

WIDE Technical-Report in 2014

2013年WIDE秋合宿における無線LANによる位置情報取得実験
報告

wide-tr-sirokuma-rtls-00.pdf



WIDE Project : <http://www.wide.ad.jp/>

*If you have any comments on WIDE documents, please contact to
board@wide.ad.jp*

Title: 2013 年 WIDE 秋合宿における無線 LAN による位置情報取得実
験報告
Author(s): 藤枝俊輔 (sirokuma@k.u-tokyo.ac.jp),camp1309pc 一同 (camp-
1309-pc@wide.ad.jp)
Date: 2014-01-06

2013 年 WIDE 秋合宿における無線 LAN による位置情報取得実験報告

藤枝俊輔 (sirokuma@k.u-tokyo.ac.jp) , camp1309pc 一同 (camp-1309-pc@wide.ad.jp)

平成 26 年 1 月 6 日

1. はじめに

1.1 実験概要

本実験では、合宿地において無線 LAN 通信から端末位置を推定する運用実験を行った。近年、屋内における位置情報や行動履歴を把握するために、専用機器不要で無線 LAN の電波検出を利用するリアルタイム位置情報システム(Real Time Location System、以下 RTLS)の開発が進み、病院や空港など人の動きを把握する需要が高い場所で利用が始まっている。RTLS 技術の動向を把握し、今後研究利用するために、市販されている RTLS を WIDE 合宿会場で運用した。合宿地のプレナリホール、ワークショップ会場、会議室、それらを結ぶ廊下を対象に、合宿参加者が持つ無線 LAN 端末の推定位置データを収集した。収集したデータは、生データとして camp-net から合宿参加者に提供し、“無線 LAN いろいろワークショップ”等において参加者の自由な解析・利用ができるようにした。

1.2 実験の目的

本実験の目的は、これまで病院や空港といった特殊な需要に応じて利用されてきた屋内位置情報を、汎用の無線インフラから簡単に取得した場合に、どのような環境が必要で、どの程度の精度が期待できるかを把握し、今後の利用検討に発展させることである。そのため、今回は以下の情報把握を目的としている。

- RTLS の技術要素、システム、機能の把握
- RTLS を動作させる無線 LAN インフラの構築条件の調査
- 無線 LAN による RTLS から得られるデータ精度

2. 実験環境

2.1 RTLS

本実験で用いた RTLS では、端末の送信信号を複数の AP (Access Point) で受信し、各 AP における受信信号強度 (Received Signal Strength、以下 RSS) から端末位置を推定する。RSS 方式は遮蔽物による減衰、雑音、マルチパスなどの影響を受けやすいが、位置推定方式の中では最も簡易に実現でき、検出対象ノードには一般の無線 LAN 端末を利用できる。今回利用したシスコ社の RTLS では、無線 LAN 端末が送信するプローブリクエストを位置検出の対象としている。図 1 のように、AP は端末からの信号を検出すると、その RSS を WLC (Wireless LAN Controller) に送り、WLC は集約した RSS 情報を MSE (Mobility Service Engine) に渡す。MSE は複数の AP が報告した RSS から端末の相対位置を計算する。RSS 方式は原理的には 3 点測位であり最低 3 台の AP で信号を検出する必要がある (図 1 では 4 つの AP が端末からの信号を受信しており、受信 AP 数が多いほうが精度が向上する)。RSS 方式では、屋内における遮蔽物や反射が RSS に影響するため、検知対象とするエリアの物理情報を位置計算に含めることが望ましいが、時間的な制約と、詳細な物理情報 (どの壁や柱が何 dB 減衰するか) をくまなく取得することは困難であり、また不完全な物理情報がデータを歪ませることを避けるため、今回はエリアの物理情報は含めずに実験を行った。

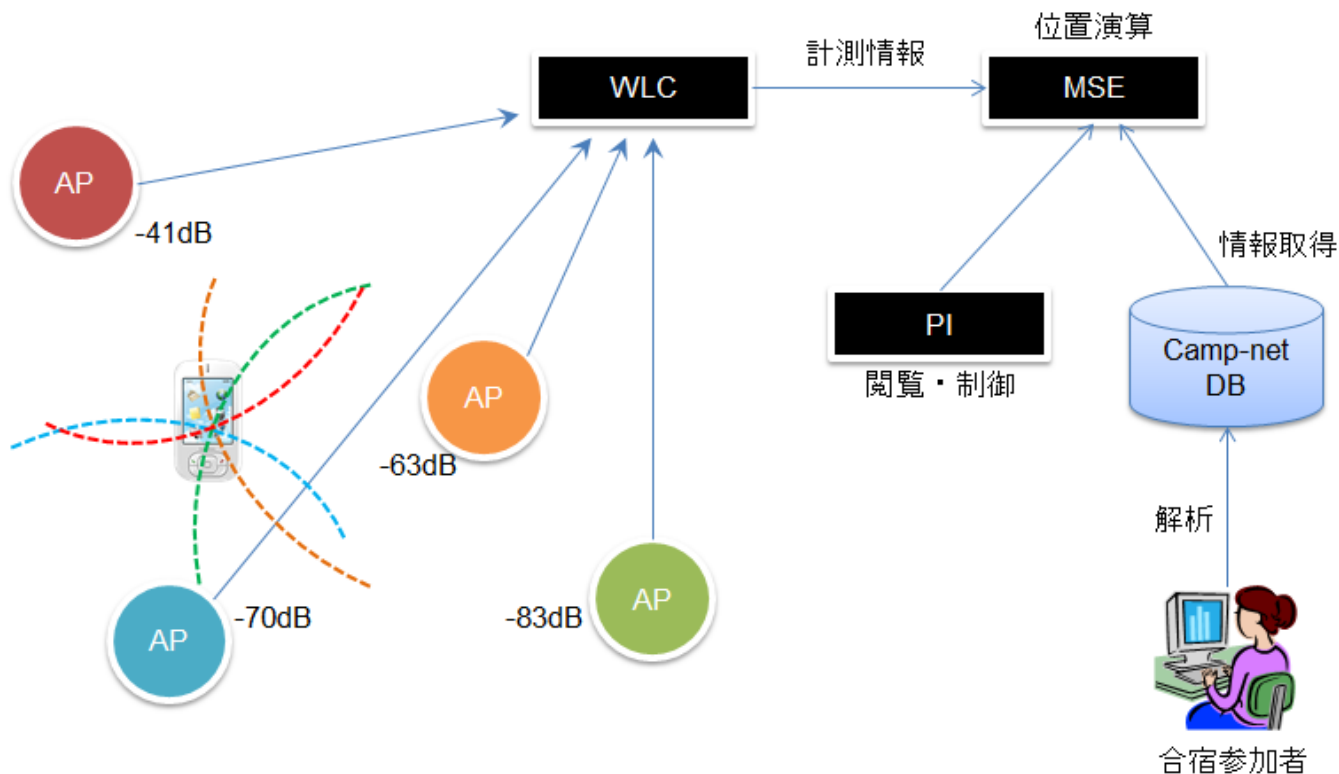


図 1：実験で用いたシスコ社の RTLS システム

2.2 使用機材

本実験では、ユーザが会場に持ち込んだ一般の無線 LAN 端末（ノート PC、スマートフォン、タブレット）を対象に位置情報を取得した。位置情報取得システムと無線 LAN インフラには以下の機材を利用した。

- Mobility Service Engine(MSE)
 - RSS から位置計算を行い、システム管理者や関連機器にその情報を提供する。
 - バージョン 7.5.102.0、VMware ESXi 上の仮想マシンとして動作
- Prime Infrastructure(PI)
 - ネットワーク統合管理システムであり、システム全般（AP、WLC、MSE）の設定および制御と、システム管理者による情報閲覧に利用する。
 - バージョン 1.4.0.45、VMware ESXi 上の仮想マシンとして動作
- ワイヤレス LAN コントローラ(Wireless LAN Controller, 以下 WLC)
 - ファームウェア 7.4.100.0、WLC5508
- 無線 LAN 基地局(802.11a/g/n)
 - Aironet 2600 4 台
 - Aironet 3500 16 台

