

左右の相対位置変化の観測と相互情報交換による 移動無線ノードの相対位置取得手法

行方 将晃 松垣 博章

東京電機大学 未来科学部 ロボット・メカトロニクス学科

1 はじめに

無線技術の発達により、基地局を介さずに隣接する移動無線ノード間で通信を行なうモバイルアドホックネットワーク (MANET) の研究が行なわれている。MANET では、小型の機器を用いて通信を行なうことを想定しており、既存の通信環境を使用できない災害現場などでの利用を想定したアプリケーションの開発が期待されている。MANET を想定したアプリケーションでは、移動無線ノードの位置情報を使用することから、移動無線ノードの位置情報を取得する手法が必要となる。

2 関連研究

MANET のアプリケーションには、各移動無線ノードの座標に対応する絶対位置を必要とするものと、各移動無線ノード間の距離やそれらのなす角に相当する相対位置のみを必要とするものがある。GPS は、各移動無線ノードの絶対位置を取得する手法のひとつであり、絶対位置が与えられている複数の人工衛星からの距離を得ることで人工衛星に対する相対位置を取得し、これによりその絶対位置を求めている。このように、多くの位置情報取得手法は、無線ノード間の距離やそれらのなす角を測定することによってその相対位置を取得しており、構成無線ノードの一部に移動せずにその絶対位置が与えられている無線ノードや移動しているもののその絶対位置が何らかの方法で取得可能な無線ノードを含むことによって、各移動無線ノードの絶対位置を求めている。

無線ノード間の距離の測定には、TOA (Time of Arrival), TDOA (Time Difference of Arrival), RSSI (Received Signal Strength Indicator) を用いるものが提案されている [2]。TOA は、無線ノード間の無線信号の伝搬時間から距離を得る手法である。ここでは、送信無線ノードにおける無線信号の送信時刻と受信無線ノードにおける無線信号の受信時刻との差から伝搬時間を計算するため、無線ノードに搭載された時計が高精度で同期していることが必要となる。TDOA は、無線ノード間の伝搬速度の異なる無線信号の伝搬時間差から距離を得る手法である。[1] では、電波と超音波を用いる手法が提案されており、無線ノード間の時計合わせが不要であるという利点がある。しかし、各無線ノードに伝搬速度の異なる無線信号の送受信機を備えることが必要とされる問題がある。RSSI は、送信無線ノードにおける送信電波強度と受信無線ノードにおける受信電波強度を測定し、受信電波強度の無線ノード間距離に対する減衰モデルから距離を得る手法である。

Relative Location Estimation of Mobile Nodes by Observation and Communication of Relative Directions and Local Mobility

Masaaki Namekata and Hiroaki Higaki

Department of Robotics and Mechatronics, Tokyo Denki University

しかし、無線信号伝搬経路における障害物の存在や無線信号のマルチパス伝搬、送受信アンテナの特性等を含めた環境の影響が大きく、精度の高い測定が困難であることが指摘されている [4]。このように、2つの無線ノード間の距離を簡易なデバイスで精度よく直接測定することは困難であり、これを用いた無線ノードの相対位置推定手法の誤差は大きくなると考えられる。

これに対して、各無線ノードに搭載したカメラによる取得映像から、映像内の2つの無線ノードのなす角を測定し、これを用いて無線ノードの相対位置を求める手法が提案されている [3]。カメラによる取得映像に含まれる2つの無線ノードのなす角は精度よく測定することが可能であるものの、図1に示すように、取得映像情報のみから無線ノード間距離を測定することはできない。論文 [3] では、各無線ノードが取得した角度情報を集約し、なす角の和が 2π となる無線ノードの3組を抽出することによって相対位置を推定する手法を提案している。この手法は、映像内の各無線ノードを特定する必要がない点で優れているものの、無線ノードの最終的な相対位置の決定には一部の無線ノード間距離の測定が必要であり、特に無線ノード分布が疎である場合には多数の無線ノード間距離の測定が求められるという問題がある。

