

アドホックネットワークにおけるバネモデルを適応した端末位置決定手法*

佐藤 雅幸 松尾 啓志

名古屋工業大学大学院工学研究科

1 はじめに

アドホック環境では、端末の存在位置に応じた情報配信、位置に応じた経路制御、対象とする端末の救助目的の追跡など移動する端末の位置情報を利用したサービスの提供が考えられており、位置情報は非常に重要な情報である。現在主流である屋外における位置特定は GPS (Global Positioning System) が用いられる。しかし、ネットワーク全体の端末に GPS を装備させるには非効率な場合があり、一部の絶対位置を取得可能なランドマークさえあれば、全ての端末に GPS が装備されていなくても利用可能となる端末位置の決定手法が望まれている。本稿ではアドホック環境において、ばねモデルを適応し、端末同士の接続関係に適合する位置にそれぞれの端末位置を決定する端末位置決定手法を提案する。

2 従来手法 (DV-hop, DV-distance) とその課題

一部が絶対位置取得可能とする環境で、他の端末位置を決定する手法として Niculescu, Nath により DV-hop が提案されている [1]。DV-hop は各ランドマークにおいて 1 ホップ当りの平均端末間距離を算出する。位置推定はランドマークと離れている端末間距離を算出した 1 ホップ当りの平均端末間距離とランドマークからの到達ホップ数の積を利用し、複数のランドマークから三角測量により端末位置を決定する。

従来手法では平均的な端末間距離を利用するが、端末の配置が偏った場合、誤差が非常に大きくなる。さらに DV-hop では hop という粒度の粗い情報を利用するため誤差が大きくなる。そこで、本研究では端末配置の平均的な距離を用いずに各端末間の距離を数学的に表現することにより位置推定の精度の向上を目指す。

3 ばねモデルを適応した位置決定手法

提案する位置決定手法は各端末が自律分散的に処理することを前提とする。本手法はプロアクティブ処理とリアクティブ処理に分けられる。プロアクティブ処理では各端末ごとに近隣 2 ホップの端末の位置を独自に推定し、それらの推定位置を保持する。すなわち、プロアクティブ処理によって自身を中心とする 2hop で隣接する端末に対して推定位置をテーブル保持する。プロアクティブ処理は適当な更新間隔で更新され、最新の位置推定結果を保持する。

近隣 2hop で繋がれていない端末の位置を取得する場合、その端末では推定位置テーブルに目的端末が存在しないため、オンデマンドに推定位置を収集する。この処理をリアクティブ処理とする。各端末は目的端末を探すため、ネットワークに属する端末全てに端末位置要求パケットを送信し、収集された推定位置情報の中で最も適切な推定位置をひとつに絞る。

[プロアクティブ処理]

1. 各端末がサブセットから情報を収集する

*Positioning System adapted KK model for Ad-Hoc Networks, Masayuki Sato, Hiroshi Matsuo Graduate School of Engineering, Nagoya Institute of Technology

自身を中心として近隣 2 ホップに含まれる端末をサブセットとする。サブセットから (ID、隣接する端末の ID、絶対位置 (ランドマークの場合)) の情報を収集する。

2. 端末間距離を計算する (3.1)
3. サブセットに含まれる全端末の候補位置を決定する (3.2)
4. 全候補位置の全組合せに対してばねエネルギーを計算し、最小値を持つ組合せを端末位置として決定する (3.3)
5. ランドマークから通信可能な最大到達範囲の重複する範囲外の推定位置は除外する
6. 端末の推定位置とその時の最小ばねエネルギーをテーブル保持する

[リアクティブ処理]