3. 位置取得に適した電波環境の構築

3.1 AP の配置

本実験では、合宿参加者に生活用の無線 LAN インターネットを提供しつつ、端末の位置情報を取得した。無線 LAN は 802.11a/g/n で提供し、以下の電波環境を構築した。AP が端末の信号を受信するためには、基地局自身がそのチャンネル上で監視状態である必要がある。通信サービスを提供する AP（以下通信 AP）は、自分がサービスしているチャンネル以外を一定時間毎に周回して監視可能であるが、監視する時間が非常に短いため効果的に端末を検出できない。通信 AP はデフォルト設定において 16 秒の通信サービス時間の後に 50ms の他チャンネル

監視時間を持ち、通信サービス・他チャンネル A を監視・通信サービス・他チャンネル B を監視のように他チャンネルを順に周回し監視する。デフォルト設定の監視間隔（約 180 秒）で 2.4GHz 帯の 11 チャンネル全体を監視することになる。通信 AP では他チャンネルを検出できる時間が非常に短いため、監視専用の AP（以下モニタ AP）を配置すると、より高い頻度および精度で位置検出が可能になる。モニタ AP は、デフォルト設定では 1.2 秒間隔で各チャンネルを監視する。

今回の実験では、図に示すように全 20 台の AP（赤：通信 AP 9 台、青：モニタ AP 11 台）を配置した。モニタ AP の設置により、AP の総数はこれまで同規模で開催した WIDE 合宿の倍以上が必要となった。部屋面積と面積あたりの AP 数を表 1、表 2 に示す。エリア全体の面積は図 2 における 32m×77m の範囲（検出対象にしないトイレなどを含めた面積）としている。シスコ社が推奨する通信 AP あたりのカバレッジは約 230-450 m² であり [2]、十分な通信 AP に加えてモニタ AP を設置している。

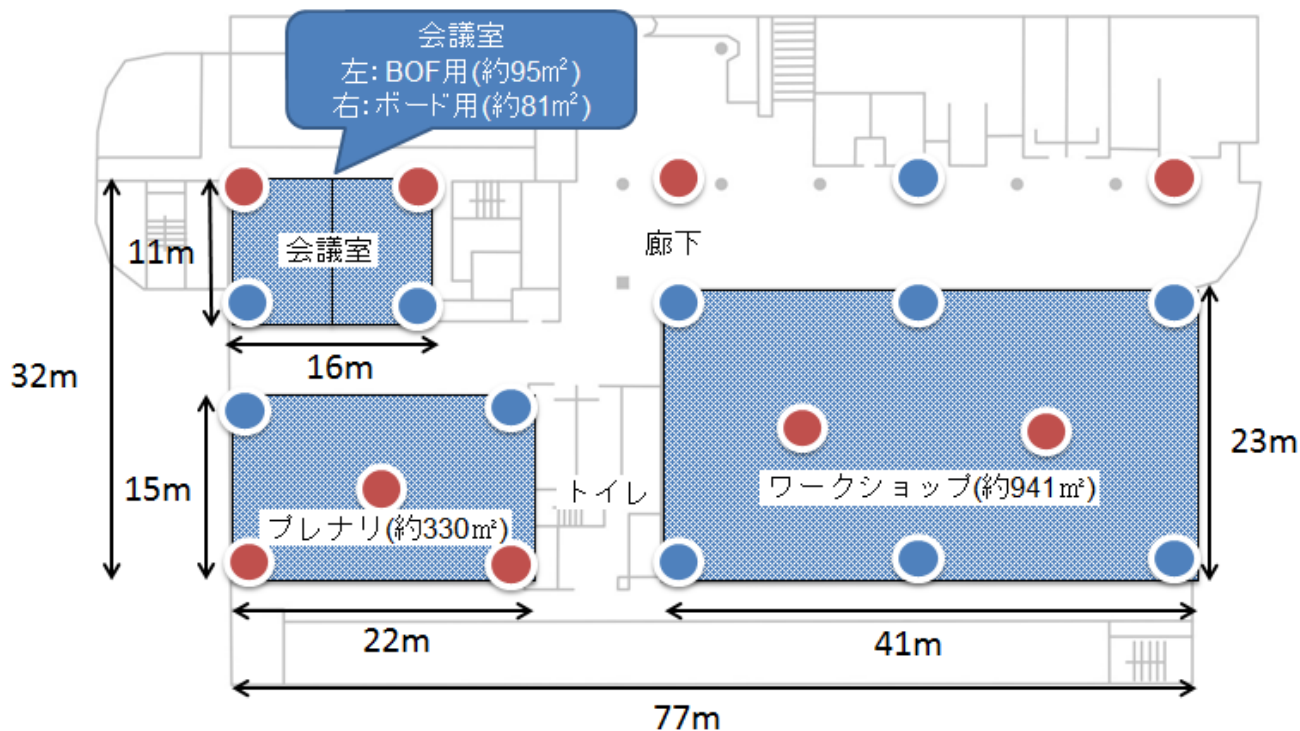


図 2 実験エリア

場所	面積	通信 AP 数	モニタ AP 数	総 AP 数
プレナリ	330 m ²	3	2	5 個
ワークショップ	941 m ²	2	6	8 個
会議室(左)	95 m ²	1	1	2 個
会議室(右)	81 m ²	1	1	2 個
全体	2464 m ²	9	11	20 個

表 1 部屋面積と AP 数

場所	面積/通信 AP 数 (m ² /AP)	面積/モニタ AP 数(m ² /AP)	面積/総 AP 数 (m ² /AP)
プレナリ	110	165	66
ワークショップ	470.5	156.8	117.625
会議室 (左)	95	95	47.5
会議室 (右)	81	81	40.5
全体	273.8	224	123.2

表 2 面積あたりの AP 数

3. 3 無線 LAN のチャンネル設計

2.4GHz 帯においては、無線 LAN を利用する他の実験との住み分けのため 11ch のみ利用した。今回の WIDE 合宿では会場内全体を利用する無線 LAN の実験が本実験を含めて 3 つ平行して行われており、実験毎にエリア全体に AP を配置しているため、実験毎に 1ch、6ch、11ch が割り当てられている。実験毎にチャンネルを割り当てた理由は、AP 間の干渉が避けようがないため、同じ管理者の配下にある AP 同士が干渉したほうが、異なる管理者の配下にある AP 同士が干渉するよりも影響の把握や調整が容易であるためである。

5GHz 帯は、チャンネルボンディングにより 40Mhz 帯域幅で運用し、チャンネルは W53(52+56, 60+64)から W56(100+104,108+112,116+120,124+128,132+136)までを利用した。7 チャンネルが利用可能であるため、干渉が少ない運用が可能であった。まとめると、2.4GHz 帯と 5GHz 帯の合計チャンネル数は以下になる。

- 2.4GHz 帯：計 1 チャンネル(11ch)
- 5GHz 帯：計 7 チャンネル(52+56、60+64、100+104、108+112、116+120、124+128、132+136)

今回の実験では 2.4GHz 帯が 1 チャンネルであるため、電波干渉により空間の通信キャパシティが小さく、また混雑すると端末から送信された信号を複数の AP で正しく受信できない可能性が上がる。そのため、可能な限り通信を 5GHz 帯に誘導すること、そして制御フレームによる 2.4GHz 帯の時間消費を抑制するチューニングを行った。

1) Band Select 機能

Band Select 機能は、AP が 2.4GHz 帯において端末からのプローブを数回破棄することで、端末が 5GHz 帯で通信開始することを促す機能である。

2) 接続レートの制限

下に示すように、2.4GHz 帯では 12Mbps 以下の通信レートを無効に設定した。これにより、低速な通信や最低接続レートで送信される AP からの制御フレームがチャンネル時間を消費することを抑制した。5GHz 帯では接続レートの制限は行わなかった。

802.11b/g Operational Rates

802.11b/g 1M Rate..... Disabled
802.11b/g 2M Rate..... Disabled
802.11b/g 5.5M Rate..... Disabled
802.11b/g 11M Rate..... Disabled
802.11g 6M Rate..... Disabled
802.11g 9M Rate..... Disabled
802.11g 12M Rate..... Disabled
802.11g 18M Rate..... Supported
802.11g 24M Rate..... Mandatory
802.11g 36M Rate..... Supported
802.11g 48M Rate..... Supported
802.11g 54M Rate..... Supported

