

無線 LAN 受信強度を利用した 造船所内での作業者の位置推定システム

正会員 岩内 也 樹* 正会員 吉田 裕 一**
正会員 木村 元***

A Position Estimation System Making Use of Signal Strength of Wireless LAN in a Shipyard
by Nariki Iwauchi, Member Yuuichi Yoshida, Member
Hajime Kimura, Member

Key Words: Indoor positioning system, position estimation, wireless LAN, Radio field intensity

1. 緒 言

造船所において、人・モノの管理や作業・配置改善等のために人・モノの位置の取得が求められている。位置検出の主流は GPS だが、屋根のある建屋内の位置検出には向いておらず、屋内外に対応した位置検出/推定手法が必要である。屋内に対応した位置検出法として無線 LAN を利用した方法がある。これは一般に無線 LAN のインフラが整ってきており、これらを利用し導入コストを削減できるからである。しかし、市販の位置推定サービスを利用すると導入や維持・管理に大きなコストがかかる。サービス形態にもよるが 400 万円近い導入・管理費用がかかるものもある^{1,2)}。そこで本研究では、オフィスや工場にすでに導入されている無線 LAN のインフラをそのまま利用し、複数の不特定の無線 LAN ルータの電波強度を用いて造船工場内で作業員などの位置を推定するシステム構築の可能性について検討する。

2. 既存の無線 LAN 利用位置検出方法

無線 LAN 利用位置検出法³⁾は以下の3つに大別される:

(a) **Triangulation:** 位置が既知である基地局からの相対的な距離を用いて位置推定を行う方式である(Fig.1)。推定したい端末で観測される基地局の電波強度を用いて距離を算出する。しかし電波は障害物や壁による反射波や散乱波の影響により、距離特性どおりに減衰しないことが多いため壁や仕物の多い屋内での適用は難しい。また本研究では無線基地局の位置情報は使用しないため、この方式を利用できない。

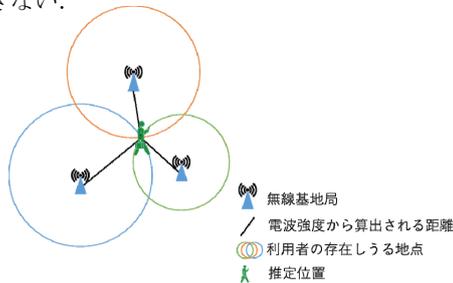


Fig.1 Triangulation

* 常石造船株式会社 (研究当時九州大学工学府)
** 川崎重工業株式会社 (研究当時九州大学工学府)
*** 九州大学 大学院工学研究院

(b) **Proximity:** 推定対象の受信強度によって、推定対象がどの無線 LAN 基地の近くに存在するかを特定する方式(Fig.2)。事前に無線 LAN 基地局の位置情報と、各基地局がカバーする範囲を把握しなければならず、また推定結果は無線基地局のカバーする範囲全域となるため比較的精度が低い。(a)と同じく基地局の位置情報を必要とするため本研究では利用できない。

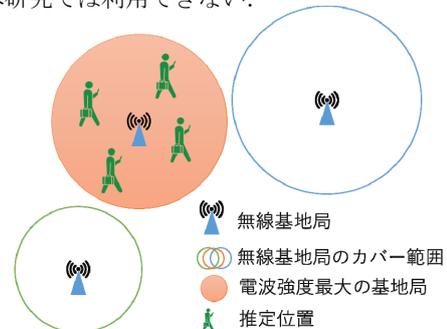
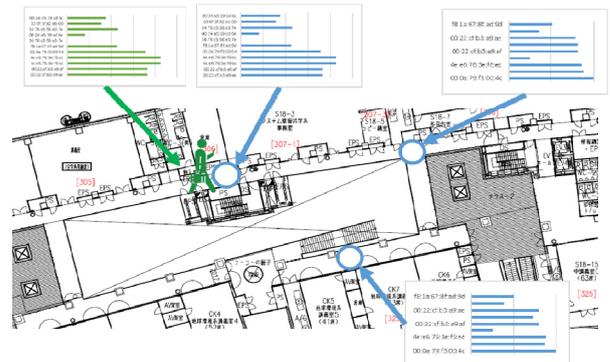


