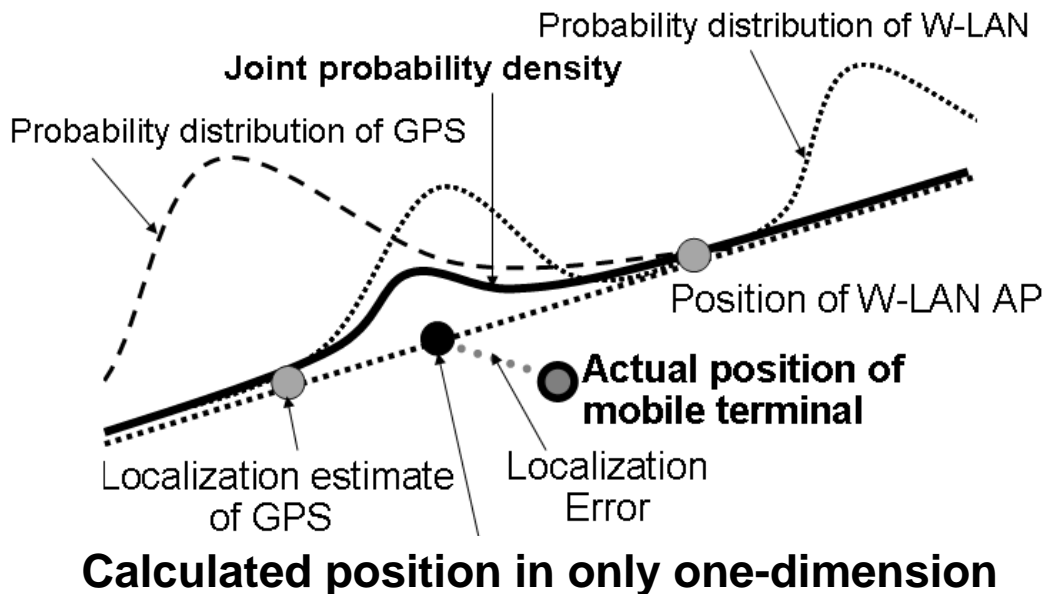


図5 携帯端末の位置を1次元上で算出する様子

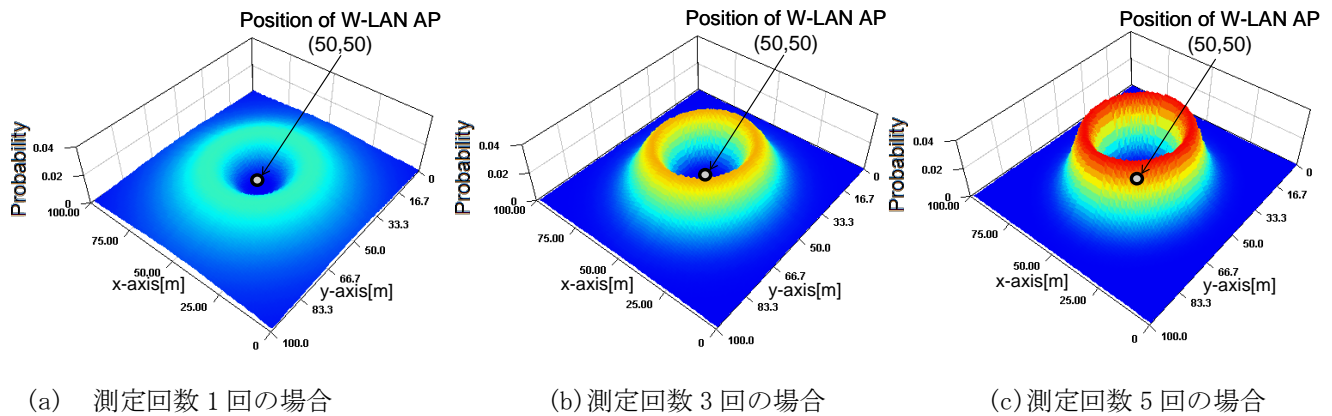


図 6 無線 LAN の RSSI 測定回数を変化させたときの携帯端末の確率分布

一方、無線 LAN においても、測定回数を 1 回から  $M$  回に増やすことにより、RSSI のシャドウイングマージンを  $1/M$  に低減できる。図 6 は、無線 LAN の RSSI が  $-77\text{dBm}$  の場合の携帯端末の存在確率分布を測定回数毎に分けて示したものである。図 6 より、無線 LAN の測定回数を増加させることにより、リング状の確率分布の散らばりが小さくなることが確認できる。このことから、GPS の場合と同様に無線 LAN においても複数回の測定を行うことにより、位置推定精度の向上を図ることができるものと考えられる。

