

異種ネットワークプロトコルを利用した相互補完位置推定に関する研究

竹中友哉

静岡大学大学院自然科学系教育部
学術振興会特別研究員

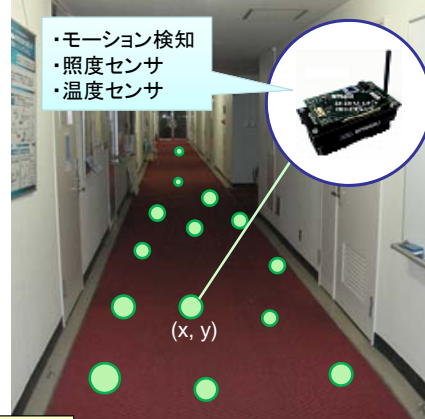
2009.11.12

研究背景 (1/2)

- ▶ 無線センサネットワーク
 - ◆ 小型無線ノードがアドホックネットワークを構築するネットワーク
 - ノードが周辺情報をセンシングし、サーバにデータを送信するトポロジ
 - ◆ 応用例: 環境モニタリング, 構造物管理, 見守り, ホームセキュリティ

イベント検知のため各ノードに**位置情報**を設定する必要がある

GPSを利用することは**屋内**では使えない点や、**コスト**面で現実的ではない



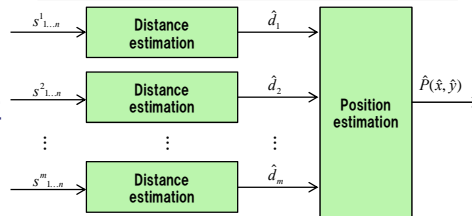
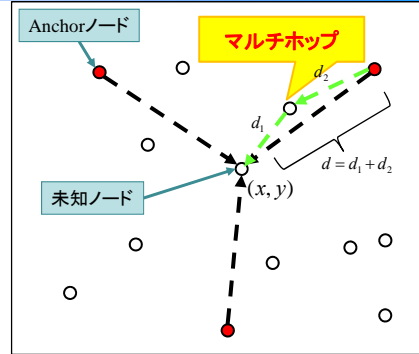
応用例



研究背景 (2/2)

ローカライゼーション技術

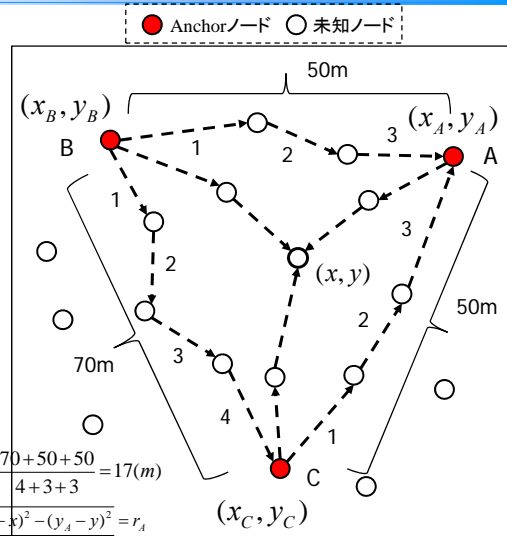
- ◆ 大規模なネットワークにおいてノードの位置を自動設定する技術
- ◆ 少ないAnchorノード(位置手動設定ノード)を利用して未知ノードを測位する
 - Anchorノードに対する未知ノードの割合が圧倒的に多い
- ◆ マルチホップすることでノード間の距離を近似
- ◆ 測距(距離の推定)と測位(位置の推定)から構成される



位置推定システムの原理的なブロック図

既存のローカライゼーション技術

- ▶ DV-Hop (D. Niculescu et al., IEEE Globecom, 2001)
 - ◆ 最低3つのアンカーノードに基づいてホップ数で三辺測量を実行
- ▶ MDS-MAP (Y. Zhang, ACM Mobihoc, 2003)
 - ◆ ホップ距離に対して多次元尺度構成法(MDS)を適用
- ▶ ROULA (T. Takenaka et al., IPSJ Journal, 2007)
 - ◆ 正三角形となるノードの位置関係を利用して再帰的に測位



