

本資料について

- 本資料は下記論文を基にして作成されたものです。
文書の内容の正確さは保障できないため、
正確な知識を求める方は原文を参照してください。
- 著者： 伊藤誠吾 吉田廣志 河口信夫
- 論文名： 無線LANを用いた広域位置情報システム構築に関する検討
- 出展： 情報処理学会論文誌 Vol.47 No.42
- 発表日：2005年 12月

- 著者： 伊藤誠悟 河口信夫
- 論文名： アクセスポイントの選択を考慮したベイズ推定による無線LAN
ハイブリット位置推定手法とその応用
- 出展： 電気電子学会論文誌C 126巻10号
- 発表日： 2006年

無線LANを用いた広域位置情報システム

名城大学 理工学部
永井 順也

背景1

- 近年ユビキタス情報社会に向けて様々な基盤技術の研究やアプリケーションが検討されている
- ユビキタス情報社会におけるアプリケーションを実現する際に、位置情報は重要であり、位置情報を利用したアプリケーションに関連する研究も活発に進められている

背景1 -現在の位置測定システム-

■ 屋外

□ GPS

- ビルの谷間などでは精度が低下

■ 屋内

□ 超音波を用いた位置情報システム

□ RFID

- パッシブ型900MHz帯で通信可能距離は2～3m程度

□ 携帯電話の基地局からの情報を利用

- 測定精度 数百m単位

背景2

- 無線LAN対応機器の増加
 - ノートPC
 - 携帯電話
 - カメラ
- 無線LANの増加
 - 公衆無線LANサービス
 - オフィスでも
 - 家庭でも

無線LANを用いた位置情報システム

- 無線LANで位置情報を測定(屋内、外対応)

