

# WiFi測位のための アクセスポイントスキャン高速化方式

小西 勇介<sup>†1</sup> 中尾 敏康<sup>†1</sup>

近年、無線 LAN 通信インフラが家庭内から街中に至るまで広く普及し、無線 LAN 機能を搭載したモバイル端末によるネットワークサービスの利用が急速に進んでいる。一方、これらの無線 LAN システムを用いて、音声や映像などを用いたアプリケーションや位置検知機能などのリアルタイム性が要求される様々なネットワークサービスを継続して利用できるようにするためには、IEEE 802.11 規格で定義されているアクセスポイントスキャン動作を高速化する必要がある。そこで本稿では、無線 LAN システムにおける位置検知機能や高速ハンドオフ技術へ適用可能なスキャン動作高速化方式として、IEEE 802.11b/g の通信方式として採用されている DSSS の特性に着目し、一部のチャンネルのみでのスキャン結果を活用することによってスキャンするチャンネル数を削減しスキャン時間を短縮できる方式を提案し、シミュレーションおよび実環境での計測結果に基づいた性能評価結果について報告する。

## A Fast Beacon Scanning Method for WiFi Positioning System

YUSUKE KONISHI<sup>†1</sup> and TOSHIYASU NAKAO<sup>†1</sup>

Recently, WLAN infrastructure and mobile terminals with WLAN interface have been widely spreaded, and many users began to use network services based on WLAN system. On the other hand, to enjoy the seamless and persistent network services with WLAN system, it is needed to shorten scanning delay. In this paper, we proposed and evaluated methods which can shorten the scanning delay based on characteristics of DSSS transmission method adopted by IEEE 802.11b/g standard.

<sup>†1</sup> NEC サービスプラットフォーム研究所  
Service Platforms Research Laboratories, NEC Corporation

## 1. はじめに

近年のモバイルデバイス技術や移動体通信環境の発達に伴い、安価な機器で高速な無線通信を容易に実現できるという利点から、IEEE 802.11 規格<sup>1)</sup> で標準化された無線 LAN 通信インフラが家庭内から街中に至るまで広く普及している。また、ノートパソコンをはじめとした、PDA、携帯電話、スマートフォンやタブレット端末などのモバイル端末にも無線 LAN 機能が標準搭載されるようになってきており、これらの無線 LAN 機能を用いたネットワークサービスの利用が急速に進んでいる。これに伴って、無線 LAN 機能によって得られる電波状況に基づいて無線 LAN 端末の位置を検知する技術が数多く提案、実用化され<sup>2)-5)</sup>、近年では多くのモバイル端末に標準搭載されるようになってきている。

一方、移動するモバイル端末が無線 LAN 機能を用いたネットワークサービスを継続して利用できるようにするためには、モバイル端末の移動に伴って接続先のアクセスポイントを高速に切り替える高速ハンドオフ技術が必要となる。IEEE802.11 規格では、端末 (STA: STation) は、アクセスポイント (AP: Access Point) に接続するために、周辺に存在する AP を探索する「スキャン」と呼ばれる動作を適宜実施する必要がある。高いリアルタイム性が要求される音声や映像などを扱うアプリケーションを利用しながら、通信の継続性を維持しつつハンドオフを行うには、スキャン動作によるデータ通信の中断を最小限に抑えるためにスキャン動作を高速化 (スキャン時間を短縮) する必要がある<sup>6)</sup>。また、スキャン結果に基づく位置検知機能においても、頻繁な位置検知によるデータ通信の中断という問題と共に、スキャン中に STA が位置検知性能に比べて大きく移動すると、スキャンで得られた電波状況から位置を正しく検知できなくなってしまうという問題があり、スキャン動作の高速化が必要である。

そこで本稿では、このような無線 LAN システムにおける位置検知機能や高速ハンドオフ技術への適用を想定し、既存の AP や通信プロトコルに手を加えることなく、STA 側のソフトウェア的な変更だけで STA のスキャン動作を高速化できる方式を提案し、シミュレーションおよび実環境での計測結果に基づいた性能評価結果について報告する。

## 2. 背景

### 2.1 IEEE 802.11b/g

本稿では、IEEE 802.11 規格のうち、2.4GHz の無線周波数帯域を利用し、通信方式として直接シーケンススペクトラム拡散方式 (DSSS: Direct Sequence Spread Spectrum) を

