

応募区分：研究型論文

Cisco 無線 LAN アクセスポイントにおける受信電力を利活用した
事務所環境での端末位置推定の実験的検討
- 推定位置の誤差の把握とフリーアドレスで便利さ痛感の
「空席エリア推定アプリケーション」の開発 -

松戸 孝(まつど たかし)
ネットワークシステムズ株式会社 ビジネス推進本部
第1 応用技術部 スイッチワイヤレスチーム

宇都宮 光之(うつのみや みつゆき)
ネットワークシステムズ株式会社 ビジネス推進本部
第1 応用技術部 NI ソリューション開発チーム

■ 要約

データ通信用としてシスコシステムズ社製の集中制御型無線 LAN システムを日常的に運用している一般的な事務所のフロア環境において、同システムによって推定された端末位置の誤差を実験的に把握し、その特徴を明らかにした。端末が静止状態、かつ、端末からの電波が複数の無線 LAN アクセスポイントで受信されているという測位に適した実験状況の中で、誤差が最小の実験結果でも、すべての測位地点の内の 95% を占める各地点で発生する誤差は 9.3m 以下であり、十数名で利用する小会議室の大きさ程度に相当する誤差が必ずありえることを確認できた。しかしながら、推定された端末位置の誤差が上述の程度であることを許容した場合に、事務所フロア環境で推定された複数の端末位置情報を座席情報と連携させることによって、フリーアドレスでの空席探しの支援(「流浪の社員問題」の改善)を可能にした「空席エリア推定アプリケーション」の開発を実施することができた。

目次

1. まえがき.....	4
2. 端末位置推定の実験的検討.....	4
2.1. 実験目的.....	4
2.2. 実験場所の環境.....	5
2.2.1. 事務室フロアの環境（AP と端末間の見通しが、概ね良い環境）.....	5
2.2.2. 会議室フロアの環境（AP と端末間の見通しが、やや悪い環境）.....	6
2.3. 実験方法.....	6
2.3.1. 実験での測定諸元.....	6
2.3.2. PI における準備作業の状況.....	7
2.3.3. 実験の手順.....	7
2.4. 実験結果.....	8
2.4.1. 測位地点に存在する端末からの電波が複数の AP で受信されている状況.....	8
2.4.2. 事務室フロアで 5GHz 帯を利活用した場合に推定された端末位置.....	9
2.4.3. 事務室フロアで 2.4GHz 帯を利活用した場合に推定された端末位置.....	10
2.4.4. 会議室フロアで 5GHz 帯を利活用した場合に推定された端末位置.....	11
2.4.5. 会議室フロアで 2.4GHz 帯を利活用した場合に推定された端末位置.....	12
2.5. 考察.....	12
2.5.1. 測位地点に存在する端末からの電波が複数の AP で受信されている状況.....	12
2.5.2. 推定された端末位置がエリア内の中央部に帯状に集まる特徴.....	12
2.5.3. 推定された端末位置の誤差.....	13
2.5.4. 実際の端末位置が AP で囲まれ、又は非囲まれの状況での推定された端末位置の誤差.....	14
2.5.5. 誤差の比較：シスコシステムズ社資料に公開の値と実験結果の値.....	14
3. 端末の推定位置情報を利活用した「空席エリア推定アプリケーション」の開発.....	15
3.1. アプリケーション開発の背景と挑戦.....	15
3.2. 端末の推定位置情報を確認する既存の手法と課題.....	15
3.3. 課題解決のために開発したアプリケーション.....	15
3.3.1. 実装構成.....	16
3.3.2. RESTAPI クライアント部.....	16
3.3.3. Web サーバ部.....	16
3.3.4. ユーザインタフェース.....	17
3.4. 評価.....	17
4. むすび.....	17
5. 謝辞.....	18
6. 参考文献.....	18

1. まえがき

個人が所有する携帯電話端末等にも GPS (Global Positioning System : 米国の軍事用の衛星測位システム、民間利用も可能) 受信機が搭載されていて、空が見える屋外では、同受信機の測位 (位置を測定・推定すること) による位置情報サービスを個人が利活用できる時代になった[1]。一方、GPS の人工衛星からの電波を受信しにくい屋内や地下街では、GPS に頼らないで測位する様々な手段が登場しつつあり[2]、屋内を無線データ通信のサービスエリアとする IEEE802.11 規約の無線 LAN システムを利活用した端末の測位もその手段の 1 つである[3]。

屋内における端末位置の推定に無線 LAN システムを利活用することの特徴 (長所) は、基本的には端末側に特別な仕組み (ソフトウェアやハードウェア) は不要であり、データ通信用に展開した無線 LAN システムによって、「自然に」、端末位置の推定の仕組みが整えられることである。一方、非無線 LAN の手段 (例えば、Bluetooth Low Energy 等) による屋内における端末位置の推定の特徴は、新たな屋内測位システムの構築として、「意識して、専用に投資して」、取り組む必要があり、さらに、端末側にも仕組み、特に専用ソフトウェアが必要になり、多様な種類や数量が多くなりがちな端末側への特別な対応も必要になることである。

屋内において無線 LAN システムを利活用して端末位置を推定する現在主流の方法は、複数の無線 LAN アクセスポイント (以下 AP と記載する) で受信した端末からの上り回線の電波の受信電力を基礎データとする方法である。各 AP での端末からの電波の受信電力は、各 AP と端末間の距離に相関があるが、直接波の他に、反射波や散乱波の影響、さらに電波伝搬路のしゃへいによる影響等によって、変動することが通常なので[4]、推定された端末位置は実際の端末位置からズレが発生する、即ち、誤差があることが通常である。そこで、極力誤差を小さくするために、各メーカーは独自の機能 (非公開のノウハウ等) を駆使して端末位置を推定している。シスコシステムズ社製の集中制御型無線 LAN システムの場合、端末位置を推定する機能は、測位と干渉源履歴利活用の装置である Mobility Services Engine (MSE) と、運用管理監視表示装置である Prime Infrastructure (PI) を中核にして実現される。

本論文では、シスコシステムズ社製の集中制御型無線 LAN システムが具備する端末位置を推定する機能の性能を実験的に評価する。第 2 章では、データ通信用として無線 LAN を日常的に運用している一般的な事務所のフロア環境において、推定された端末位置の誤差を実験的に把握し、その特徴を明らかにする。第 3 章では、把握した誤差の特徴を踏まえて、端末の推定位置情報を利活用したアプリケーションの開発について述べる。

2. 端末位置推定の実験的検討

2.1. 実験目的

データ通信用としてシスコシステムズ社製の集中制御型無線 LAN システムを日常的に運用している一般的な事務所のフロア環境において、同システムによって推定された端末位置の誤差を実験的に把握し、その特徴を明らかにする。

2.2. 実験場所の環境

実験は屋内の事務所環境で日常的に運用している弊社の社内無線 LAN システムを用いており、特別な実験環境を新たに構築はしていない。実験は、事務室フロアと会議室フロアの2つのフロアにおいて実施した。各フロアの詳細は後述するが、一般的な事務所のフロア環境である。各フロア内では実験実施者（筆者）らが測位地点（実際の端末位置）を自由に選択できる必要があるため実験は休日に実施した。

2.2.1. 事務室フロアの環境（AP と端末間の見通しが、概ね良い環境）

図1に実験場所の環境の事務室フロアを平面概要図として示す。建物中央の共用部（廊下、エレベータ等）を除いた北及び東西の3方向にコの字型の無柱

のフロアが広がっており、そのフロア全面を無線 LAN サービスエリアとするために21台のAP（シスコシステムズ社製のCAP3702I、2.4GHz帯と5GHz帯の両方の無線 LAN に対応、アンテナ内蔵タイプ、図1の印）が天井面（端末から見える面）に設置されている。事務室フロア内は、少人数用の会議室（壁面は金属製やガラス製）が一部に存在する他は、大半のエリアは、フリーアドレス（各社員の座席は固定されていない、空席をどこでも自由に選択して業務遂行する形態）の机と椅子の座席列と物品保管用キャビネットが配置されている。AP と端末間の見通しは、概ね良い環境である。

