

卒業論文

ノード間通信による自己位置推定
に関する研究

東北大学 工学部 情報知能システム総合学科
大町研究室 4年
岡本 雅仁

目次

第1章	序論	1
1.1	研究の背景と目的	1
1.2	本論文の構成	3
第2章	アドホックネットワークでの端末間通信による位置推定法	4
2.1	概要	4
2.2	既存手法	4
2.2.1	SOM (Self-Organizing Map) アルゴリズム	4
2.2.2	ネットワーク座標 Vivaldi	5
2.3	提案手法のアプローチ	6
2.3.1	階層型 Vivaldi	6
2.3.2	安定度に関して	6
2.3.3	アプローチ部分に関して	6
2.4	うそつきノードの種類	7
第3章	提案手法	8
3.1	提案手法の概要	8
3.1.1	プロセス1:最も誤差が大きい区間を探索	9
3.1.2	プロセス2:うそつきノード候補の周辺の不安定なノードの数を数える	9
3.1.3	プロセス3:うそつきノード判定	9
第4章	実験	10
4.1	実験における設定	10
4.1.1	パラメータ	10
4.1.2	実験で使用した想定仮想空間	11
4.2	予備実験	12
4.3	実験	13
4.3.1	実験条件	13
4.4	考察	14

第 5 章	結論	15
5.1	まとめ	15
5.2	今後の課題	15

目 次

4.1	実験仮想環境の概略	11
4.2	階層型 Vivaldi の評価	12

表 目 次

4.1	階層型 Vivaldi の評価	13
4.2	うそつきノード検出数の評価	13
4.3	検出数の評価内訳	13

第1章 序論

1.1 研究の背景と目的

現在, 位置情報を使った様々なサービスが展開されている。通信網の発達等に伴い人々の周りでネットワークは身近なものとなった。ネットワークの普及に伴い人々は携帯端末, パソコンといった様々な通信端末を所持し, その恩恵を受けている。通信端末の普及とともに様々なサービスが提供されてきた。その中には自動車等にしか搭載されなかったナビゲーションシステムのような位置情報に依存したサービスがある。スマートフォンのような高性能な通信端末では, 端末の位置情報を取得する機能が当たり前のように搭載されている。位置情報によるサービスの向上にも伴って需要も高まっている。今日における位置情報を取得する手法としては以下の2つが広く使われている。

- GPS(Global Positioning System)
- Skyhook, PlaceEngine

GPSは, カーナビ等で使われているGPS衛星からの電波を受信し, 位置情報を得る手法である。スマートフォン等ではA-GPS(Assisted GPS)という手法が採用されている。この手法は携帯通信網を利用し, 端末が受信可能な電波を送信している衛星の軌道情報等を取得し, 観測時間の短縮, 一部室内での使用に対応させている。Skyhook, PlaceEngineを使用した手法は, データベースサーバーへあらかじめ保存されたアクセスポイントの座標を基準に, アクセスポイントまでの距離を測ることで位置情報を取得する。GPSと同様にスマートフォンに実装されている。この2つの手法は利便性に優れているがWANに接続されていることによってはじめて利用が可能となる。したがって圏外といったWANに接続できない環境では利用が制限されてしまう。そのような環境でも位置情報を取得する手法が求められる。そのような環境に依存しないアドホックネットワークでの端末間通信による位置推定法が提案されている。この方式では端末間の距離を通信遅延(RTT)や無線強度によって距離を測定する。そして, 仮位置での座標系から導出した距離との差を基にアルゴリズムにより位置を修正する。本研究ではこの手法の既存のアルゴリズムの問題点の解決のための手法を提案する。また, 本研究のもう一つの意義とし

て、震災時の代替ネットワークが挙げられる。記憶に新しい東日本大震災といった非常時には既存の通信インフラが途絶してしまう。そのような状態でもサービスを提供するには WAN に依存しない端末単位で規模の拡大縮小が行えるネットワークが求められる。提案手法はこのネットワーク構築の際のルーティング等への応用が見込まれる。

1.2 本論文の構成

本論文の構成は以下の通りである．

第1章 序論

研究の背景，目的，論文の構成を述べる．

第2章 アドホックネットワークでの端末間通信による位置推定法

端末間通信による位置推定法の従来手法と提案手法の概要について述べる．

第3章 提案手法

本論文の提案手法について述べる．

第4章 実験

提案手法による位置推定シミュレーションの結果を示し考察を行う．

第5章 結論

本論文の成果，今後の課題について述べる．

第2章 アドホックネットワークでの 端末間通信による位置推定法

本章ではアドホックネットワークでの端末間通信による位置推定について、概要と既存手法、その問題点について説明する。

2.1 概要

端末間通信による位置推定法はノード間の距離の誤差によって座標修正を行う。通信遅延や無線強度によって実測距離を求め、仮座標から導出した距離と比較する。その差の分だけアルゴリズムに従って自ノードの座標を修正する。これを各ノードが自律分散的に行うことで全体として座標を修正し位置を推定する。