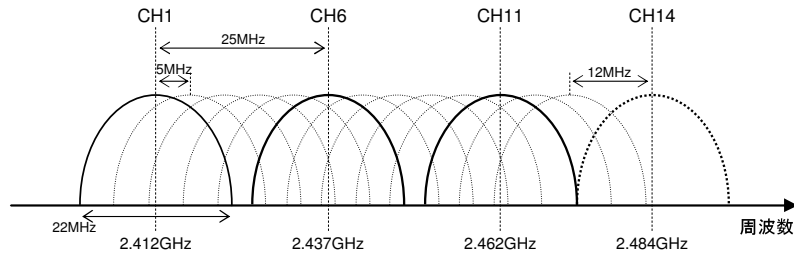


図 1 IEEE 802.11b/g でのチャンネル定義  
Fig.1 Channel assignment for IEEE 802.11b/g

採用した IEEE 802.11b および IEEE 802.11g を対象とする。

IEEE 802.11b/g では、中心周波数 2.412GHz の CH1 から中心周波数 2.472GHz の CH13 まで 5MHz 間隔で計 13 チャンネル（日本国内では、IEEE 802.11b に限り、これらに中心周波数 2.484GHz の CH14 を加えた計 14 チャンネル）が利用できる。各チャンネルが使用する周波数帯域の概要を図 1 に示す。DSSS を用いて送信エネルギーを拡散させることにより、ノイズによる通信品質への影響が少なく、かつ、他の通信を妨害しにくい無線通信を実現している。しかしながら、チャンネル間隔 5MHz に対して、全チャンネル共通のチップシーケンスにより 22MHz の帯域幅へ送信エネルギーを拡散させるため、隣接チャンネルでの通信が他のチャンネルへ干渉を引き起こす問題がある。

一方、IEEE 802.11 規格の MAC 層では、STA は、周辺に存在する AP の存在を検知するために、自身の通信チャンネルを切り替えながらアクセスポイントを探索する「スキャン」と呼ばれる動作を実施する。IEEE 802.11 規格の MAC 層で定義されている MAC フレームのうち、スキャン動作に関連する管理フレームの構成を図 2 に示す。スキャン動作にはパッシブとアクティブの 2 通りが存在する。

**パッシブスキャン** AP は、自身の存在を周辺の STA へ知らせるために、定期的に（一般的には 100ms に 1 回の頻度で）ビーコン（図 2-a）を送信している。パッシブスキャンでは、STA は使用チャンネルを順に切り替えながら、ビーコンを受信しバッファする。STA は、ビーコンを受信することで、周辺に存在する AP の MAC アドレス（BSSID）や AP の使用チャンネル（DS Param Set）を得ると共に、ビーコンを受信した際の信号受信強度（RSSI）を測定する。パッシブスキャンでは信号の送信を行わないため、無線通信による消費電力を抑えることができる一方、AP が 100ms に 1 回の頻度で送信するビーコンを受信するためには、各チャンネルで 100～数百 ms 間受信する必要がある

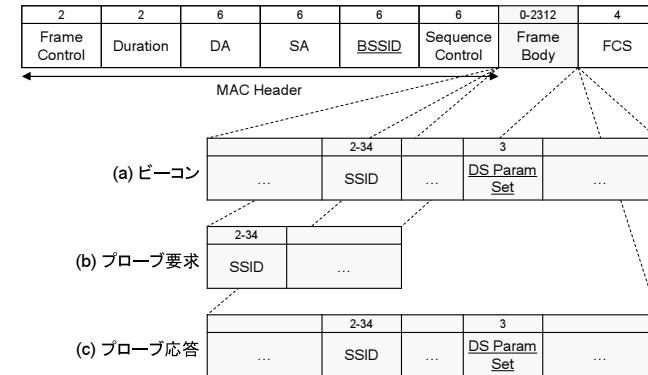


図 2 スキャンに関連する管理フレームの構成  
Fig.2 Format of management frames related with scanning

ため、全チャンネルのスキャンには 1.5～数 s 程度かかってしまう。

**アクティブスキャン** アクティブスキャンでは、STA は使用チャンネルを切り替えず、プローブ要求（図 2-b）をブロードキャスト送信する。プローブ要求を受信した AP はプローブ応答（図 2-c）を STA へ返信する。STA は、AP から返信されたプローブ応答を受信することで AP の BSSID や使用チャンネルを得ると共に、プローブ応答を受信した際の RSSI を測定する。またこのとき、STA はプローブ要求を送信してから、まず最小応答時間（MinChannelTime）だけ返信を待ち、この間に何の返信も無ければ、使用チャンネルを変更し次のチャンネルのスキャンを行う。一方、MinChannelTime の間に何らかの返信を受信した場合には、他の AP からの返信も受信できるよう、最大応答時間（MaxChannelTime）だけ返信を待ってから、使用チャンネルを変更して次のチャンネルのスキャンを行う。MinChannelTime としては 1～7ms 程度、MaxChannelTime としては 11ms 程度が適しているとされており<sup>7)</sup>、一般的には、アクティブスキャンによる全チャンネルのスキャンには 350～500ms 程度かかると言われている。

このようにして得られる周辺 AP の情報に基づいて、STA は位置検知やハンドオフを行う。しかしながら、これらのスキャン動作中には、スキャン動作のために無線 LAN 機能が占有され、通常データ通信を行えない。一方、近年利用が広がっているモバイル端末における音声や映像を用いたサービスでは、データ通信が継続的に行われることが必須の要件となっており、例えば、VoIP サービスでは単方向の伝送遅延を 150ms 以下に抑えることが推

奨されている<sup>8)</sup>。このため、データ通信に影響を及ぼさない短時間で位置検知や、移動しながらも無線通信を継続的に維持できる高速なハンドオーバを実現するためには、スキャン時間を短縮する(すなわち、スキャン動作を高速化する)ことが必要となっている。