天井の材質は石膏ボードである。床面にはカーペットが敷かれている。屋内と屋外の境界は、床から天井まで1枚ガラスのフルハイト窓が2重になっており、かつ2重のフルハイト窓の中間内部に電動ブラインドが存在する。外壁側窓ガラスは銀を2層コーティングした高性能 Low-E ガラス（高性能遮熱断熱ガラス）とのことであるが、電波に対する周波数特性は不明である。なお、電動ブラインドは、実験中は、屋外の風景が概ね見える程度に開いていた。

図1の印は実験時の測位地点（実際の端末位置、59地点）であり、これらと無線 LAN システムによって推定された端末位置とのズレの距離、即ち、誤差がどの程度になるかが論点である。実際の端末位置は、東側の南北方向のエリアと北側の東西方向のエリアにおいて、概ね均一になるように、極力片寄らないように、存在することを配慮した。なお、これらのエリアにおいて、エリアの面積と AP 数から計算した1台の AP によるサービスエリアの範囲は、平均的には、約127平方メートル（約1370平方フィート）である。

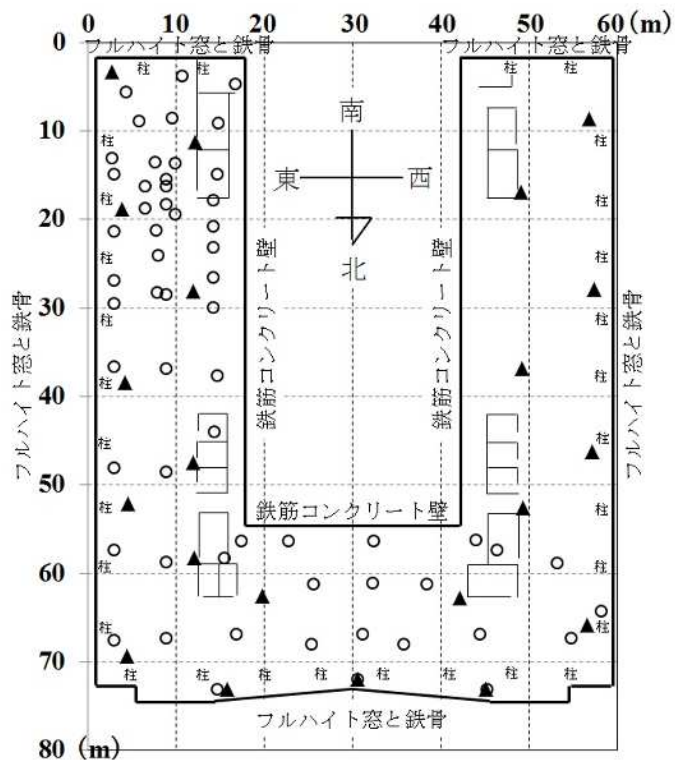


図1. 実験場所の環境（事務室フロアの平面概要図）
：AP の位置、：測位地点（実際の端末位置）

2.2.2. 会議室フロア的环境 (AP と端末間の見通しが、やや悪い環境)

図2に実験場所の環境の会議室フロアを平面概要図として示す。会議室フロアは、そのフロア内の利用形態は事務室フロアとは異なり、多くの会議室が存在するが、事務室フロアと同じ建物内の1つ下の階になるので、建築構造は事務室フロアと同じである。会議室フロア内の概ねを無線 LAN サービスエリアとするために14台のAP(事務室フロアに設置と同じ製品、図2の印)が天井面(端末から見える面)に設置されている。

会議室フロア内の北西のエリアがフリーアドレスの事務業務エリアになっていて、同エリアには事務室フロアに比べて壁面(Light Gauge Steel 製やガラス製)やパーティション(金属製やプラスチック製)等が多く存在するので、AP と端末間の見通しが、やや悪い環境である。

図2の印は実験時の測位地点(実際の端末位置、41地点)であり、これらと無線 LAN システムによって推定された端末位置との誤差がどの程度になるかが論点である。実際の端末位置は、この北西のエリアにおいて、概ね均一になるように、極力片寄らないように、存在することを配慮した。電動ブラインドは、事務室フロアと同様に、実験中は、屋外の風景が概ね見える程度に開いていた。なお、この北西のエリアにおいて、エリアの面積と AP 数から計算した1台の AP によるサービスエリアの範囲は、平均的には、約162平方メートル(約1740平方フィート)である。

2.3. 実験方法

2.3.1. 実験での測定諸元

表1に実験での測定諸元を示す。APはIEEE802.11ac規約の第1世代に対応しているが、測位用の端末に内蔵されている無線 LAN モジュールが旧式だったので、実験での測位はIEEE802.11a(以下11aと記載する)とIEEE802.11g(以下11gと記載する)の各規約で実施した。図1または2に示した各フロアで、接続したいSSIDに設定されたAPを探すために、11a規約(5GHz帯)または11g規約(2.4GHz帯)のプロブ要求・フレームの電波を端末が送信すると(例えば、端末の電源をONにして無線 LAN 動作を開始した場合等)複数のAPでその電波を受信する。その各受信電力データは、無線 LAN コントローラ(WLC)のCT5508を経由して測位と干渉源履歴利活用の装置のMSEによって収集されて、MSEが端末位置の推定をする。MSEは運用管理監視表示装置のPIとも連携することによって、推定された端末位置をPIのフロア図上に表示でき、IT管理者はWebブラウザ経由でこれら端末位置を確

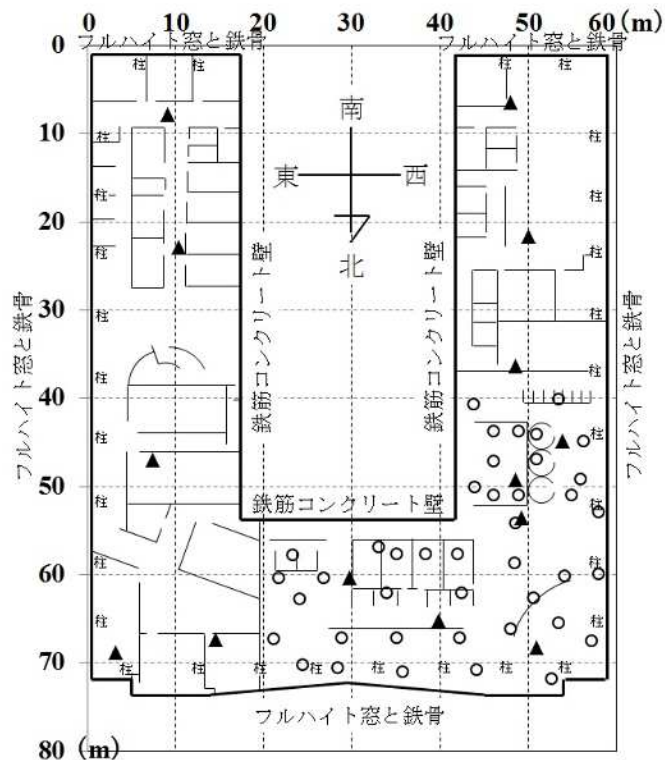


図2. 実験場所の環境(会議室フロアの平面概要図)
○: APの位置、△: 測位地点(実際の端末位置)

認することができる。また、推定された端末位置情報はMSEのREST API経由でも取得することが可能である。

2.3.2. PIにおける準備作業の状況

実験では、MSEが連携するPIにおいては次の2つの準備作業の状況である。

(1) PI用のフロア図にAPの配置位置をアイコンで編集入力する際には、そのアイコンと実際のAPの水平面内の基準方向を合わせる作業[5]は、未実施である。実験で利活用したAPは水平面内が無指向性アンテナだから、その作業の未実施は問題なしと判断した。

(2) PI用のフロア図への境界線の編集入力は、対応した。境界線の1つめは、建物の各フロア内で端末が存在する範囲指定[6]である。推定された端末位置の誤差がかなり大きくて、その位置がありえない状況（例えば、端末が高層ビルのフロアから飛び出して屋外の地上高100mの空中に浮