Fig.2 Proximity

(c) **Scene Analysis:** 対象領域中の複数の位置でシーン(場面)の観測を行い、各シーンとその観測された位置情報をデータベース化あるいは機械学習を事前に構築し、位置推定に用いる方式である。推定するときには、推定したい端末から観測されるシーンと事前に用意したデータベースを比較し、データベース中のどの位置が観測されるシーンと類似しているかどうかで位置を推定する。この方式では反射波・散乱波の影響が加味されており、予め観測しておく地点の間隔を狭めることでデータ量が増える代わりに位置推定精度を上げることができる。本研究ではこの方式を採用する。



グラフ(青): 学習されたシーン
グラフ(緑): 観測されたシーン

Fig.3 Scene Analysis

Scene Analysis による位置推定の先行研究として、藤田らは無線 LAN 受信電波強度を正規分布として仮定し、Gaussian Mixture Model という正規分布の線形結合を用いた混合正規分布で電波受信強度モデルを作成した上で最尤推定法によって位置推定を行う方法を提案している。しかしこの方法では混合正規分布モデル生成の際に結合重みを手動で調節したり、モデル生成のために観測したデータ点よりもはるかに多い基底関数を用いてモデルを作るなど有効性に疑問な点が多い。本研究では、予め観測されたデータ点に対して必要最小限のリソースにより関数近似を行い、CT スキャンにおける画像再構成に類似した技術を利用して位置の推定を行う全く新しい方法を提案する。

3. 無線 LAN 利用の新位置推定法の提案

3.1 位置推定の処理の流れ

本手法の位置検出処理手順を Fig. 4 に示す。

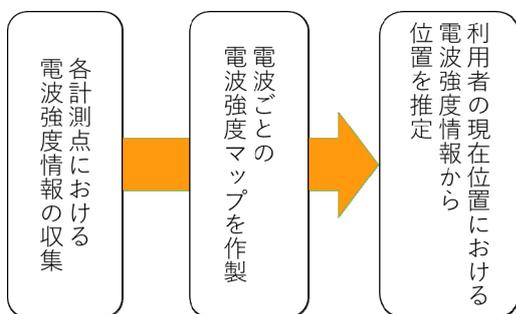


Fig.4 Flow of the proposed positioning system

(1) 計測対象領域内での電波強度情報の収集

位置検出を行う領域において無線 LAN 電波強度情報を収集する。領域の図面が必要となるが、簡易的なフロアガイドなどでもよい。無線 LAN 通信機能を有するタブレット PC を用い、1 地点に対して複数回（本研究では 50 回約 3 分）、無線 LAN 基地局の識別番号である BSSID とその電波強度を計測し、平均をとる。それらを図面上で計測位置情報と結合し、データベースを構成する。Fig.5 に Linux OS の iwlist コマンドと Python のスクリプトを利用して無線 LAN 電波強度のデータを取得する様子を示す。Fig.5 に示したデータでは、BSSID と電波強度(Signal level)を計算に用いていることを示している。iwlist コマンドだけでは必要無いデータが多く含まれているため、必要なもののみを記録するプログラムを作成した。

```

2017年 12月 11日 月曜日 18:09:27 JST↓
Cell 01 - Address: 00:0A:79:F3:00:54↓
Quality=57/70 Signal level=-53 dBm↓
ESSID:"000A79F30055"↓
Cell 02 - Address: 4C:E6:76:3E:F6:EC↓
Quality=47/70 Signal level=-63 dBm↓
ESSID:"nams_mdc0-1"↓
Cell 03 - Address: 4E:E6:76:3E:F6:EC↓
Quality=48/70 Signal level=-62 dBm↓
ESSID:"nams_mdc0"↓
Cell 04 - Address: 00:0A:79:F3:00:4C↓

```

Fig.5 Sample of the observed wireless LAN data.