### 3 実験諸元

図 7 と図 8 は、本論文で想定する実験エリアの模式図とそのスナップショットをそれぞれ示したものである。両図に示すように、無線 LAN AP は、IEEE 802.11g に準拠しており、日本女子大学の見通しの良い屋外環境に約 15m 間隔で 6 基設置した。また、GPS の可視衛星数及び無線 LAN の RSSI は、それぞれ 10m 間隔で取得した。特性評価では、実験的に取得した GPS の位置推定誤差の標準偏差及び無線 LAN の伝搬特性に基づき、計算機シミュレーションにより位置推定精度を評価するものとする。表 1 は GPS の位置推定誤差の標準偏差を示したものである。同表に示す通り、可視衛星数の増加にしたがって、位置推定誤差が小さくなるのがわかる。また、無線 LAN についても、図 3 より、伝搬減衰定数とシャドウイングマージンがそれぞれ  $\alpha=2.3$  と  $\sigma=5.1\text{dB}$  と算出でき、提案方式では、これらの値はネットワーク側において既知であるものとする。

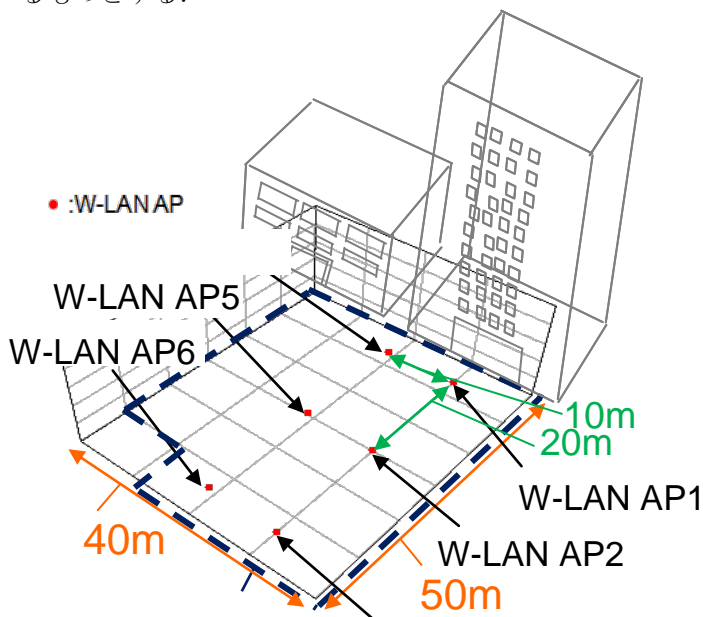


図 7 実験エリアの模式図



図 8 実験エリアのスナップショット

表 1 GPS の位置推定誤差の標準偏差

可視衛星数	平均位置推定誤差 [m]
3	28.53
4	25.41
5	13.62
6	9.27
7	6.20
8	6.57
9	6.57
10	6.25
11	6.18

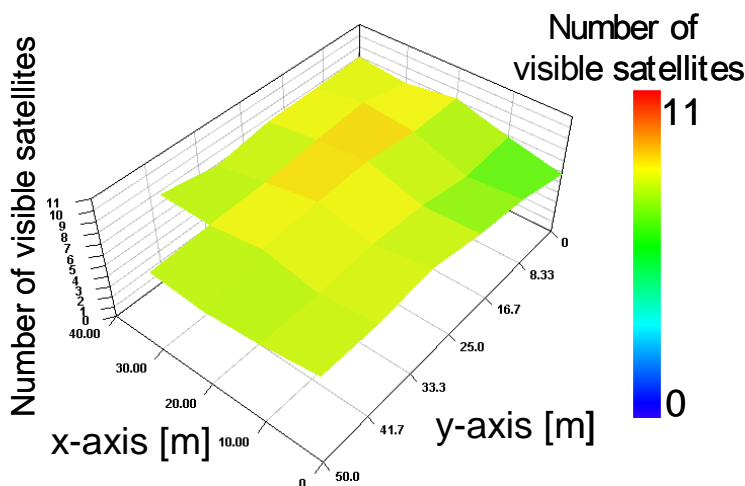


図 9 実験エリアにおける GPS の可視衛星数特性 (実験値)