802.11a Operational Rates

802.11a 6M Rate..... Mandatory
802.11a 9M Rate..... Supported
802.11a 12M Rate..... Mandatory

802.11a 18M Rate..... Supported
 802.11a 24M Rate..... Mandatory
 802.11a 36M Rate..... Supported
 802.11a 48M Rate..... Supported
 802.11a 54M Rate..... Supported

3) 送信出力の手動調整

2.4GHz 帯は 11 チャンネル固定であり、AP の送信出力は自動調整とした。5GHz 帯では、はじめは AP の通信チャンネルと送信出力を自動選択したが、AP が密に設置されているため送信出力が低めに自動調整され、半分以上の端末が RSS が高い 2.4GHz 帯に接続する状態になったため、5GHz 帯の送信出力を手動で設定し、AP から 5GHz 帯の電波が端末に強く到達するように調整した。その結果、図 3 に示すように約 7 割の端末が 5GHz 帯に以降した。十数台設置されていた Raspberry Pi を含めて 5GHz 帯に未対応の端末も存在するため、5GHz に対応した端末は大半が誘導できていたと思われる。

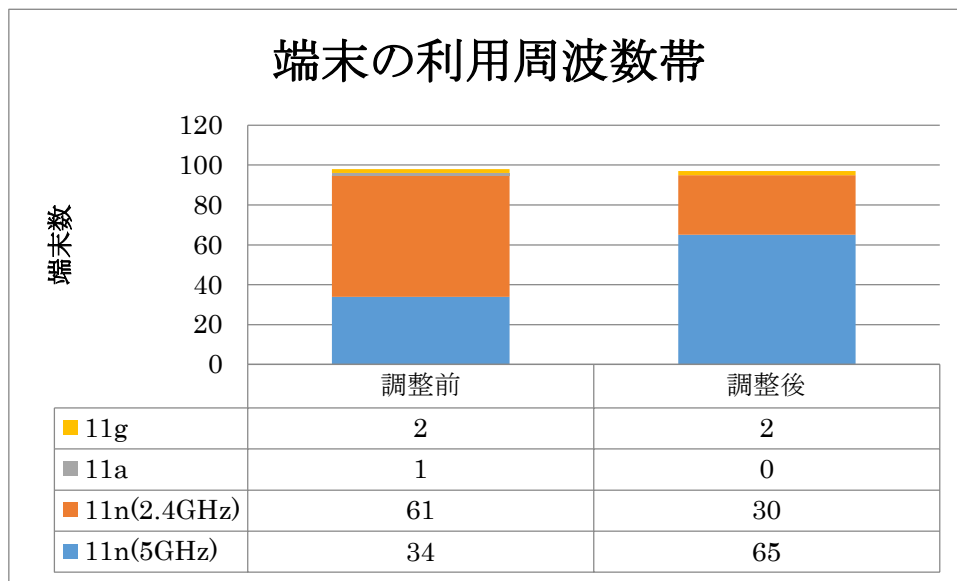


図 3 端末の利用周波数帯 (5GHz 帯の電波出力調整前・調整後)

図 4 は合宿期間中の無線 LAN 端末数の推移である。ワークタイムは常時 100 台以上の端末が生活線として利用した。

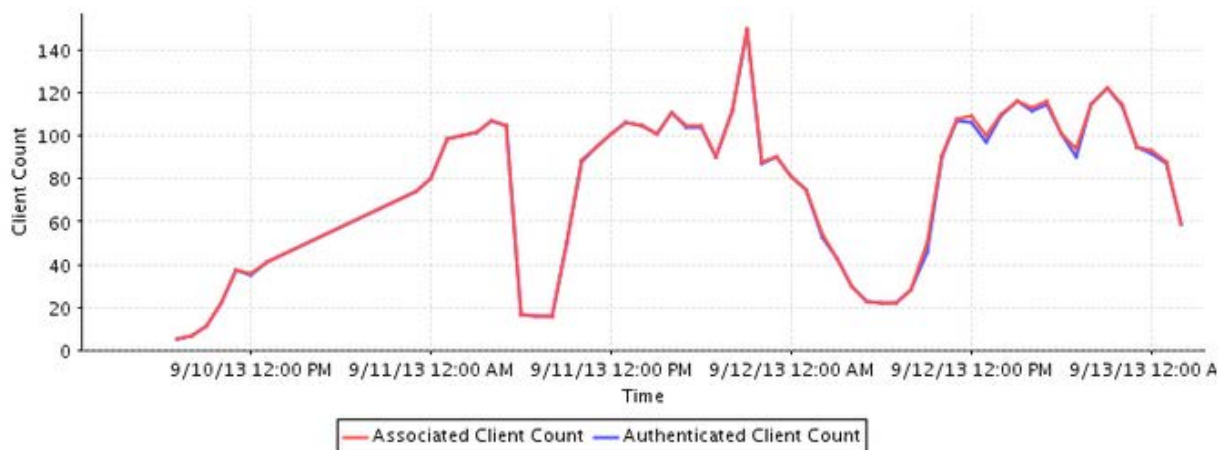


図 4 接続端末数推移

図5と図6は5GHz帯のAP送信出力調整後のサイトサーベイ結果であり、RSSの分布を示している。サーベイ時には廊下の通信AP(1台)がトラブルによりオフラインの状態であったが、エリア全体で最低-60dBm以上のRSSが確保されており、2.4GHz帯よりも5GHz帯で強いRSSが確認できている。

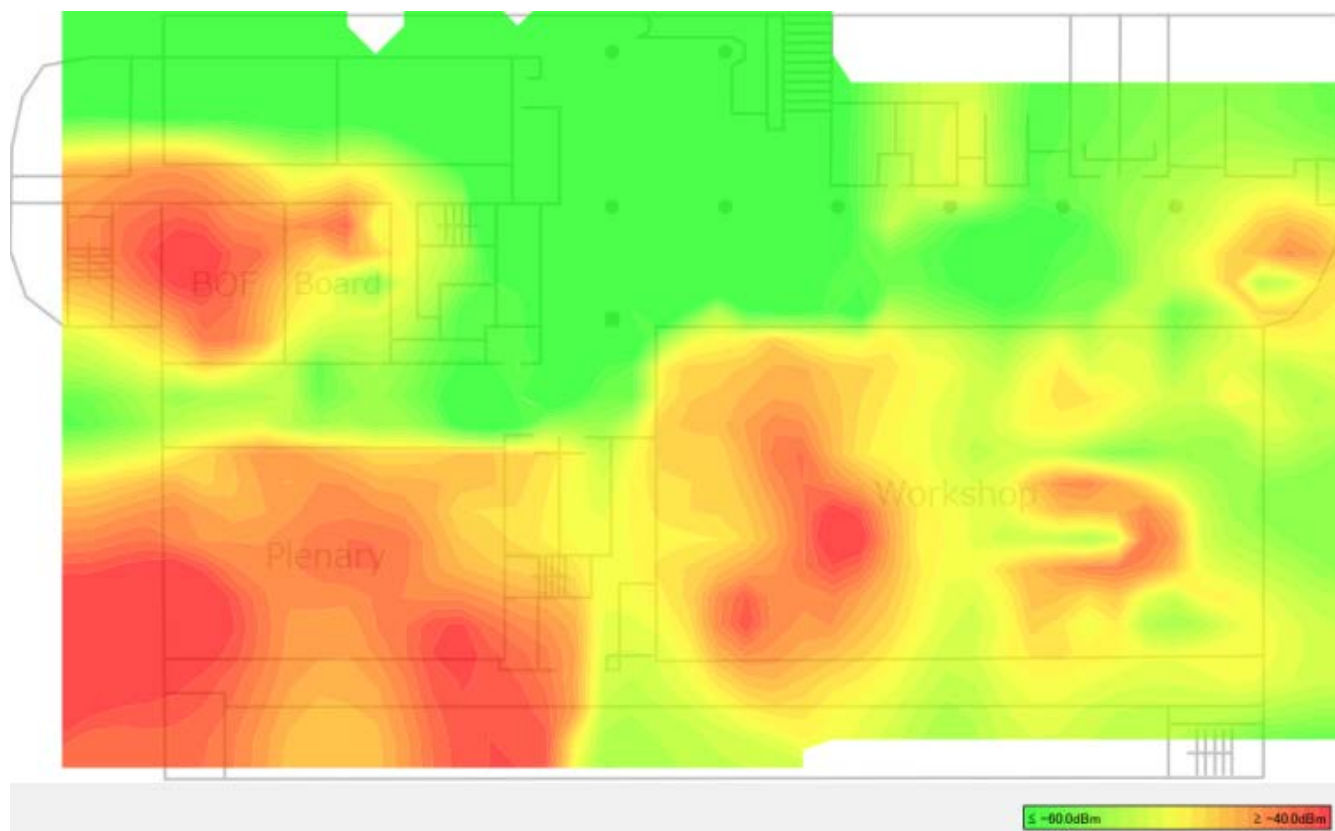


図5 2.4GHz帯のカバレッジ (RSS -40dBm~-60dBm)

