

WLAN と ZigBee の共存に向けた AP-Assisted CTS-Blocking の評価

佐伯 良光[†] 石田 繁巳[†] 田頭 茂明^{††} 福田 晃[†]

[†] 九州大学大学院システム情報科学府・研究院 〒819-0395 福岡市西区元岡 744 番地

^{††} 関西大学総合情報学部 〒569-1095 大阪府高槻市霊仙寺町 2-1-1

あらまし 筆者らは、同周波数帯を利用する WLAN と ZigBee の同空間における共存に向けて容易に構築可能な衝突回避システムの研究を行っている。衝突回避システムにおいては通信の公平性確保の為、システム改変に多くの制約がある。このような観点から、既存の方式を活用する、パケットを二重送信する等、システム改変の制約にあたらないシンプルなシステム構築が重要となる。本稿では ZigBee ネットワークが無線 LAN (WLAN) から受ける干渉の影響を軽減するための AP-Assisted CTS-Blocking (AA CTS-Blocking) を示す。AA CTS-Blocking は RTS/CTS 方式を応用することで WLAN の通信を抑制し、ZigBee 通信と WLAN 通信の衝突を回避させる。AA CTS-Blocking を用いた衝突回避システムを実装し、実証評価を通じて ZigBee ネットワークの通信エラー率を評価する。

キーワード WLAN, ZigBee, 衝突回避, AA CTS-Blocking Web サービス.

Evaluation of an AP-Assisted CTS-Blocking aiming at co-existence of WLAN and ZigBee

Yoshiteru SAEKI[†], Shigemi ISHIDA[†], Shigeaki TAGASHIRA^{††}, and Akira FUKUDA[†]

[†] Graduate School/Faculty of Information Science and Electrical Engineering, Kyushu University

^{††} Faculty of Informatics, Kansai University

Abstract The authors readily configured toward the coexistence in the same space of the WLAN and ZigBee utilizing the same frequency band. You are conducting research on dating possible collision avoidance system. Because in the collision avoidance system of fairness ensure communication, there are a number of constraints on the system modification. Etc. from this point of view, to use the existing access control system, to double the header packet, Simple system construction that does not hit the constraint is important. This paper is to reduce the effects of interference ZigBee network receives from a wireless LAN (WLAN) is AP-Assisted CTS-Blocking I show the (AA CTS-Blocking). AA CTS-Blocking inhibits communication of the WLAN by applying the RTS / CTS method, a ZigBee communication I to avoid the collision of WLAN communication. Implements the collision avoidance system using AA CTS-Blocking, and ZigBee network through empirical evaluation I evaluate the communication error rate.

Key words Wireless-Local Area Network (WLAN), ZigBee, Collision Avoidance, Access Point-Assisted Clear to Send-Blocking (AA CTS-Blocking)

1. はじめに

GPS (Global Positioning System) モジュールを搭載したスマートフォンなどの端末の普及とともに、ユーザの位置に応じて目的地への案内や周辺情報の提供などを行う「位置情報サービス」が広がりを見せている。これらの位置情報サービスは GPS を用いるために主に屋外での利用を想定している。位置情報サービスを屋内へと拡大するためには屋内で利用可能な測位技術が重要となる。このため、屋内測位技術に関する多く

の研究開発が進められている。

筆者らは、イベント会場や工事現場などにおいて利用するための一時的な屋内位置情報サービスの実現に向けて、アドホック測位ネットワーク [?] の研究を行っている。アドホック測位ネットワークは、無線 LAN アクセスポイント (AP) 間の通信によってネットワークを構築する「無線 LAN メッシュネットワーク技術」[?] を用いた測位システムである。測位に必要な受信電波強度 (RSSI) 情報を無線 LAN メッシュネットワークを通じて転送することで、無線 LAN AP 及び測位計算を行

うサーバを設置するだけで測位システムを構築できる。

一時的な位置情報サービスの実現に向けては、測位システムに加えてユーザ端末へのアプリケーション導入の容易さも重要となる。屋内位置情報サービスはすでに実用化されている例も報告されているが、これらのサービスにおいてはユーザが専用のアプリケーションをインストールして利用することが想定されている。展示会などのイベント会場でこのような屋内位置情報サービスを一時的に利用する場合を考えると、ユーザが一時的にアプリケーションを導入する必要があるため、サービス利用への大きな障壁となる。