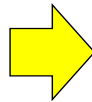
$$H_{avg} = \frac{70 + 50 + 50}{4 + 3 + 3} = 17(m)$$

$$\begin{cases} \sqrt{(x_A - x)^2 + (y_A - y)^2} = r_A \\ \sqrt{(x_B - x)^2 + (y_B - y)^2} = r_B \\ \sqrt{(x_C - x)^2 + (y_C - y)^2} = r_C \end{cases}$$

DV-Hopの動作例

既存のローカライゼーション技術の特徴

	Anchorノード	測距方式	計算方法	精度	演算量
DV-Hop (2001)	Anchor-based	Connectivity	分散型	△(悪い)	◎(小さい)
SDP (2001)	Anchor-based	Connectivity	集中型	○	△(大きい)
AHLOS (2001)	Anchor-based	TOA	分散型	◎(良い)	○
GPS-free (2001)	Anchor-free	TOA/TDOA/AOA	分散型	○	△
AFL (2003)	Anchor-free	Connectivity/Ranging	分散型	○	○
MDS-MAP (2003)	Anchor-free	Connectivity/Ranging	集中/分散型	◎	△
ROULA (2007)	Anchor-free	Connectivity	分散型	◎	△



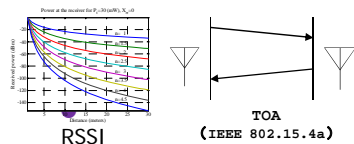
既存のローカライゼーション技術には**トレードオフ**の関係があり, WSNの**利用シナリオ**に適したローカライゼーション手法が存在していく

ローカライゼーション技術の課題 (1/2)

▶ ローカライゼーション実現に必要な要素

◆ 測距・測位技術

- RSSI (Received Signal Strength), TOA (Time-of-Arrival), Connectivity
- 三辺測量, DV-Hop, MDS



測距技術

RSSI AOA
TOA TDOA
Connectivity

測位技術

DV-Hop MDS
Centroid ROULA

アドホックネットワーク技術

Bluetooth IEEE 802.15.4/4a IEEE 802.11
Zigbee マルチベンダWSN (Mica, NEC, Sun)