図 9 は、実験エリアの各地点において実験的に取得した GPS の可視衛星数特性を示したものである。同図において、本実験エリアでは、比較的多くの GPS 衛星が可視となることが確認できる。また、提案方式では、GPS と無線 LAN より得られた携帯端末の存在確率分布に対して、一定の算出間隔を決めて、確率が最大となる位置を算出する必要があるが、本研究では、計算コストを考慮して、1m 間隔で結合確率を算出するものとする。

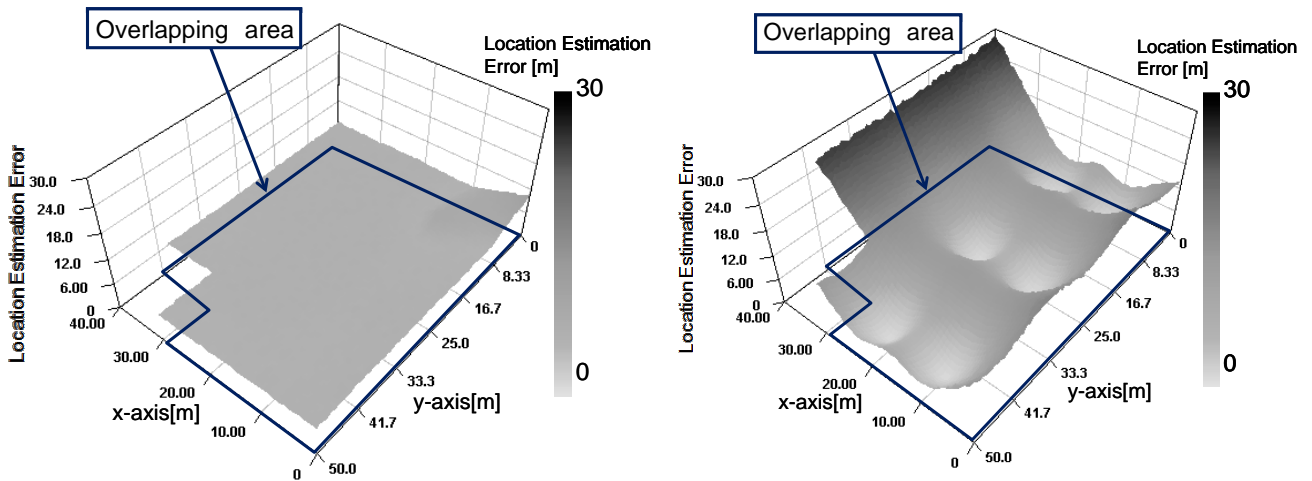
#### 4 特性評価

図 10 は、図 7 に示した実験エリアにおける GPS 位置測位特性及び無線 LAN の伝搬特性に基づき、GPS、無線 LAN、及び提案方式の平均位置推定誤差特性を計算機シミュレーションにより取得したものである。同図(a)の GPS 単独の場合、測位位置にかかわらず、十分な可視衛星数を確保できることから、比較的良好な位置推定特性となることがわかる。一方、同図(b)の無線 LAN 単独の場合、AP の近傍において極めて良好な位置推定特性が得られるものの、AP から離れるにしたがって、位置推定精度が大幅に劣化することがわかる。同図(c)の提案方式では、特に、無線 LAN AP の近傍において、GPS 単独の場合よりも、良好な位置推定精度が得られることがわかる。これは、無線 LAN AP の近傍において、提案方式が GPS と無線 LAN から得られる存在確率分布を適切に結合できているためである。また、無線 LAN AP から離れた、無線 LAN 位置推定が有効でない場合においても、提案方式により、GPS と無線 LAN の結合確率の算出において、無線 LAN の寄与を低減できることから、概ね、GPS 単独の場合の特性が得られることがわかる。なお、本実験エリアにおいて、GPS 単独の場合、位置推定誤差が 6.6m であったのに対し、提案方式により、平均位置推定精度を誤差 5.2m まで向上させることができたことを確認している。