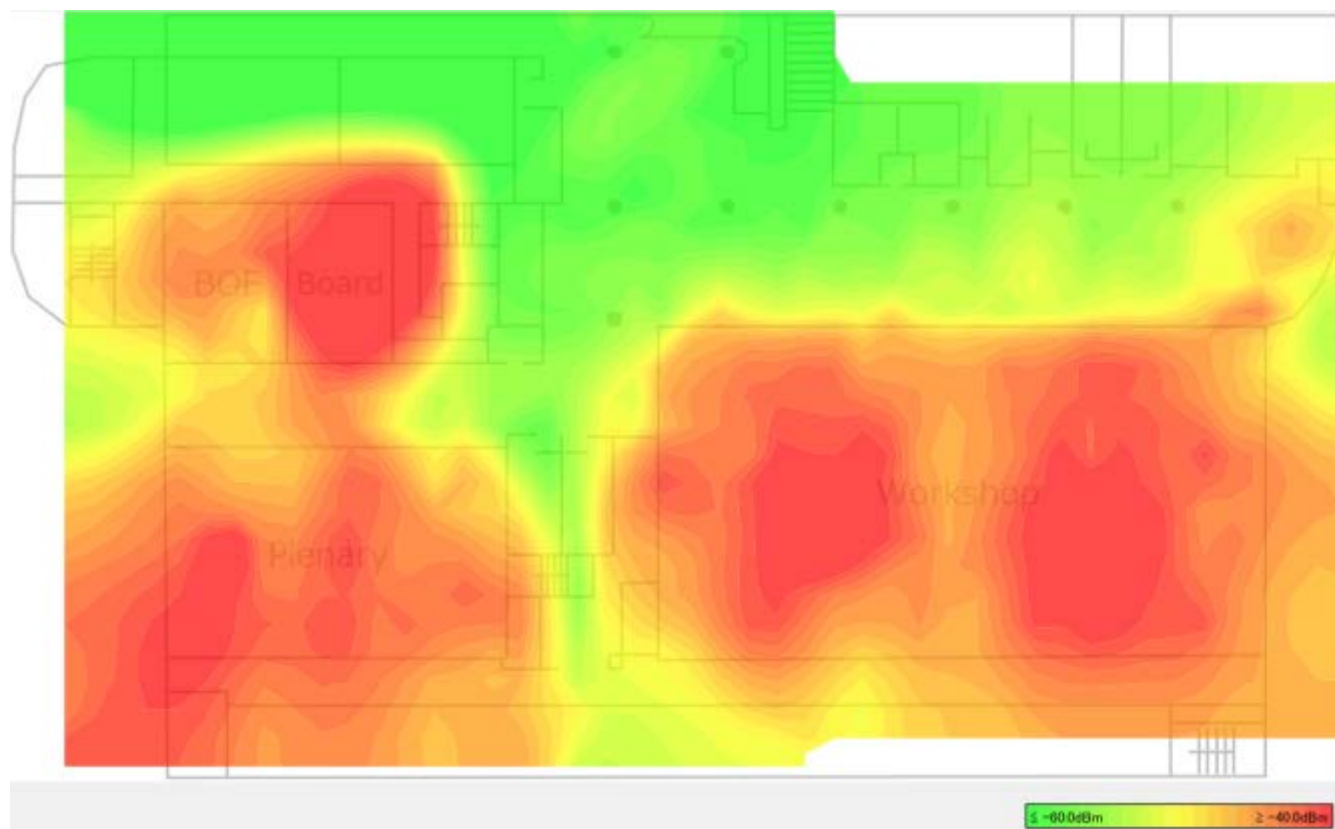


図6 5GHz帯のカバレッジ (RSS -40dBm~-60dBm)

4. データ分析

4.1 取得データの概要

上記のシステム環境により取得した位置データについて、検出の精度と傾向に関する分析を行った。分析には、MSE が提供する location history 情報（以下、ヒストリ情報）を用いた。ヒストリ情報には、端末が初めて検出されたときと、端末が 10m 以上移動したと検出されたときに記録が残る。本データの概要は以下の通りである。

- データ取得期間：2013 年 9 月 10 日 0:00～9 月 13 日 19:50
- 検出した端末(mac address)数：1748
- サンプル数：95635

合宿参加者数 129 名に対して、mac アドレスは 1748 検出されており、会場外から到来するシグナルも数多くデータに含まれていると考えられる。分析にあたり、まず検出精度が低い情報を confidence factor 値（以下 CF 値）により除外する。CF とは、ある端末の位置を計算した場合に、推定位置を中心とする正方形に端末が実際に位置することを 95%信頼できるとした場合の、正方形の大きさを示す値である[2]。図 7 に示すように、CF 値は信頼性 95%の正方形における辺の半分の長さであり、x 軸と y 軸のどちらかで検出位置が実際の位置からの外れる距離のおよそ最大値と考えることができる。信頼性が高いデータは正方形の辺が短くなり（CF 値が小さくなり）、信頼性が低いデータは辺が長くなる（CF 値が大きくなる）。

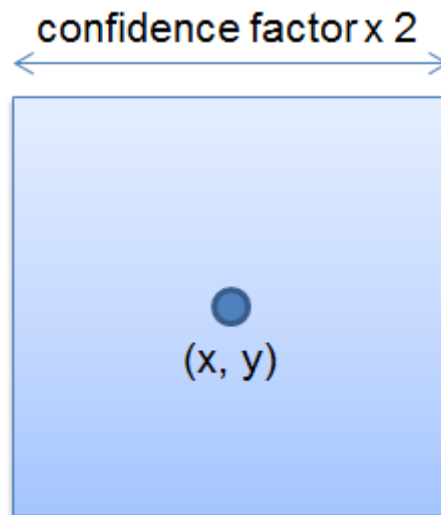


図 7 confidence factor

図 8 に本実験のヒストリ情報における CF 値の分布、図 9 にその値ごとの割合を示す。値が 10m~30m の範囲のサンプル数の割合が高く全体の 46%を占めている。

