

5V-10 無線センサネットワークにおける自己組織化ノード位置推定方式の実装とその評価

北之馬 貴正
 関西大学 環境都市工学部

高島 優斗
 関西大学 理工学研究科

安達 直世
 関西大学 環境都市工学部

滝沢 泰久
 関西大学 環境都市工学部

1 はじめに

無線センサネットワークは、Internet of Things や、Machine to Machine などの物理情報処理をインターネットに取り込む試みにおいて、必須技術であり、そのセンサノードの位置は重要な情報である。これらを利用したサービスとしては、広範囲に大量のセンシングデバイスを散布することを想定した、環境モニタリングや気象観測、災害対策等が考えられている。

現在、利用もしくは研究されている位置推定方式は、ノード間測距デバイスの使用の観点から分類すると、Range-based[1] と Range-free[2] に大別できる。前者は測距デバイスが必要なため拡張性、柔軟性に乏しく、設置、保守コストが高くなり、後者は測距デバイスが不要であるが十分な数のアンカーノードを必要とするため、十分な数のアンカーノードにより構成された空間を必要とし、広範囲な空間への適用には十分な事前準備が必要である。

上記問題を解決するため、我々は自己組織化マップを用いたノード位置推定方式 [3] (以降、SOL) を提案している。SOL では測距デバイスを用いず、近傍トポロジー情報のみから、高い位置推定精度が可能であり、その有効性が確認されている。本稿は、SOL を実装し、無線センサネットワークの実環境において実験評価を行い、その有効性を議論する。

2 SOL

位置推定機能は、各ノード間を任意の距離とし、ノード識別子、自己の仮位置、近傍ノードの位置、近傍ノード識別子(この4つを以下仮位置情報と呼ぶ)をブロードキャスト通信で送信する。データを受け取った各ノード(アンカーノード含まない)は受け取ったデータから自己位置を更新、修正し、定期的に行われるブロードキャスト通信によって近傍ノードに仮位置情報データを送信する。すなわち、ノード間(アンカーノード含む)の通信はステートレスであり、自己位置修正処理は各ノード(アンカーノード含まない)ごとに非同期的かつ、独立的に行われる。

この位置更新処理を各ノードで繰り返し行うことにより、ネットワークのトポロジーを再現し、ネットワークにおけるノード相対位置を推定する。さらに推定後は、3点のアンカーノードを用いて座標変換をし絶対位置を算出する。

3 実装方式

3.1 無線センサノード

無線センサノードはCPU,無線デバイス,バッテリー,センサによって構成されているが、今回は位置推定の検証の

ためセンサは搭載しない。CPUとしてArduino[4],無線デバイスとしてXBee[5]を使用する(図1)。

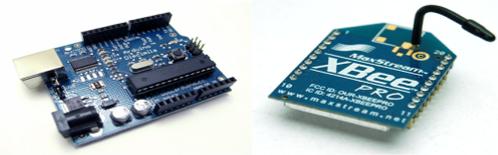


図1: Arduino と Xbee

Arduinoはハードウェア・ソフトウェアともに容易に開発できる柔軟性のあるオープンソース電子工作用プラットフォームである。XBeeはセンサおよび計測制御ワイヤレス・ネットワークのための国際的な業界標準化技術で、ZigBee [6]を搭載しておりArduinoと接続するためのI/Fも用意されている。

3.2 ソフトウェア構成

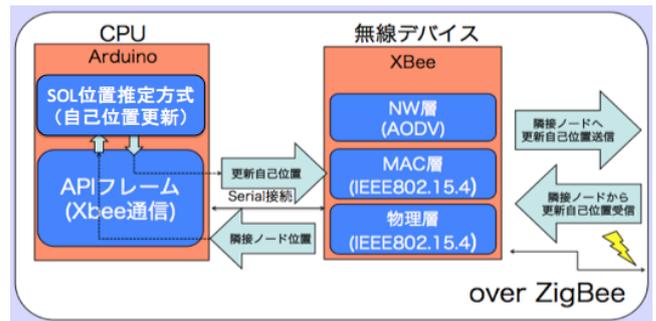


図2: ソフトウェア構成図

図2に無線ノードにおけるソフトウェア構成を示す。CPUでは送受信におけるデータの格納、取得の処理と、SOLによる位置推定処理を行う。XBeeではZigBeeのMAC層仕様に従い、IEEE802.15.4により無線通信を行う。

動作手順は、CPUで一定時間待機後近傍ノードに仮位置情報をブロードキャストする。待機の際、無線デバイスへ他ノードからデータを受信すると、無線デバイスからSerial経由でCPUへと送られる。CPU側では受信時に割り込み関数を呼び出し各データを近傍情報として格納する。そしてSOL位置推定方式における推定演算を行う。

データのやりとりはXBeeで定義されているAPI(Application Programming Interface)を用いる。これにより、送信処理の際、仮位置情報を格納し送信し、受信時はAPIフレームに格納されている送信ノードの位置情報と近傍の情報を取得する。

4 評価実験

4.1 評価方法

検証実験の評価は、相対位置評価と絶対位置評価の2通り行う。

相対位置評価はアンカノード（位置が既知であるノード）なしにおいてネットワークトポロジの形の相似性を、次の式により評価する。

$$r_{ij} = \frac{\tilde{d}_{ij}}{d_{ij}} \quad (1)$$

$$\bar{r} = \frac{1}{|N|} \sum_{i=1}^{|N|} r_{ij} \quad i, j \in N \quad (2)$$

$$V[r_{ij}] = \frac{1}{|N|(|N|-1)} \sum_{i=1}^{|N|} (1 - r_{ij}/\bar{r})^2 \quad i, j \in N \quad (3)$$