図 11 は、図 7 に示した実験エリアにおける GPS 位置測位特性及び無線 LAN の伝搬特性に基づき、測位回数を変化させたときの提案方式の平均位置推定誤差特性を計算機シミュレーションにより取得したものである。同図において、GPS 測位と無線 LAN の RSSI 測定を 1 回から 2 回に増加させることにより、提案方式の位置推定精度が改善されることがわかる。これは、複数回の測定により、GPS の推定位置の高精度化と測定誤差の減少が図られるとともに、無線 LAN のシャドウイングマージンが低減されたことに起因した結果である。なお、2 回の測定を行うことにより、GPS 単独の場合、誤差 6.6m から誤差 4.7m まで平均位置推定精度が向上し、提案方式では、誤差 5.2m から誤差 3.8m まで推定精度が向上したことを確認している。以上より、高々 2 回の測定で、オーバーラッピングエリアにおける位置推定精度をより一層高められるものと考えられる。

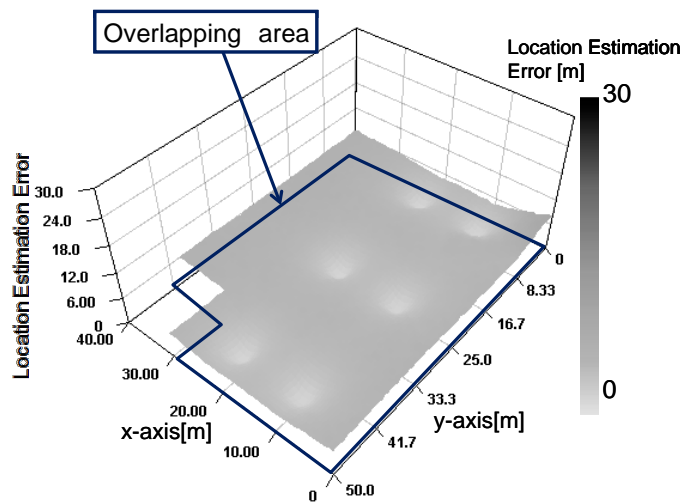
#### 5 むすび

本研究では、高性能端末において、GPS と無線 LAN が同時搭載されていることに着目し、元来位置測位を



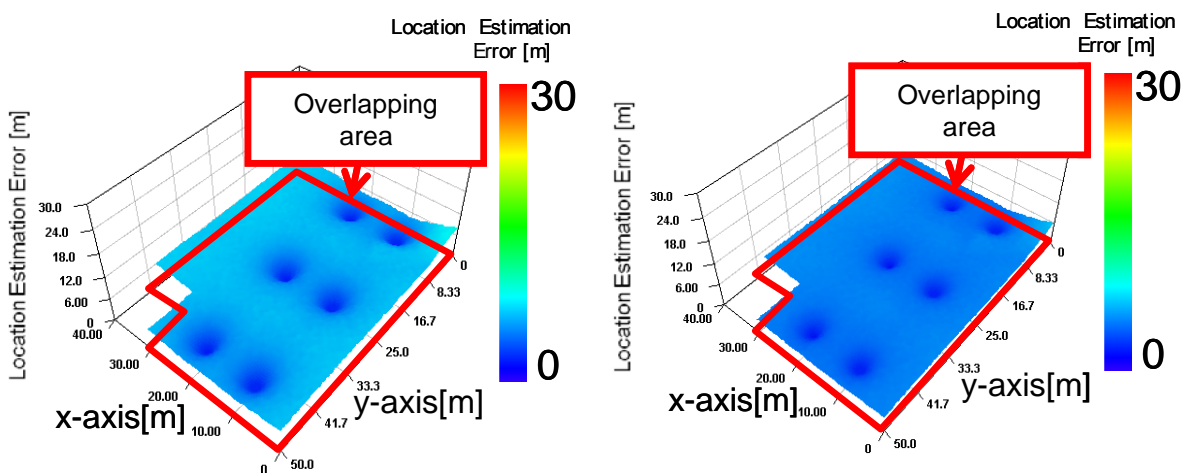
(a) GPS 単独の場合

(b) 無線 LAN 単独の場合



(b) 提案方式

図 10 GPS 単独，無線 LAN 単独，及び提案方式の平均位置推定誤差特性



(a)測定回数1回

(b)測定回数2回

図 11 提案方式における複数回測定の効果

目的とした GPS の位置推定精度を、無線 LAN の位置推定能力を積極的に活用することより改善する方式を提案した。具体的には、GPS の可視衛星数と無線 LAN の RSSI から得られる携帯端末の存在確率分布を 1 次元上で結合することにより、簡易に位置推定を行う方式の提案を行った。また、提案方式の有効性を GPS 単独で測位した場合を比較対象として、実伝搬データに基づく計算機シミュレーションにより評価した。特性評価の結果、提案方式は、GPS と無線 LAN の推定位置を直線上の簡易な確率計算により適切に合成でき、特に、無線 LAN AP の近傍において、GPS 単独の場合よりも、良好な位置推定精度を達成することがわかった。具体的には、GPS 単独により生じる 6.6m の平均位置推定誤差が、10m 間隔の無線 LAN AP の置局を想定した提案方式により、5.2m まで減少することがわかった。また、測位回数を複数とすることにより、GPS の誤差や無線 LAN の RSSI が受けるシャドウイングの影響を緩和できることから、その効果についても検証を行った。一例として、測定回数を 1 回から 2 回に増加させると、平均位置推定誤差が 5.2m から 3.8m まで減少することが明らかとなった。

今後の課題として、提案方式における無線 LAN 位置推定のより一層の高精度化、さらには今後、無線 LAN が 2 次元平面上だけでなく、3 次元的に高密度に配置されることが見込まれることに鑑み、3 次元測位を想定した無線 LAN AP の選択法の検討が興味深いものと考えられる。

## 【参考文献】

- [1] P. A. Zandbergen, "Accuracy of iPhone Locations: A Comparison of assisted GPS WiFi and cellular positioning," Research Article Transactions in GIS, Vol. 13, No. s1, pp. 5-26, 2009.
- [2] L. Arnold, P. Zandbergen, "Positional accuracy of the wide Area augmentation system in consumer-grade GPS units," Computers & Geosciences, Vol. 37, Issue 7, pp. 883-892, Mar. 2011.
- [3] T.Ninagawa, K.Hirama, "Public Wi-Fi initiatives as NTT DOCOMO," 2013 NTT Technical Review, Jan. 2013.