- 利点

1. 小型端末への位置情報の提供

例:カメラの写真データに位置情報を追加

無線LANアクセスポイントの履歴を記録するタグにより移動履歴を見る など

2. 位置情報システムの構築の容易さ

- 市販の無線LANアクセスポイントを設置するだけ

3. 位置推定可能範囲の拡大

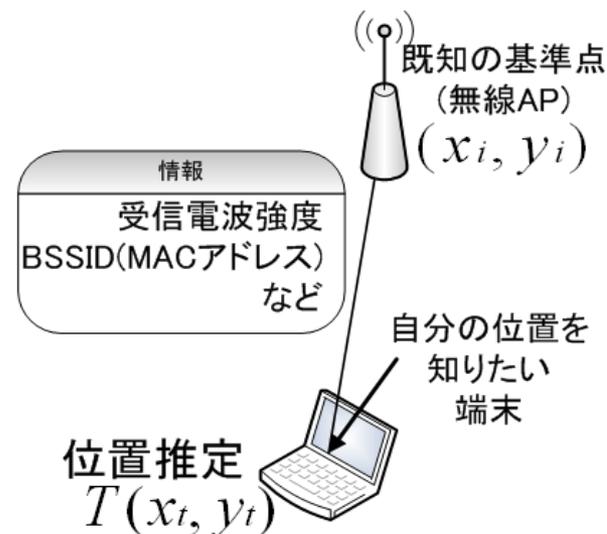
- GPSでビルの谷間、携帯電話の基地局との連携 など

無線LANを用いた位置情報システム

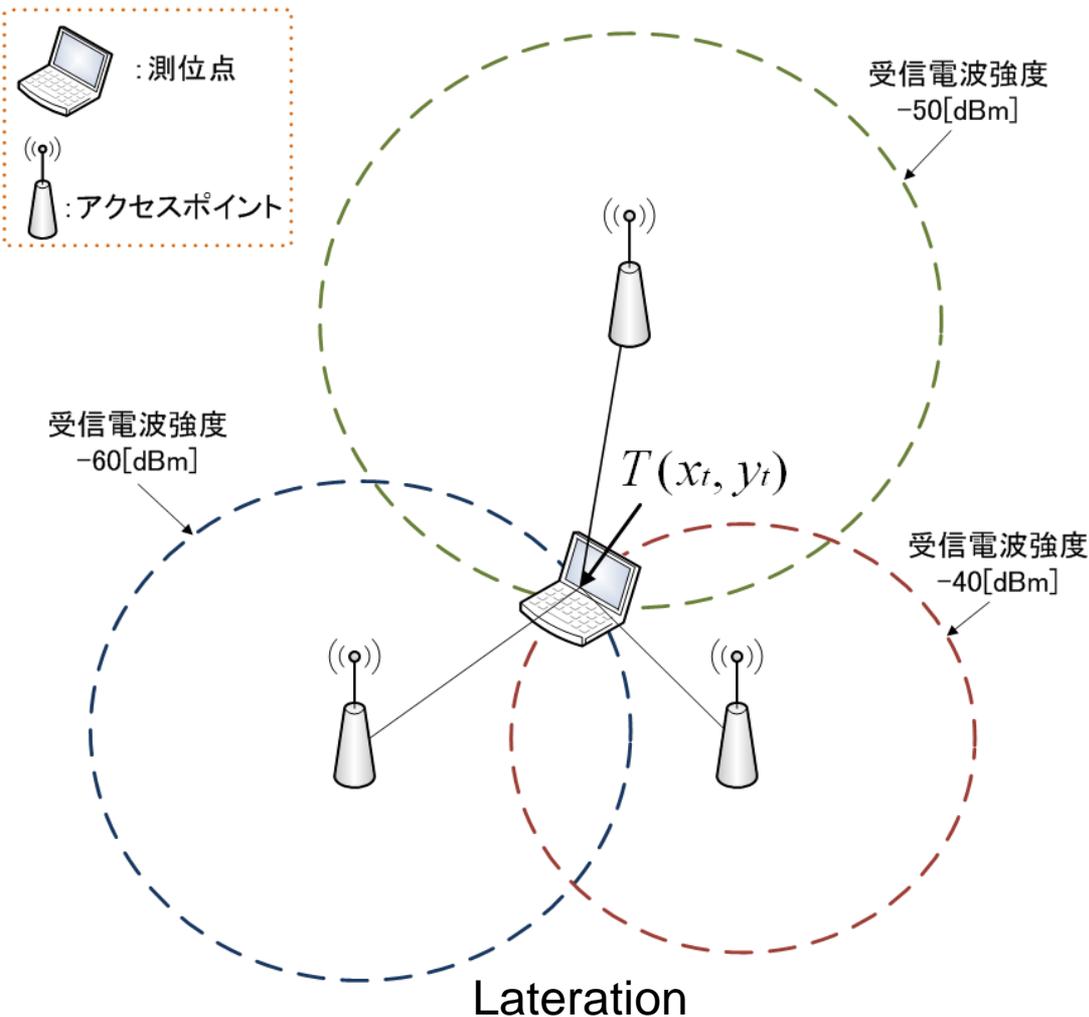
- 既知の基準点を用いた位置推定手法
- 無線LANを用いたシステムでは無線LANアクセスポイント(AP)の位置、BSSID (Basic Service Set Identifier) [=APのMACアドレス]を基準点とする

- 基準点を用いた位置推定手法

1. Triangulation方式
2. Proximity方式
3. Scene Analysis方式

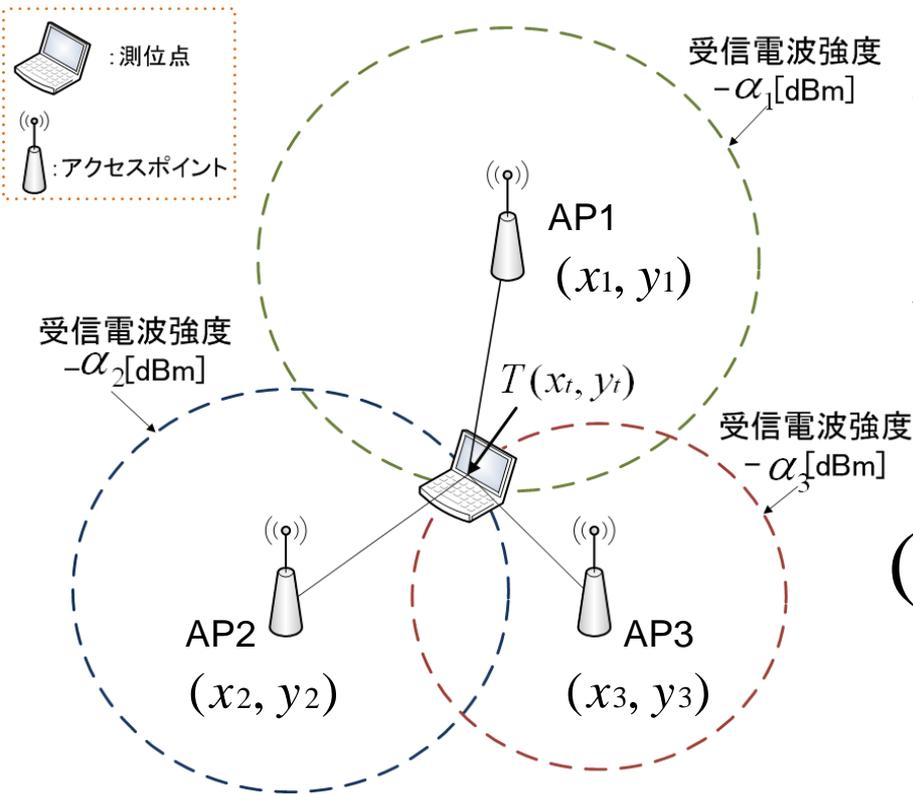


1. Triangulation方式



- 位置が既知である基準点(無線AP)からの相対的な位置関係を用いて推定を行う方式
- 三つ以上の基準点から距離を用いて推定を行う Lateration
- 二つ以上の基準点から方向を用いて推定を行う Angulationがある
- 論文ではLaterationの1方式であるCentroid方式を用いて端末の位置推定を行う