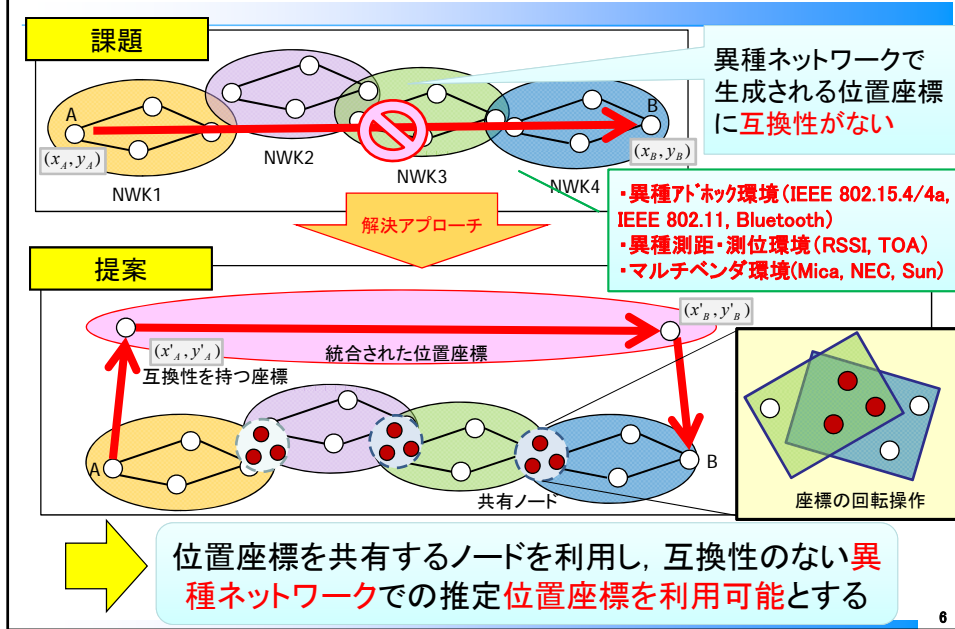
◆ アドホックネットワーク技術

- Bluetooth, Zigbee, WSN



測距・測位・アドホックネットワークの組み合わせによってローカライゼーションが実現

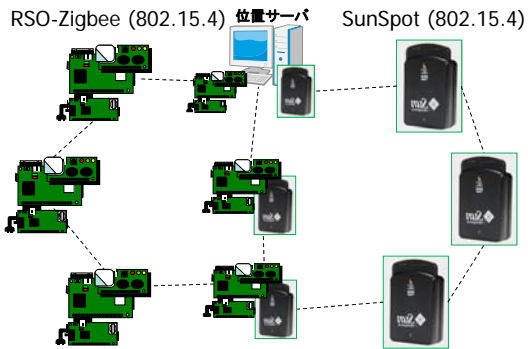
ローライゼーション技術の課題 (2/2)



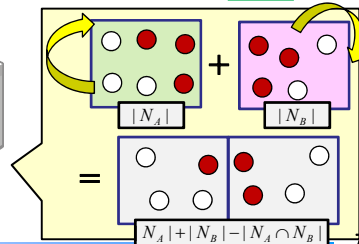
異種ネットワークプロトコルを利用した相互補完位置推定の提案

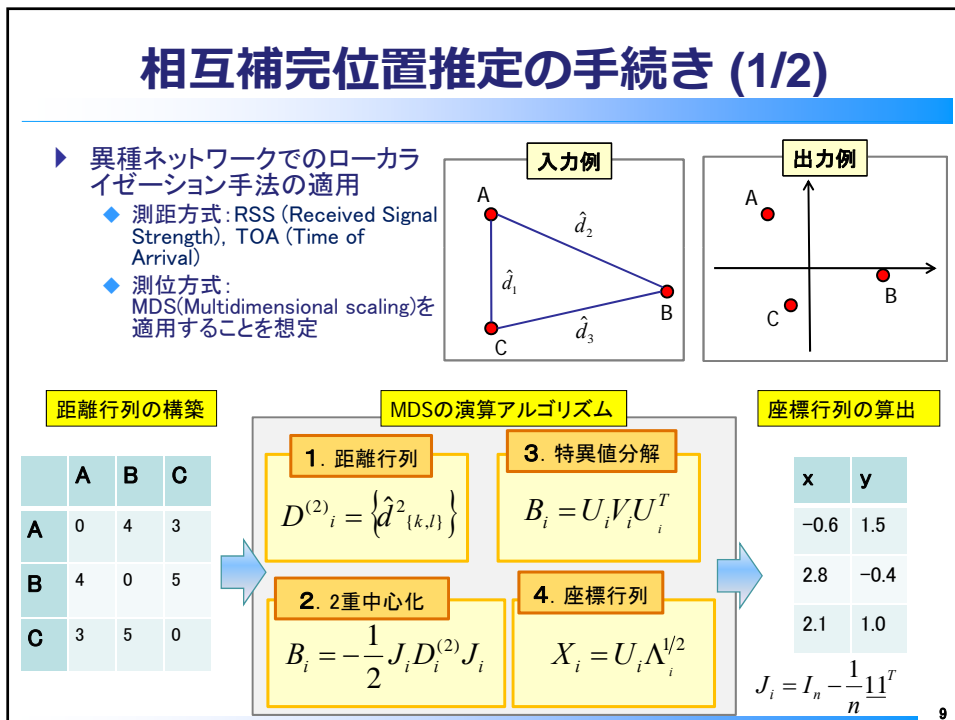
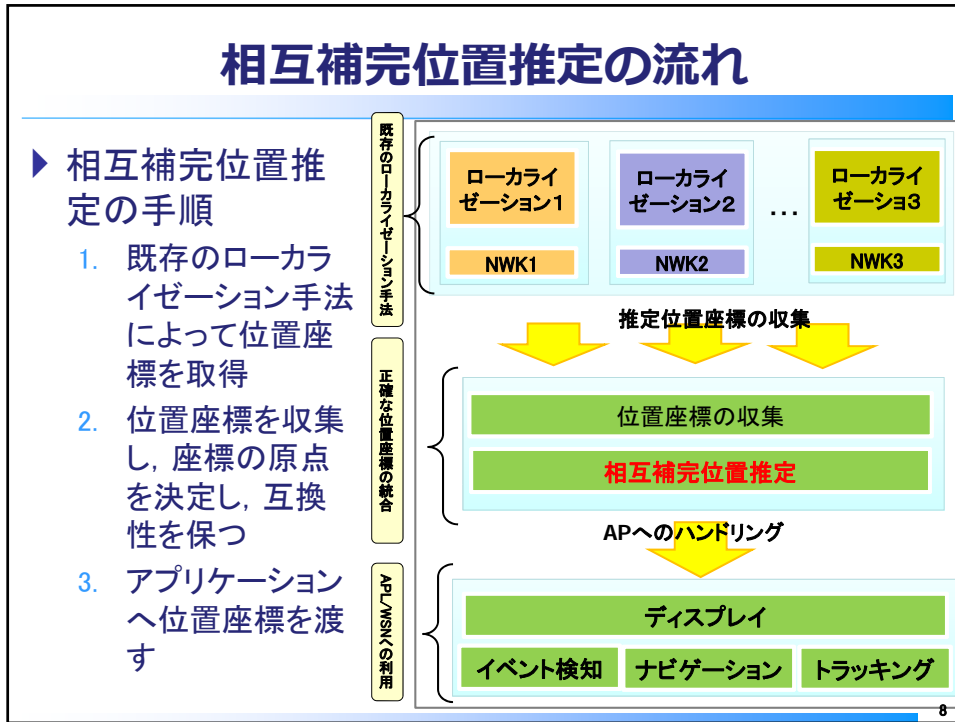
相互補完位置推定