アプリケーション導入に対するユーザの負担軽減に向けて、本研究では位置情報サービスを Web サービスとして提供するアプローチをとる。ユーザ端末の位置に応じた動的な Web コンテンツを配信することで位置情報サービスを実現する。ユーザは無線 LAN 端末から Web サーバにアクセスするだけで位置情報サービスを利用することが可能となるため、災害時などユーザが事前準備を行うことが困難な場合への応用も期待できる。

アドホック測位ネットワークは無線 LAN AP 間のマルチホップ通信によって形成されているため、アプリケーションレス位置情報 Web サービスの実現に向けては通信負荷の分散が重要となる。これまでも無線 LAN を用いた屋内測位技術に関する多くの研究が行われているが、筆者らの調査の範囲内では制約のあるネットワークにおける位置情報サービスの提供に向けた検討は行われていない。

本稿では、アドホック測位ネットワーク上で自律分散動作するアプリケーションレス測位システムを示す。アプリケーションレス測位システムは、アドホック測位ネットワークを構成する各無線 LAN AP 内の Web サーバ、RSSI 受信サーバ、RSSI 観測サーバの 3 つのサーバによって構成される。ユーザ端末が接続されている AP 内のサーバを中心に、各 AP 内の各サーバを自律的に動作させることによって通信負荷を分散させる。

本稿の構成は以下の通りである。2. ではアドホック測位ネットワークについて述べ、位置情報サービスを Web サービスとして実現する際の課題について述べる。??ではアドホック測位ネットワーク上におけるアプリケーションレス測位システムを示す。4. では無線 LAN メッシュノードを用いたアプリケーションレス測位システムの実装について述べ、5. において基本性能評価を行う。最後に 6. でまとめとする。

2. アドホック測位ネットワーク

アドホック測位ネットワークは、無線 LAN メッシュネットワーク技術によって形成された無線 LAN AP 間ネットワークを用いて無線 LAN 端末の測位を行うシステムである。図 1 にアドホック測位ネットワークの概要を示す。アドホック測位ネットワークは、複数台の無線 LAN AP と測位サーバとから構成される。測位対象エリアに無線 LAN AP を設置し、無線 LAN AP の 1 つに測位サーバを接続すると、無線 LAN AP 間のマルチホップ通信によりネットワークが自動的に形成される。測位対象エリア内でユーザの無線 LAN 端末が信号を発すると、ユーザ端末の信号を検出した無線 LAN AP は検出した信号の RSSI と送信元アドレスを RSSI 情報として測位サーバに送信する。測位サーバは複数の無線 LAN AP から受信した RSSI

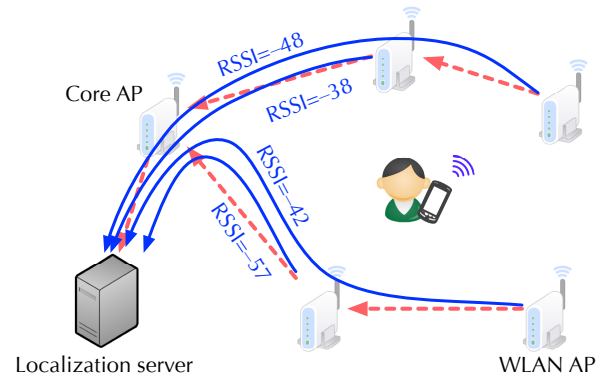


図 1 アドホック測位ネットワークの概要

情報と各無線 LAN AP の座標情報を用いて、ユーザ端末の位置を多辺測量法などにより算出する。

アドホック測位ネットワーク上でアプリケーションを用いずにユーザに位置情報サービスを提供するため、Web サービスとして位置情報サービスを提供する。アドホック測位ネットワーク上では測位サーバにおいて測位計算が行われるため、Web サーバを測位サーバと同じ計算機上に構築し、測位結果に応じて Web コンテンツを変更することで位置情報サービスを実現する。

位置情報サービスを利用する場合、ユーザは無線 LAN 端末で無線 LAN AP の 1 つに接続して Web サーバにアクセスする。各無線 LAN AP はユーザ端末が Web アクセス時に発した信号を検出すると RSSI 情報を測位サーバに送信し、測位サーバにおいてユーザ端末の測位計算が行われる。Web サーバは測位サーバの計算終了を待機し、ユーザ位置を表示する地図など、位置情報サービスページをユーザ端末に返却する。ユーザ位置などを自動的に更新するため、Web ページに埋め込まれたスクリプトプログラムを利用して定期的に Web アクセスを発生させ、Web コンテンツを更新する。