1. Triangulation方式



端末が位置 $T(x_t, y_t)$ において
アクセスポイント AP_1, \dots, AP_n
から受信電波強度 $\alpha_1, \dots, \alpha_n$ を
観測したとする (n は端末が位置 T で
観測したアクセスポイントの数)

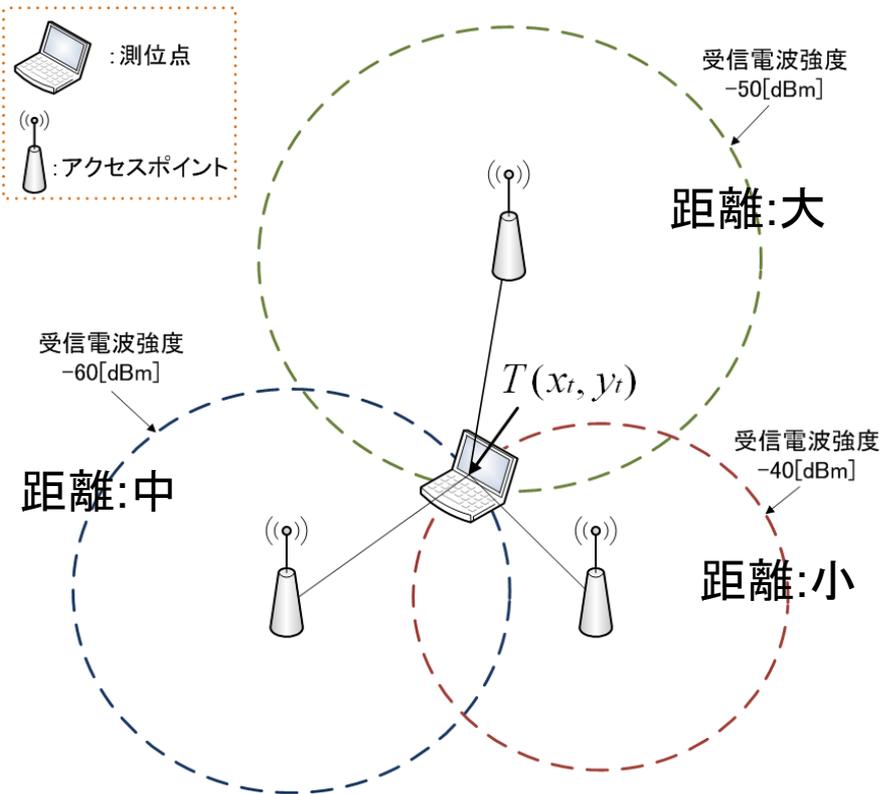
このときCentroid方式では
既知であるアクセスポイントの位置
 $(x_1, y_1) \sim (x_n, y_n)$ を用いて
端末の位置 T を下の式により求め
る

$$T(x_t, y_t) = \left(\frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} \right) \dots \dots (1) \quad [m]$$

1. Triangulation方式

$$T(x_t, y_t) = \left(\frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} \right) \dots\dots (1)$$

[m]



- しかし、式(1)では無線LANの受信電波強度を考慮していない
- 端末が観測できる電波はアクセスポイントに近いほど強く、受信電波強度が強いアクセスポイントの情報を利用して位置測定を行ったほうが精度が高い
- そのため式(1)に対して電波強度の重み付きCentroid方式を用いる。
- 重みを与えるモデルとしてSeidel's modelを用いる

1. Triangulation方式 -Seidel's model-

- Seidel's modelは無線の伝播特性を表わすモデル
- Seidel's modelにおいて距離 $r_i [m]$ における電波受信強度 $\alpha_i [dBm]$ は以下の式(2)で表される

$$\alpha_i = \alpha_0 - 10 \cdot n \cdot \log_{10}(r_i / r_0) \dots\dots(2)$$

α_0 は参考距離 r_0 において観測できる受信電波強度
 n は物理環境の障害などにより設定するパラメータ

- 論文ではLaMarcaらの経験則から設定を

$$n = 2.5 \quad r_0 = 1 [m] \quad \alpha_0 = -32 [dBm]$$

として、 r_i について解くと式(2)は以下の式(3)で表される

$$r_i = 10^{(-32 - \alpha_i) / 25} [m] \dots\dots(3)$$

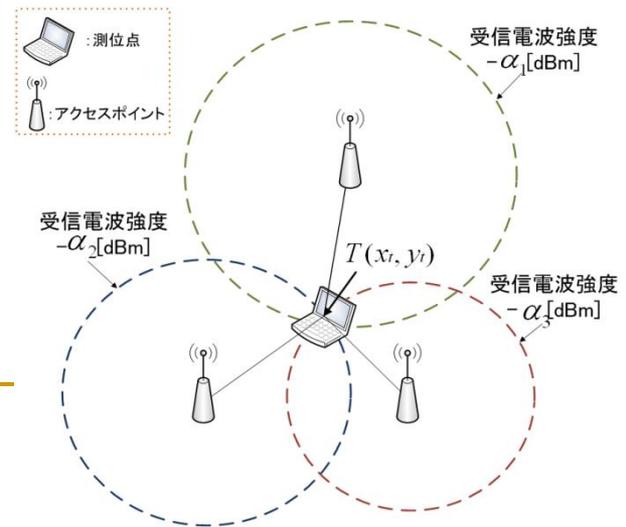
1. Triangulation方式

$$(x_t, y_t) = \left(\frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} \right) \dots\dots(1) \quad r_i = 10^{(-32-\alpha_i)/25} \dots\dots(3)$$