表 1. 実験での測定諸元

無線LANシステム	無線LANアクセスポイント (AP)	Cisco Aironet CAP3702I (IEEE802.11ac第1世代対応、アンテナ内蔵)
	無線LANコントローラ (WLC)	Cisco CT5508 (Ver.7.6.120.0)
	測位と干渉履歴利活用の装置 (MSE)	Cisco MSE (仮想版 Mobility Services Engine, Ver.7.6.120.0)
	運用管理監視表示装置 (PI)	Cisco PI (仮想版 Prime Infrastructure, Ver.2.1.1)
無線LAN環境	周波数帯	5GHz帯、及び2.4GHz帯
	伝送帯域幅	20MHz
	測位で利用したIEEE規約	IEEE802.11a、及びIEEE802.11g
	APの設置状況	無線LAN利用者から天井の見える側に設置。天井面の床面からの高さ=2.95m
	APの内蔵アンテナ利得 (5GHz帯及び2.4GHz帯)	4dBi
	APの内蔵アンテナの水平面内指向性 (5GHz帯及び2.4GHz帯)	無指向性
	APの内蔵アンテナの垂直面内半値角 (5GHz帯及び2.4GHz帯)	120度
	APの内蔵アンテナの偏波 (5GHz帯及び2.4GHz帯)	垂直 (床面に対して)
	APの送信電力と周波数チャンネル (5GHz帯及び2.4GHz帯)	WLCのRRM (Radio Resource Management) による自動制御
端末	端末からの電波のAPでの受信電力が測位に有効となる下限値	-75dBm (MSEでの初期値のまま)
	ノート型PC型番名	Dell Latitude D430
	ノート型PCのOS	WindowsXP SP3
	PC内蔵無線LANモジュール型番名	Intel PRO/Wireless3945ABG Network Connection
	CCX対応状況 (PC内蔵無線LANモジュール)	CCX Version4 対応
測位結果の取得方法	送信電力 (PC内蔵無線LANモジュール)	DTPC (Dynamic Transmit Power Control: 端末の送信電力をAPから動的制御する機能) 対応
	ノート型PC底面の床面からの高さ	0.71m
PIのフロア図への編集入力	Webブラウザ	Google Chrome Version 41.0.2272.89m
	Webブラウザの拡張機能	Postman REST Client Version2.0.6
	フルホワイト窓と鉄骨	Light door (損失4dB)
	鉄筋コンクリート壁	Thick Wall (損失13dB)
	金属製ドア (鉄筋コンクリート壁の一部)	Heavy door (損失15dB)
PIのフロア図への編集入力	ガラス製壁面 (会議室の壁面の一部)	Glass (損失1.5dB)
	金属製壁面、Light Gauge Steel製壁面 (会議室の壁面の一部)	Light Wall (損失2dB)

かんでいる状況等) になることを、端末は必ずフロア内に存在するという前提をとって防止する機能が上述の範囲指定である。一般的にはマップマッチングと呼ばれる技術である[7]。境界線の2つめは建物の各フロア内の壁面等の存在[8]である。壁面等の入力項目は表1に記載したとおりであるが、電波に対する各損失値はPIで固定設定されている値である。現実のフロアでの実際の材質の損失値は不明であるので、それらPIの固定設定値で良しと判断した。

2.3.3. 実験の手順

事務室フロアと会議室フロアにおいて、次の手順で実験を実施した。各フロアでは、最初に端末を11a規約 (5GHz帯) に設定してすべての測位地点 (実際の端末位置) で実験を実施し、次に、端末を11g規約 (2.4GHz帯) に設定変更して、再度すべての測位地点で実験を実施した。

(Step1)測位地点へ移動(端末の無線LAN動作はOFF)。なお、表1に記載のように測位地点での端末底面の床面からの高さは、0.71mである。

(Step2)測位地点に到着後に、端末がプローブ要求・フレームを送信する状況を必ず発生させることを意図して次の操作を実施する。

その端末の無線LAN動作をON APに接続後に、その端末の無線LAN動作をOFF

3秒後に、その端末の無線LAN動作をON APに接続後に、その端末の無線LAN動作をOFF

3秒後に、その端末の無線LAN動作をON この後、測位状態(端末は、静止状態)

(Step3)端末から無線LANで接続した社内VDI(Virtual Desktop Infrastructure)[9]経由で、社内無線LAN環境のPIへWebブラウザで接続、また、WLCへターミナルエミュレータで接続する。

(Step4)PIに表示されたフロア図上の端末位置の推定結果の画面をキャプチャして記録する。

(Step5)MSEのREST APIからPostman REST Clientを経由して、端末位置の推定結果の座標を数値としても把握して記録する(注1)。

(Step6)WLCにおいて、端末のMACアドレスに対して、show client detail コマンドを打って、その応答を受信し、記録する(注2)。

(Step7)上記(Step1)へ戻る。なお、次の測位地点は、直前に測位完了した地点から極力離れた地点へ移動する(理由:近い地点へ移動の場合、移動後の端末位置の推定結果が本当に移動によって新たに更新された推定結果か否かを区別しにくい、あいまいな状況になりえるので)。

(注1) 端末位置の推定結果は、MSEのREST APIから座標の数値として把握できるが、一方、測位地点(実際の端末位置)の座標は、フロア図から座標の数値を目視で読み取って算出した。なお、目視で読み取る際の座標の定義(座標軸と原点)は、当然に、MSEのREST APIが使う座標の定義と同じである。

(注2) show client detail コマンドの応答の中にある各APで受信した端末からの電波の受信電力に着目する。なお、MSEが測位に自動的に利活用した受信電力と上述のコマンドを手動入力して取得した受信電力の受信タイミング等は厳密には一致しないが、このことは、端末からの電波が複数のAPで受信されている状況の傾向を把握するためには、問題なしと判断した。

2.4. 実験結果

2.4.1. 測位地点に存在する端末からの電波が複数のAPで受信されている状況

項目 2.3.3. 実験の手順の(Step6)によって測定されたデータを図3に示す。表1に記載したように、端末からの電波のAPでの受信電力が測位に有効となる下限値は-75dBm(MSEでの初期値)なので、図3には、測位地点(実際の端末位置)に存在する端末からの電波がその周辺に伝搬して複数のAPで-75dBm以上の受信電力で受信されている測位地点数を示した。例えば、図3で印に着目すると、事

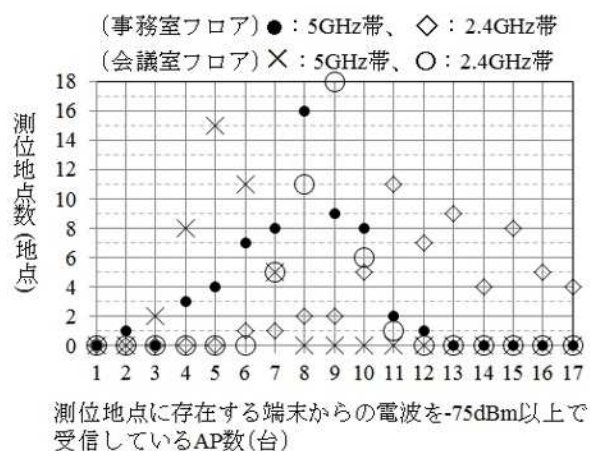


図3. 測位地点に存在する端末からの電波が複数のAPで受信されている状況

務室フロアで 5GHz 帯を利活用した場合の端末位置の推定実験（測位地点は合計 59 地点）では、端末からの電波の AP での受信電力が -75dBm 以上となる AP 数(以下 N_{ap} と記載する、図 3 の横軸の値)が 2 台である測位地点数(図 3 の縦軸の値)は 1 地点存在するが、この 1 地点以外の残りの測位地点 (59-1=58 地点)では N_{ap} は 4 台以上かつ 12 台以下であることがわかる。

同図で 印に着目すると事務室フロアで 2.4GHz 帯を利活用した場合の端末位置の推定実験（測位地点は合計 59 地点）では N_{ap} は 6 台以上かつ 17 台以下であることが、また、同図で × 印に着目すると、会議室フロアで 5GHz 帯を利活用した場合の端末位置の推定実験（測位地点は合計 41 地点）では、 N_{ap} は 3 台以上かつ 7 台以下であることが、さらに、同図で 印に着目すると会議室フロアで 2.4GHz 帯を利活用した場合の端末位置の推定実験（測位地点は合計 41 地点）では、 N_{ap} は 7 台以上かつ 11 台以下であることがわかる。

2.4.2. 事務室フロアで 5GHz 帯を利活用した場合に推定された端末位置

図 4 には、図 1 の事務室フロアの平面概要図に、同フロアで 5GHz 帯を利活用した場合に推定された端末位置を × 印で示した。○印の実際の端末位置 (59 地点) は、東側の南北方向のエリアと北側の東西方向のエリアにおいて、概ね均一に、極力片寄らないように、存在しているが、一方、× 印の推定された端末位置は、各エリア内の中央部に帯状に集まる特徴が見られる。