このような Web サービスを実現する上では、ユーザビリティの観点からユーザが Web アクセスをしてから Web コンテンツが返却されるまでの応答時間を短くすることが望ましい。これに向けて通信負荷を分散させることが求められる。アドホック測位ネットワークは無線 LAN AP 間のマルチホップ通信によって形成されているため、測位サーバ付近の無線 LAN AP では多数の無線 LAN AP からの情報を転送する必要があり、通信が混雑する。また、1 台のユーザ端末に対して複数台の無線 LAN AP が RSSI 情報を送信することを考えるとユーザ端末数の増加とともに通信量が大きく増加する。Web の応答時間というユーザビリティの観点だけでなく、利用者数の増加に対応するためにも測位サーバ付近での通信負荷の集中を避ける必要がある。

無線 LAN を用いた屋内測位に関しては、測位精度の向上や測位環境の容易な構築に関する研究を中心として多くの研究が行われている[?]。測位精度の向上に関しては、観測された RSSI 情報からの端末位置推定において、RSSI 自体の時間変動やバラツキ、無線 LAN モジュールのベンダーの違いによる影響を考慮する手法[?]、複数端末で協調させる測位計算手法[?]、高精度化に向けたボトルネックを明確化するための精度・頑健

性・環境構築コストのトレードオフ解析[?]などが報告されている。また、無線センサネットワーク分野においても、時空間的な相関を考慮した測位計算法[?]など、無線 LAN 測位に応用することができる測位精度向上手法が報告されている。本研究においてもこのような手法を用いて測位計算を行うことで、測位精度の向上が可能である。

測位環境の容易な構築に関しては、アドホック測位ネットワークと同様に無線 LAN AP で観測した信号を用いて測位する手法[?], 無線 LAN AP など環境構築の際に導入するノード数を最小化する手法[?], RSSI 特徴量の領域で端末測位を行うことで RSSI 特徴量と物理的な位置の対応付けに要するコストを削減する手法[?], モバイル端末の GPS と組み合わせるなどしてアクセスポイントの座標を自動的に算出する手法[?], [?]などが報告されている。測位環境の構築に関して多くの報告がある一方で、ユーザ端末への位置情報サービスの提供方法については検討がなされておらず、ユーザ端末へのアプリケーションの導入が暗黙的に想定されている。また、アドホック測位ネットワークのように通信帯域に制約がある場合の位置情報サービスの提供に向けた検討は行われていない。

3. AA-CTS Blocking

前節で述べたように、WLAN と ZigBee の共存に向けた衝突回避システムの実現に向けてはさせることが求められる。ここで、ユーザ端末の信号を検出する無線 LAN AP がユーザ端末と物理的に近い距離にあることに着目する。ユーザ端末の信号検出の可否は、通信の衝突を考慮しなければ端末からの距離に応じた信号減衰によって決まるため、ユーザ端末から十分に離れた距離にある無線 LAN AP は信号を検出することができない。ユーザ端末の信号を検出した無線 LAN AP 間のみで通信を行えば、アドホック測位ネットワーク上でのホップ数が少なく、他の無線 LAN AP の通信に与える影響を低減できると考えられる。

本節では、このような考えに基づいて設計されたアプリケーションレス測位システムを示す。本システムでは、位置情報 Web サービスを実現する測位サーバと Web サーバをユーザ端末の接続先 AP 上で動作させる。これにより通信を物理的に近い無線 LAN AP 間にとどめ、ユーザ端末の物理的な分散に応じて複数のユーザ端末の通信を分散させる。

3.1 アプリケーションレス測位システムの概要

本システムでは、周辺にある WLAN AP から CTS フレームを送信させて CTS-Blocking を実現する。これにより、WLAN 通信の一時的ブロックによる効率的な ZigBee 通信の実現を目指す。また、RTS を送信する AP の選択については、AP から取得できる情報を基に最適な AP 選択アルゴリズムを考慮する。

図??に、AA CTS-Blocking システムの概要を示す。本システムは、環境内に配置された複数の ZigBee ノード及び ZigBee 基地局、制御 PC から構成される。ZigBee 基地局と制御 PC は有線接続されている。