Fig.6 に位置検出を行う領域の図面を用いて各計測点の位置をシステムへ入力している様子を示す。

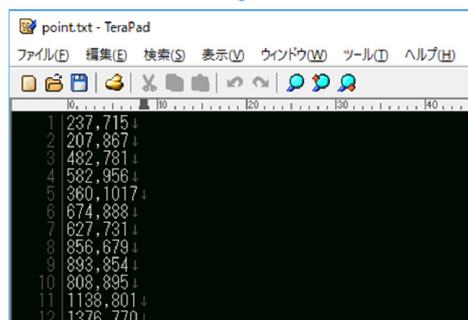


Fig.6 Associate data with the corresponding map point.

(2) 無線 LAN 基地局(BSSID)毎の電波強度マップ作成

収集した電波情報と図面上の位置情報を用いて対象領域の電波強度マップを作成する。本来、電波強度は実際に計測された図面上の「点」でしか与えられていないが、図面上で観測されていない場所における電波強度は、それらの周囲での観測点の強度より線形補間して推定値として与える。図面上の計測点の凸包領域内を、計測点を母点としたドロネー三角形分割して電波強度を線形補間し、位置検出領域の電波強度マップを作成する。

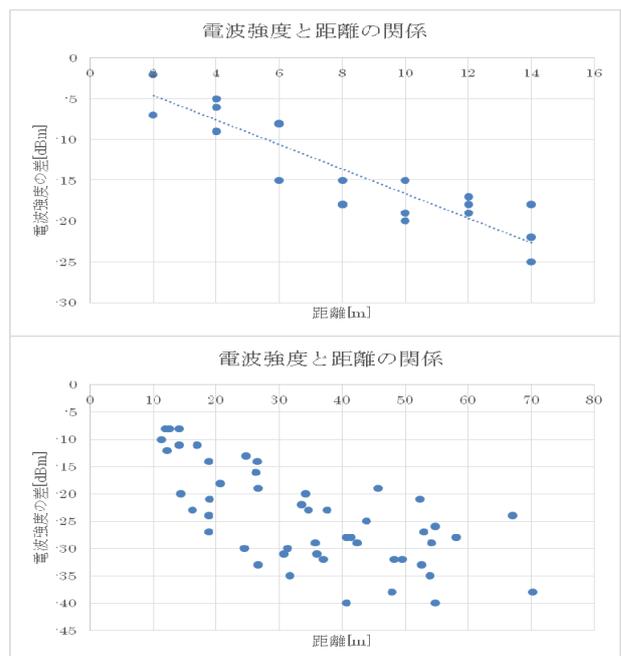


Fig.7 Relation between distance and the signal strength.

Fig.7は九州大学ウエスト2号館6階およびウエスト4号館5階で強い電波と弱い電波の無線LAN基地局との距離と受信電波強度の計測結果を示す. かなりノイズが多いが, 電波強度[dBm]と距離はグラフで示す範囲ではほぼ比例しているため, 電波強度マップ作成のために計測点以外の領域を Fig.8 のように計測点の電波強度の値から線形補間することは妥当である. Fig.8の縦軸(青)はあるBSSIDの電波強度, 赤と緑の軸で表わされる平面は位置検出の領域, 図内の3角形の各頂点は観測を行った位置とその強度, 3角形内の点はその位置における電波強度を3角形の頂点の観測データからの補間により推定される電波強度の例を示す.

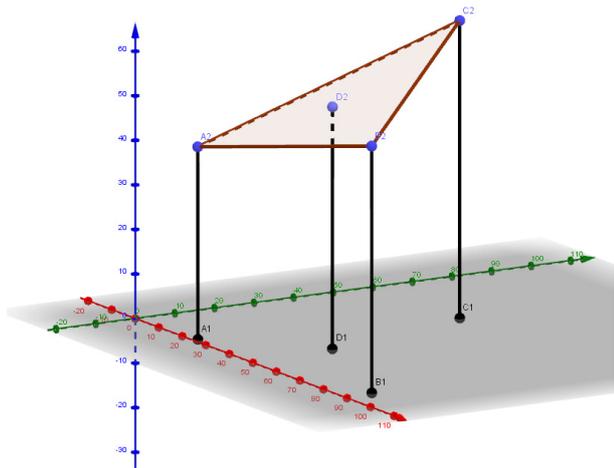


Fig.8 Interpolated signal strength from the observed data.