1. 目的端末の推定位置の取得要求パケットを送信する。
2. 得られた推定位置の中でばねエネルギーの最も小さいものを推定位置として最終決定する

3.1 端末間距離計算

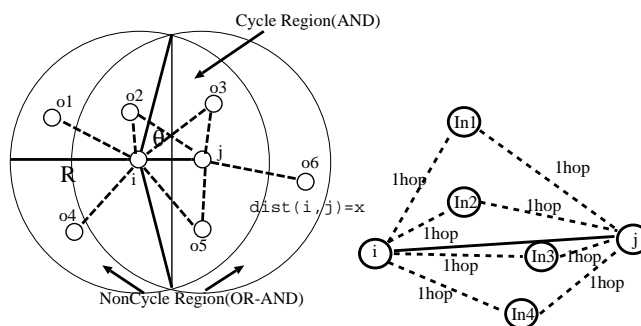


図 1: relationship with the distance between 1hop neighbors and the cycle region

図 2: 2hop approximate distance

本研究では、1hop で接続した端末と他の端末で構成される 3 つの端末がサイクルを形成する確率に注目し端末間距離を近似する (本稿ではサイクルとは端末同士が相互接続可能な関係を言う)。図 1 のように、1hop で繋がれた端末 i, j が存在するとする。この時 i, j と第三の端末がサイクルになる領域とは i, j を中心とする 2 円の重複領域 (AND) で表される。サイクルにならない領域は i, j を中心とする 2 円の領域和から重複部分を引いた領域 (OR-AND) で表される。(図 1 では o_2, o_3, o_5 がサイクルになり、 o_1, o_4, o_6 はサイクルにならない。)

サイクルになる確率とは、 i, j 端末と 1hop で繋がれている端末が i, j とサイクルを形成する確率を意味する。図 1 のように端末 i と j が 1hop で接続されている場合に 1hop 間距離を求めることを考える。 i と接続している第三の端末が j とサイクルになる時の理論的な確率 α_{ideal} は、式 (1)、式 (2) を用い、サイクルを形成する面積比から求められる。

$$\alpha_{ideal} = f(x) = \frac{2}{\theta\pi} - \frac{x\sin\theta}{\pi R} \quad (1)$$

$$\theta = \arg(\cos \frac{x}{2R}) \quad (2)$$

端末間距離が0すなわち、2端末が全く同位置に存在する場合、式(1)、式(2)に $x=0$ を代入し理論確率 $\alpha_{ideal} = 1$ が得られ、 i,j と接続する端末は i,j とサイクルを形成する。端末間距離が R 、すなわち、2端末が最大通信可能距離で接続する場合、 $x=R$ を代入し、理論確率 $\alpha_{ideal} = 0.39$ が得られる。この時、 i,j と接続する端末はサイクルになる確率が0.39であることを示している。関数 $f(x)$ は値域が1から0.39までの単調減少関数となる。

また、サイクルになる確率を端末の接続関係を観測することで求めることが可能である。 i と1hopで接続する端末 o が i,j とサイクルになる端末数を $C_{(u,v)}$ とし、 i と1hopで接続する端末の総数を N_i とするならば、観測したサイクルになる関係からサイクルになる確率値 $\alpha_{observation}$ を式(3)のように求められる。

$$\alpha_{observation} = \frac{C_{(i,j)} + C_{(j,i)}}{N_i + N_j} \quad (3)$$

観測から得られたサイクルになる確率値を式(4)のように f の逆関数に入力し端末間距離を求められる。ここで、観測値が最も理論値に近づく状態とは、 i,j と接続する他の端末数が多く、配置も一様に配置されている場合であり、観測値と理論値の関係は密度、配置の仕方と非常に関係が深い。

$$x = f^{-1}(\alpha_{observation}) \quad (4)$$

2hop間距離は図2のように三角不等式の関係を利用し、中継端末の1hop間距離の和の最小値として式(5)のように近似する。尚、中継端末が2端末と直線上になるようになる時、2hop間距離は1hop間距離の和と等しくなる。ランダムに配置した場合、端末数が多い程近似値が真値に近づく。

$$dist_{(i,j)} = \min(dis_{(i,IN)} + dis_{(IN+j)}) \quad (5)$$

3.2 候補位置決定

(3.1)で得られた端末間距離を利用しサブセットに含まれる端末全てにおいて端末間距離だけ離れた円をランドマークが中心として描く。図3のように2交点を推定候補点とする。