制御 PC では、周囲に存在する WLAN AP のビーコンフレームを受信し、チャンネル、受信信号強度 (RSSI) を収集する。ZigBee の通信を開始する場合、周囲の AP の 1 つを選択して制御 PC から RTS フレームを送信する。選択された AP は

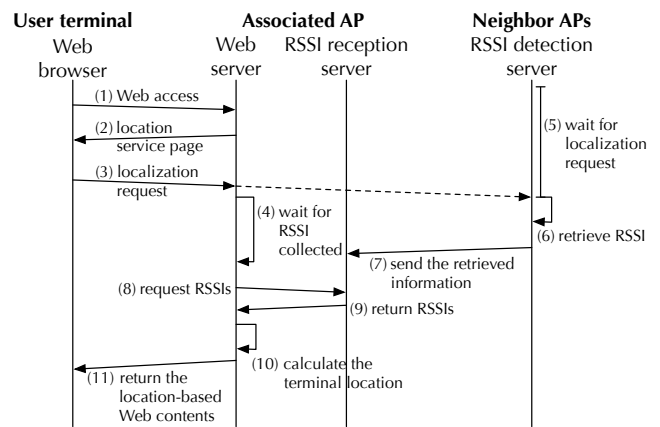


図 2 AA CTS-blocking システムの通信シーケンス

RTS フレームを受信すると周囲の WLAN 端末に対して CTS フレームを送信する。制御 PC は AP からの CTS フレームを受信すると ZigBee 基地局を用いて ZigBee ノードとの通信を開始する。WLAN AP は、その AP が提供する WLAN ネットワークに参加していない端末からの RTS フレームに対しても CTS フレームを返答するため、制御 PC では任意の AP を選択することができる。

図 2 に AA CTS-blocking システムの通信シーケンスを示す。まず、ブロックしたい WLAN 通信を構築する無線 LAN AP のチャンネルを設定する。

- (1) 制御 PC は設定されたチャンネルを利用している AP の中から 1 つの AP を選択する。
- (2) 制御 PC は AP に向けて RTS フレームを送信する。
- (3) RTS フレームを受信した AP は CTS を返却し、同時に周囲の接続 WLAN 端末に向けて CTS フレームをブロードキャストする。
- (4) 制御 PC は AP からの CTS フレームを受信するまで待機する
- (5) 制御 PC は AP から返却された CTS フレームを受信すると、有線接続された ZigBee 基地局に向けて通信開始信号を送信する。
- (6) この時、制御 PC は CTS-Blocking タイマを起動させる。
- (7) 通信開始信号を検出した ZigBee 基地局は、sleep 状態から復帰し、active 状態へ移行する。
- (8) active 状態となった ZigBee 基地局は、周囲の ZigBee ノードへ送信要求フレームをブロードキャストする。
- (9) この時、ZigBee 基地局は Active ZigBee-Comm タイマを起動させ、listen 状態へ移行する。
- (10) 送信要求フレームを受け取った周囲の ZigBee ノードは、standby 状態から transmit 状態へと移行する。
- (11) transmit 状態へと移行した ZigBee ノードは、それぞれのノードに設定された固有のガード時間だけ待って ZigBee 基地局へデータフレームを返信する。
- (12) 送信が完了したら、ZigBee ノードは transmit 状態から standby 状態へ移行する。
- (13) listen 状態となった ZigBee 基地局は、周囲の ZigBee ノードから返信されるデータフレームを受信するまで待機する。
- (14) 周囲の ZigBee ノードからデータフレームを受信したら、

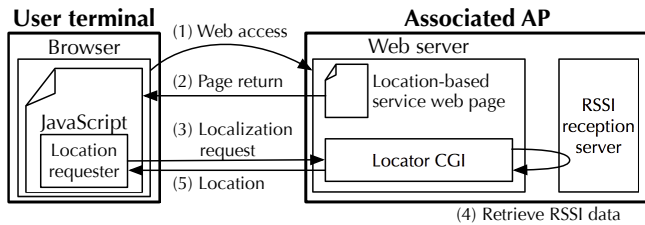


図3 Webサーバの動作

ZigBee 基地局は listen 状態から display 状態へと移行する。
 (15) display 状態へと移行した ZigBee 基地局は、有線接続された制御 PC にデータフレームを転送する。
 (16) 転送されたデータフレームを受け取った制御 PC は、自身のコンソール上にデータフレームの中身を表示する。
 (17) 転送完了後、ZigBee 基地局は display 状態からすぐに listen 状態へと移行し、(13) へ戻る。
 (18) Active ZigBee-Comm タイマが終了すると、ZigBee 基地局は listen/display 状態からすぐに sleep 状態へと移行し、受信待機を解除する。
 (19) CTS-Blocking タイマが終了すると、AA CTS-Blocking は終了となる。