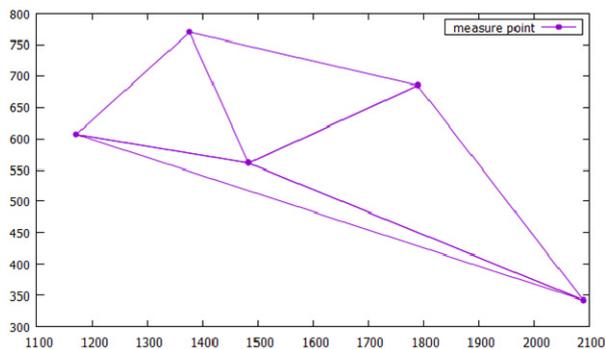
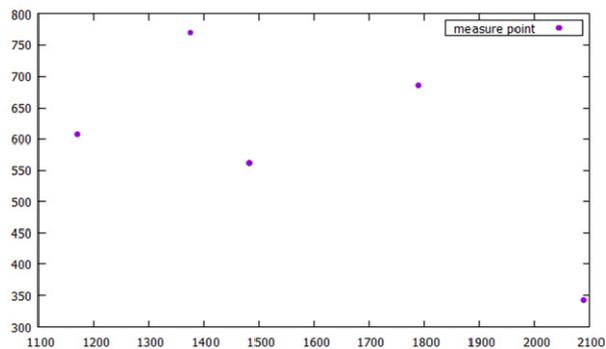


Fig.9 Delaunay triangulation with the observed points.

また Fig.7では見切れているが-80[dBm]以下になるとグラフが横ばいになる傾向があるため, 電波強度マップ作成において最低電波強度の閾値を設け, それ以下の場合には電波強度ゼロとする.

Fig.9は計測点を母点として対象領域をドローネー三角形分割する例を示す. Fig.10は対象領域の地図と, あるBSSIDの電波強度マップの対応の例を示す.

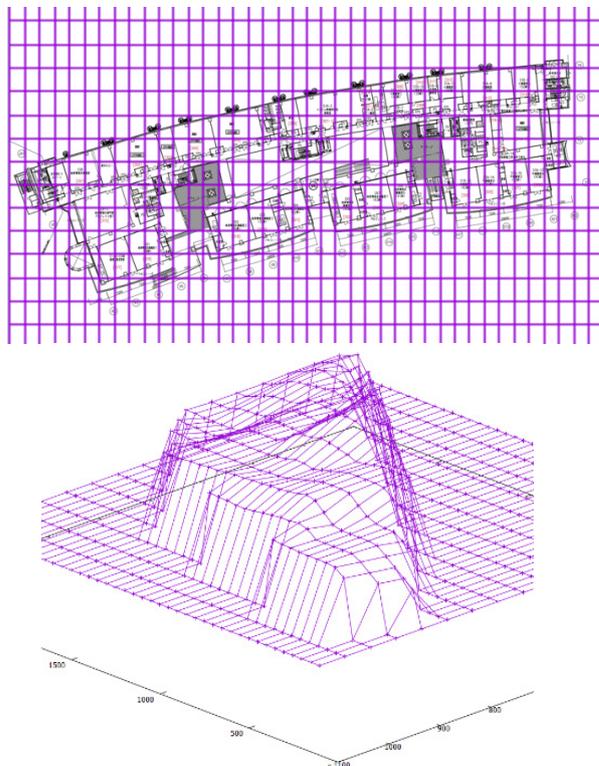


Fig.10 An example of a signal strength map of a BSSID.