## 2.2 関連研究

IEEE 802.11におけるスキャン動作を高速化する技術として、APやネットワーク内のサーバからSTAに対してスキャンすべきチャンネルに関する情報を提供することによって、STAでのスキャンチャンネル数を減らし、スキャン時間を短縮する方式が提案されている<sup>9)-12)</sup>。しかしながら、これらの方式では、APとSTAの間でやり取りするMACフレームの一部を改変したり、ネットワーク内にSTAに対して補助的な情報を配信するためのサーバを設ける必要がある。既存の無線LAN環境内で利用可能とするためには、既存のAPもしくはネットワークに特別な変更を加えない方式が必要である。

一方、APの変更やネットワーク内のサーバを必要とせず、STA側のソフトウェア的な変更のみでスキャンを高速化する方式も提案されている。Kwonら<sup>13)</sup>は、アクティブスキャンにおいて、プローブ応答受信中のフレーム衝突の発生状況に基づいて全APからの受信完了を判定し、MaxChannelTimeが経過する前に受信動作を終了させることによってスキャン時間を短縮する方式を提案している。また、Ramaniら<sup>7)</sup>は、APのビーコン発信周期に合わせてSTAのパッシブスキャンを短時間ずつ間欠的に行うことにより、スキャンによるデータ通信の長時間にわたる中断を回避する方式を提案している。さらに、Mustafaら<sup>14)</sup>やChenら<sup>15)</sup>は、記憶しておいた過去のスキャン結果に基づいてスキャンすべきチャンネルを適切に選択することによりスキャン時間を短縮する方式を提案している。しかしながら、これらの方式はいずれもIEEE 802.11b/gのMAC層以上での工夫にとどまっており、物理層の特性を活かしたスキャン高速化手法については十分に検討されていない。

そこで本稿では、IEEE 802.11b/gの物理層の特性に着目し、既存のAPやネットワークに特別な変更を加えることなく、STA側のソフトウェア的な変更のみで実現可能でありながら、十分なスキャン動作高速化が見込める方式を提案する。

## 3. 提案方式

提案方式では、IEEE 802.11b/gの物理層の特性として、2.1で説明した隣接チャンネル間の干渉に着目する。IEEE 802.11b/gにおけるDSSSを用いた通信方式では、全チャンネルで共通のチップシーケンスを用いているため、送信周波数と受信周波数がずれていても十分な受信エネルギーを得られていれば信号を受信し復調できるという特性がある。すなわち、

送信チャンネルと受信チャンネルが異なっていても、送信された信号を受信できる場合がある。

そこでまず、実際の無線LAN環境において、IEEE 802.11b/gに対応したAPが送信するビーコンが、STAでどのように受信されるか確認するための予備実験を行った。本実験では、AmbiCom社製のコンパクトフラッシュ型IEEE 802.11b対応無線LANカードWL1100C-CFが接続されたIntrinsyc社製の組み込み向けLinuxボードCerfBoard255上に、モニタモードに設定した無線LANインタフェースを用いてrawソケット経由でIEEE 802.11のMACフレームをキャプチャできるツールを構築し、STAとして利用した。また、本実験では、STAの使用チャンネルをCH1からCH13まで順に切り替えながら、各チャンネルで約1秒間ずつAPが送信するビーコンを受信し、受信したビーコンに含まれるAPのBSSIDと使用チャンネル、および、ビーコン受信時のRSSI計測結果を記録した。記録した結果から、STAの使用チャンネルとAPのBSSID毎にRSSIの平均値を求め、計測結果とした。予備実験の計測結果を図3に示す。

図3に示した予備実験の結果から、まず、APとSTAの使用チャンネルが一致していない場合でも、APとSTA間でビーコンを送受信できる場合があることが分かる。具体的には、RSSIが強い場合(図3のAP-2やAP-5)では、APの使用チャンネルの前後3チャンネル以内、RSSIが弱い場合(図3のAP-6)でも、APの使用チャンネルの前後2チャンネル以内に

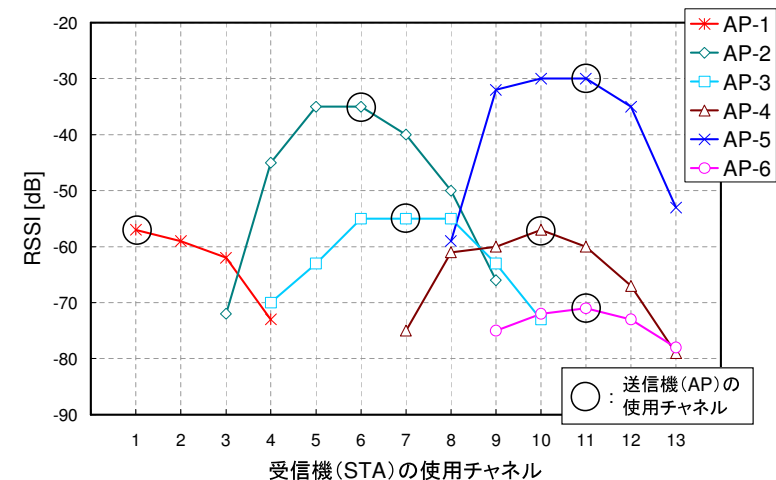


図3 ビーコン受信状況に関する予備実験の結果

Fig.3 Result of preliminary experiment about beacon scanning

STA の使用チャンネルを合わせれば、AP のビーコンを受信できている。また、AP と STA の使用チャンネルが一致しない場合には、そのチャンネル間距離と RSSI の減少幅の関係には AP 毎に若干の違いが認められるものの、チャンネル間距離が大きくなるほど RSSI が小さくなる特徴が AP によらず確認できる。これは、IEEE 802.11b/g で採用されている DSSS において、拡散された送信エネルギーのスペクトル強度が中心周波数から離れるほど小さくなる様子と似ている。