2.2 既存手法

既存手法としてはアルゴリズムに SOM (Self-Organizing Map) アルゴリズムや Vivaldi を用いたものがある。

2.2.1 SOM (Self-Organizing Map) アルゴリズム

SOM (Self-Organizing Map) アルゴリズムを用いた手法は同じ特徴を持つデータを引き寄せることで特徴を表すマップを形成するアルゴリズムである。SOM アルゴリズムを用いた位置推定法ではノード間通信で得られる近傍ノードの仮位置とノード間距離による多重制約によって、計算を繰り返していき各ノードの位置を自律分散的に求めてゆく。ノードを構成するネットワークに最低 3 個位置が確定したノード (以後アンカーノード) がある場合、すべてのノードの絶対位置を導出できる。以下 2 種の位置推定が行われる。

- 1 ポップノードの情報を用いた位置推定 (以後 1 次近傍ノードによる位置推定)
- 2 ポップノードの情報を用いた位置推定 (以後 2 次近傍ノードによる位置推定)

1次近傍ノードによる位置推定は1ポップノードの仮位置と距離情報から座標を修正していく。2次近傍ノードによる位置推定は2次近傍ノード,つまり1箇所どこかのノードを経由した次の近傍ノードの仮位置と経由したノードまでの距離との関係によって座標を修正していく。この2次近傍ノードによる位置推定は場合によっては正しい位置へと修正してゆく方向へと動作しないため推定回数を制限する手法 [3] が提案されている。一方でアンカーノードの座標の間違いという問題が残されている。上記で説明した通り SOM アルゴリズムでは位置推定にアンカーノードが最低3つ必要である。仮にその1つが間違った位置情報を示していた場合周辺のノードの位置が正しく修正できない。また,間違った位置情報を示すアンカーノード(以後うそつきノード)を除去できたとしても位置推定に必要なアンカーノードの個数を下回る可能性もある。

2.2.2 ネットワーク座標 Vivaldi

Vivaldi[1] はネットワークに存在するノード間の通信遅延を座標系で表現する手法として Debek らが提案したネットワーク座標系である。Vivaldi は通信を行ったノード間をばねでつなぐ力学モデルに基づく手法で,通信を行うたびに自ノードの座標修正を逐次的に行うものである。ばねモデルによる座標修正は以下の式に従って行われる。

$$N_i(x, y) = N_i + \delta \times ((rtt_{i,j} - |N_i - N_j|)) \times u(N_i - N_j) \quad (2.1)$$

$[N_k]$ はノード k の座標, $[\delta]$ はばね定数 $[rtt_{i,j}]$ はノード i,j 間で計測される通信遅延 (RTT) , u は単位ベクトルを表す。この手法では精密な座標系ができるネットワークでは,そのネットワークを正確に再現できる。また,ノード間をばねで結んでいるモデルを想定しているのではばねによる力につり合いのとれる位置に収束する。それによりネットワーク全体の誤差を小さくできる。一方でノード間通信の少ない末端では誤差の大きいノードが出てしまう。このアルゴリズムでも同様にうそつきノードを単体では除去できない。

以上のように,従来手法ではうそつきノードによる誤差が避けられない。こうした背景を踏まえて,本論文ではうそつきノードを除去し,さらに正しい位置へと修正していく手法として,以下で説明される階層型 Vivaldi の手法を基にした新たな手法を提案する。

2.3 提案手法のアプローチ

2.3.1 階層型 Vivaldi

上記 Vivaldi の手法に安定度という概念を定義することで階層構造をもたせた手法 [2] である。誤差の大きさによって階層を分けることで、精度の向上が望める。また、階層でノードを分ける条件設定によってはうそつきノードを別階層に分離できる可能性がある。副産物としてただ除去しないで分離することで、うそつきノードの再評価が可能である。

2.3.2 安定度に関して

階層型 Vivaldi の手法で定義された安定度は以下の式に示される。

$$Stability(i) \begin{cases} +1 & (Error(i, j) < e) \\ -1 & (Error(i, j) \geq e) \end{cases}$$