制御用通信による通信帯域の消費を低減するため、アプリケーションレス測位システムでは各無線 LAN AP 内のサーバを自律的に動作させる。以下では各機器の動作の詳細を示す。

3.2 Webサーバ

Webサーバは、ユーザ端末への位置情報 Web サービスページの提供と、ユーザ端末からの測位要求による測位計算を行う。

図3にWebサーバの動作を示す。ユーザ端末のブラウザがWebサーバにアクセスすると、Webサーバは測位要求を行うJavaScriptプログラムが埋め込まれたWebページを返却する。測位要求プログラムはWebサーバ上の測位CGIにアクセスし、測位を要求する。Webサーバ上の測位CGIは、アクセス元のIPアドレスを取得し、IPアドレスをキーとしてRSSI受信サーバから測位計算に必要なRSSI情報を取得する。取得したRSSI情報を用いて測位計算を行い、測位結果をJSON形式で記述してユーザ端末に返却する。受信した測位結果を用いて測位要求プログラムはWebページを更新する。

測位CGIにおいてRSSI情報を取得する際には、測位CGIへのアクセスに関するRSSI情報が収集されるまで待機することが望ましい。この場合、各無線LANAPを自律的に動作させるためには測位CGIにおけるRSSI情報取得までの待ち時間を自律的に決定する必要がある。測位CGIの待機時間は、RSSI情報の受信に要する時間から決定できる。詳細については5.3において述べる。

ユーザ端末は自動的に周囲の無線LANAPに接続されるため、ユーザが接続先のAPを認識していないことが予想される。この場合にはユーザがブラウザを使用した際に接続先AP上のWebサーバに自動的に接続することが必要となる。このような自動接続は、RADIUSサーバを用いたりダイレクトやファイヤウォールを用いた転送などによって実現できると考えている。

3.3 RSSI受信サーバ

図4にRSSI受信サーバの動作を示す。RSSI受信サーバは、

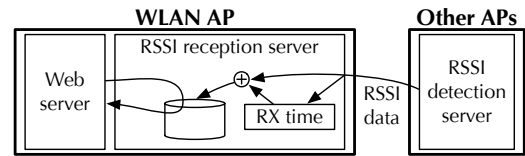


図4 RSSI受信サーバの動作

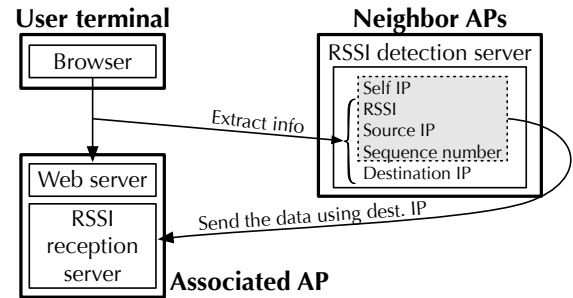


図5 RSSI観測サーバの動作

RSSI観測サーバより送信されたRSSI情報を受信して蓄積し、Webサーバ上の測位CGIに提供する。このとき、測位CGIがユーザ端末に関する最新のRSSI情報を特定できるように、RSSI情報の受信時刻も同時に蓄積する。測位計算では各ユーザ端末に関する最新のRSSI情報が使用されるため、RSSI受信サーバは一定個数のRSSI情報を蓄積して古いRSSI情報は破棄する。蓄積するRSSI情報の個数は、無線LANAPのリソース（メモリ・ディスク）の大きさから決定する。

RSSI受信サーバはRSSI観測サーバからのRSSI情報を蓄積するだけの機能を担っており、同一AP内の他のサーバ、他の無線LANAPに影響されず自律的に動作する。

3.4 RSSI観測サーバ

図5にRSSI観測サーバの動作を示す。RSSI観測サーバはユーザ端末から発せられる測位要求を監視し、測位要求を検出した場合にはその測位要求を受信して以下の4つの情報を収集する。