まとめると、予備実験の結果から、IEEE 802.11b/g の物理層には、以下のような 2 つの特性があると考えられる。

- (1) AP の使用チャンネルの前後 2 チャンネル以内に STA の使用チャンネルを合わせれば、AP と信号（少なくとも MAC 層のマネジメントフレーム）を送受信できる。
- (2) AP と STA の使用チャンネル間距離が大きくなるほど、STA が AP から信号を受信した際の RSSI が小さくなる。また、その減少量は使用チャンネル間距離から推定できる。

そこで本稿では、上記の特性に基づき、スキャン動作を高速化する方法として、スキャンを 2 段階に分けて実施する「段階的スキャン方式」、および、一部チャンネルでのスキャン結果から全チャンネルをスキャンした場合に得られる RSSI を推定する「部分的スキャン方式」の 2 つの方式を提案する。

### 3.1 提案方式 1：段階的スキャン方式

段階的スキャン方式では、まず、あらかじめ選択した一部のチャンネルについてのみ 1 回目のスキャンを実施し、次に、1 回目のスキャン結果に基づいて特定したスキャンすべきチャンネルについて 2 回目のスキャンを実施する。段階的スキャン方式のスキャン動作の流れを図 4 に示す。

本方式では、1 回目にスキャンするチャンネルをあらかじめ選択し、「スキャンリスト」として保持しておく。スキャンリストは、例えば「2,5,9,12」や「2,4,6,8,10,12」などのように、スキャンするチャンネルの少なくとも前後 2 チャンネルの範囲で、スキャンしないチャンネルが全てカバーされるように選択する。1 回目のスキャンでは、あらかじめ決めたスキャンリストに従って STA のチャンネルを順次切り替えながら受信処理 A を実施する。

受信処理 A では、まず、2.1 で説明したパッシブスキャンもしくはアクティブスキャンの動作に従って、パッシブスキャンであれば周辺 AP から送信されたビーコン、アクティブスキャンであれば周辺 AP から送信されたプローブ応答を受信する。このとき、いずれのフレームからも、AP の BSSID および使用チャンネルが取得でき、かつ、フレーム受信時の RSSI を計測できる。得られた受信結果それぞれについて STA と AP の使用チャンネルを比

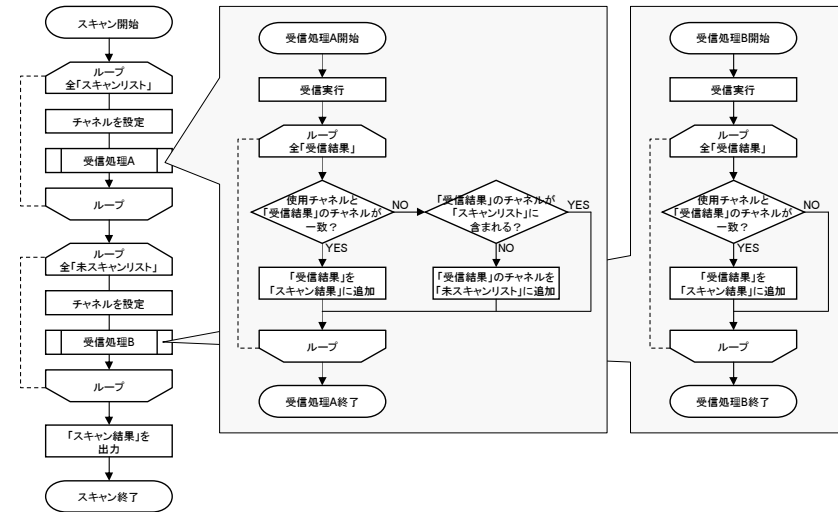


図 4 提案方式 1「段階的スキャン方式」のスキャン動作の流れ  
Fig. 4 Flow chart of our first proposed method “stepwise scanning”

較し、一致した場合には受信結果（AP の BSSID および RSSI）をスキャン結果（最終的な出力結果）に追加する。一致せず、かつ、AP の使用チャンネルがスキャンリストに含まれない場合（AP の使用チャンネルがスキャン予定のチャンネルでない場合）には AP の使用チャンネルを「未スキャンリスト」に追加する。ここで、未スキャンリストとは、2 回目にスキャンを実施する必要があるチャンネルのことを意味する。

このように 1 回目のスキャンを実施することにより、1 回目にスキャンしたチャンネルに存在する全 AP の BSSID と RSSI、および、1 回目にスキャンしなかったチャンネルのうち、AP が存在するチャンネルのリスト（未スキャンリスト）を得ることができる。

次に、2 回目のスキャンでは、未スキャンリストに登録されたチャンネルを対象に、STA のチャンネルを順次切り替えながら受信処理 B を実施する。受信処理 B では、受信処理 A と同様の受信動作を行い、受信した結果のそれぞれについて STA と AP の使用チャンネルを比較し、一致した場合にのみ受信結果をスキャン結果に追加する。