Error(i, j): 実通信遅延と推定通信遅延の誤差
e: 定数

安定度が閾値 C 以上の時安定したノードとして上位階層へシフトされる。また、安定度が負となったとき不安定なノードとして下位階層へシフトされる。これにより誤差の大きいノードと小さいノードへ分離される。

2.3.3 アプローチ部分に関して

本論文ではうそつきノードの除去のための条件設定を、階層の変更条件に加えることによりうそつきノードを分離、再評価する手法を提案する。

2.4 うそつきノードの種類

間違った位置情報をしめすうそつきノードにはその位置情報の間違え方に以下のような種類がある。

- 原因
 - 故障などによる偶発的なもの
 - 悪意のある故意的なもの
- 位置情報の間違え方
 - 特定の定点にずれている。
 - 常にランダムにその場所が変化する。
 - 決まった位置を周期的に移動する。

本論文では特定の定点へとずれている場合について考察していく。

第3章 提案手法

3.1 提案手法の概要

本論文では3D-hでの階層型 Vivaldi を使用し、提案するうそつきノード除去プロセスは以下ようになる。

- アルゴリズム中で最も誤差が大きい区間を探す。誤差の最も大きい区間の両端ノードをうそつきノード候補とする。
- うそつきノード候補の周辺の不安定なノードの数を数える。
- 不安定なノードの数が大きいものをうそつきノードとみなす。
- うそつきノードを分離する。

提案手法では、階層型 Vivaldi の手法により以下のような3階層区分を行った。

- 最下位階層：不安定なノード、または未評価のノード
- 中間層：安定したノード
- アンカーノード

うそつきノードが検出された際、そのノードの階層を最下位下層へシフトする。それによりうそつきノードの位置も修正される対象ノードとなり再評価される。

3.1.1 プロセス 1:最も誤差が大きい区間を探索

Vivaldi のアルゴリズムは全体の誤差がプロセスが進むほど減っていくが、もしうそつきノードが存在するとき、通信遅延による計測距離とノードの仮位置から計算した距離とに大きな誤差が生じる。うそつきノードはアンカーノードなので各ノードが逐次修正を行うにしたがってこの誤差はあまり変化しないので周辺ノードと比較して大きくなる。よってうそつきノードが端点となる区間は誤差が大きくなる。

3.1.2 プロセス 2:うそつきノード候補の周辺の不安定なノードの数を数える

うそつきノード周辺ではうそつきノードの影響により正しい位置へと移動修正されないノードが存在する。このノードたちは必然的に誤差がある程度生じた状態なので不安定なノードとして分類される。

3.1.3 プロセス 3:うそつきノード判定

うそつきノード候補の周辺の不安定ノードの数が多いものをうそつきノードとみなす。ある程度位置が収束した際うそつきノード周辺には多くの不安定ノードが存在しうるのでこちらを判定要因とする。仮に両端ノードで不安定ノードの個数が同じ場合通信範囲を狭め、再度評価する。

第4章 実験

本章では、前章で説明した提案手法を用いたうそつきノード除去、再評価のシミュレーション実験を行う。

4.1 実験における設定

4.1.1 パラメータ

- ばね定数 [$\delta = 0.5 \sim 0.9$] (誤差の最大値によって可変, 単純な Vivaldi の手法では 0.5 で固定)
- 安定度の評価閾値 [$C = 200$]
- 各ノードの通信範囲 [$(rtt < 11.)$]
- 最大誤差によるノード評価の最適化
 - 最大誤差 > 1 : 第1層の修正評価に全層のノードを基準として使用, 第2層は第2層同士で評価
 - それ以外: 必ず下位階層の評価に上位階層のノードを基準として使用
- うそつきノードの除去: Vivaldi250 回毎に 1 回実行

今回は無線通信を想定した位置推定なので通信範囲を制限した。また、Vivaldi の挙動も誤差が大きいときはノードを分散させ、安定なノードを増やすようにして全体の形状を形成するようにし、誤差が少ないときは不安定なノード等を優先的に評価することで部分的な修正を重視した。また、うそつきノード除去は Vivaldi250 回毎に行うことによりある程度ノードが修正され全体の誤差が減った際に行う。

4.1.2 実験で使用した想定仮想空間

以下図 4.1 のような $[20 \times 20 \times 20]$ の立方体のスペースに $[5 \times 5 \times 5]$ で等間隔に配置されたノードからアンカーノードをランダムに 11 点とる。その他の点の仮位置は中央部 1 点にすべて集めた。体育館のような高さのある空間として想定した。