\tilde{d}_{ij} は位置推定処理後のネットワークトポロジにおけるノード i とノード j の距離（推定距離）， d_{ij} はオリジナルのネットワークトポロジにおけるノード i とノード j の真値距離， N はネットワーク内のノードの集合， $|N|$ はノード数（集合 N の要素数）を示す。

平均 \bar{r} が 1 に近づけば推定トポロジには真値と同じスケールとなり，分散 $V[r_{ij}]$ が 0 に近づけば推定トポロジは真値と相似となる。

絶対位置評価は，アンカノード 3 点を用いて SOL により再現されたトポロジを座標変換し，推定した自己位置と実際のノード位置のユークリッド距離の差の総和である位置推定誤差 Err_{ave} を用いて，絶対座標による位置誤差で評価する。 Err_{ave} は次のように求める。

$$Err_{ave} = \frac{1}{|N|} \sum_{i=1}^{|N|} |W_i - w_i(t)| \quad i, j \in N \quad (4)$$

W_i はノード i の真位置， w_i は推定位置を示す。

4.2 評価結果

検証は，シミュレーションとのネットワーク空間を 5.0m × 5.0m の平面として定義し，この空間にノードをランダムに配置したネットワークトポロジを定義する。

通信範囲は半径 2.0m としたが，XBee における通信範囲が数十 m であるため，計測環境の制約があり擬似的に通信範囲を減衰させた。ノードが修正した仮の自己位置を近傍ノードへ配信する間隔は，全てのノードにおいて一定であるが，位置推定開始の際は，パケットの衝突を防ぐため一斉に開始せずそれぞれランダムな時間（送信間隔時間内）待機してから送信する。全ノードがそれぞれ 1 回送信完了を 1Step とし，100Step 行った。

ネットワーク構成はノード 10 個，20 個，30 個で，それぞれ 3 通りのトポロジで検証した。図 3 にノード 30 個でのシミュレーション，実機におけるトポロジを示す。この図，および図 4 においてノード数が増えると分散が 0 に近づくことから，十分なノード数であれば，SOL はアンカノードがなくとも，ネットワーク全体の形の傾向が再現できていると考える。

また，図 5 における位置推定精度もノード 30 において 50cm を下回り，十分なノード数であれば，SOL はアンカーノード 3 点のみで，高い絶対位置精度となると考えられる。

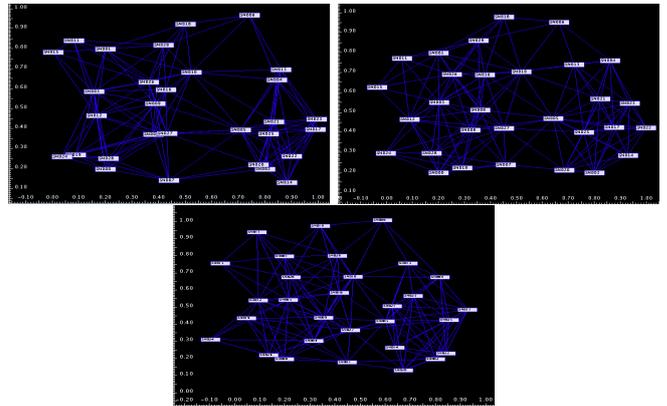


図 3: 真位置 (左上)，シミュレーション (右上)，実機の絶対位置推定 (下)

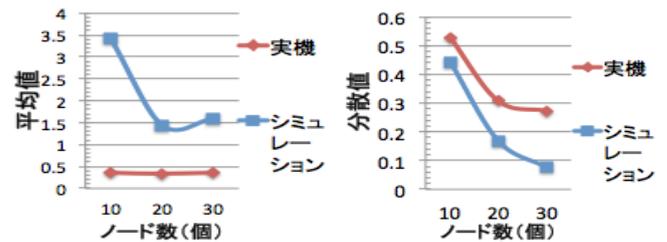


図 4: 相対位置評価

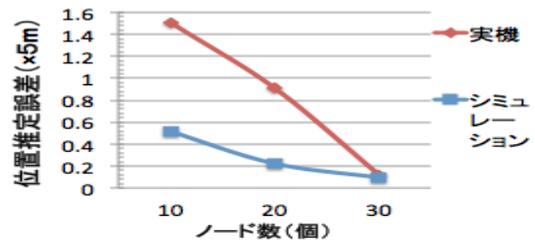


図 5: 絶対位置評価

5 結論と今後の課題

評価結果から，ネットワークトポロジ全体の形の傾向を再現できているが，局所的な誤差が多数みられる。

今後は，ノード数を増やし，高い精度となることを検証する。

参考文献

- [1] B.Hofmann-Wellenhof, H.Lichtenegger, and J.Collins : Global Positioning System; Theory and Practice, 4th ed. (1997).
- [2] D.Niculescu and B.Nath : DV-based positioning in ad hoc networks , Telecommun.Syst,vol.22,pp267-280 (2003).
- [3] 大野, 安達, 滝沢, "無線センサネットワークにおける自己組織化位置推定方式の提案", 情処論文誌, Vol.53, No.7, pp.1774-1782, (2012).
- [4] "ARDUINO" <http://www.arduino.cc/>
- [5] "XBee/XBee-PRO ZB RF Modules", Didi International Inc(2010)
- [6] "ZigBee" <http://www.zigbee.org/>