図 5 には、図 4 の実際の端末位置を図

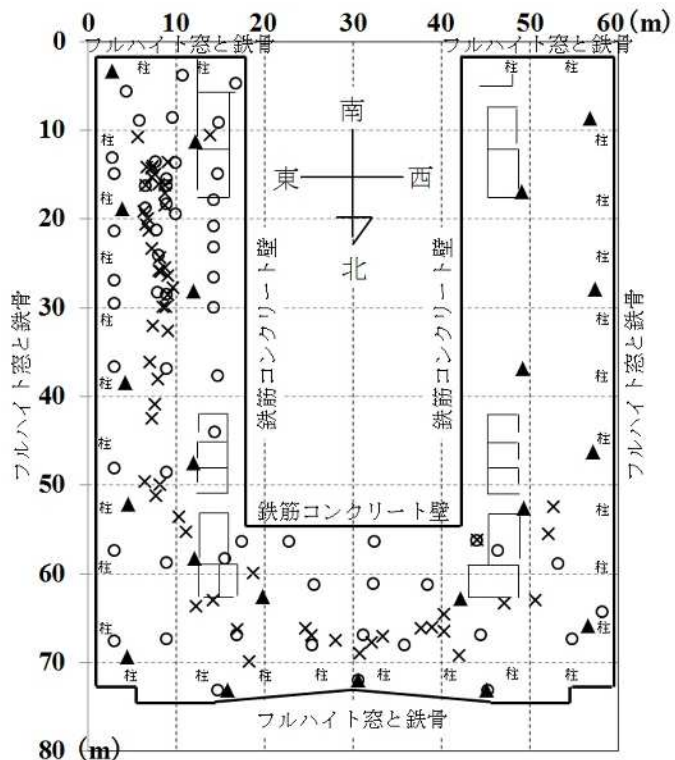


図 4. 事務室フロアで 5GHz 帯による実験結果

- × : 推定された端末位置 (合計 59 地点)
- : AP の位置、 ○ : 測位地点 (実際の端末位置)

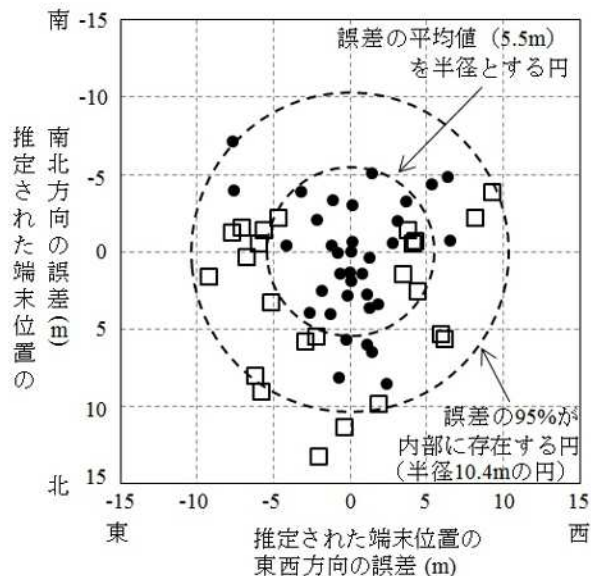


図 5. 事務室フロアで 5GHz 帯による推定端末位置

- 原点(0,0): 各測位地点の実際の端末位置 (合計 59 地点)
- : 実際の端末位置が AP に囲まれの場合 (35 地点)
- × : 実際の端末位置が AP に非囲まれの場合 (24 地点)

5の座標の原点に移し、推定された端末位置を印と印で示した。従って、図5の横軸は推定された端末位置の東西方向の誤差（実際の端末位置と推定された端末位置のズレの距離）を示し、同図の縦軸は推定された端末位置の南北方向の誤差を示すことになる。推定されたすべての端末位置は59地点であるが、印は、実際の端末位置がAPで囲まれている状況（35地点）で推定された端末位置である。一方、印は、実際の端末位置がAPで囲まれていない（非囲まれ）状況（24地点）で推定された端末位置である。印のほうが誤差が大きい特徴が見られる。なお、すべての測位地点（59地点）で推定された端末位置の誤差は、平均で5.5mと計算された。図5には、その誤差の平均値（5.5m）を半径とする円も破線で示した（図5の内側の破線で描かれた円）図6には、推定された端末位置の誤差の発生状況を、累積発生地点率として示した。推定された端末位置の誤差の発生地点数を誤差の小さい側から累積していき、その累積値をすべての測位地点数である59で割り算して百分率で表現したものが図6の×印である。これによって、例えばすべての測位地点（59地点）の内の95%を占める各地点で発生する誤差が10.4m以下であることがわかる。先に示した図5の外側の破線で描かれた円は誤差の95%が内部に存在する円（半径10.4mの円）である。なお、95%を占める値は、米国の連邦地理データ委員会(The Federal Geographic Data Committee:FGDC)が推定位置の不確定性を議論するときに着目している値である[10]。

さらに、図5の印と印で示された各状況で推定された端末位置の誤差の累積発生地点率を図6に同じ各印で示した。図5と同様に、図6でも印のほうが誤差が大きい特徴を確認できる。

2.4.3. 事務室フロアで2.4GHz帯を利活用した場合に推定された端末位置

図7には、事務室フロアで2.4GHz帯を利活用した場合に推定された端末位置の誤差の発生状況を、

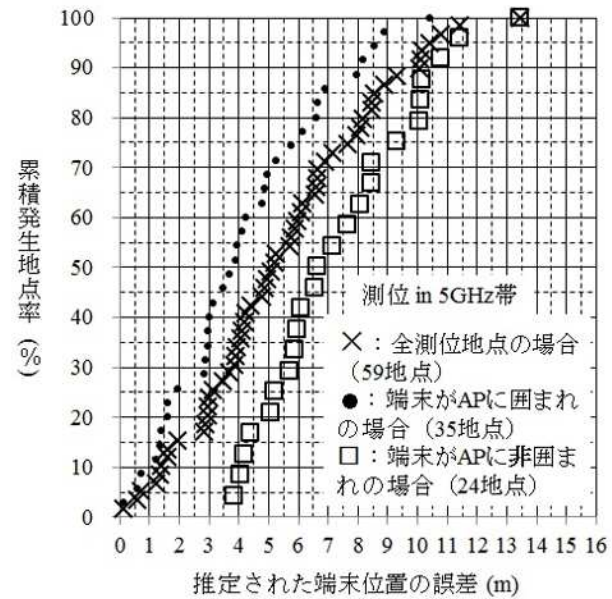


図6. 推定された端末位置の誤差の累積発生地点率
事務室フロアで5GHz帯の場合

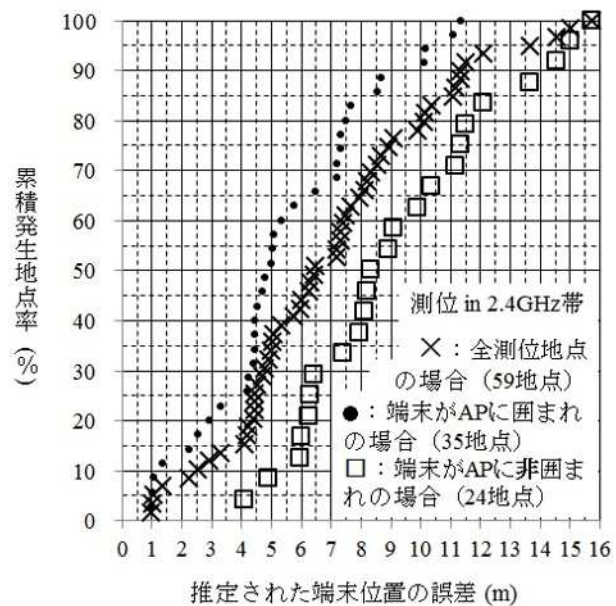


図7. 推定された端末位置の誤差の累積発生地点率
事務室フロアで2.4GHz帯の場合

図6と同様に累積発生地点率として示した。×印、印、及び印の意味も図6と同様である。例えば、×印に着目すると、すべての測位地点(59地点)の内の95%を占める各地点で発生する誤差が13.7m以下であることがわかる。なお、すべての測位地点(59地点)で推定された端末位置の誤差は、平均で7mと計算された。また、図7でも、図6と同様に印(35地点)より、印(24地点)のほうが誤差が大きい特徴を確認できる。