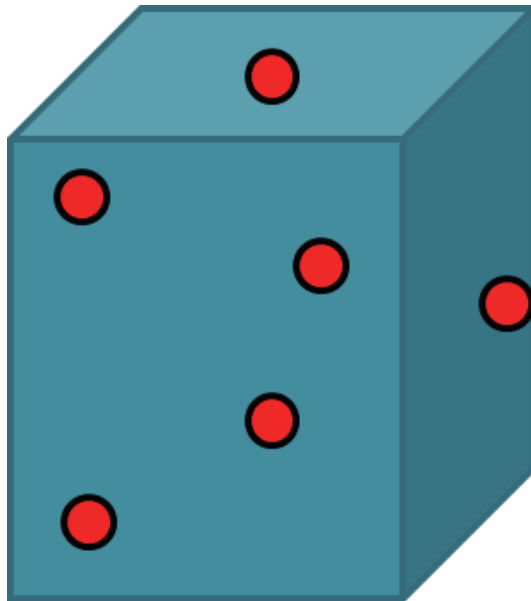


図 4.1: 実験仮想環境の概略

4.2 予備実験

階層型 Vivaldi の手法での比較評価を行った。結果は図 4.2 に示す形に収束した。+ が実際の位置, × が vivaldi を平均 1192 回行った後である。ほぼ完全に元の座標系を再現できている。誤差も平均で 0.15% で非常に小さいものとなった。

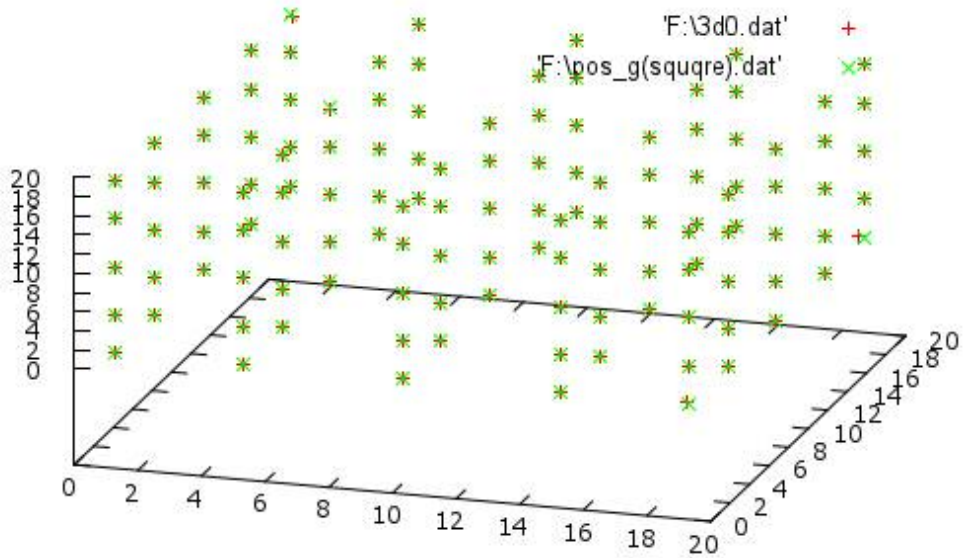


図 4.2: 階層型 Vivaldi の評価

4.3 実験

4.3.1 実験条件

うそつきノードの数を1~3と変化して実験を行ったところ以下表4.1のような結果が得られた。以下にはうそつきノードが0個の時のデータを比較用として載せている。うそつきノードの数が3つのときはほとんど正しい位置へ収束しなかったためデータを除外した。

表 4.1: 階層型 Vivaldi の評価

	average error	max error	times
No Liar	0.006878	0.132209	1192
1 Liar	0.01622375	0.382511625	2870
2 Liar	0.0063234	0.190303875	1832

うそつきノードが1つの時は安定して収束するが演算回数が多く、2つのときは収束した際は演算回数が少ないが収束する回数が1つの時の半分だった。以下表4.2, 表4.3にうそつきノードの検出数を示す。

表 4.2: うそつきノード検出数の評価

	全検出数	正解検出数	誤検出数	未検出数
1 Liar	1.32	1	0.32	0
2 Liar	3.04	1.84	1.2	0.16
3 Liar	3.65	2.3	0.84375	1.5625

表 4.3: 検出数の評価内訳

	precision	recall	F-measure
1 Liar	0.8833	1	0.916
2 Liar	0.7101	0.92	0.771
3 Liar	0.6271	0.4381	0.655