(1) RSSI

ユーザ端末の測位に用いられる。無線LANモジュールから取得できる。

(2) 送信元IPアドレス

測位CGIがユーザ端末を識別するために用いられる。測位要求は測位CGIへのアクセスを行うIPパケットであるから、IPヘッダから取得できる。

(3) シーケンス番号

測位CGIが最新のRSSI情報を特定するため、及び同一の測位要求を特定するために用いられる。IEEE 802.11 MACによる再送があった場合にも測位要求を区別できるようにするため、IEEE 802.11 MACヘッダのFrame Controlフィールドに含まれるSequence Controlフィールドの値をシーケンス番号として用いる。

(4) 宛先IPアドレス

RSSI観測サーバがRSSIを送信する宛先を特定するために用いられる。IPヘッダから取得できる。

これらの情報のうち、RSSI、送信元IPアドレス、シーケンス番号をまとめてRSSI情報とし、宛先IPアドレスのRSSI

表 1 PCWL-0100 の主要諸元 (抜粋) [?]

見通し内中継回線到達距離	約 150 m (伝搬環境によって変化)
中継回線出力	16 dBm
アクセス回線出力	16 dBm
アクセス回線無線 IF	IEEE 802.11b/g 対応
中継回線無線 IF	2 つ内蔵 (アクセス回線無線 IF とは別)
	5.15 ~ 5.35 GHz
本体サイズ	幅 142 mm × 縦 118 mm × 奥行き 39 mm

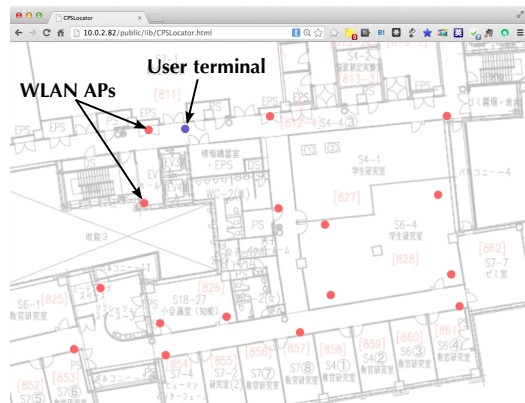


図 6 実装した屋内地図 Web アプリケーション

受信サーバに対して送信する。測位要求の宛先 IP アドレスは、ユーザ端末の接続先 AP であるため、1 台のユーザ端末から発せられた測位要求に関する RSSI 情報は端末接続先 AP の RSSI 受信サーバに集まることとなる。

RSSI 観測サーバは、受信した測位要求のみに基づいて自律的に動作する。

4. 実 装

??で示したアプリケーションレス測位システムの動作の実証と基本性能の評価に向けて、無線 LAN メッシュノードを用いて本システムを実装した。無線 LAN メッシュノードとしては、PicoCELA 社の PCWL-0100 [?] (以下 PCWL と表記) を用いた。表 1 に PCWL の主要な諸元を示す。PCWL は中継機能を有した無線 LAN AP であり、PCWL 間のマルチホップ通信により自動的にネットワークを構築することができる。

PCWL 内では Linux が動作しており、この Linux 上に Web サーバ、RSSI 受信サーバ、RSSI 観測サーバを実装した。

Web サーバは、オープンソースの HTTP サーバである `thttpd` [?] を用い、測位 CGI は C 言語で実装した。測位 CGI と RSSI 受信サーバとの通信は、同一の AP 内における通信であること、データ送受信の方向が一定であることから、各サーバの自律性を高めるために共有メモリを用いた。

RSSI 受信サーバ及び RSSI 観測サーバは C 言語で実装した。RSSI 観測サーバにおいては、モニターモードの無線 LAN インタフェースを用いて Radiotap ヘッダが付加された IEEE 802.11 MAC フレームを受信し、3.4 で示した RSSI、送信元 IP アドレス、シーケンス番号、宛先 IP アドレスの 4 つの情報を取得した。RSSI 受信サーバと RSSI 観測サーバ間の通信は TCP 通信を用いた。