2.4.4. 会議室フロアで5GHz帯を利活用した場合に推定された端末位置

図8には、図2の会議室フロアの平面概要図に、同フロアで5GHz帯を利活用した場合に推定された端末位置を×印で示した。○印の実際の端末位置(41地点)は、北西のエリアにおいて、概ね均一に、極力片寄らないように、存在しているが、一方、×印の推定された端末位置は、同エリア内の中央部に帯状に集まる特徴が見られる。

図9には、推定された端末位置の誤差の発生状況を、図6と同様に累積発生地点率として示した。×印、印、及び印の意味も図6と同様である(但し発生地点数は異なる)。例えば、×印に着目すると、すべての測位地点(41地点)の内の95%を占める各地点で発生する誤差が9.3m以下であることがわかる。なお、すべての測位地点(41地点)で推定された端末位置の誤差は、平均で4.9mと計算された。また、図9でも、図6と同様に印(22地点)より、印(19地点)のほうが誤差が大きい特徴を確認できる。

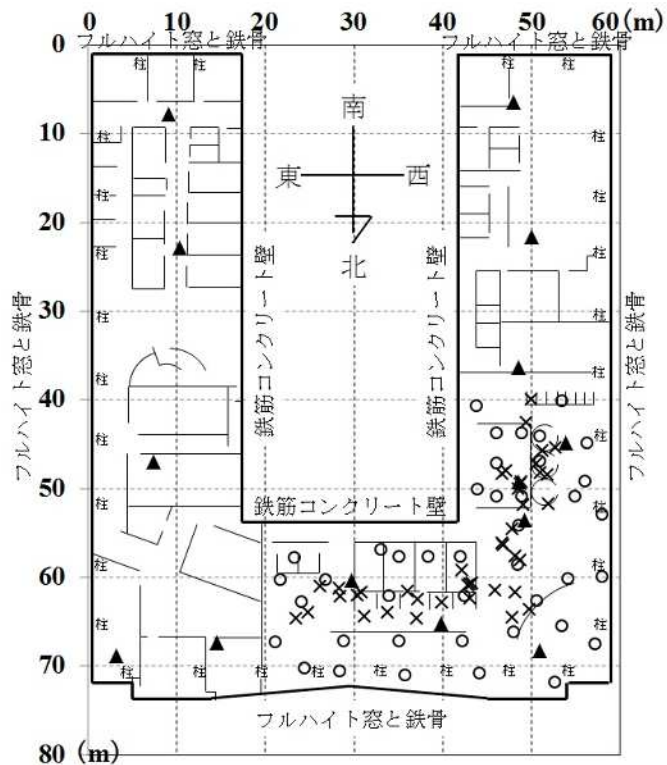


図8. 会議室フロアで5GHz帯による実験結果
 ×：推定された端末位置(合計41地点)
 ○：APの位置、●：測位地点(実際の端末位置)

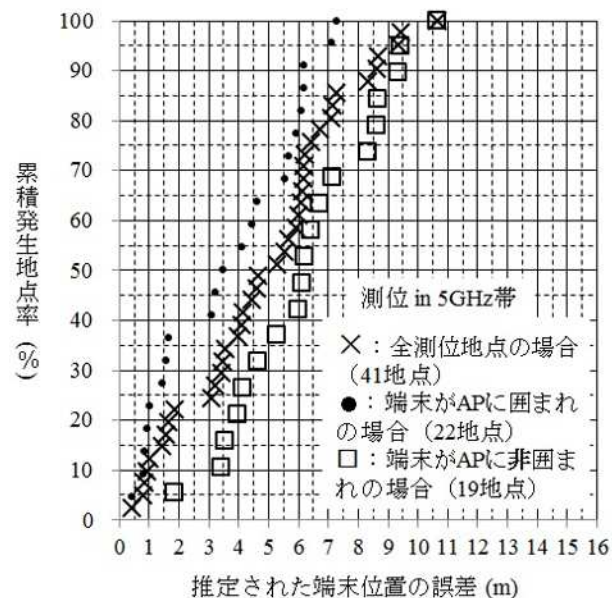


図9. 推定された端末位置の誤差の累積発生地点率
 会議室フロアで5GHz帯の場合

2.4.5. 会議室フロアで2.4GHz帯を利活用した場合に推定された端末位置

図10には、会議室フロアで2.4GHz帯を利活用した場合に推定された端末位置の誤差の発生状況を、図6と同様に累積発生地点率として示した。×印、●印、及び□印の意味も図6と同様である（但し発生地点数は異なる）。例えば、×印に着目すると、すべての測位地点（41地点）内の95%を占める地点で発生する誤差が10.7m以下であることがわかる。なお、すべての測位地点（41地点）で推定された端末位置の誤差は、平均で5.8mと計算された。また、図10でも、図6と同様に●印（25地点）より、□印（16地点）のほうが誤差が大きい特徴を確認できる。なお、図10（2.4GHz帯の場合）の●印と□印の各状況の発生地点数が、図9（5GHz帯の場合）の同発生地点数と異なっているのは、会議室フロア内において、測位地点の端末からの電波が壁を隔てて2.4GHz帯では伝搬しているが、5GHz帯では伝搬していない状況が発生しているからである。

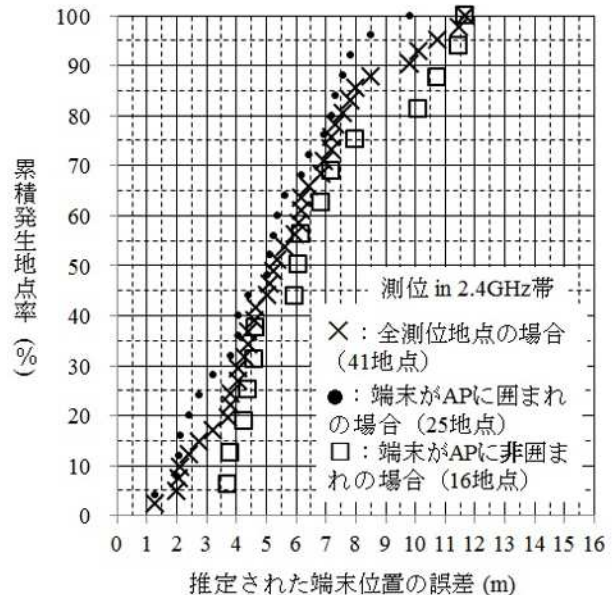


図10. 推定された端末位置の誤差の累積発生地点率
会議室フロアで2.4GHz帯の場合

2.5. 考察

2.5.1. 測位地点に存在する端末からの電波が複数のAPで受信されている状況

図3からは、実験環境では、測位地点（実際の端末位置）に存在する端末からの電波は、複数のAPで-75dBm以上の受信電力で受信可能な状況であることがわかった。この状況は、MSEとPIを中核にして実現する端末位置を推定する機能に必要な基本的な条件を満たしている。

実験環境は、屋内の事務所環境で日常的に運用している弊社の社内無線LANシステムであり、安定・快適なデータ通信の実現を第一に目指した標準的なAP配置になっている。このAP配置であっても、上述の端末位置を推定する機能に必要な基本的な条件を、「自然に」満たすことができている事実を確認できたことは、有益である。

2.5.2. 推定された端末位置がエリア内の中央部に帯状に集まる特徴

5GHz帯を利活用した場合に推定された端末位置（×印）は、事務室フロアについては図4に、会議室フロアについては図8に示されているように、各フロアで測位地点（実際の端末位置）が存在するエリア内の中央部に帯状に集まる特徴が見られた。この特徴は各フロアで2.4GHz帯を利活用した場合の推定された端末位置でも同様であることは、別途、確認済みである。

この特徴が見られる理由の一つとしては、項目2.3.2.(2)で述べたPI用のフロア図への境界線の編集入力において実施した端末が存在する範囲の指定の影響があると推測する。但し、具体的な情報処理の方法はシスコシステムズ社の非公開のノウハウであり不明である。

2.5.3. 推定された端末位置の誤差

項目 2.4.2.から 2.4.5.で述べた各フロアにおけるすべての測位地点で推定された端末位置の誤差を、各フロアと各周波数帯について表 2 にまとめた。

(1)測位したフロアの視点から見ると、事務室フロアより会議室フロアのほうが、

推定された端末位置の誤差は小さく、また、測位した周波数帯の視点から見ると、2.4GHz 帯より 5GHz 帯のほうが、推定された端末位置の誤差は小さい状況である。