このように 2 回のスキャンを段階的に行うことにより、AP の存在しないチャンネルについてはスキャンしないで済むこととなり、全チャンネルをスキャンするのに比べてスキャン時

間を短縮できる。しかしながら一方で、段階的スキャン方式では、2回のスキャンによって AP の存在するチャンネルを全てスキャンすることになるため、多くのチャンネルに AP が存在するような場合にはスキャン時間の短縮効果が限られる。

### 3.2 提案方式 2：部分的スキャン方式

部分的スキャン方式では、あらかじめ選択した一部のチャンネルについてのみスキャンした上で、スキャンしなかったチャンネルに存在する AP については、その AP の使用チャンネルで受信した場合に計測されるであろう RSSI を、計測された RSSI および STA と AP の使用チャンネル間距離から推定する。部分的スキャン方式の処理の流れを図 5 に示す。

本方式では、3.1 で説明した段階的スキャン方式と同様のスキャンリストに従って STA のチャンネルを順次切り替えながら受信処理 C を実施する。

受信処理 C では、3.1 で説明した受信処理 A や受信処理 B と同様の受信動作を行う。受信結果それぞれについて STA と AP の使用チャンネルを比較し、一致した場合には受信結果をスキャン結果に追加する。一致せず、かつ、AP の使用チャンネルがスキャンリストに含まれない場合には、その AP の使用チャンネルで受信した場合に計測されるであろう RSSI を推定した上で、AP の BSSID と推定された RSSI を受信結果としてスキャン結果に追加する。

ここで、RSSI の推定方法について説明する。まず、RSSI の推定には、図 6 に示すよう

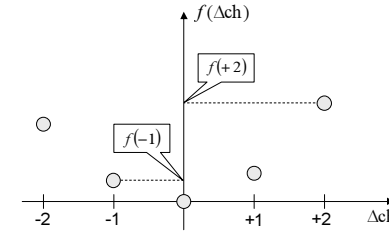


図 6 部分的スキャン方式における RSSI 推定に用いる補正量モデル  
Fig. 6 Correction model used by RSSI estimation for “partial scanning”

な、STA と AP の使用チャンネル間距離  $\Delta ch$ 、および、STA で計測された RSSI から、STA と AP の使用チャンネルを一致させて受信した場合に計測されるであろう RSSI の推定値  $\hat{R}$  を得るための補正量モデル  $f(\Delta ch)$  を用いる。補正量モデル  $f(\Delta ch)$  は STA の無線 LAN インタフェースの特性などによって変化する可能性があるため、例えば、STA 毎に事前に計測実験を行い作成しておく。

このとき、STA の使用チャンネルを  $ch_s$ 、STA で受信したフレームに含まれていた AP の使用チャンネルを  $ch_a$ 、STA でフレームを受信した際の RSSI を  $R$  とすると、推定値  $\hat{R}$  は式 (1) で算出できる。

$$\hat{R} = R + f(ch_s - ch_a) \quad (1)$$

スキャンしたチャンネルに存在する AP についてはスキャン結果そのものを、スキャンしなかったチャンネルに存在する AP については式 (1) で算出した RSSI の推定値  $\hat{R}$  を、それぞれ用いて全チャンネル分のスキャン結果を得ることにより、得たスキャン結果を位置検知のための電波状況やハンドオフのための各 AP の通信品質指標として利用できるようになる。

このように本方式では、スキャンリストに含まれないチャンネルに存在する AP の RSSI については推定値しか得られない一方で、AP の存在するチャンネルを全てスキャンすることをしないため、段階的スキャン方式に比べてさらにスキャン時間の短縮が期待できる。

## 4. 評価

提案した段階的スキャン方式および部分的スキャン方式によるスキャン動作の高速化（スキャン時間の短縮）、および、部分的スキャン方式における RSSI の推定精度についてそれぞれ評価を行った。本評価では、IEEE802.11b/g で利用可能なチャンネルのうち、CH1 から

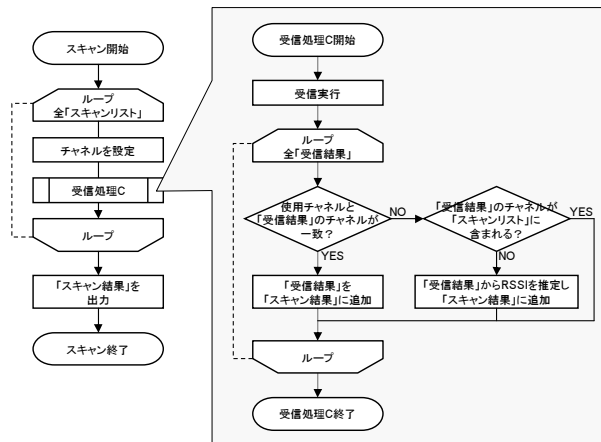


図 5 提案方式 2「部分的スキャン方式」の処理の流れ  
Fig. 5 Flow chart of our second proposed method “partial scanning”