(3) 電波強度マップを利用したクエリの位置推定

位置を推定したい端末で観測される BSSID と電波強度を取得し, それをクエリとする. 本システムの目的は, クエリの電波強度データを先に作成した電波強度マップへ照合してクエリの位置を推定することである. 用意されたマップデータの全メッシュに対し, メッシュに対するクエリとの電波信号間の類似度 X の計算を行う. しかし, ここで単純に各 BSSID を座標軸としたユークリッド空間中での距離の逆数を類似度として計算すると, Fig.11のように類似度のピーク領域がフラットになってしまう, クエリ位置の推定精度が出ない問題が発生した.

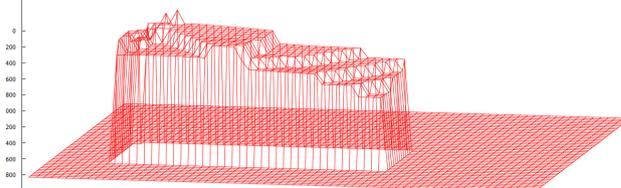


Fig.11 Similarity function using a simple Euclidean distance.

そこで本研究では各 BSSID 毎に電波強度マップとクエリとの電波強度の差から Fig.12 に示す類似度関数の値を計算し, これをクエリが観測した BSSID 全てについて合計した値を類似度 X とする方法を提案する. 実験で用いた類似度 X の計算方法を以下に示す:

4. 実験

4.1 九州大学伊都キャンパス W2号館 6階

提案した位置検出システムの実用性の検討を目的として、九州大学伊都キャンパス W2号館 6階にて実験を行った。ここは大半が工学部の研究室や実験室、教員室となっており、不特定多数の無線 LAN ルータが設置されている。Fig.14 は対象とする領域のフロア図と、電波強度マップ作成のためにデータ計測を行った位置を表す。Fig.15 は位置推定対象のクエリとして計測した真の位置を示す。これらのデータ計測において、シグナルを受信できた BSSID の数は、計測位置によって異なるが、少ない場所で 21 個、多い場所で 42 個だった。

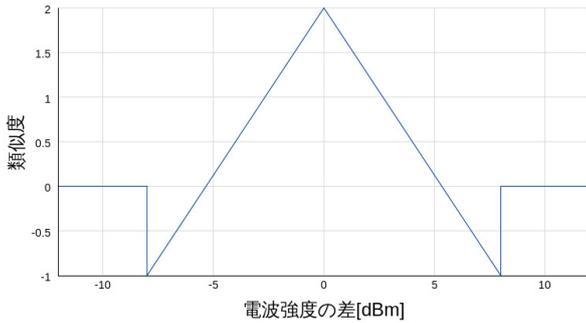


Fig.12 Proposed similarity function for one BSSID.

$$D_i = |x_i(M) - x_i(Q)|$$

$$X = \begin{cases} \sum_{i=0}^n \left(-\frac{3}{2} D_i + 2 \right) & , \text{where } 0 \leq D_i \leq 8 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

ここで D_i は各メッシュとクエリの電波強度の差の絶対値、 X は電波強度類似度、 n は BSSID の数、 $x_i(M)$ はメッシュが電波強度マップとして保持している電波強度、 $x_i(Q)$ はクエリとして取得された電波強度である。この式を BSSID 1 つだけについて示したグラフが Fig.12 である。クエリとマップ上の電波強度の差が小さいほど類似度は大きく、差が大き過ぎても小さ過ぎても類似度がゼロになるが、注目すべきなのは電波強度の差が 5~8[dBm] 付近で類似度関数の値がゼロではなく負の値としている点である。当初、この負の部分をついでゼロとしたり負の部分が発生しないよう三角形の関数を全体的に上方へシフトした関数を用いてみたが、Fig.12 のような形状が最も推定精度が良かった。これは、クエリが受信した BSSID 毎に各電波強度マップ上で類似度が高い箇所を画像化して全ての BSSID で重ね合わせている点で、様々な方向からの X 線透過画像を重ね合わせて立体的な映像を得る CT スキャンの画像再構成処理と類似している。CT スキャンでは、各透過画像にエッジフィルタに類似したフィルタ処理を施してから重ね合わせることで、ボケの無いシャープな再構成画像を得る。Fig.12 の類似度関数はちょうどこのエッジフィルタと同じ機能を持つと考えられる。この関数を用いて Fig.11 で示した類似度を再計算した例を Fig.13 に示す。