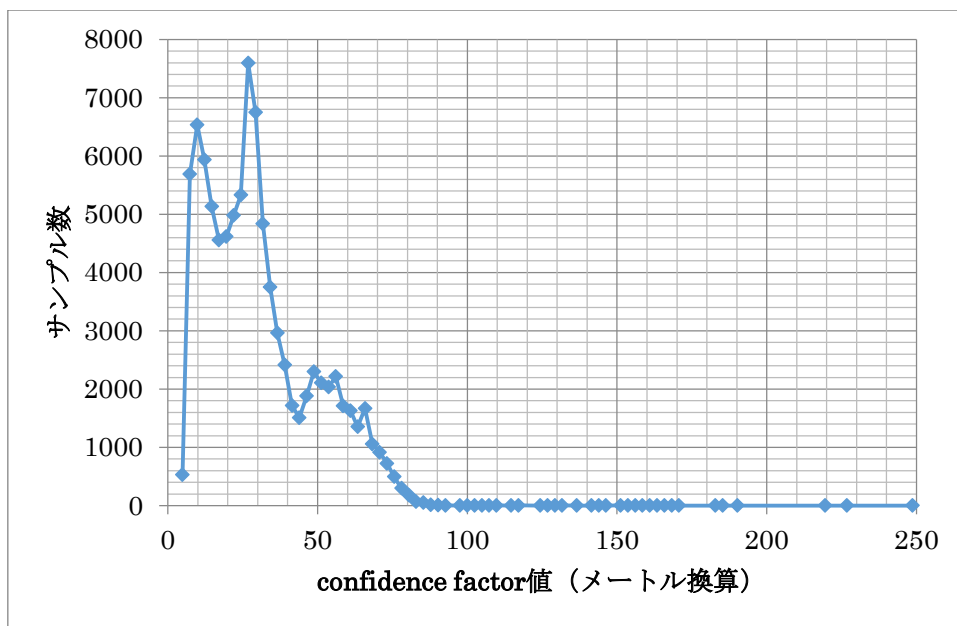


図 8 CF 値の分布

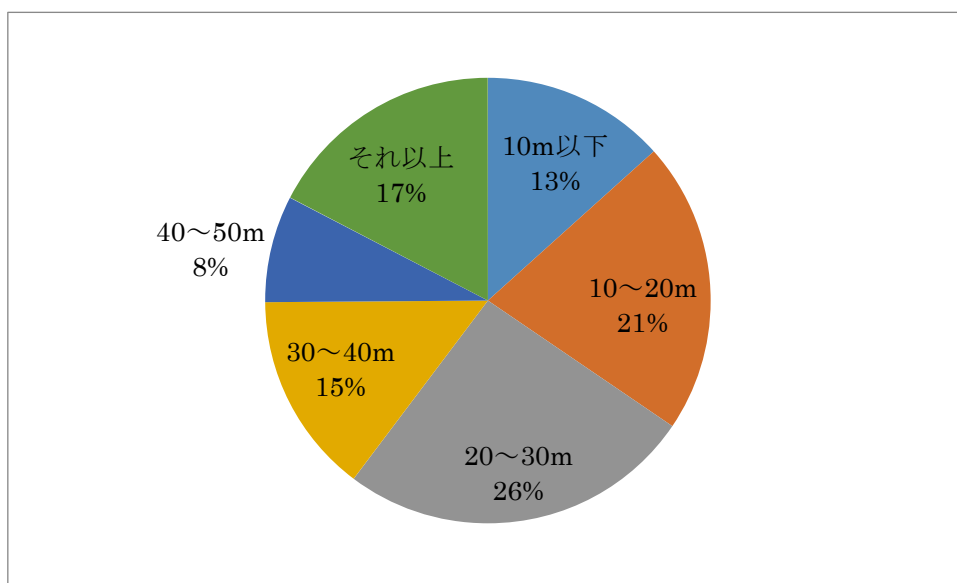


図 9 CF 値の割合

4.2 固定ノードの位置情報に関する考察

合宿地に固定設置され無線 LAN のネットワーク監視を行っていた Raspberry Pi 端末について位置情報を分析した。図 10~図 19 は、サンプル数が最も多かった 5 つの Raspberry Pi 端末の推定位置である (単位: メートル)。各端末について、全サンプルの分布と、CF 値 30m 以外にサンプルを絞り込んだ場合の分布を示している。検知位置が横方向に分散しているもの (固定端末 1, 固定端末 5)、密集しているもの (固定端末 2, 固定端末 3)、縦横に分散してしまっているもの (固定端末 4)、など、端末毎に幾つかの傾向があるが、サンプルの密集度からノードの位置に依存して検出の精度にばらつきが生じていることが分かる。分散しているものほど推定位置が不正確と考えられる。このとき、同じ端末について、全サンプルと CF 値 30m 以内のサンプルを比較しても大きな違いは見られない。そのため、CF 値を利用して、精度が低いサンプルを完全に淘汰することは困難と思われる。

一方、検出位置が密集している（検出精度が高いと思われるエリアの）端末は CF 値が 30m 以下のサンプルの割合が多く、位置が分散している（検出精度が低いと思われるエリアの）端末はその割合が低くなっている。例えば、比較的推定位置にばらつきが出ている固定端末 1、4、5 では CF 値が 30m 以内データは 45.8%、74.8%、42.6 であるが、推定位置が密集している固定端末 2、3 では 90%前後である。CF 値のばらつきは、エリアの検出精度に関連すると考えられる。

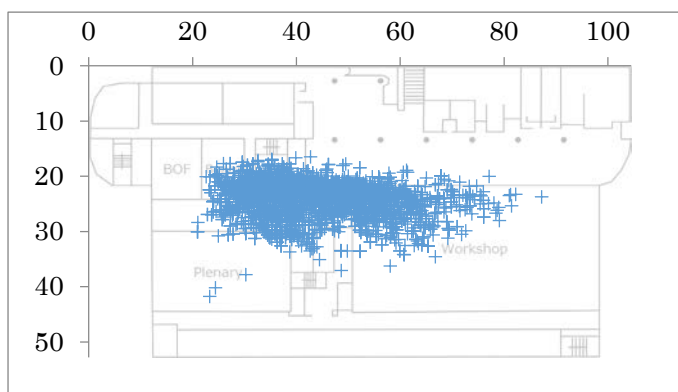


図 10 固定端末 1 (全サンプル 3142)

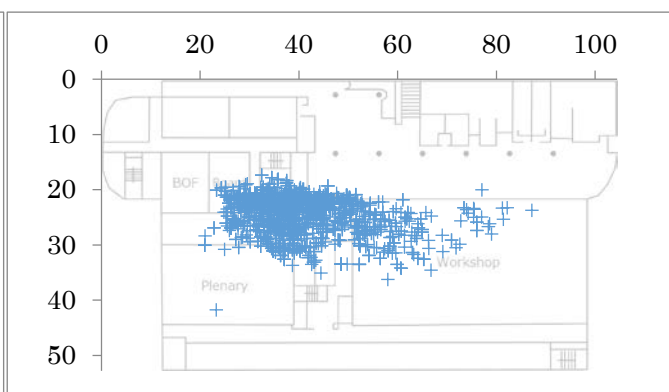


図 11 固定端末 1 (CF が 30m 以内、45.8%)

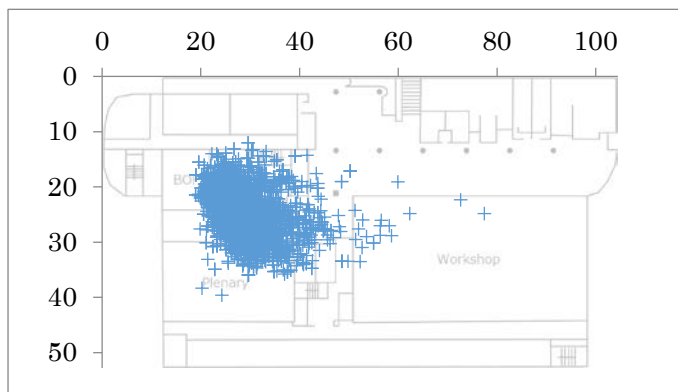


図 12 固定端末 2 (全サンプル 2703)

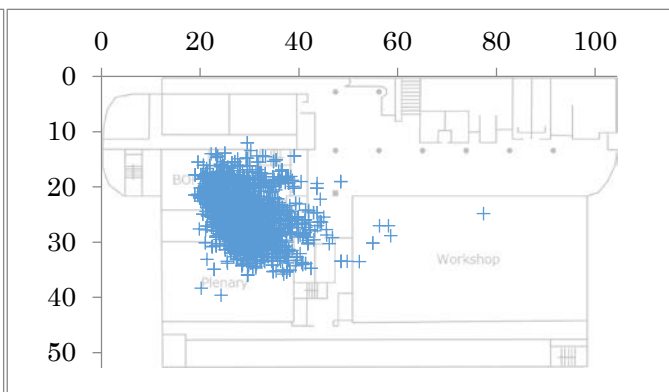


図 13 固定端末 2 (CF が 30m 以内、89.7%)