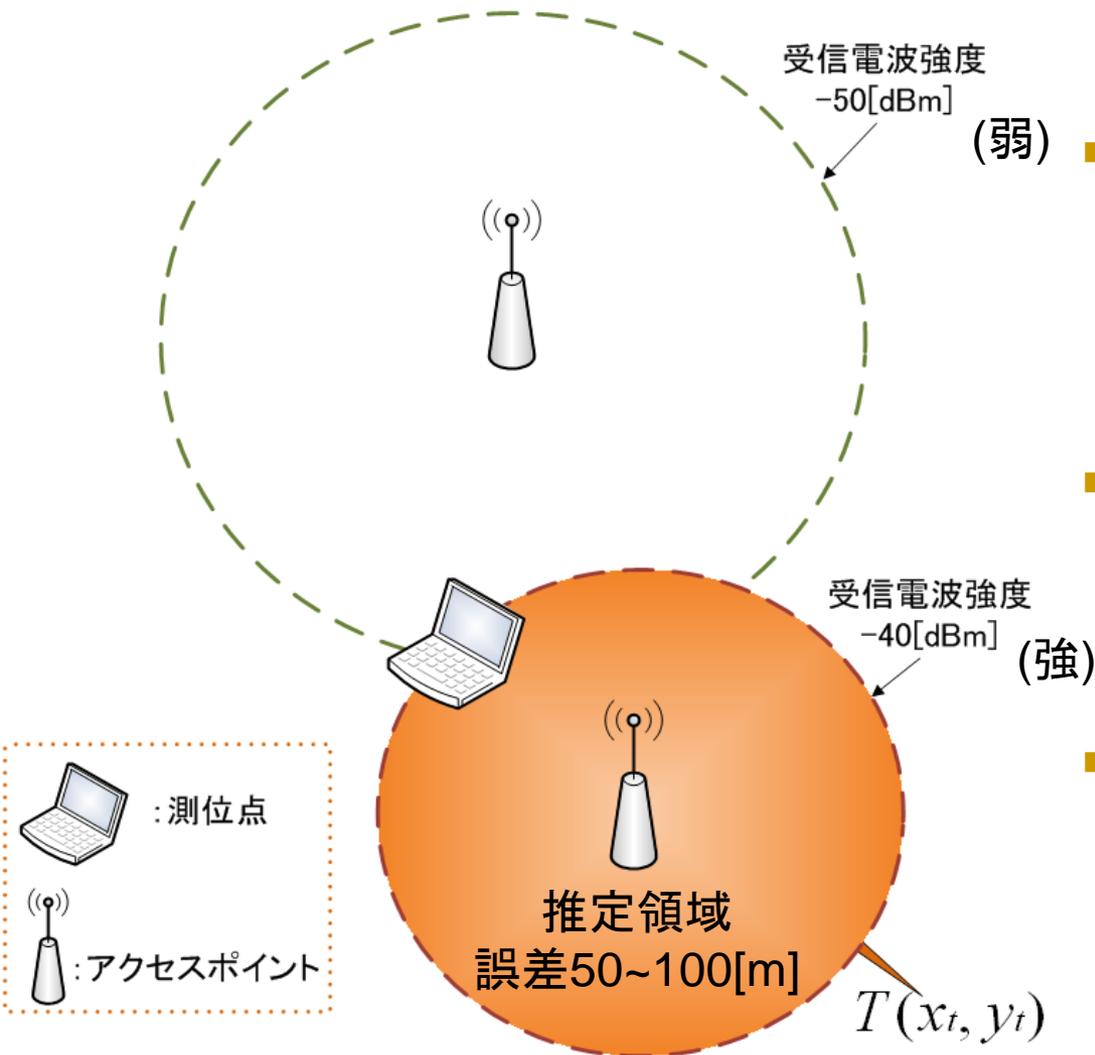
- 式(3)を重みとして用い、Centroid方式(1)を以下のように拡張する

$$(x_t, y_t) = \left(\frac{\sum_{i=1}^n \frac{x_i}{10^{(-32-\alpha_i)/25}}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{10^{(-32-\alpha_i)/25}}}, \frac{\sum_{i=1}^n \frac{y_i}{10^{(-32-\alpha_i)/25}}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{10^{(-32-\alpha_i)/25}}} \right)$$