- ◆ 異種ネットワーク (IEEE 802.15.4, IEEE 802.15.4a, IEEE 802.11, マルチベンダ) で生成される位置座標を相互に利用可能にする
- ◆ 各ネットワークで得られた位置座標を位置サーバに蓄積
- ◆ 最少3点の共有ノードを元に座標を回転操作し、原点を統一し、統合された位置座標を構築



これまで利用できなかった**異種ネットワーク**での推定位置座標を相互に**利用可能**とする





相互補完位置推定の手続き (2/2)

異種ネットワークでの位置座標の統合

- ◆ 各ネットワークで得られた推定位置座標を共有ノードを元に回転操作し、統合する
 - 直交回転…バリマックス回転, クォーティマックス回転
 - 斜交差回転…オブリマックス回転, オブリミン回転, プロクラステス回転

異種の位置座標 → 回転操作 → 座標の統合

座標行列の入力

X		Y	
x	y	x	y
-0.6	1.5	-0.6	2.5
2.5	-0.4	3.8	-1.4
2.1	3.0	2.5	1.0

プロクラステスのアルゴリズム

- 座標の積
 $A = X^T Y$
- 特異値分解
 $A = L D M^T$
- 回転行列の算出
 $T = M L^T$
- 回転行列の積算
 $Z = T^T y_i + c$

座標行列の算出

Z	
x	y
-0.6	1.5
2.8	-0.4
2.1	1.0
3.0	2.8
1.0	-2.0

10

計算機シミュレーションによる動作確認

- 目的
- ◆ シミュレーションによる提案方式の動作確認および測位精度の事前見積もり

- 評価パラメータ
- ◆ 共有ノード数
 - ◆ 測位精度 (RMSE)

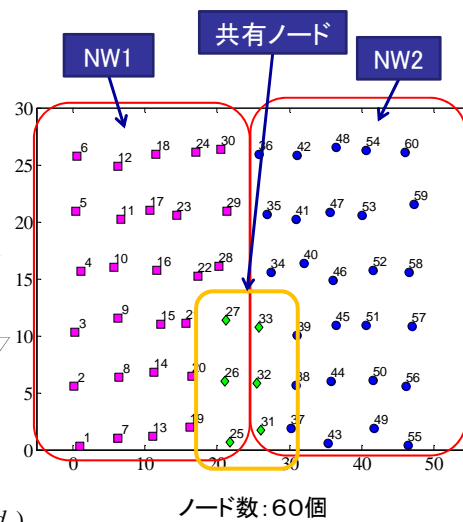
$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \{(X_i - X'_i)^2 + (Y_i - Y'_i)^2\}}$$