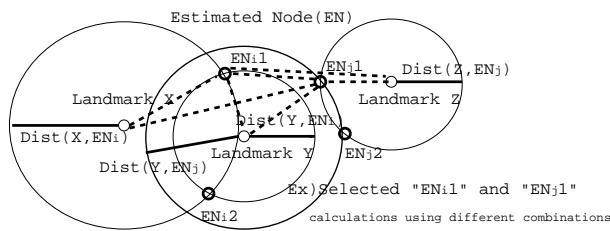


図3: two estimated points for estimation node

3.3 ばねエネルギー計算

(3.2)により得られた全ての推定候補点の組合せについて式(6)のようにばねエネルギーの計算を行う。1hopあるいは2hopで繋がれている端末どうしはばねで仮想的に繋がれているとして、ばねエネルギーの総和を計算する。得られた系全体のばねエネルギーのうち最小となるエネルギーを持つ組合せをサブセットに含まれる全ての端末の推定位置として決定する。ただし $k_{(i,j)} = 1(1hop), 0.2(2hop)$ とする。図3は EN_{i1}, EN_{j1} の組合せにおけるばねの接続を示す。

$$E = \sum_{(i,j) \in S} \frac{1}{2} k_{(i,j)} (dist_{(est(i), est(j))} - Ideal_{(i,j)})^2 \quad (6)$$

4 提案手法の評価

100 端末中、20 がランドマーク、80 が推定端末として各端末が自身位置を推定する実験を行った。対象トポロジーを図4に示す。濃黒の点はランドマークを示す。

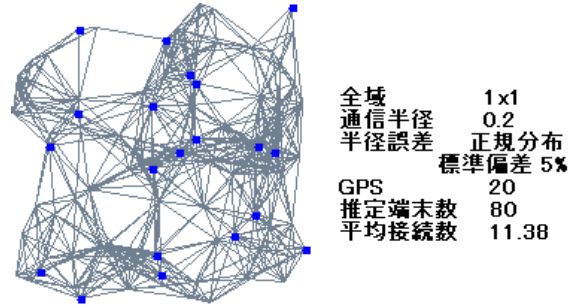


図4: topology for experiment

図5に通信半径0.2の時の1つのトポロジーにおける位置推定結果を示す。濃黒で示される端末が真実の位置を示し、薄黒で示される端末が推定位置を表す。提案手法では複数のランドマークが1ホップで隣接していない場合においても位置誤差を小さく抑えられた端末が確認できる。また、DV-hopに比べ平均的に位置誤差が小さい。

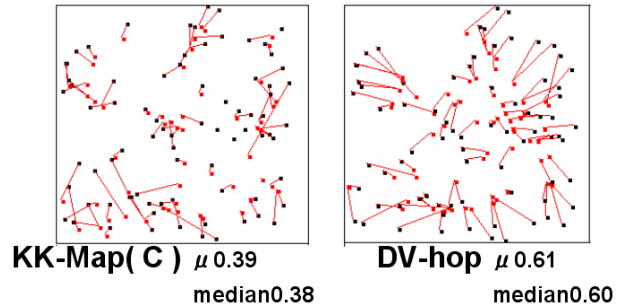


図5: Estimated position by KK-Map(connectivity only), DV-hop

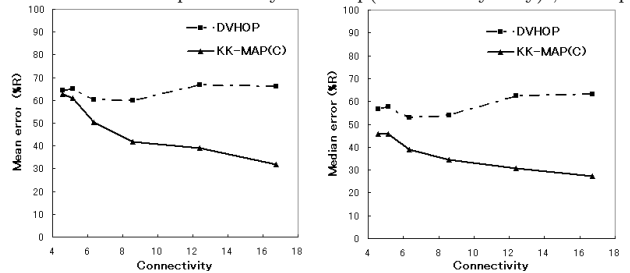


図6: mean error and median error

5 まとめ

本稿ではアドホック環境において端末間距離を近似する方法を提案し、得られた各端末の端末間距離から各端末位置を決定する手法を提案し、有用であることを確認した。

本研究の一部は、文部科学省科学研究費補助金(基盤C(2)15500037,2003-04)の支援を受けた

6 参考文献

- [1] D. Niculescu and B. Nath, "Ad-Hoc Positioning System," Proc. IEEE GlobeCom, Nov. 2001
- [2] T. Kamada and S. Kawai, "An Algorithm for Drawing General Undirected Graphs," Information Processing Letters, 31, 7-15, 1989.