位置情報サービスの例として、屋内においてユーザ位置を表示する地図アプリケーションを実装した。図 6 に実装した地図

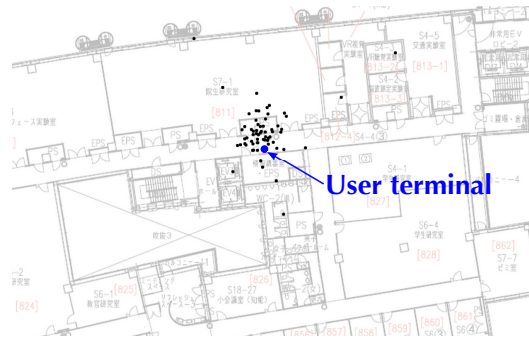


図 7 ユーザ端末位置の測位結果

アプリケーションの画面例を示す。屋内地図上にユーザ端末と無線 LAN AP の位置を表示するシンプルな Web アプリケーションである。

5. 評 価

??で示したアプリケーションレス測位システムについて実証評価を行った。30 台の PCWL を無線 LAN AP として九州大学伊都キャンパスウエスト 2 号館 8 階の廊下や教室に設置した。ユーザ端末として静止状態にある 1 台の PC を無線 LAN AP の 1 つに接続し、PC 上の Web ブラウザを用いて屋内地図 Web アプリケーションのページにアクセスした。この状態で各無線 LAN AP において RSSI 情報の受信や測位計算に関する情報を約 20 分間収集した。測位 CGI における RSSI 情報収集の待機時間は 10 秒とし、125 回の測位計算が記録された。

5.1 測 位

アプリケーションレス測位システムを用いて位置情報サービスが実現できることを示すために、測位結果を確認した。

図 7 に本システムによって得られたユーザ端末位置を示す。実際のユーザ端末位置と比較すると、およそのユーザ端末位置を測定できていることが分かる。

図に示されているように、一部の測定結果は実際のユーザ端末位置から離れた場所を示している。これは、測位計算に用いたアルゴリズムが、観測した RSSI に含まれる誤差によって大きな測位誤差を生じたためと考えられる。

本研究は測位精度の向上を目的としていないため、測位計算においては単純な多辺測量法を用いている。観測した RSSI から端末位置を推定する技術に関しては多くの研究が報告されているため、例えば文献 [?] などの手法を適用することで測位精度を向上できると考えている。

5.2 RSSI 情報の送信回数

アプリケーション測位システムにおける通信の分散は、ユーザ端末に物理的に近い無線 LAN AP だけがユーザ端末の測位要求を検出することによって実現される。これを検証するため、各無線 LAN AP の RSSI 観測サーバが測位要求を検出した回数を評価した。RSSI 観測サーバは測位要求を検出すると RSSI 情報を送信するため、RSSI 情報の送信回数を通じて評価を行った。

図 8 に各無線 LAN AP における RSSI 情報の送信回数を示す。図では、円の中心が無線 LAN AP の位置を、円の大きさが RSSI 情報の送信回数を示しており、最小・最大の円は再送

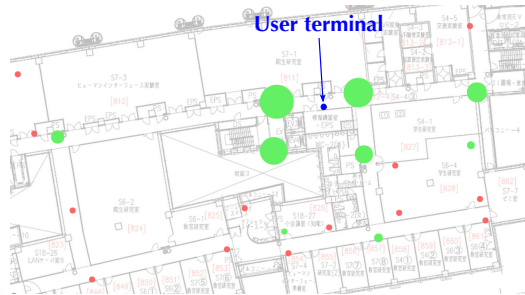
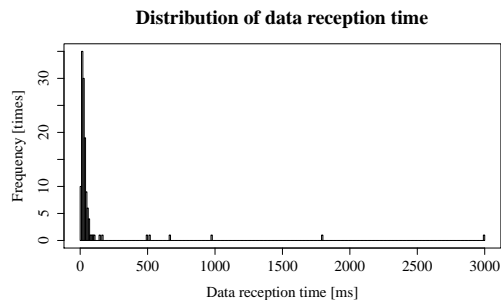
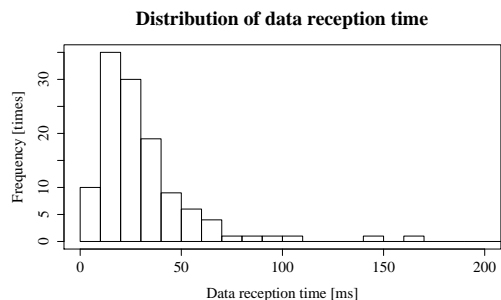


図 8 各無線 LAN AP の RSSI 情報送信回数



(a)



(b)