- [4] K. Kaemarungsi and P. Krishnamurthy, "Modeling of indoor positioning systems based on location fingerprinting," Proc. IEEE INFOCOM, vol. 2, pp. 1012-1022, Mar. 2004.
- [5] A. Hatami and K. Pahlavan, "A comparative performance evaluation of RSS-Based positioning algorithms used in WLAN networks," Proc. IEEE Wireless Comm. and Networking Conf., vol. 4, pp. 2331-2337, Mar. 2005.
- [6] S. Ito, N. Kawaguchi, "Bayesian based location estimation system using wireless LAN," Proc. PerCom 2005 Workshops, pp. 273-278, Mar. 2005.
- [7] C. Feng, W. S. A. Au, S. Valaee, and Z. H. Tan, "Compressive sensing based indoor positioning using RSS of WLAN access points," Proc. IEEE INFOCOM, pp. 1-9, Mar. 2010.
- [8] J. Y. Koo, and H. J. Cha, "Localizing WiFi access point using signal strength," IEEE Communications Letters, Vol. 15, No. 2, Feb. 2011.
- [9] S. Zirari and F. Spies, "WiFi GPS based Combined positioning Algorithm," Proc. IEEE WCNIS, pp. 684-688, Jun. 2010.
- [10] I. Lami and H. Maghdid, "Synchronising WiFi Access Points with GPS time obtained from Smartphones to aid localisation," Proc. International Conference on Computer Applications Technology (ICCAT), pp. 1-6, Jan. 2013.
- [11] H. Matsutani, R. Yamamoto, H. Matsuki, T. Oono and S. Onoe, "MMSE mobile station positioning method using signal strength in cellular systems," IEICE Trans. Fundamentals, Vol.E86-A, No.7, pp.1593-1602, Jul. 2003.

〈 発 表 資 料 〉

題 名	掲載誌・学会名等	発表年月
Experimental results of seamless localization employing GPS and wireless LAN	Proc. 10th IEEE Vehicular Technology Society Asia Pacific Wireless Communications Symposium (APWCS2013)	2013 年 8 月
Efficient localization method employing error distribution of GPS and wireless LAN	Proc. 11th IEEE Vehicular Technology Society Asia Pacific Wireless Communications Symposium (APWCS2014)	2014 年 8 月
GPS と無線 LAN を用いたシームレス位置推定に関する検討	電子情報通信学会技術研究報告, WBS2013-36	2013 年 12 月
無線 LAN を用いた GPS 位置推定の精度向上に関する一検討	電子情報通信学会技術研究報告, WBS2014-46	2014 年 12 月