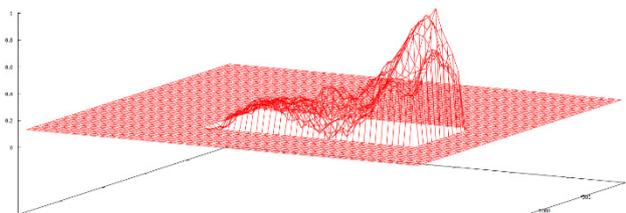


Fig.13 Similarity function using the proposed method.

このようにして計算される類似度 X は、クエリで観測される BSSID の個数などによって最大値が異なるので、最大値を 1 として正規化した類似度 L として表示を行う。

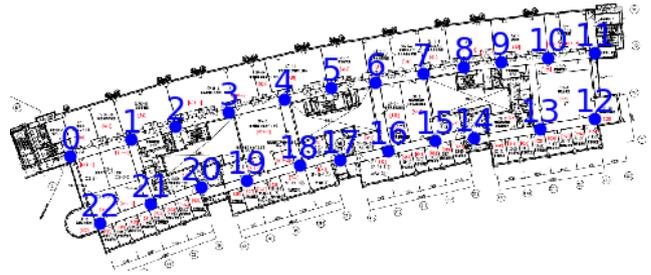


Fig.14 Floor map and observed data points in advance.



Fig.15 Right positions of the queries.

Fig.16 は Fig.15 の点 0 の位置で計測したデータを Fig.14 で計測したデータから得られた電波強度マップに照合して得られた推定結果である。Fig.16 のコンターの明るい箇所ほどクエリがその場所にいる可能性が高いことを示し、その最大点を赤点で示している（青点と数字はクエリの真の位置）。Fig.17, Fig.18, Fig.19 は同様に Fig.15 のクエリ点 1, 点 2, 点 3 の推定結果を示す。クエリ点 0 の推定結果は誤差が約 8[m]、クエリ 1 は誤差約 5[m]、クエリ 2 は誤差約 3[m]、クエリ 3 については誤差約 5[m] となった。データ収集位置もクエリ位置も建物内の通路のみで、壁による電波の反射や減衰が予想される中でそれなりの位置推定精度が出ている。

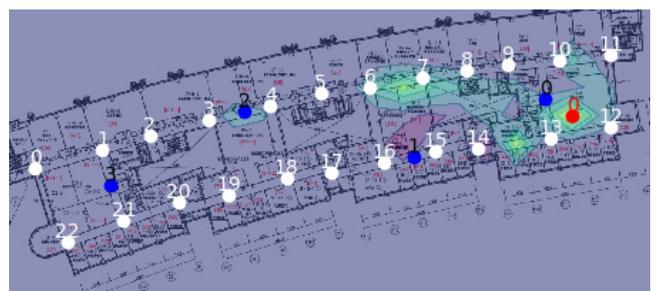


Fig. 16 Position estimation result of the query 0.

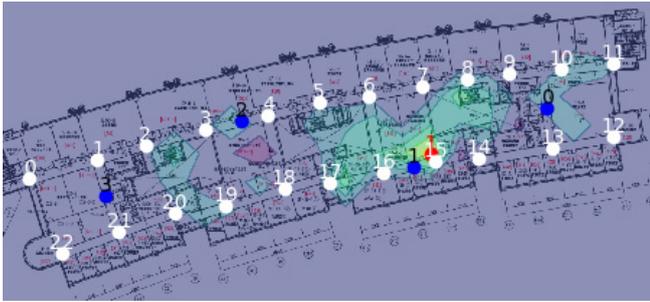


Fig.17 Position estimation result of the query 1.