- 前提
- ◆ TOA通信範囲はRSS通信範囲と同じ

TOA $\hat{d} = d + N(0, \sigma_{TOA}^2)$

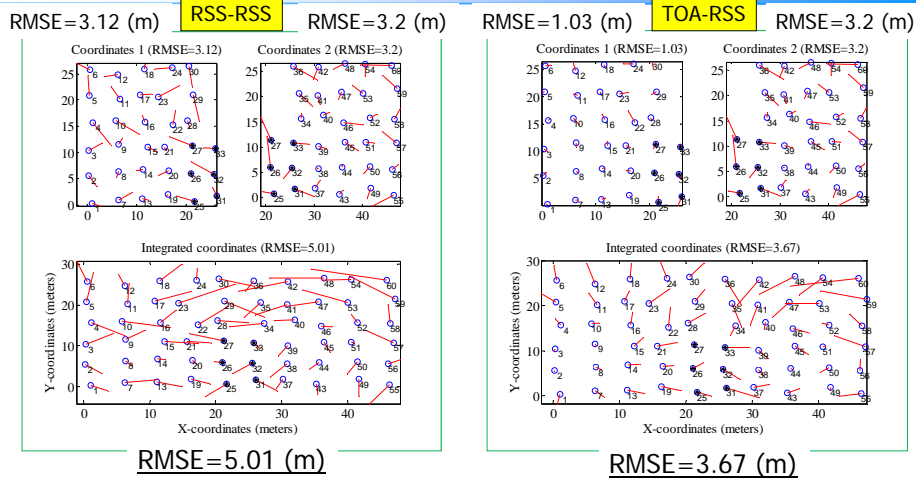
RSS[1] $N(\bar{P}_0(dBm), \sigma_{RSS}^2)$

$$\bar{P}_0 = P_t(dBm) - 10n_p \log_{10}(d/d_0)$$



[1] T. S. Rappaport, "Wireless Communications: Principles and Practice," Prentice Hall, 2002

シミュレーション結果の考察



$$P_t = -40(\text{dbm}) \quad \text{RSS}_{\text{thd}} = -70(\text{dbm})$$

$$\sigma_{\text{TOA}}^2 = 25(\text{cm}) \quad \sigma_{\text{RSS}}^2 = 5(\text{db})$$

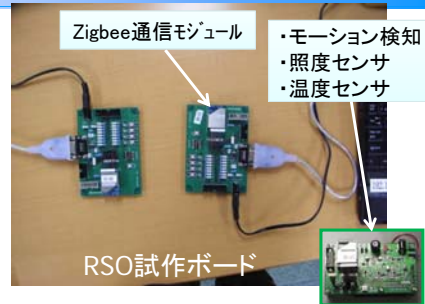
誤差伝搬は発生するが
位置座標の統合は可能

相互補完位置推定機能の実装について

- ▶ ローライゼーションに必要な機能
 - ◆ 1ホップ近隣リストと距離情報 (RSSI)
 - ◆ ルーティング機能
 - ◆ 位置推定機能
- ▶ 異種センサネットワークの実装環境
 - ◆ RSO (ルネサス) 試作ボード
 - ◆ Sun社 SunSPOT ノード

IEEE 802.15.4を搭載しているが両社のWSNIに互換性はない

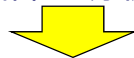
	RSOボード	SunSPOT
RFモジュール	Freescle社 MC13202	TI社 CC2420
PHY/MAC	IEEE 802.15.4	IEEE 802.15.4
周波数	2.405-2.48GHz	2.40-2.4835GHz
受信感度	-92dBm	-95dBm



RSO試作ボードでのRSSI取得

▶ RSO試作ボードを用いた位置推定プラットフォーム構築

- ◆ IEEE 802.15.4 仕様書より **MLME-SCAN.confirm** で電界強度リスト取得可能なことを確認
- ◆ IEEE 802.15.4(2003)のソースコードを詳細に分析