CH13 までの全 13 チャンネルを対象としたスキャン動作について評価を行うものとする。

#### 4.1 スキャン時間

段階的スキャン方式、部分的スキャン方式、および、従来方式として全チャンネルをスキャンする全スキャン方式の計 3 方式について、各方式によるパッシブスキャンとアクティブスキャンの動作を模擬するシミュレーションツールを実装し、実装したシミュレーションツールを用いて各スキャン動作に必要な時間を比較評価した。

##### 4.1.1 評価方法

本評価では、シミュレーションで用いるパッシブスキャンおよびアクティブスキャンの動作パラメータを、一般的な無線 LAN システムを想定して<sup>7)</sup> 表 1 に示すとおり設定した。ここで、表 1 における SetupTime は、STA のチャンネルを切り替えてフレームを正常に受信するのに必要な時間を示す。

また、提案した段階的スキャン方式および部分的スキャン方式で用いるスキャンリストとしては、表 2 に示した A から D の 4 パターンを設定し評価を行った。これらのスキャンリストのうち、A および B は、STA と AP の使用チャンネル間距離が 2 以下で各種フレームの受信ができる場合に実用可能、C および D は、STA と AP の使用チャンネル間距離が 1 以下で各種フレームの受信ができる場合に実用可能な条件となる。

また、本シミュレーションでは、CH1 から CH13 の各チャンネルに AP が存在するか否か

表 1 シミュレーションで用いたスキャン動作のパラメータ  
 Table 1 Parameters of scanning used by the simulation

パラメータ	値	備考
SetupTime	19ms	チャンネル設定および安定化待機時間
ChannelTime	105ms	パッシブスキャンにおけるチャンネル当たり受信時間
MinChannelTime	4ms	アクティブスキャンにおけるチャンネル当たり最小受信時間
MaxChannelTime	11ms	アクティブスキャンにおけるチャンネル当たり最大受信時間

表 2 シミュレーションで用いたスキャンリスト  
 Table 2 Scan list used by the simulation

記号	スキャンリスト
A	2, 7, 12
B	2, 5, 9, 12
C	2, 5, 7, 9, 12
D	2, 4, 6, 8, 10, 12

の全組合せについてそれぞれスキャン時間を算出し、得られた全組み合わせのスキャン時間から、スキャン動作に必要な時間の平均値、最大値および最小値を、AP が存在するとしたチャンネル数ごとに集計して求めた。

##### 4.1.2 評価結果と考察

まず、スキャンリスト A を用いたときのパッシブスキャンおよびアクティブスキャンに必要なスキャン時間のシミュレーション結果を、それぞれ図 7 および図 8 に示す。これらの結果からは、パッシブスキャンおよびアクティブスキャンに共通して、以下の傾向が確認できた。

- 全チャンネルをスキャンする従来方式では、AP のチャンネル分布によらず全チャンネルをスキャンするため、提案方式に比べてスキャン時間が常に長い。パッシブスキャンでは約 1600ms で一定、アクティブスキャンでは MinChannelTime と MaxChannelTime による制御によりチャンネル数によって変動があるものの 300 ~ 400ms の間でほぼ一定となる。
- 段階的にスキャンする提案方式 1 では、AP が存在するチャンネル数が少ないほど、スキャンを行わないチャンネル数が増え、スキャン時間が短縮される。
- 部分的にスキャンする提案方式 2 では、スキャンするチャンネル数が一定かつ 3 方式の中で最小となり、パッシブスキャンでは約 400ms で一定かつ 3 方式の中で常に最短、アクティブスキャンでは約 100ms で一定かつ 3 方式の中で常に最短となる。

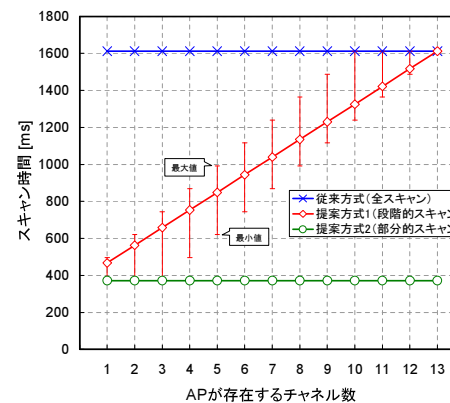


図 7 パッシブスキャン時間の評価結果  
 Fig. 7 Simulation result of passive scanning

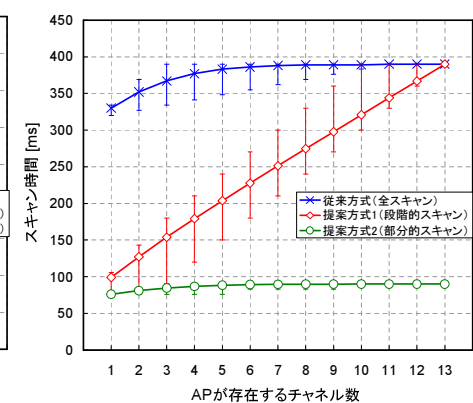


図 8 アクティブスキャン時間の評価結果  
 Fig. 8 Simulation result of active scanning



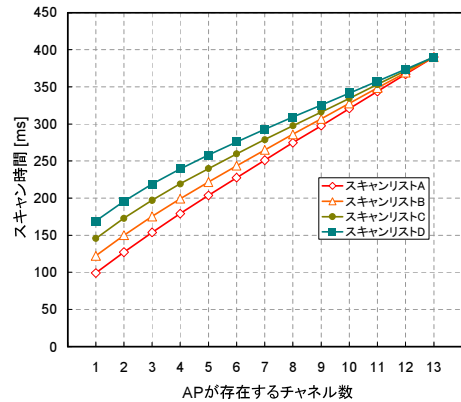


図 9 段階的スキャンによるアクティブスキャン時間の評価結果

Fig. 9 Simulation result of active “stepwise scanning”