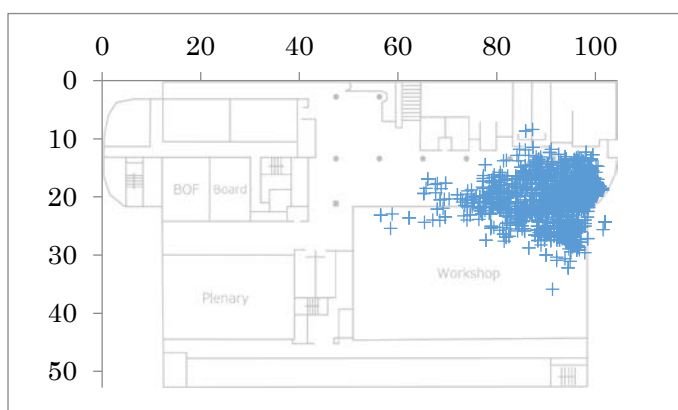


図 14 固定端末 3 (サンプル数 2694)

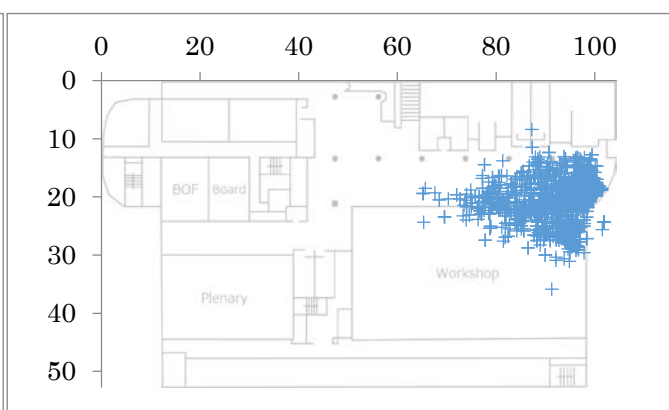


図 15 固定端末 3 (CF が 30m 以内、91.3%)

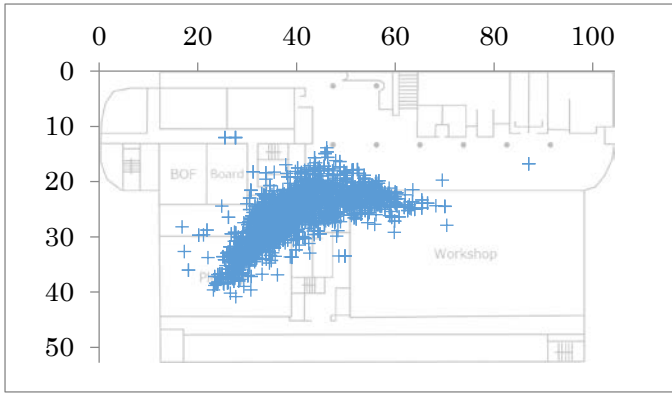


図 16 固定端末 4 (サンプル数 2676)

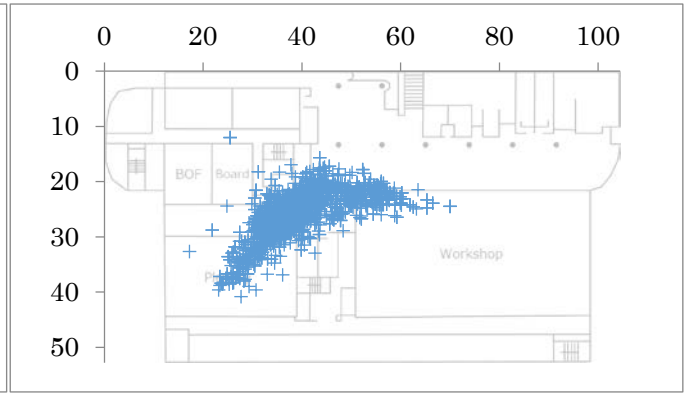


図 17 固定端末 4 (CF が 30m 以内、74.8%)

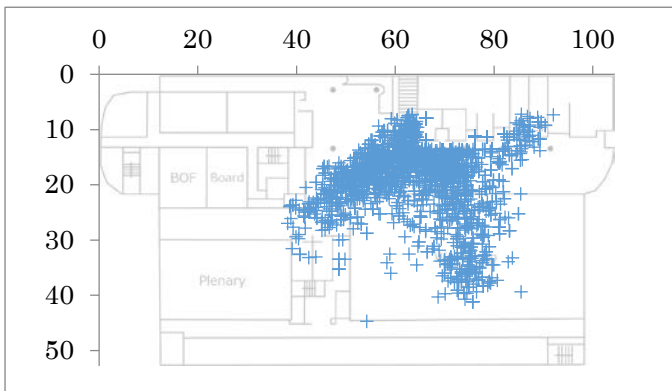


図 18 固定端末 5 (サンプル数 2669)

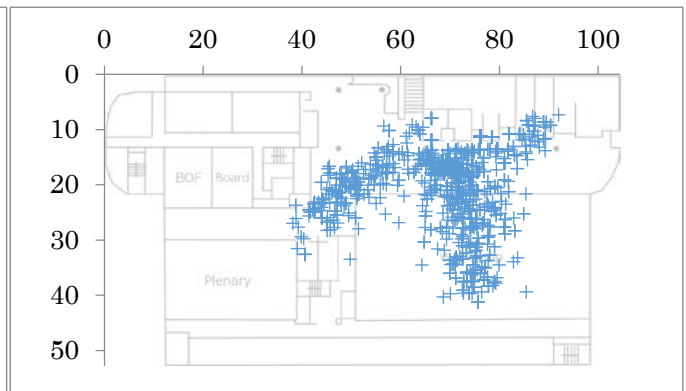


図 19 固定端末 5 (CF が 30m 以内、42.6%)

4.3 位置による検出精度に関する考察

固定ノードの位置情報に関する考察より、ノードの位置により検出精度に差が生じていることが分かった。また、検出精度が悪い位置では CF 値が全体的に低下することが分かった。そこで、実験エリア内でどの場所が正確で、どの場所が不正確なのか検討する。図 20～22 の 3 つの図は、CF 値が 10m 以下、30m 以下、30m 以上のサンプルの分布である。見やすさのため、これらのデータは 2013 年 9 月 12 日の 1 日分としている。図 20 のように、精度が高い情報はモニタ AP に周囲を囲まれたホール内や会議室内に集中しており、逆に精度が悪い情報は図 22 のように中央の廊下のようにモニタ AP に囲まれていない場所に集中している。廊下では、モニタ AP と端末の間に壁や柱などの遮蔽物が存在することも検出精度に影響していると考えられる。

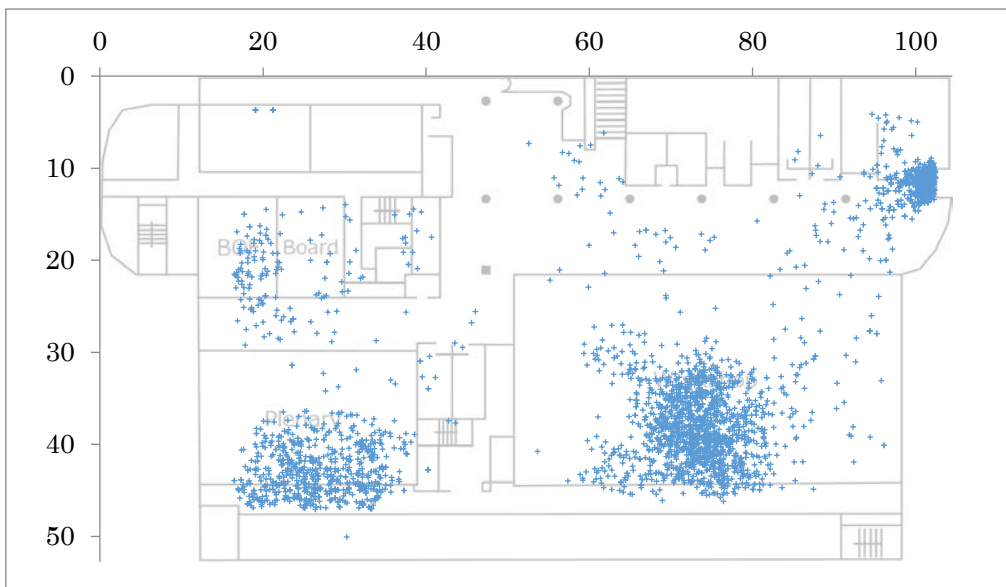


図 20 CF 値が 10m 以下のサンプル (サンプル数 3234、全体の 15.3%)