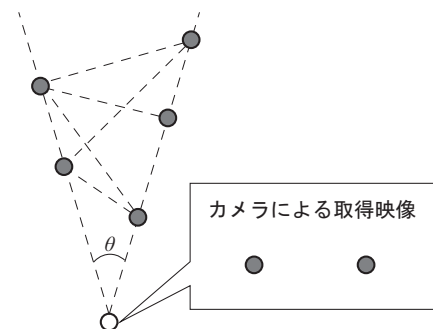


図1: カメラ取得映像による角度情報の取得。

3 提案手法

本論文では、測定誤差の大きな移動無線ノード間距離の直接測定を行なうことなく移動無線ノード間距離を推定するために、各移動無線ノードにその周辺に存在する移動無線ノードを撮影するためのカメラと移動距離を測定するデバイスを備え、取得した情報を無線アドホック通信によって相互に交換することによって移動無線ノード間距離を推定する手法を提案する。ここで、各移動無線ノードに搭載したカメラによる取得映像は、論文 [3] と同様にカメラ視野内に存在する2つの移動無線ノードのなす角の大きさを測定するためのみに用いる。また、各移動無線ノードは与えられた2つ

の時刻間の移動距離のみを測定し、移動方向の取得は行なわない。

想定する環境を図2に示す。移動無線ノード N_A , N_B , N_C は相互に見通すことが可能であり、無線アドホック通信により相互に制御メッセージを交換することが可能であるとする。ここで、 N_A , N_B , N_C は制御メッセージを交換し、時刻 t において N_A , N_B は現在位置 A , B に一時停止する。このとき、 A , B は搭載するカメラによる取得映像から、 N_C の現在位置を C とするとき $\theta_a := \angle CAB$, $\theta_b := \angle CBA$ をそれぞれ測定する。その後、 N_C は移動を継続し、時刻 $t' > t$ において、 N_C の現在位置を C' とするとき、 A , B は搭載するカメラによる取得映像から、 $\theta'_a := \angle C'AB$, $\theta'_b := \angle C'BA$ をそれぞれ測定する。また、 N_C は時間 $[t, t']$ における移動距離 $|CC'|$ を測定する。これらの情報を含んだ制御メッセージを N_A , N_B , N_C が相互に交換することにより、移動無線ノード間距離 $|AB|$, $|BC'|$, $|C'A|$ を以下の方法で取得することができる。なお、時刻 t' における各移動無線ノードによる測定終了後に N_A と N_B は移動を再開する。

$\triangle ABC$ および $\triangle ABC'$ において、正弦定理によって以下が成り立つ。

$$\frac{|AB|}{\sin(\theta_a + \theta_b)} = \frac{|CB|}{\sin \theta_a} = \frac{|CA|}{\sin \theta_b} \quad (1)$$

$$\frac{|AB|}{\sin(\theta'_a + \theta'_b)} = \frac{|C'B|}{\sin \theta'_a} = \frac{|C'A|}{\sin \theta'_b} \quad (2)$$

また、 $\triangle ACC'$ および $\triangle BCC'$ において、余弦定理および (1), (2) によって以下が成り立つ。

$$\begin{aligned} |CC'|^2 &= |CA|^2 + |C'A|^2 - 2|CA||C'A|\cos(\theta'_a - \theta_a) \\ &= \left(\frac{\sin^2 \theta_b}{\sin^2(\theta_a + \theta_b)} + \frac{\sin^2 \theta'_b}{\sin^2(\theta'_a + \theta'_b)} - \frac{2 \sin \theta_b \sin \theta'_b \cos(\theta'_a - \theta_a)}{\sin(\theta_a + \theta_b) \sin(\theta'_a + \theta'_b)} \right) |AB|^2 \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} |CC'|^2 &= |CB|^2 + |C'B|^2 - 2|CB||C'B|\cos(\theta'_b - \theta_b) \\ &= \left(\frac{\sin^2 \theta_a}{\sin^2(\theta_a + \theta_b)} + \frac{\sin^2 \theta'_a}{\sin^2(\theta'_a + \theta'_b)} - \frac{2 \sin \theta_a \sin \theta'_a \cos(\theta'_b - \theta_b)}{\sin(\theta_a + \theta_b) \sin(\theta'_a + \theta'_b)} \right) |AB|^2 \end{aligned} \quad (4)$$