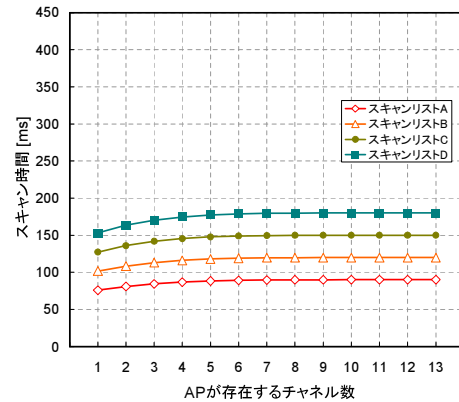


図 10 部分的スキャンによるアクティブスキャン時間の評価結果

Fig. 10 Simulation result of active “partial scanning”

次に、用いるスキャンリストの違いによるスキャン時間の変化を比較するために、提案方式 1「段階的スキャン」および提案方式 2「部分的スキャン」によるアクティブスキャン時間のシミュレーション結果を、それぞれ図 9 および図 10 に示す。これらの結果からは、2つの提案方式に共通して、以下の傾向が確認できた。

- スキャンリストに含まれるチャンネル数が少なくなるほど、スキャン時間が短縮される。これは、スキャンリストに含まれるチャンネル数が少なくなるほど、スキャン全体での受信動作回数が減ることによるものである。

#### 4.2 部分的スキャン方式における RSSI 推定精度

提案方式 2「部分的スキャン」では、従来方式の「全スキャン」や提案方式 1「段階的スキャン」に比べて、スキャンするチャンネル数を減らしスキャン時間を短縮できる一方で、スキャンしなかったチャンネルに存在する AP については、その AP と STA の使用チャンネルを一致させて受信した場合に計測されるであろう RSSI を推定する必要がある。そこで、その RSSI 推定精度を実環境での計測結果に基づいて評価した。

##### 4.2.1 評価方法

まず、本評価では、メーカーの異なる 4 機種種の AP を用いて計測実験を行い、3.2 で説明した部分的スキャン方式での RSSI 推定に用いる補正量モデルを決定する。本実験では、3

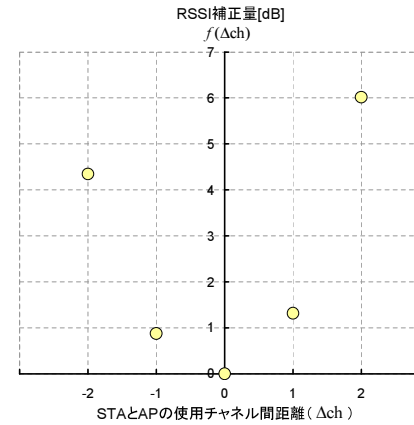


図 11 実験結果から得られた補正量モデルの例

Fig. 11 An example of correction model

で説明した予備実験で使用したものと同一計測環境を STA として用いた。また、4 機種種の AP の使用チャンネルを CH7 とした上で、AP と STA の配置を 7 通り設定（距離を 1m から 30m の間で段階的に設定）し、それぞれの配置において、STA の使用チャンネルを AP の使用チャンネルの前後 2 チャンネルの範囲（すなわち、CH5 から CH9 の範囲）で順次切り替えながら、計測される RSSI を記録した。このようにして、7 通りの配置と 4 種類の AP の組み合わせ（すなわち、全 28 の組み合わせ）毎に、STA の使用チャンネル CH5 から CH9 に対応した RSSI の計測結果が得られる。

本評価では、得られた複数回の計測結果から、以下の式に従って補正量モデルを決定する。

$$f(\Delta ch) = \bar{R}_7 - \bar{R}_{\Delta ch+7} \quad (2)$$

ここで、 $\bar{R}_{ch}$  は、STA の使用チャンネルを ch にしたときに計測された RSSI の平均値とする。例えば、得られた全 28 個の計測結果から式 (2) に従って補正量モデルを生成すると、図 11 に示したとおりのものとなる。

次に、決定された補正量モデルと、STA で計測された各チャンネルにおける RSSI から、式 (1) に従って STA と AP の使用チャンネルを一致させた場合に計測されるであろう RSSI を推定し、推定結果と実測値の誤差を集計する。本評価では、4 機種種の AP のうち 3 機種種の AP に関する計測結果から決定した補正量モデルと、残り 1 機種種の AP に関する計測結果から、式 (1) に従って RSSI の推定値を算出する交差検定を行った。

表 3 RSSI 推定精度の評価結果  
Table 3 Evaluation results of RSSI estimation

	チャンネル間距離		
	0	1	2
誤差の平均	0.00	0.00	0.00
誤差の標準偏差	0.00	0.47	2.07
残差の最大	0.00	0.97	6.40
残差の最小	0.00	0.02	1.38

単位は全て [dB]