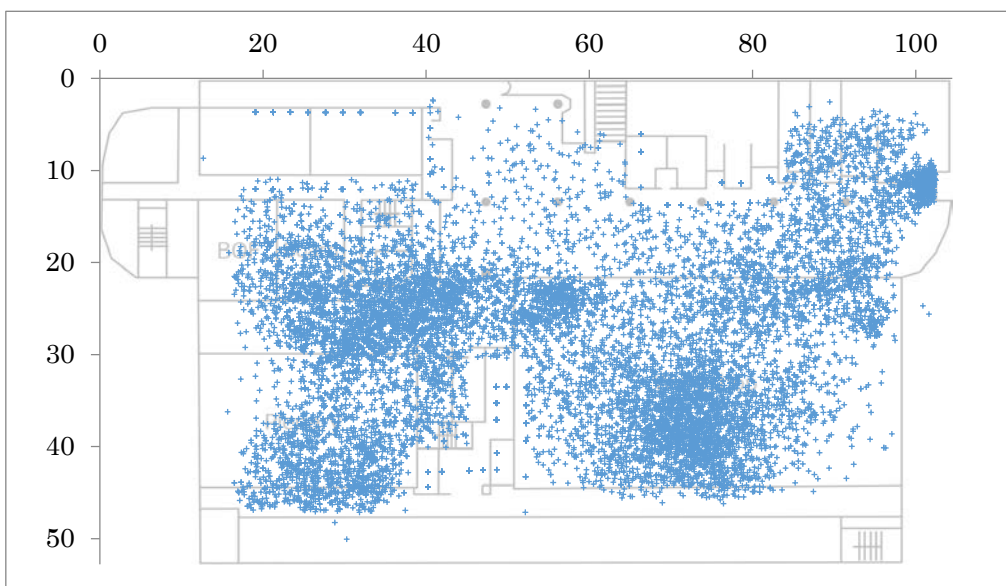


図 21 CF 値が 30m 以下のサンプル (サンプル数 13769、全体の 65.2%)

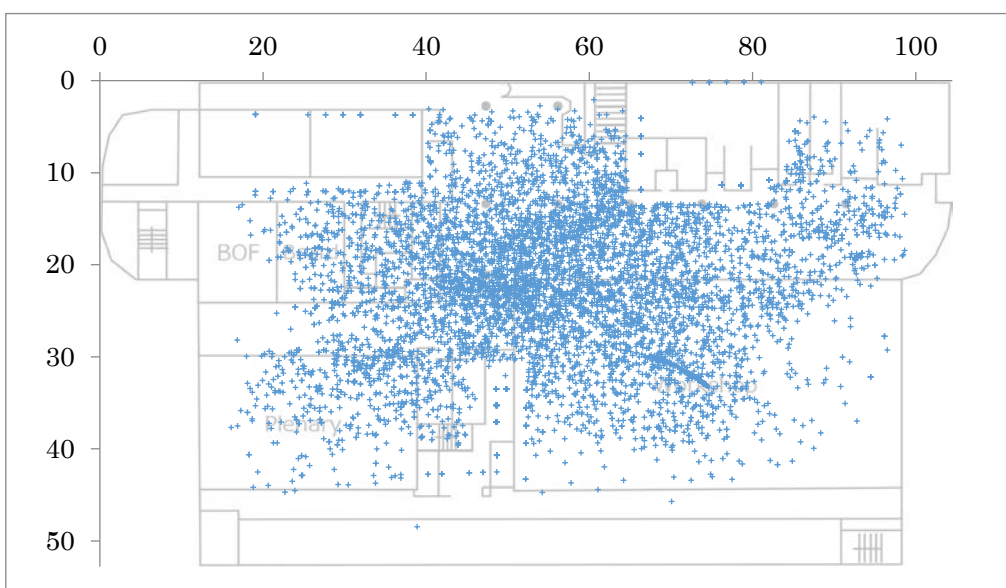


図 22 CF 値が 30m 以上のサンプル (サンプル数 7338、全体の 34.8%)

4.4 移動端末の履歴

次に、4.3 で述べた固定端末以外で、検出された回数が多かった端末上位 5 台（不特定端末 A～E）と、mac アドレス調査により参加者の移動端末であることが判明している端末の上位 5 台（移動端末 a～e）の分布を以下に示す。図示されているのは 3 日間のデータのうち CF 値が 30m 以内のサンプルのみである。各端末の全サンプル数、CF 値が 30m 以内のサンプル数、その割合を表 3 に示す。不特定端末は、A～D のように図面の右上に履歴が集中する箇所があるが、表 3 に示すとおり精度が高いサンプル数の割合が低く、エリア外の端末を検出している可能性が高い。登録済端末は不特定端末よりも精度が高いサンプルの割合が多く、エリア内に現実的な値が取得できている。しかし、移動端末のデータは実際の利用と照らし合わせて考える必要があるため、今回は端末の実際の位置との比較はできなかった。移動端末に関するデータ精度の調査は今後の課題とする。