ここで、項目 2.2.1.と 2.2.2.で述べたように、事務室フロアより会議室フロアのほうが AP と端末間の見通しが、やや悪い環境であること、また、理論的には 2.4GHz 帯より 5GHz 帯のほうが自由空間であっても電波伝搬損失が大きいことに気がつく[11]、上述の状況は端末と各 AP との間において電波が伝わりにくい状況のほうが推定された端末位置の誤差が小さくなっていると理解でき、興味深い。

(2) 推定された端末位置の誤差が最も小さい場合は、会議室フロアで 5GHz 帯で測位した場合であり、その誤差は平均値で 4.9m、すべての測位地点 (41 地点) の内の 95%を占める各地点で発生する誤差が 9.3m 以下であった。この状況から、十数名で利用する小会議室の大きさ程度に相当する誤差が必ずありえると理解できる。

表 2 からは、誤差の累積発生地点率の 95%値は、平均値の約 2 倍に広がっていることもわかる。さらに図 6、7、9、及び 10 の×印を見ると、各図にて、誤差の平均値は累積発生地点率の概ね中央値(50%値)付近になっているので、誤差が平均値を超えた地点数は、すべての測位地点数の約半数を占めて存在していることもわかる。なお、すべての測位地点の内の 95%を占める各地点とは、” 端末が存在するエリア全体の広さを 100%とした場合に、同エリア内の概ねどこの場所でも ” という感覚で捉えても違和感はないであろう。ここで図 5 を見ると、図 6 に表示された実験データを、図 5 では 2 次元の距離軸をもった平面上に表示しているが、測位エリア内の概ねどこの場所で測位しても推定された端末位置は、図 5 の外側の破線で描かれた円内 (誤差の 95%が内部に存在する円内) のどこかに存在すると理解できる。

従って、誤差の平均値よりも、すべての測位地点の内の 95%を占める各地点で発生する誤差 (累積発生地点率の 95%値以下となる誤差) に着目したほうが、端末の推定位置情報を利活用したい利用者にとっては、違和感や失望の少ない感覚で、測位結果 (推定された端末位置、当然に誤差を含む) を受けとめられるだろうと推測する。

(3) 推定される端末位置の誤差を小さくする可能性を高めるために(Calibration Models の適用)、端末位置の推定機能向けの綿密な特別のサイトサーベイを無線 LAN のサービスエリアで実施する方法もある[12]。しかしながら、手間を (一般的には費用も) かけても改善効果が必ず保証される訳ではないと推測される。ここで、シスコシステムズ社製の集中制御型無線 LAN では、各 AP は、お互いの AP 間の電波伝搬状況を 60 秒間ごとに監視していることに気がつく[13],[14]、将来もしもこの監視結果を AP と端末間の電波伝搬状況の予測に資することが可能になれば、上述の手間は不要になるので、難題と考えられるが、同社による革新的な技の実現に期待する。

表 2. すべての測位地点で推定された端末位置の誤差

測位フロア	事務室フロア		会議室フロア	
	5GHz帯	2.4GHz帯	5GHz帯	2.4GHz帯
測位周波数帯	5GHz帯	2.4GHz帯	5GHz帯	2.4GHz帯
測位地点数	59		41	
誤差の平均値(m)	5.5	7	4.9	5.8
誤差の累積発生地点率95%値(m)	10.4	13.7	9.3	10.7

2.5.4. 実際の端末位置が AP で囲まれ、又は非囲まれの状況での推定された端末位置の誤差

項目 2.4.2.から 2.4.5.で述べたように、各フロアにおいて、実際の端末位置が AP で囲まれていない（非囲まれ）状況で推定された端末位置の誤差は（図 6、7、9、及び 10 の 印の場合）実際の端末位置が AP で囲まれている状況で推定された端末位置（同各図の 印の場合）より、大きくなる特徴であった（5GHz 帯と 2.4GHz 帯の両方の測位で同様）。この特徴はシスコシステムズ社が指摘しているとおりである[15]。同各図の誤差の累積発生地点率の 95%値に着目すると 印の場合は 印の場合の約 7 から 8 割に減少しているが、減少後の誤差の大きさは約 7 から 10m に留まっている。実際の端末位置が AP で囲まれていても、十数名で利用する小会議室の大きさ程度に相当する誤差が必ずありえると理解できる。

2.5.5. 誤差の比較：シスコシステムズ社資料に公開の値と実験結果の値

シスコシステムズ社が参考文献[16]の中の” Figure 13-6 Accuracy and Cell Size ”によって、推定された端末位置の誤差と 1 台の AP によるサービスエリアの範囲の関係を図示しているのので、この性能と実験結果の値を図 11 で比較する。

図 11 の横軸は、1 台の AP によるサービスエリアの範囲(単位は平方メートル)である。実験におけるこの横軸の値は、項目 2.2.1.で述べたように事務室フロアの場合が約 127 平方メートル(約 1370 平方フィート)であり、項目 2.2.2.で述べたように会議室フロアの場合が約 162 平方メートル(約 1740 平方フィート)である。図 11 の縦軸は、累積発生地点率が 90%である場合の端末位置の誤差(単位はメートル)である。印は、上述の Figure 13-6 の Office(90%-ile)から読み取った値である。印は、実験において 5GHz 帯を利活用した場合に推定された端末位置の誤差であり、図 6 と 9 の 90%値(全測位地点の場合)である。×印は、実験において 2.4GHz 帯を利活用した場合に推定された端末位置の誤差であり、図 7 と 10 の 90%値(全測位地点の場合)である。

実験において推定された端末位置の誤差(印と×印)は、同社が参考文献[16]の中で示した誤差(印)より、事務室フロアでは 1.6 から 1.8 倍程度大きく、会議室フロアでは 1.2 から 1.4 倍程度大きくなっていることは、事実として認識しておきたい。なお、参考文献[16]の Figure 13-6 で図示された誤差は、同社が現実の屋内で実験した結果に基づく値か、または、計算機シミュレーション等に基づく値かの明確な記載はないが、すべての測位地点を確実に多くの AP で取り囲み、かつ、項目 2.5.3.(3)で述べた Calibration Models の適用を厳密に実施するという条件がある可能性もある。Figure 13-6 は重要な情報なので、より客観性を増して適切な理解を促進させるために、測位環境条件等を同社がさらに詳細に追記することを期待する。

以上の実験的検討によって、推定された端末位置には、十数名で利用する小会議室の大きさ程度に相当する誤差が必ずありえることを理解できた。しかしながら、データ通信用に展開した無線 LAN

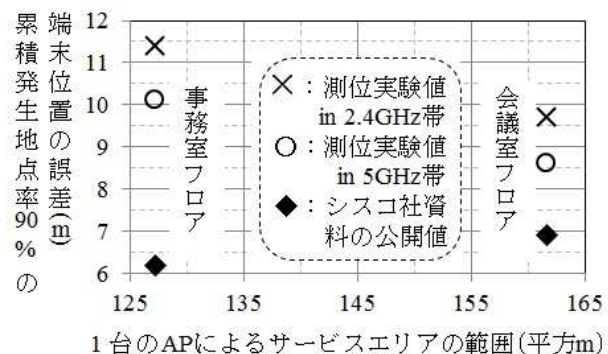


図 11. 推定された端末位置の誤差の比較
シスコシステムズ社資料に公開の値と
実験結果の値

システムによって、「自然に」、端末位置の推定が可能になっている手軽さを考慮すれば、推定された端末位置の誤差が上述の程度であることを許容できる状況もありえるだろう。

次章では、推定された端末位置の誤差が上述の程度であることを許容した上で、なおも便利さを痛感できる端末の推定位置情報を利活用したアプリケーションの開発について述べる。

3. 端末の推定位置情報を利活用した「空席エリア推定アプリケーション」の開発

3.1. アプリケーション開発の背景と挑戦

弊社は、「生産性向上」と「ワーク・ライフ・バランス」の両立を目指し、ワークスタイル（働き方）変革に取り組んでいる[17]。社員同士のオープンなコミュニケーションを促進させ、オフィス（事務所）を価値創造の場とするために項目 2.2.1. で述べたようにフリーアドレスを導入している。さらに、社内のどこでも業務を行えるようにするために、シスコシステムズ社製の集中制御型無線 LAN システムを運用している[18]。