うそつきノードが1つの時は非常に性能に優れる。また、誤検出は多いものの未検出が非常に少なく recall の値がよかった。。また、複数個のうそつきノードに関しては誤検出が大きく正しい位置へ修正できないことが多かった。

4.4 考察

実験結果から、単数のうそつきノードに対しては除去、再評価できていることが分かった。しかし、複数個に対しては誤検出が多かった。また、正しい位置への収束がうそつきノードの数が多いほど大幅に減少していた。うそつきノードが2つの時の動作を分析したところうそつきノード候補の抽出には成功しているもののその後の判定で誤りがあった。後にこのとき残ったうそつきノードは再評価されうそつきノードとして検出されるものの正しいアンカーノードが減ったことでうまく正しい位置へ収束できていないことが分かった。

よって誤検出の原因はうそつきノード候補の判定条件にあると考えられる。不安定なノードの数だけでなく逆に安定なノードの個数も評価定数に加えるなど様々考えられる。また、正しい座標への収束しない原因としては以下二つが考えられる。

- ノードの仮位置があまりにアンカーノードから遠いのではないか
- Vivaldi の評価をあくまで1対1で評価しているためではないか

今回の実験では各ノードが Vivaldi の評価を行える範囲を限定していた。よって評価範囲にノードがないとうまく動作されない可能性があった。また、評価はあくまでノードどうし1対1なので複数のノードで正反対の方向へ位置修正が行われた場合元の位置へ収束しない可能性があった。よってそのノードが周辺からのばねの力を合算し座標修正を行うようにするべきなのかもしれない。

第5章 結論

5.1 まとめ

本論文では位置情報取得の背景を説明し、それに基づく目標としてノード間通信による位置推定法を示した。そしてそれに基づき、階層型 Vivaldi の手法を基とした、間違っただ座標を示してくるうそつきノードを除去す手法を提案した。この提案手法では従来手法と比較し、単数のうそつきノードの除去に関して高い精度を持っていた。また複数の場合もうそつきノードそのもの検出率が高かった。

提案手法では階層毎に精度の異なるノードが存在する3層構造を採用し、うそつきノードを精度の低いノードの階層を移動させることによりアルゴリズム上で自動的にうそつきノードの再評価を行えるように改良した。一方、うそつきノードが複数時、うそつきノードの検出に関してうそつきノードの候補の検出には成功しているものの、そこからのうそつきノードに失敗することが多く、また、一定回数で正しい座標まで修正できないことがあったため、その原因の考察と改善策を提案した。

5.2 今後の課題

実験により明らかになった問題点について以下の点で改善していく必要があると考えられる。

- 除去プロセスのパラメータの調整, 変更
- Vivaldi のアルゴリズムの初期位置設定の調整
- 想定するネットワークの変更 (オフィスのような高さよりも奥行等の長い長方形の空間)
- Vivaldi の位置修正の式の変更

参考文献

- [1] Frans Kaashoek, Frank Debek, Russ Cox and Robert Morris. “ Vivaldi: A decentralized network coordinate system. ”Proceeding of the ACM SIGCOMM '04 Conference, pp. 149-160, Portland, Oregon, August2004.
- [2] 中村貴, “ 通信遅延を考慮した計算資源共有システムに関する研究 ”
- [3] 高尾佑希, 岩井誠人, 滝沢泰久, 笹岡秀一, “ アドホックネットワークにおけるばねモデルを適用した端末位置決定手法 ”,
- [4] 佐藤雅行, 松尾啓志, “ アドホックネットワークにおけるばねモデルを適用した端末位置決定手法 ”, 情報処理学会研究報告 IPSJ SIG Technical Report Vol.2010-DSP-142 No.33
- [5] 大野祥平, 安達直世, 滝沢泰久, “ 無線センサーネットワーク環境を考慮した端末自己位置推定方式の提案 ” 情報処理学会研究報告 IPSJ SIG Technical Report Vol.2011-DSP-146 No.46
- [6] 上田達也, “ 分散型ネットワーク座標 Vivaldi の仕組み ”, P2P/DHT 勉強会,2006 Dec.3

謝辞

本研究を進めるにあたり，全般的な御指導とともにこの研究の機会を与えて下さった東北大学大学院工学研究科 大町真一郎教授に心より感謝致します。

本研究を進めるにあたり，様々な場面で御助言いただいた東北大学大学院工学研究科 菅谷至寛助教に心より感謝致します。

また，東北大学大学院工学研究科 電気・通信工学専攻 大町研究室の皆様と支えてくれたすべての友人と家族に深く感謝致します。