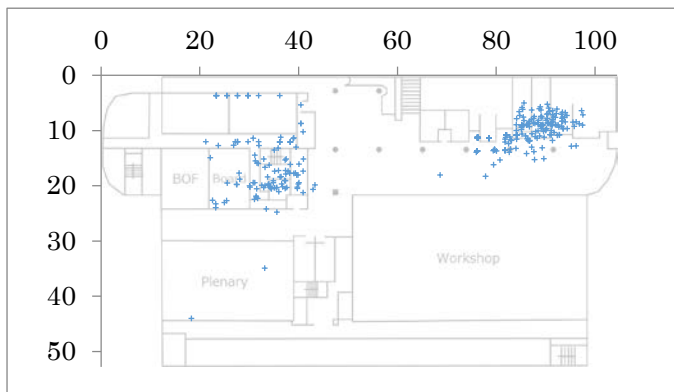


図 23 不特定端末 A

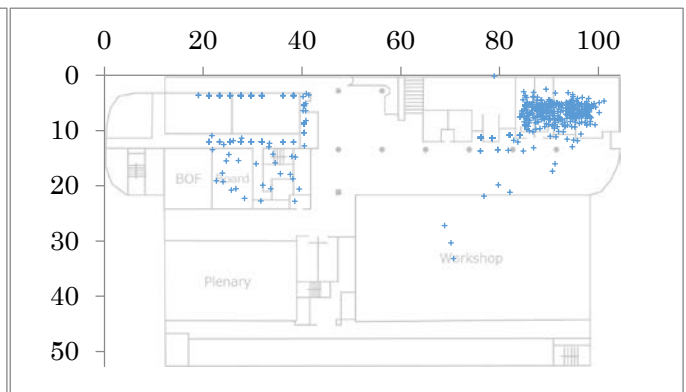


図 24 不特定端末 B

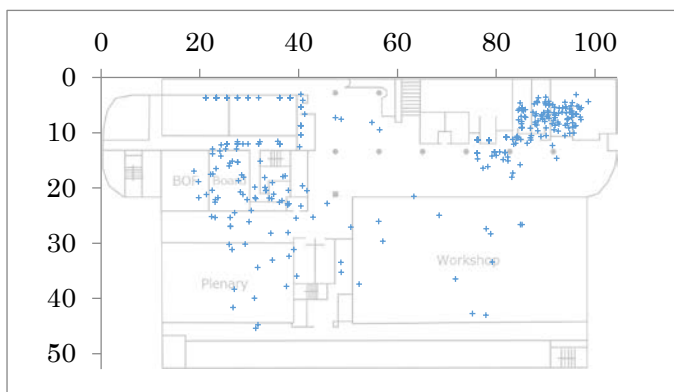


図 25 不特定端末 C

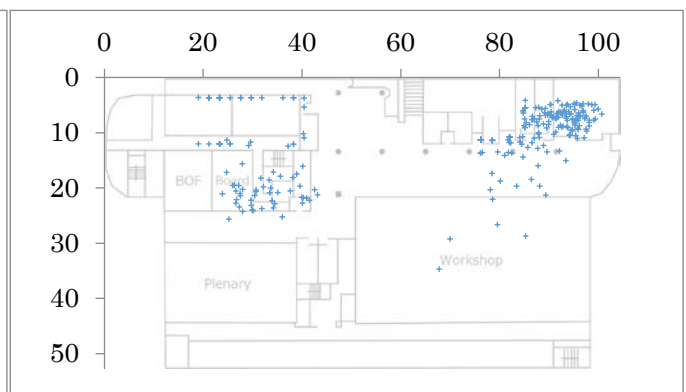


図 26 不特定端末 D

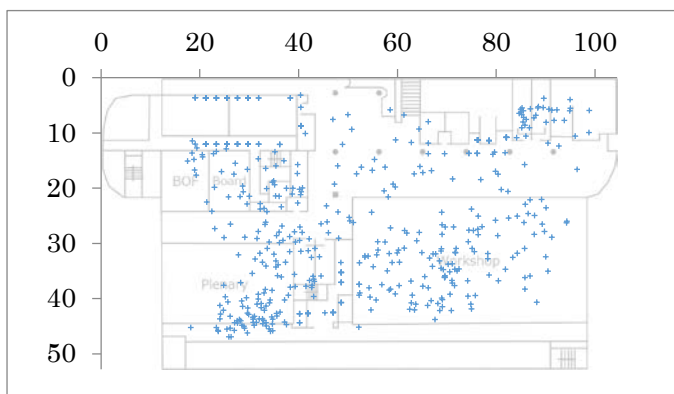


図 27 不特定端末 E

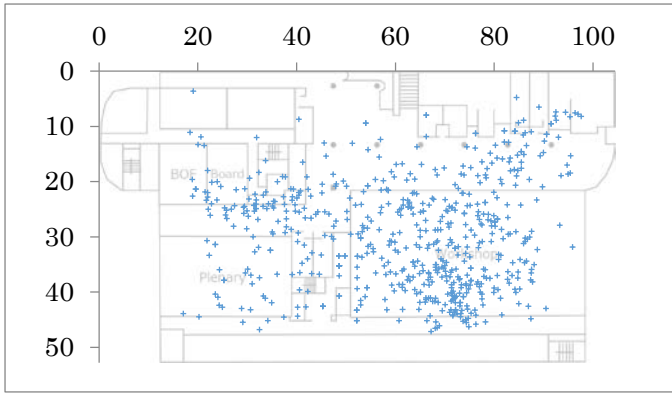


図 28 登録移動端末 a

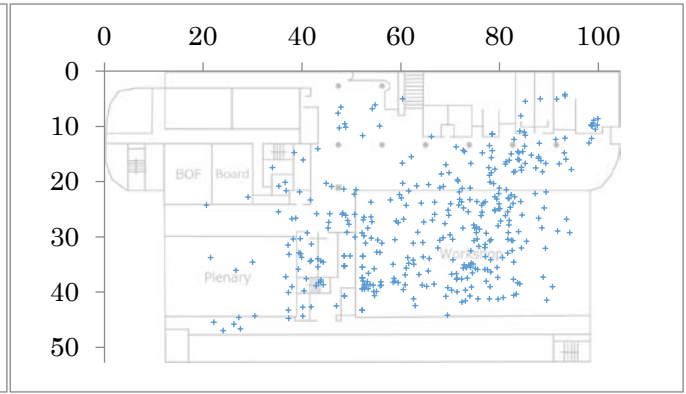


図 29 登録移動端末 b

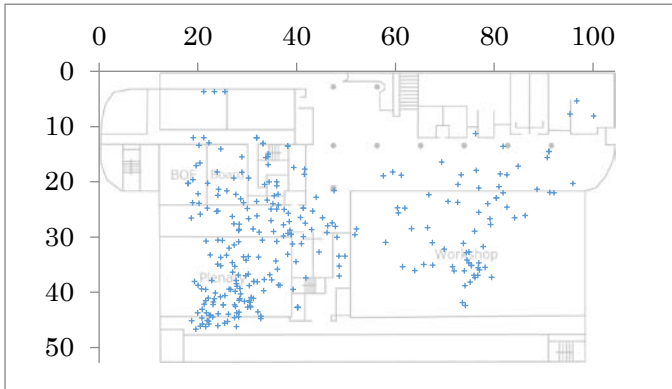


図 30 登録移動端末 c

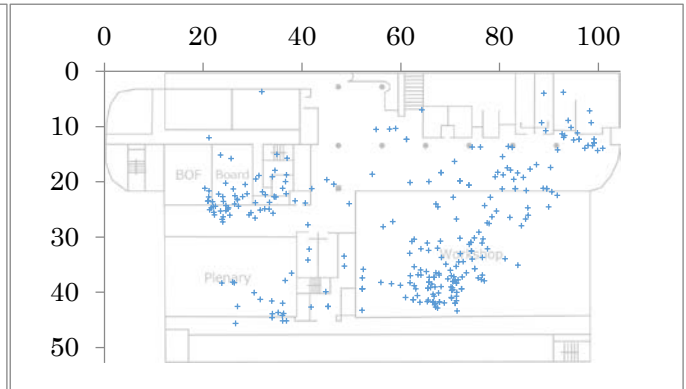


図 31 登録移動端末 d

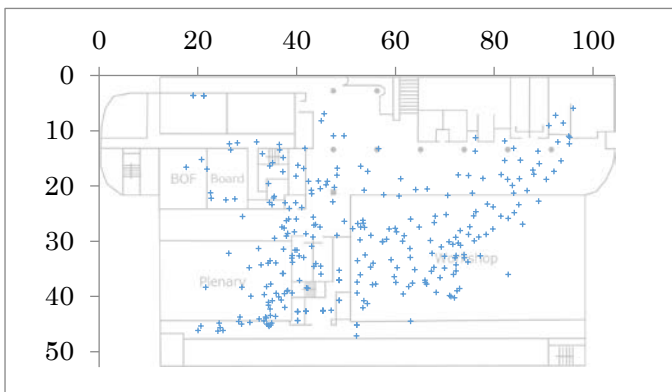


図 32 登録移動端末 e

端末	全サンプル数	CF値が30m以内のサンプル数	CF値が30m以内のサンプル数の割合
不特定端末 A	2149	355	16.5%
不特定端末 B	2005	643	32.1%
不特定端末 C	1343	349	26.0%
不特定端末 D	1157	268	23.2%
不特定端末 E	1125	520	46.2%
登録移動端末 a	896	628	70.0%
登録移動端末 b	586	389	66.4%
登録移動端末 c	430	286	66.6%
登録移動端末 d	392	292	74.5%
登録移動端末 e	351	291	82.9%

表 3 不特定端末と登録移動端末に関する位置情報

5. まとめ

WIDE 合宿において、無線 LAN による RTLS の実験運用を行った。初回の実験であるため、精度の検証は不十分であるが、以下のように構築・運用に関する有用な知見が得られた。

- 実験を行った合宿地は郊外であるが、予想以上に外来と思われる無線 LAN 端末が検知されている。外来の端末を効率的に除外する措置が必要である。
- 本実験では、場所によって位置情報の精度に差が生じた。データは CF 値によって信頼性が示されるが、その値のみで精度が悪いデータを淘汰することは限界がある。逆に検出精度が悪い場所では全般的に CF 値が悪化するため、そのエリア内の位置精度が推測できる。
- 位置精度の向上は、より綿密なモニタ AP の配置と電波減衰に関するエリアの物理情報によって可能と思われる。しかし、それを複雑な実空間で簡易に取得・設計することは困難であり、位置情報の取得には既存の無線 LAN インフラよりも更にシステム管理者によるチューニングが必要である。

今後、位置情報精度を向上させるシステム構築・運用技術とデータ精度に関する検討を重ねると共に、このように簡易に取得できるようになった屋内位置情報のアプリケーション利用を進める予定である。

参考文献

[1] Unified Wireless Network の不正な管理

http://www.cisco.com/cisco/web/support/JP/110/1109/1109864_handling-rogue-cuwn-00-j.html

[2] Context Aware Mobility Solution Deployment Guide

http://www.cisco.com/en/US/products/ps9742/products_tech_note09186a00809d1529.shtml

Copyright Notice

Copyright (C) WIDE Project (2014). All Rights Reserved.