- Triangulation方式は基準点のデータとこの式を使って端末の位置を求める

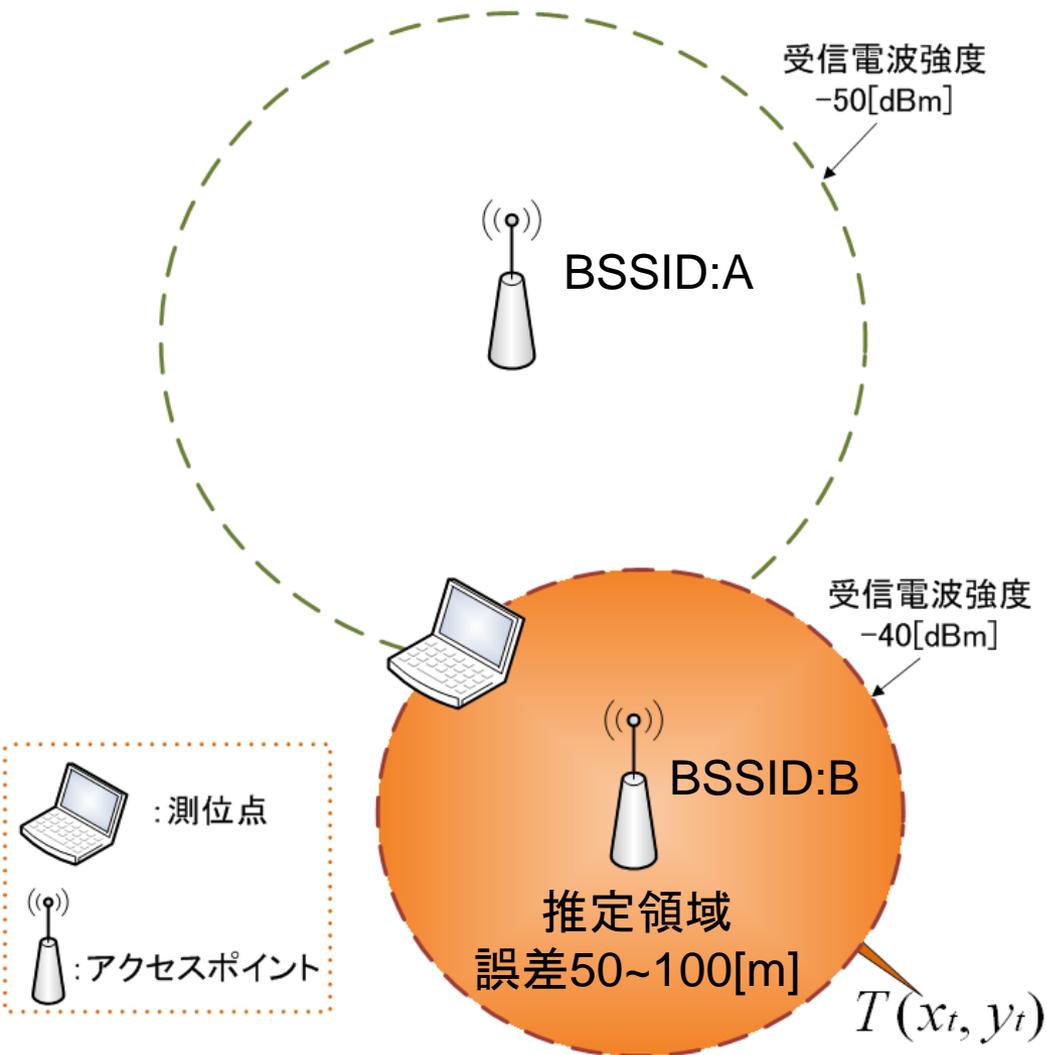


2. Proximity方式



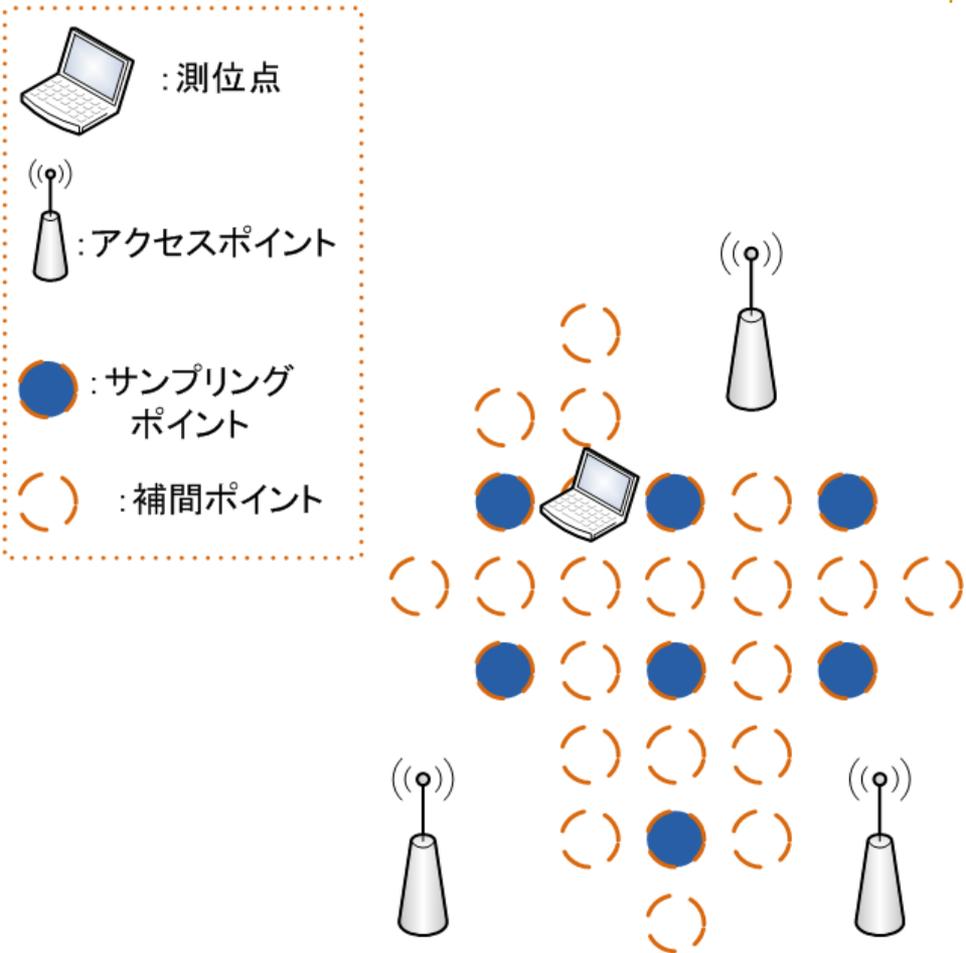
- アクセスポイントへの接続状況やアクセスポイントからの受信電波強度の情報を用いて端末がどのアクセスポイントの近くに存在するかを推定する方式
- 推定アルゴリズムが容易であり、基準点情報が推定位置となるため推定精度が低いという問題がある
- 論文ではある位置で端末が観測できるアクセスポイントの数が少なく1のTriangulation方式が利用できない場合にProximity方式を用いる

2.Proximity方式



- BSSIDが異なるアクセスポイントが複数ある場合、端末はそれぞれのアクセスポイントからの電波受信強度を測り、最も強いアクセスポイントがカバーする範囲を端末の位置として推定する
- 端末は事前にアクセスポイント位置情報とBSSIDのみを保持すればよいため容易にシステムを構築できる

3.Scene Analysis方式



- 事前に推定対象領域の各場所において受信強度分布のサンプリングを行い、サンプリングデータを利用し、ベイズ推定などを用いて位置推定を行う方式
- 領域中の複数の場所でシーンをサンプリングし、各シーンとそのシーンを観測した場所をサンプリングデータとして記録しておく
- シーンを観測していないところに関しては付近のシーンを観測した地点から無線LANの距離特性を用いて事前観測していない場所におけるシーンを推定し、補完する

無線LANの伝搬損失特性

- 無線LANの距離特性として伝搬損失特性がある
伝搬損失特性は以下の式で表わされる

$$L_{fs} = 20 \log_{10} f + 20 \log_{10} d + 20 \log_{10} (4\pi / c) + 120 \text{ [dB]}$$

L_{fs} : 自由伝搬損失[dB]