#### 4.2.2 評価結果と考察

交差検定によって得られた全 28 通りの計測結果に対応する RSSI 推定結果から、推定結果と実測値の誤差をチャンネル間距離毎に集計した結果を表 3 に示す。表 3 に示した通り、チャンネル間距離が大きくなるほど、RSSI の推定誤差が急激に大きくなる事が分かる。すなわち、位置検知機能や高速ハンドオフ技術などのために精度の良い RSSI 推定値が必要な場合には、チャンネル間距離が小さい範囲となるように、密なスキャンリスト(表 2 に示した C や D に該当するスキャンリスト例)を用いる必要がある。

#### 5. おわりに

本稿では、IEEE802.11b/g に対応した無線 LAN システムにおける位置検知機能や高速ハンドオフ技術へ適用可能なスキャン動作高速化方式として、IEEE802.11b/g の通信方式として採用されている DSSS の特性に着目し、一部のチャンネルのみでのスキャン結果を活用することによってスキャンするチャンネル数を削減しスキャン時間を短縮する方式を提案した。さらに、シミュレーションおよび実環境での計測結果に基づいて評価を行い、提案方式の有効性を確認した。

今後は、無線 LAN インタフェースや無線 LAN アクセスポイントの機種の違いなどによる通信特性の変化についてさらに評価および検討を進め、幅広い環境で実用化可能なスキャン高速化方式の実現を目指す。

謝辞 本研究は総務省「高精度位置認識技術の研究開発」プロジェクトの一環として行われた。記して感謝する。

#### 参 考 文 献

- 1) IEEE Standards Association: *IEEE 802.11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications* (2007).
- 2) Bahl, P. and Padmanabhan, V.: RADAR: an in-building RF-based user location and tracking system, *Proceedings of the 19th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies*, Vol.2, pp.775-784 (2000).
- 3) LaMarca, A., Chawathe, Y., Consolvo, S., Hightower, J., Smith, I., Scott, J., Sohn, T., Howard, J., Hughes, J., Potter, F., Tabert, J., Powledge, P., Borriello, G. and Schilit, B.: Place Lab: Device Positioning Using Radio Beacons in the Wild, *Proceedings of the 3rd International Conference on Pervasive Computing*, pp.116-133 (2005).
- 4) 暦本純一, 塩野崎敦, 末吉隆彦: PlaceEngine-実世界集合知に基づく WiFi 位置情報

- 基盤, インターネットコンファレンス論文集, pp.95-104 (2006).
- 5) 伊藤誠悟, 吉田廣志, 河口信夫: locky.jp: 無線 LAN を用いた位置情報・測位ポータル, 情報処理学会研究報告, Vol.2005, No.90, pp.25-31 (2005).
- 6) Mishra, A., Shin, M. and Arbaugh, W.: An Empirical Analysis of the IEEE 802.11 MAC Layer Handoff Process, *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, Vol.33, pp.93-102 (2003).
- 7) Ramani, I. and Savage, S.: SyncScan: Practical Fast Handoff for 802.11 Infrastructure Networks, *Proceedings of the 24th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies*, Vol.1, pp.675-684 (2005).
- 8) ITU-T: *International telephone connections and circuits - General Recommendations on the transmission quality for an entire international telephone connection*, g.114 edition (2003).
- 9) Singh, G., Singh, A., Singh, R. and Sohi, B.: IAPP Modifications for a Location based Fast hand off Technique in wireless networks, *Proceedings of the first International Conference on Communication System Software and Middleware*, pp.1-7 (2006).
- 10) Huang, P.-J., Tseng, Y.-C. and Tsai, K.-C.: A Fast Handoff Mechanism for IEEE 802.11 and IAPP Networks, *Proceedings of the IEEE 63rd Vehicular Technology Conference*, Vol.2, pp.966-970 (2006).
- 11) Ok, J., Morales, P., Darmawan, A. and Morikawa, H.: Using Shared Beacon Channel for Fast Handoff in IEEE 802.11 Wireless Networks, *Proceedings of the IEEE 65th Vehicular Technology Conference*, pp.849-853 (2007).
- 12) Powar, Y. and Apte, V.: Improving the IEEE 802.11 MAC Layer Handoff Latency to Support Multimedia Traffic, *Proceedings of the IEEE Wireless Communications and Networking Conference 2009*, pp.1-6 (2009).
- 13) Kwon, K. and Lee, C.: A Fast Handoff Algorithm using Intelligent Channel Scan for IEEE 802.11 WLANs, *Proceedings of the 6th International Conference on Advanced Communication Technology*, Vol.1, pp.46-50 (2004).
- 14) Mustafa, N., Mahmood, W., Chaudhry, A. and Ibrahim, C.: Pre-Scanning and Dynamic Caching for Fast Handoff at MAC Layer in IEEE 802.11 Wireless LANs, *Proceedings of the IEEE International Conference on Mobile Adhoc and Sensor Systems Conference*, p.122 (2005).
- 15) Chen, Y.-S., Chen, C.-K. and Chuang, M.-C.: DeuceScan: Deuce-Based Fast Handoff Scheme in IEEE 802.11 Wireless Networks, *Proceedings of the IEEE 64th Vehicular Technology Conference*, pp.1-5 (2006).