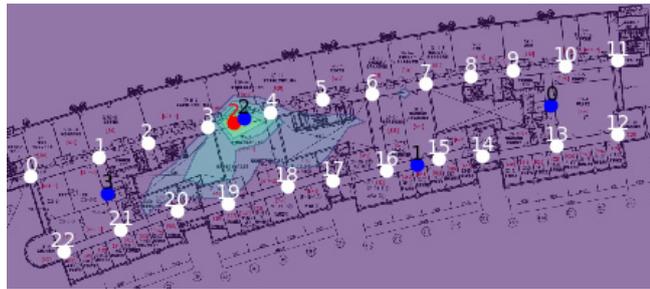


Fig.18 Position estimation result of the query 2

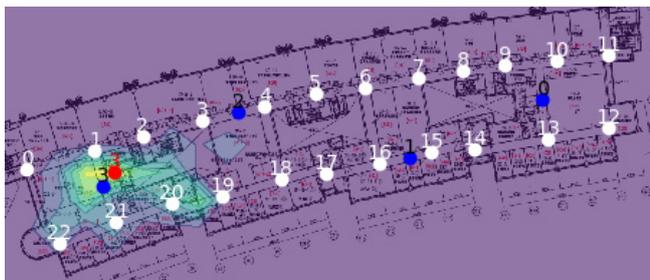


Fig.19 Position estimation result of the query 3.

4.2 造船所の小組立工場の棟内

次に、株式会社大島造船所様のご協力により、無線 LAN 設備を備えた小組立工場内にて、クレーンで搬送中の小組鋼板や小組ブロックが多数存在し、電気溶接作業等が行われている環境下にて実験を行った。Fig.20 は本実験で計測を行う建物内において、無線 LAN 基地局のおおよその設置場所を青丸で、電波の指向性を楕円で示す。実験の対象とした領域は、およそ 85[m]×248[m]で、無線の規格は 802.11g である。

本実験ではデータ計測した結果、観測された BSSID の数が 10 個程度と少なく、また受信電波強度も弱かったため、3.2 節の(2)で設定した最低電波強度の閾値を -80[dBm] から -90[dBm] に変更して位置推定処理を行った。

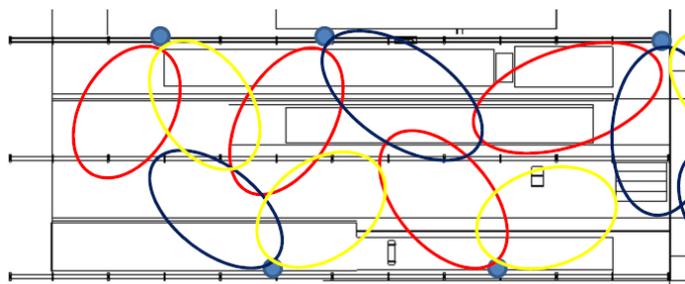


Fig.20 A floor map of an assemble line, positions of wireless LAN routers and radio intensity.

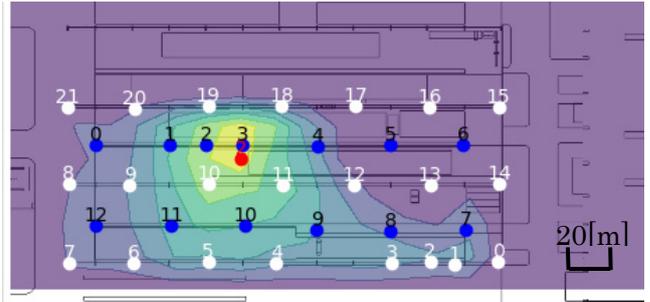


Fig.21 Position estimation result of the query 2.