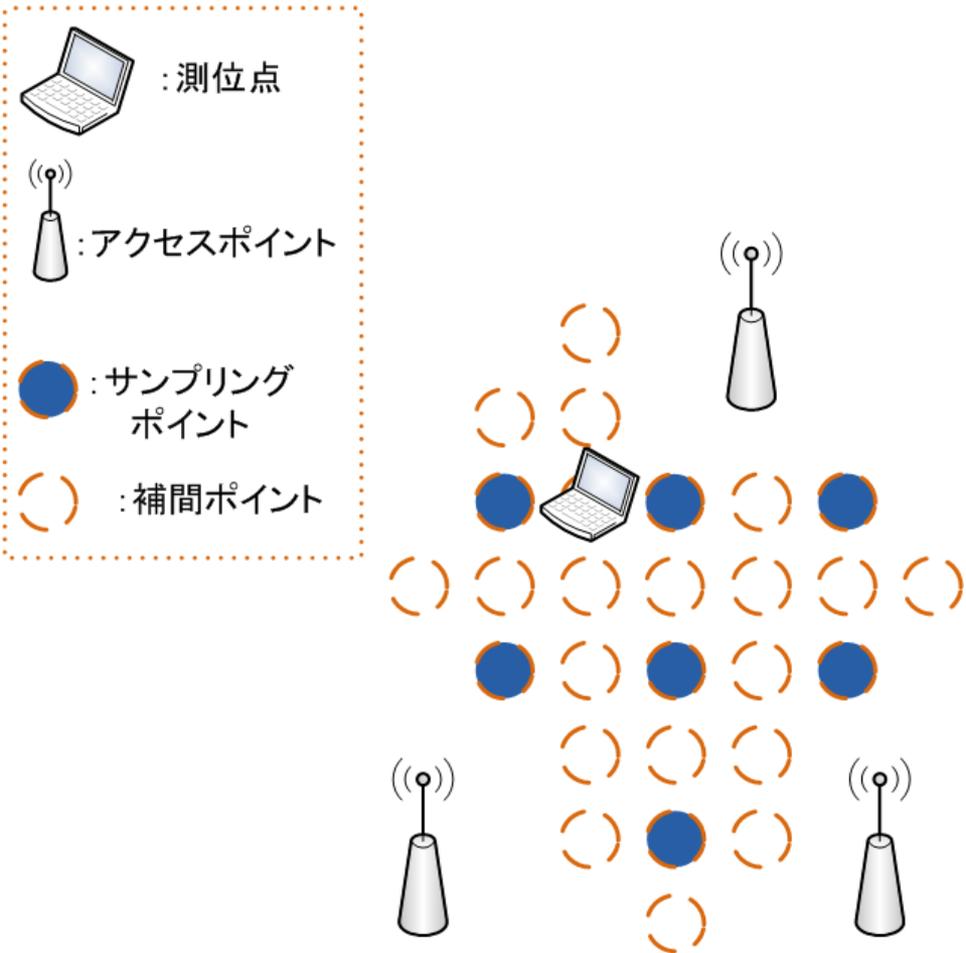
f : 周波数[MHz] \longrightarrow 既値

d : 送信点間距離[m]

c : 光速[m/s] \longrightarrow 既値

この式により L_{fs} がわかれば d が求められる

3.Scene Analysis方式



- 高い位置推定制度を得るためには数m間隔でのサンプリングが必要となり学習データとして記録しておく
- 例えば10km四方の領域で位置情報を提供すると仮定する
収集の労力を考慮せず2m間隔でサンプリングを行う場合、すべての場所において端末が高い精度での位置測定を行うためにはおよそ2500万か所でのサンプリングデータを端末が保持する必要がある

↓
小型端末では
データサイズが問題

3.Scene Analysis方式

-ベイズ推定による位置推定手法-

■ Survey Phase(観測)

はじめに、計測データと推定対象とする位置候補について定義する
ある場所での受信電波強度の値 α 、BSSID β の組を
観測データ o 、観測データの集合を O とすると

$$O = \{o_1, o_2, \dots, o_m\} \quad m \text{は観測回数}$$

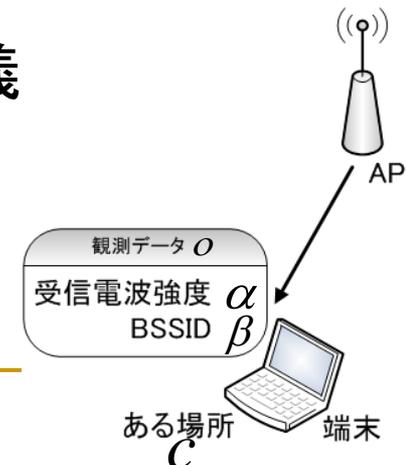
$$o = \{(\alpha_1, \beta_1), \dots, (\alpha_i, \beta_i)\} \quad i = 1, \dots, n \quad n \text{はアクセスポイントの数}$$

次に端末の位置推定における推定候補の定義

位置候補 c 、位置候補の集合 C

$$C = \{c_1, c_2, \dots, c_l\} \quad l \text{は候補の数}$$

$$c = (\alpha_j, \beta_j) \quad j = 1, \dots, l$$



3.Scene Analysis方式

-ベイズ推定による位置推定手法-

これらの情報

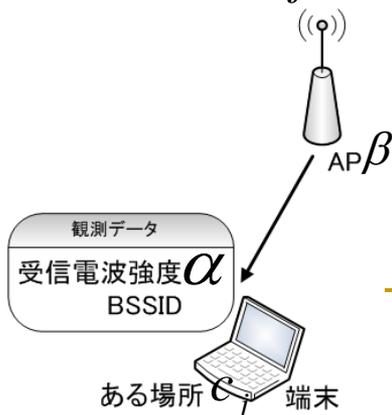
$o = \{(\alpha_1, \beta_1), \dots, (\alpha_i, \beta_i)\} \quad i = 1, \dots, n$ n はアクセスポイントの数

$c = (\alpha_j, \beta_j) \quad j = 1, \dots, l$ l は候補の数

から端末はそれぞれのアクセスポイント β に対して位置 c_j における受信電波強度の確率分布

$$P(\alpha | \beta, c_j) = \frac{\text{位置 } c_j \text{ でアクセスポイント } \beta \text{ から受信電波強度 } \alpha \text{ が観測された回数}}{\text{位置 } c_j \text{ でアクセスポイント } \beta \text{ が観測された回数}}$$

を計算する



3.Scene Analysis方式

-ベイズ推定による位置推定手法-

■ Estimation Phase(推定)