弊社のフリーアドレスは、テレワークやフレックスタイム等の柔軟な勤務制度の採用を背景として導入されているので、事務所フロアにはスペース効率化のため、全社員数分の座席は確保されていない環境である。従って、社員の出社人数が多い日には、空席を即座に発見できず、空席探しに無駄な時間を費やす問題が発生している。その社員の困惑した様子から、ここでは本問題のことを「流浪の社員問題」と呼ぶことにする。本問題の改善に向けて試行錯誤の末、空席状況を目視ではなく、無線 LAN の電波を利活用して把握する方法を考案した。即ち、事務所フロア環境で無線 LAN の電波によって推定された複数の端末位置情報を座席情報と連携させて空席状況（フロア内の某エリア付近の空席率）を推定する方法である。その方法を活用して、社員が手軽に利用できる「空席エリア推定アプリケーション」を開発し、「流浪の社員問題」の改善に挑戦している。

3.2. 端末の推定位置情報を確認する既存の手法と課題

シスコシステムズ社製の集中制御型無線 LAN システムでは、フロア図面上に MSE が推定した複数の端末位置がプロットされ、その他の運用管理監視情報と共に PI の Web ブラウザ上で確認することが可能である。この機能は IT 管理者には十分使いやすいが、一方、非 IT 管理者である無線 LAN 利用者（例えば、社員）が使うにはやや敷居が高く、次の様な課題がある。

- (1) IT 管理者向けのユーザインタフェースであり、無線 LAN 利用者がアクセスした場合に目的の情報にたどりつくまでに手間がかかる。無線 LAN 利用者に対しては、より直感的で分かり易いシンプルなユーザインタフェースが求められる。
- (2) フロア内の端末一覧表示だけでは無線 LAN 利用者には有益な情報を提供しにくい。例えば「このフロアでは、総座席数が X 席で、現在 Y 台の端末が存在する」といった様なひと工夫した情報を表示できると、3.1.節で述べた「流浪の社員問題」を回避したい無線 LAN 利用者にとっても有益な情報を提供することができる。

3.3. 課題解決のために開発したアプリケーション

3.2.節で述べた課題を解決するために、MSE の REST API を利用し、無線 LAN の電波によって推定

された端末位置情報から空席エリアを推定して無線 LAN 利用者に情報提供を行う Web アプリケーションを開発した。

3.3.1. 実装構成

本アプリケーションは Web サーバ、データベース、REST API クライアントから構成される。構成を図 12 と表 3 に示す。なお、本アプリケーションでは 1 台のサーバ上で全ての機能を実装している。

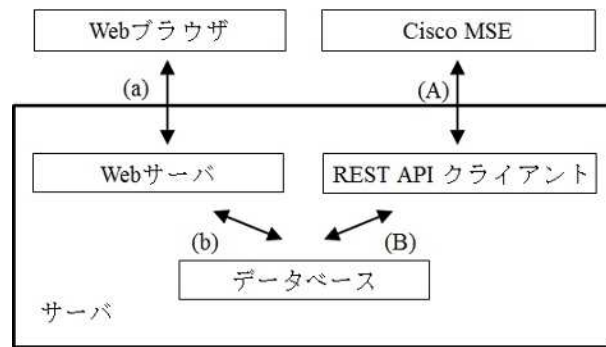


図 12. 空席エリア推定アプリケーションの構成

3.3.2. REST API クライアント部

REST API クライアント部は、定期的に MSE の REST API へアクセスし、推定された端末位置情報を収集するプログラムである。次の処理を行っている。

(1) MSE の REST API のひとつである "Real Time Location API" へ 15 分ごとにアクセスし、無線 LAN に接続している端末の位置情報と

して、事業所名、フロア名、及び、フロア内の推定位置座標 (横軸 X と縦軸 Y の値、単位はフィートもしくはメートル) を得る (図 12 の(A))。

(2) 端末についてのフロア内の推定位置座標 (横軸 X, 縦軸 Y) の情報から、フロア内のどのエリアに端末が存在するかをプログラムで判定する。なお、フロア内はその様子を考慮しながら適当な大きさでエリア分けされており、それぞれのエリアに名称が付けられている (現時点は、最小エリアが 4m (横幅) × 9m (縦幅) の広さ、最大エリアが 21m (横幅) × 28m (縦幅) の広さである)。

(3) 事業所、フロア、及び、エリアごとの端末台数をデータベースへ保存する (図 12 の(B))。

ここで、事業所名とフロア名は PI 上で設定し、MSE に反映される情報である。上記(1)~(3)の処理はプログラミング言語 Python で実装している。

3.3.3. Web サーバ部

Web サーバ部は、無線 LAN 利用者の端末の Web ブラウザからアクセスされ、空席エリア推定情報を提供する。次の処理を行っている。

(1) 無線 LAN 利用者の Web ブラウザから事業所名とフロア名を含んだ接続要求を受ける (図 12 の(a))。

(2) データベースへ問い合わせ、接続要求に含まれている事業所とフロアの端末数情報、及び、フロア内に存在するエリアごとの端末数情報を取得する (図 12 の(b))。

(3) 端末数情報から空席エリア情報の算出と HTML を生成し、無線 LAN 利用者の Web ブラウザへ返す (図 12 の(a))。

上記(2)と(3)の処理はプログラミング言語 Python で実装している。また、(3)の処理の無線 LAN 利用者の Web ブラウザへの表示では一部 JavaScript を利用している。

表 3. 空席エリア推定アプリケーションソフトウェア構成

サーバOS	CentOS release 6.6
Webサーバ	nginx 1.6.2
Webアプリケーションプログラミング	Python 2.7.9
データベース	MySQL 5.6.16

3.3.4. ユーザインタフェース

無線 LAN 利用者が閲覧する Web ブラウザ画面(ユーザインタフェース)の例を図 13 に示す。各エリアごとに存在すると推定された端末数 (MSE から得られた推定された端末位置情報に基づく) と総座席数 (事前に調査してプログラム上に設定してある値) を数値で提供し、さらに「推定された端末数 ÷ 総座席数」の割合情報を提供する。割合情報は 0 ~ 50% の場合は青色、51 ~ 80% の場合は黄色、81 ~ 100% の場合は赤色で表示し、ユーザ(無線 LAN



図 13. 空席エリア推定アプリケーションを Web ブラウザで開いた画面の例

利用者が「座席の利用状況」をひと目で把握できるように工夫している。3.1節で述べた「流浪の社員問題」を回避したいユーザ(無線 LAN 利用者の社員)は入社前や入社直後に本アプリケーションで「座席の利用状況」を確認し、空席探し・座席確保の目安として活用することができる。

3.4. 評価

2015年8月現在、開発したアプリケーションは弊社内で試験運用中であるが、利用者からは「フロア移動や、ちょっとした打ち合わせの際に、空席がどこにありそうかの目安把握に役立つ」と好評を得ている。本アプリケーションの要は、必ず誤差を含む推定された端末位置を点の情報として利活用するのではなく、同位置をある程度の広さ(エリア)の中で把握した面的に扱った情報として利活用していることである。本アプリケーションを試験運用する中で、同年8月末時点において、不都合なことは未発生である。

4. むすび

本論文では、データ通信用としてシスコシステムズ社製の集中制御型無線 LAN システムを日常的に運用している一般的な事務所のフロア環境において、同システムによって推定された端末位置の誤差を実験的に把握し、その特徴を明らかにした。端末が静止状態、かつ、端末からの電波が複数の AP で受信されているという測位に適した実験状況の中で、誤差が最小の実験結果でも、すべての測位地点の内の 95% を占める各地点で発生する誤差は 9.3m 以下であり、十数名で利用する小会議室の大きさ程度に相当する誤差が必ずありえることを確認できた。

しかしながら、推定された端末位置の誤差が上述の程度であることを許容した場合に、事務所フロア環境で推定された複数の端末位置情報を座席情報と連携させることによって、フリーアドレスでの

空席探しの支援(「流浪の社員問題」の改善)を可能にした「空席エリア推定アプリケーション」の開発を実施することができた。

今後も、様々な屋内向け測位技術について[2],[3]、各メーカーによる切磋琢磨が続くと予想するが、それらの本当のところの性能結果について、各メーカーから、わかりやすく周知されることを期待する(測位環境条件、推定された端末位置の誤差を違和感なく認識できるように誤差の広がりを累積発生地点率の95%値で表現する等)。