無線モジュール(Freescale社MC13202)のレジストリ値を読み込むことで、**電界強度(RSSI)**を取得可能とした

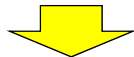
RSOボードのプログラム開発環境(HEW)の画面



SunSPOTノードでのRSSI取得

▶ Sun社SunSPOTを用いた位置推定プラットフォームの構築

- ◆ SDKバージョン: Release 4.0 (Blue)
- ◆ IEEE 802.15.4に準拠
- ◆ AODVをサポート
- ◆ Javaのソースコードにてプログラム・APIが公開



getRssi()のAPIを呼び出すことで、無線モジュール(TI社CC2420)の**電界強度(RSSI)**を取得可能とした

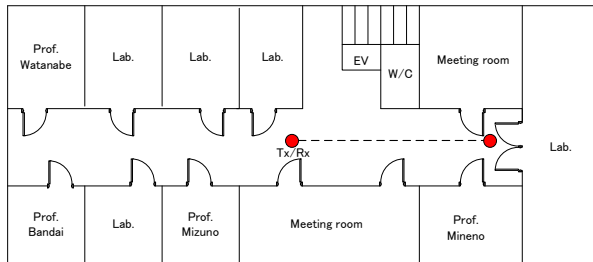
SunSPOTのプログラム開発環境(NetBeans)の画面



異なるベンダノードでのRSSI測定実験

▶ 実験の概要

- ◆ 目的: 距離を推定するためのRSSI伝搬関数を特定する(一般にRSSIは環境に依存して減衰の度合いが異なるため)
- ◆ 計測したデバイス: RSOボード, SunSPOT
- ◆ 場所: 静大1号館4階の廊下
- ◆ 送信出力: -7 (dBm)
- ◆ 各点において1000回ずつパケット測定



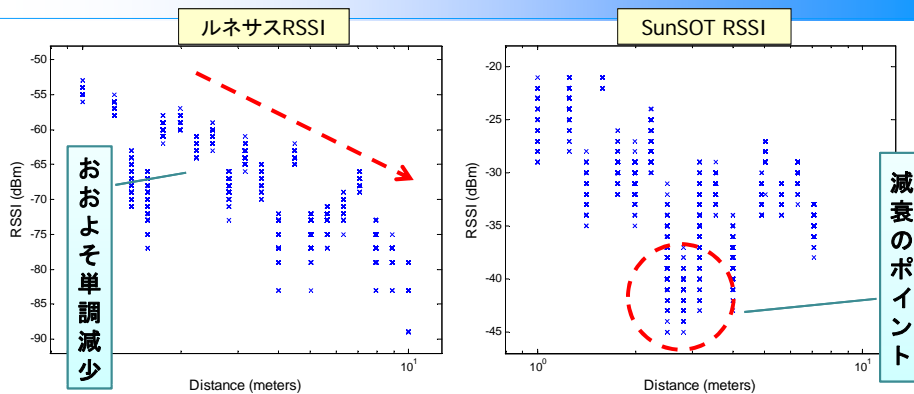
静岡大学情報棟1号館4階の見取り図



実験の様子

16

RSSI測定実験の結果



▶ 考察

- ◆ ルネサスボードはおおよそ距離に比例してRSSI減衰を確認
 - ◆ SunSPOTは一部のポイント(2.0m付近)でRSSIの急激減衰有り
- ⇒ 今後, まずは**手動で電波減衰関数の特定**を行い, 屋内の位置推定精度がどの程度が評価. その後, ユーザによる減衰関数の特定の**手間を少しでも軽減**するため, **電波減衰関数を自動推定できる手法**を検討する

17

まとめと今後の課題

- ▶ 異種ネットワークプロトコルを利用した相互補完位置推定の提案
 - ◆ 位置・コンテキストアプリケーションの需要から、今後ますますローカライゼーション技術がユビキタスネットワークにおける一般的な位置推定手法として適応されていくと考える
 - ◆ 既存のネットワークプロトコルの3つの異種性
 1. アドホック通信プロトコルの多様化
 2. 測距, 位置推定アルゴリズムの多様性
 3. WSNマルチベンダ化
 - ◆ 異種ネットワークで生成される位置座標を統合する共有ノードを作成することで、異なるネットワーク間での位置座標の利用を可能にする
 - ◆ RSSI測定実験
 - ベンダが異なることでRSSIも値に互換性が無いことがわかった

- ▶ 今後の課題
 - ◆ オーバラップした異種ネットワークプロトコルの共有ノードの高精度な重み付け座標統合手法について
 - ◆ モビリティを考慮した共有ノードの仮想的な増加手法について
 - ◆ RSSI伝搬関数の簡易的な自動設定方式について
 - ◆ 実環境での実装・評価について