Fig.21 は青い点で示されたクエリのうちの 2 番を推定した結果を示し、可能性の高い場所を明るい色のコンターで示し、それが最大の点を赤の点で示している。白い点(0~21)は電波強度マップ作成に用いた計測点を示す。実際のクエリの場所と赤い点で示された場所とは誤差が約 18[m]となっているが、コンターを見ると可能性の高い黄色いエリア内に真の位置が含まれている。

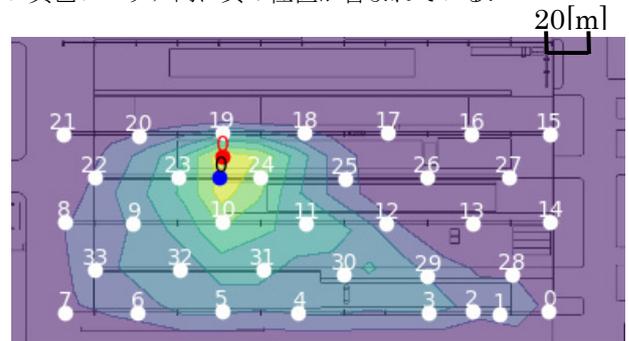


Fig.22 Position estimation result of the query 0.

Fig.22 は、Fig.21 でクエリとしていた青い点群 0,1,3,4 ~12 を電波強度マップ作成用データとしてクエリ 2 のみを位置推定の対象として計算した場合の結果を示す。Fig.22 の青い点 0 が真の位置、赤い点 0 が推定された位置、白い点(0~33)が電波強度マップ作成に用いた計測点を示す。誤差は約 8[m]程度に改善した。

Fig.23 も Fig.22 と同様の推定結果を示すが、電波の受信状況が良くない場所のため、類似度が最大の場所(赤い点)が 3ヶ所表示されている。可能性が高い場所を示すコンターも大きな領域を示しているが、真の場所(青点)を含んでいる。また、誤差の大きさについては、電波強度マップ作成時に対象領域をメッシュ分割するが、そのメッシュの粗さも影響していると考えられる。

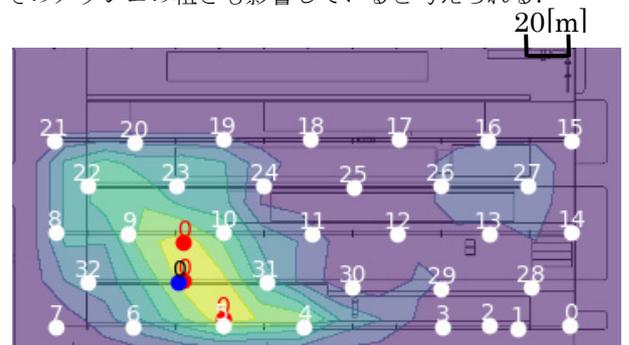


Fig.23 Position estimation result of the query 0.

5. 結 言

本論文では、新たな設備投資無しで既存の無線 LAN のインフラをそのまま利用して GPS の使えない工場の屋内での無線端末の位置検出について考察を行った。あまり高精度な位置検出は難しいが、工場内であれば 10[m]程度の誤差で検出できることを示し、リアルタイムでの人やモノの位置把握や作業分析への利用可能性を示した。本研究で用いたデータ処理方法には改善の余地があるため、今後さらに精度が向上する可能性がある。リアルタイムの位置検出システムを構築するためには、情報を集めて位置推定を行うサーバと、位置検出対象であるモバイル PC のクライアントアプリが必要であり、安価なシステム構築については今後の課題である。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、株式会社大島造船所様には工場内での電波強度計測データ取得に多大なるご協力とご支援をいただきました。ここに厚く御礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 無線 LAN 位置情報システム
株式会社 NEC ネットウェアイ
<http://www.nesic.co.jp/solution/nw/wps.html#Col6>
- 2) Wi-Fi リアルタイム位置情報サービス：ネットワーク：株式会社日立システムズ：
http://www.hitachi-systems.com/solution/s002/musen_lan/wi-fi_location/
- 3) WLAN_ASSOCIATION_ATTRIBUTES structure
[https://msdn.microsoft.com/en-us/library/windows/desktop/ms706828\(v=vs.85\).aspx](https://msdn.microsoft.com/en-us/library/windows/desktop/ms706828(v=vs.85).aspx)
- 4) 藤田 迪・梶 克彦・河口 信夫: Gaussian Mixture Model を用いた無線 LAN 位置推定手法, 情報処理学会論文誌 52(3), pp.1069-1081 (2011).