端末は一定時間の間、各アクセスポイントからの受信電波強度を観測する
このときユーザーが観測することができたアクセスポイントの集合を AP とする

$$AP = \{ap_1, \dots, ap_v\} \quad v \text{は端末が観測できた } AP \text{ の数}$$

端末は各アクセスポイントから観測した受信電波強度の平均を計算
これらの値を

$$ave_{ap1}, \dots, ave_{apv} \quad \text{とする}$$

次に、受信電波強度の閾値の上限を TH_{\max} 、下限を TH_{\min} とすると
位置推定に使う AP の集合は下の式で定義される

$$R = \{r : r \in AP, TH_{\max} > ave_{ap} > TH_{\min}\}$$

3.Scene Analysis方式

-ベイズ推定による位置推定手法-

■ Estimation Phase概要

Survey Phaseで観測したデータ O と位置の候補 C を使って
 O を得たときに端末がどの候補 C にいる確率が最も高いかを調べ
最も高い確率だった候補をその端末の位置とする

まず、位置 C_j のときに観測データ O が観測される確率 $P(o | c_j)$ を

$$P(o | c_j) = \prod_{i=1}^n P(\alpha_i | \beta_i, c_j)$$
$$= \prod_{i=1}^n \left\{ \frac{\text{位置 } c_j \text{ でアクセスポイント } \beta \text{ から受信電波強度 } \alpha \text{ が観測された回数}}{\text{位置 } c_j \text{ でアクセスポイント } \beta \text{ が観測された回数}} \right\}$$

により計算

n はアクセスポイントの数

3.Scene Analysis方式

-ベイズ推定による位置推定手法-

次に、先ほどの式から求めた値を

ベイズの定理により求めた「 O を観測したときに位置候補 c_j にいる確率」を
求める式

$$P\{c_j | o_1, \dots, o_m\} = \frac{\prod_{k=1}^m P(o_k | c_j)}{\sum_{t=1}^l \{\prod_{k=1}^m P(o_k | c_t)\}} \quad \begin{array}{l} m \text{ は位置候補の数} \\ l \text{ は観測の回数} \end{array}$$

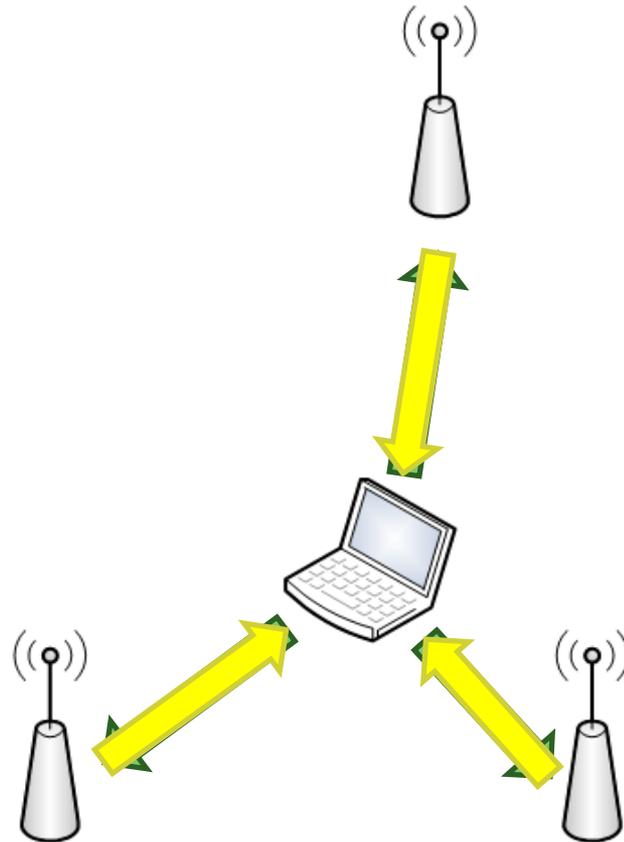
によりそれぞれの位置候補 にいる確率を求め、最も高い確率だった
位置候補を、その端末の位置とする

c_{11}	c_{12}	c_{13}	c_{14}
c_{21}	c_{22}		c_{24}
c_{31}	c_{32}	c_{33}	c_{34}
c_{41}	c_{42}	c_{43}	c_{44}

関連研究

- RADAR
 - 方式: TriangulationかScene Analysis
- Ekahau Positioning System
 - 方式: Scene Analysis
 - 精度: 数m以内
 - 特徴: Site Surveyという調査ツールで事前調査が必要
- Air Location
 - 方式: Triangulationの一種でTDOA(Time Difference of Arrival)
 - 特徴: TDOA方式(後で説明)を使うため専用の基地局が必要
- Place Lab
 - 方式: Triangulation
 - 特徴: GPSによる緯度経度を加えたデータベースをユーザコラボレーションにより構築し、大都市レベルでの位置推定システムの構築

TDOA (Time Difference of Arrival)



1. 端末が発信するエコー要求を複数のアクセスポイントが受信
2. アクセスポイント間におけるエコー受信のタイミングのずれと各アクセスポイントが保持する内部時計の誤差を加味して端末の位置を推定する

まとめ

- 無線LANを使った位置推定システムの方式として
 - Triangulation方式(重みつきCentroid)
 - Proximity方式
 - Scene Analysis方式
 - TDOA(Time Difference of Arrival)方式を少しの説明と例を示した