最新情報によると、シスコシステムズ社製の集中制御型無線 LAN システムに具備する端末位置を推定する機能が新方式(AP で受信した端末からの上り回線の電波の受信電力に加えて、その電波の到来角度も考慮する方式)を採用して劇的な進化をする予定とのことである[19]。本論文の実験的検討で学んだ様々なことを、新方式における本当のところの性能を把握することへ活かしていきたい。

5. 謝辞

無線 LAN 製品の様々なことで日頃よりお世話になっているシスコシステムズ合同会社の 大野奈津子様、清水智生様、竹林百合香様、鈴木麻倫子様、大崎秀行様、に感謝する。社内無線 LAN 環境を利活用する機会を与えていただいたネットワークシステムズ株式会社プラットフォーム部プラットフォームチーム(当時)の大井康平社員、永谷英樹エキスパート、古森浩一エキスパート、谷口清司リーダーに感謝する。本実験実施への多大な支援と実験結果について議論を深めてくれたネットワークシステムズ株式会社ビジネス推進本部第1 応用技術部スイッチワイヤレスチームの丸田竜一、田中政満、山下聖太郎の各社員、中野清隆エキスパート、保守運用サービス本部 サービス導入支援部 技術支援チームの力石靖社員に感謝する。アプリケーションの開発について様々な助言をしてくれたビジネス推進本部第1 応用技術部 NI ソリューション開発チームの渡辺義和エキスパート、織原卓司、長野敦仁の各社員に感謝する。最後に、本実験と開発の実施の機会を与えていただいたネットワークシステムズ株式会社の篠浦文彦執行役員、飯田健二第1 応用技術部長、大高智也スイッチワイヤレスチームマネージャー、井上直也 NI ソリューション開発チームシニアマネージャーに感謝する。

6. 参考文献

- [1] 大原雄介, "エンジニアなら押さえておきたいトレンド情報(10) 今月の行き先は? ロケーション・サービス", Interface, pp.138-143, 2012 年 11 月号, CQ 出版社.
- [2] 唐松明子, "商品ガイドンス 屋内向け位置情報活用サービス 測位技術の進化で新しい市場開拓", テレコミュニケーション, pp.54-58, 2015 年 4 月号, リックテレコム.
- [3] 和田 恭, "米国における WiFi 位置情報ソリューションの動向", 情報処理推進機構, JETRO/IPA New York 「ニューヨークだより」2013 年 6 月号, https://www.ipa.go.jp/about/NYreport/index_2013.html, <https://www.ipa.go.jp/files/000029440.pdf>.
- [4] 松戸孝、宇都宮光之、田中政満、中野清隆、丸田竜一、力石靖、山下聖太郎, "シスコシステムズ社製無線 LAN アクセスポイント CAP3602E の最大比合成(Maximal Ratio Combining:MRC)ダイバーシチ受信性能の実験的検討 - より信頼性の向上した無線 LAN の実現を目指して", 第1回 シスコ テクノロジー論文コンテスト最優秀賞受賞論文、社員執筆記事、ネットワークシステムズ、

<http://www.netone.co.jp/report/press.html>,

http://www.netone.co.jp/wp-content/uploads/2012/04/matsudo_et_al1.pdf, 2013年7月12日.

受賞論文紹介、Cisco systems、

<http://www.cisco.com/web/JP/partners/ronbun/1st/index.html#2>, 2013年7月12日.

[5] Cisco systems, "Connected Mobile Experiences (CMX) CVD, CMX Radio Frequency and Location Based Design, Antenna Fundamentals, Antenna Orientation and Access Point Placement",

http://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/solutions/Enterprise/Borderless_Networks/Unified_Access/CMX/CMX_AntFund.html#pgfId-1039768, 参照 July 21, 2015.

[6] Cisco systems, "Cisco Connected Mobile Experiences (CMX) CVD, CMX Configuring the Infrastructure, Configuring Cisco Prime Infrastructure, Inclusion and Exclusion Areas on a Floor, Defining an Inclusion Region on a Floor",

http://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/solutions/Enterprise/Borderless_Networks/Unified_Access/CMX/CMX_Prime.html#pgfId-1019760, 参照 July 21, 2015.

[7] 谷口功, "位置情報の基本と技術 第4章 カーナビ・スマートカーと位置情報", 翔泳社, 2012年11月30日, ISBN 978-4-7981-2490-2.

[8] Cisco systems, "Cisco Context-Aware Service Configuration Guide, Release 7.3.101.0, Chapter 10: Working with Maps, Using the Map Editor, Using the Map Editor to Draw Obstacles, Table 10-3 Obstacle Color Coding",

http://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/wireless/mse/3350/7-3/CAS_Configuration_Guide/Guide/CAS_73/msecg_Next_Gen_Maps.html#wp1428533, 参照 July 21, 2015.

[9] 丸田竜一, "第1回 無線LANを介してVDIを利用するときに意識する特徴と課題", ネットワンシステムズ, http://www.netone.co.jp/report/column/20150521_3.html, 2015年5月21日.

[10] Federal Geographic Data Committee, "Geospatial Positioning Accuracy Standards, Part 1: Reporting Methodology", FGDC-STD-007.1-1998,

<https://www.fgdc.gov/standards/projects/FGDC-standards-projects/accuracy/part1/chapter1>, 参照 August 2, 2015.

[11] 守倉正博、久保田周治, "改訂三版 802.11 高速無線LAN教科書 第11章高速無線LAN環境における電波伝搬", インプレスR&D, 2008年4月11日, ISBN978-4-8443-2546-8.

[12] Cisco systems, "Cisco Context-Aware Service Configuration Guide, Release 7.3.101.0, Chapter 9: Context-Aware Service Planning and Verification, Calibration Models",

http://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/wireless/mse/3350/7-3/CAS_Configuration_Guide/Guide/CAS_73/msecg_CAS_Planning.html#wp1338838, 参照 July 21, 2015.

[13] Cisco systems, "Radio Resource Management under Unified Wireless Networks",

http://www.cisco.com/en/US/tech/tk722/tk809/technologies_tech_note09186a008072c759.shtml, May 17, 2010.

[14] 松戸孝、山下聖太郎、丸田竜一、田中政満、中野清隆、宇都宮光之、力石靖, "屋内事務所環境に設置された無線LANアクセスポイント(AP)間における電波伝搬損失測定の実験的検討

- 勧告ITU-R P.1238を補完するためのCAP3702I(シスコシステムズ社製のAP)を用いたAP間の電波伝搬損失距離特性の推定式の導出 -", 第595回 URSI-F(日本学術会議 電気電子工学委員会 URSI

分科会 非電離媒質伝搬・リモートセンシング小委員会)会合資料、

http://ursi-f.nict.go.jp/doc/URSI_F_2015Jun24_matsudo.pdf、2015年6月24日。

[15] Cisco systems, "Connected Mobile Experiences (CMX) CVD, CMX Radio Frequency and Location Based Design, Access Point Placement and Capacity Planning, Figure 15-9 Recommended Access Point Placement", http://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/solutions/Enterprise/Borderless_Networks/Unified_Access/CMX/CMX_APlaceCapPlan.html、参照 July 21, 2015.

[16] Cisco systems, "Cisco Connected Mobile Experiences (CMX) CVD, CMX Radio Frequency and Location Based Design, Location Fundamentals, Location Accuracy and Currency, Figure 13-6 Accuracy and Cell Size", http://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/solutions/Enterprise/Borderless_Networks/Unified_Access/CMX/CMX_LocationFund.html、参照 July 21, 2015.

[17] ネットワンシステムズ、"ワークスタイル変革特別サイト"、<http://www.netone.co.jp/workstyle/top.html>、参照 August18, 2015 .

[18] ネットワンシステムズ、"ワークスタイルの変革を実践するファシリティ紹介"、<http://www.netone.co.jp/workstyle-old/facility.html>、参照 August18, 2015 .

[19] シスコシステムズ、"シスコ、「Interop Tokyo 2015」において“Best of Show Award”を8部門で受賞、モバイル&ワイヤレス部門（グランプリ）Cisco Hyper Location Module"、日本版ニュースリリース、2015年6月10日、<http://www.cisco.com/web/JP/news/pr/2015/020.html>.