図 9 RSSI 情報受信時間の分布

を含めてそれぞれ 0 回、155 回の送信を示している。図より、ユーザ端末に近い無線 LAN AP がより多くの測位要求を検出したことが分かる。

一方、ユーザ端末から離れた位置にある無線 LAN AP でも測位要求を検出する場合があることが分かる。これは、当該無線 LAN AP とユーザ端末の位置が見通し距離にあるためと考えられる。さらなる通信の分散に向けては、測位用無線 LAN AP の設置場所の検討や宛先に応じた RSSI 情報の送信有無などの手法を取り入れる必要があることが分かる。

5.3 RSSI 情報の受信時間

3.2 で述べたように、測位 CGI は RSSI 情報が収集されるまで待機する必要がある。待機時間の決定に向けて、RSSI 情報の受信に要する時間の評価を行った。

図 9 に各測位計算において RSSI 情報の受信に要した時間の分布を示す。RSSI 情報受信時間の平均値は 88.8 ms、最大値は 2999.7 ms である。図 9 (a) に示すように、ほとんどの測位計算において 200 ms 以内に RSSI の受信が完了することが分かる。図 9 (b) は、同図 (a) の時間軸 0 ~ 200 ms 部分を抜き出したものである。物理的に近い無線 LAN AP のみに通信をとどめた結果としてほとんどの通信が 70 ms 以内に終了し、遠い

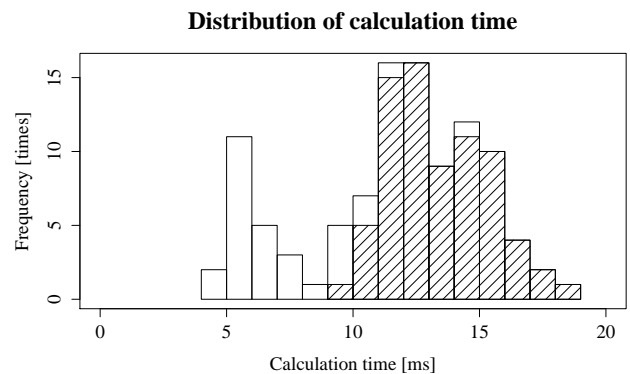


図 10 測位計算時間の分布

AP が RSSI 情報を送信した場合に遅延時間が長くなっていると考えられる。また、TCP 通信を用いているため、転送に失敗して再送が行われた場合に 200 ms 以上の遅延が生じたと考えられる。

このような評価結果を用い、位置情報サービスの要求に従って測位 CGI における待機時間を決定することができる。例えば、地図アプリケーションにおいては毎回確実に結果が得られなくても大きな問題とはならないため、再送によって送られた RSSI 情報を無視することとして待機時間を 200 ms とすればよい。

5.4 測位計算時間

測位遅延は、測位 CGI への Web アクセスの時間を除けば測位 CGI の待機時間と測位計算時間の和となる。測位遅延を見積もるため、測位計算時間を評価した。

図 10 に各測位の計算時間の分布を示す。白抜きは全測位、斜線は計算結果が得られたものを示している。図より、計算時間が短いときには多くの場合において計算結果が得られないことが分かる。これは、計算に必要な RSSI 情報が足りない場合、あるいは RSSI 情報が少なくても解を求められないと判断した場合と考えられる。また、計算時間が長いときにも計算結果が得られないことがあることが分かる。十分な数の RSSI 情報が得られても、RSSI 値に含まれている誤差によって解が求まらない場合があるためと考えられる。

6. おわりに

本稿では、一時的な位置情報サービスの実現に向けて、容易に構築可能なアドホック測位ネットワーク上でユーザがアプリケーションを導入することなく利用可能な測位システムを示した。位置情報サービスを Web サービスとして実現する際に問題となる通信負荷の集中について述べ、これを解決するためにユーザ端末接続先 AP 内を中心とした分散型の測位システムを示した。本システムを無線 LAN メッシュノード上に実装して動作を確認するとともに基本性能の評価を行った。今後の課題として、ユーザ端末の集中に伴う通信負荷集中が挙げられる。本システムではユーザ端末の物理的な位置の分散によって通信負荷を分散するため、ユーザ端末が集中した場合には通信負荷を分散することが困難となる。また、測位精度向上に向けて提案されている手法を本システムのような分散測位システム上で

実現する手法について検討する必要がある。

謝辞 本研究の一部は、科研費 (22300025, 25870928) 及び文部科学省「社会システム・サービスの最適化のための IT 統合システム構築」(採択課題名:「社会システム・サービス最適化のためのサイバーフィジカル IT 統合基盤の研究」) の助成で行われた。