したがって、 N_A , N_B 間の距離 $|AB|$ は以下のように求めることができる。

$$\begin{aligned} |AB| &= \left(\frac{\sin^2 \theta_b}{\sin^2(\theta_a + \theta_b)} + \frac{\sin^2 \theta'_b}{\sin^2(\theta'_a + \theta'_b)} - \frac{2 \sin \theta_b \sin \theta'_b \cos(\theta'_a - \theta_a)}{\sin(\theta_a + \theta_b) \sin(\theta'_a + \theta'_b)} \right)^{-\frac{1}{2}} |CC'| \\ &= \left(\frac{\sin^2 \theta_a}{\sin^2(\theta_a + \theta_b)} + \frac{\sin^2 \theta'_a}{\sin^2(\theta'_a + \theta'_b)} - \frac{2 \sin \theta_a \sin \theta'_a \cos(\theta'_b - \theta_b)}{\sin(\theta_a + \theta_b) \sin(\theta'_a + \theta'_b)} \right)^{-\frac{1}{2}} |CC'| \end{aligned} \quad (5)$$

$|BC'|$, $|C'A|$ については、(5) で求められた $|AB|$ と (2) によって求めることができる。

この手法の適用の条件は、 $\theta_a + \theta_b \neq 0, \pi$ かつ $\theta'_a + \theta'_b \neq 0, \pi$ であること、すなわち、時刻 t および t' において N_A , N_B , N_C が一直線上に存在しないことである。

このように、提案手法では、移動無線ノード間の距離を直接測定することを行わずに、移動無線ノード間の距離を取得することができる。ここでは、移動無線

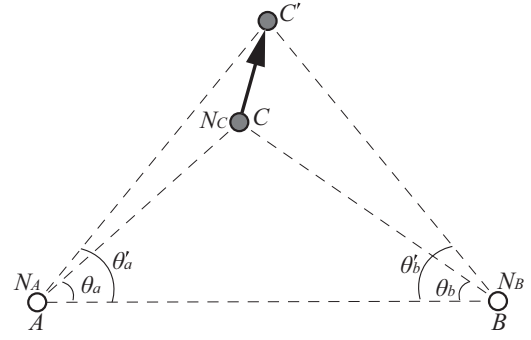


図2: 提案手法による移動無線ノード間距離の取得。

ノードに搭載したカメラによる取得映像を用いて比較的誤差の小さな2つの移動無線ノードのなす角の大きさを測定することに加えて、移動無線ノードの自身の移動距離を測定するが、取得したい距離の精度に比較して十分小さな誤差で測定可能であることが期待できることに加えて、その移動方向についての情報を必要としない。上記手順から分かるように、相互距離を取得するために協調する3つの移動無線ノードの役割分担は任意である。すなわち、いずれの移動無線ノードを一時停止させ、いずれの移動無線ノードが移動距離を測定するかには任意性がある。また、取得した角度情報と距離情報を交換するための制御メッセージに配送には、相互に無線信号到達範囲内に存在する移動無線ノード間の無線アドホック通信を用いることも、相互に無線信号到達範囲内に存在しない移動無線ノード間での制御メッセージ配送を実現する無線マルチホップ通信を用いることも可能である。

4 まとめと今後の課題

本論文では、移動無線ノードの相対位置を取得する手法として、互いに見通し可能である3つの移動無線ノード間の距離を直接測定することなく取得する手法を提案した。ここでは、移動無線ノードに搭載したカメラによる取得映像を用いて映像内の2つの移動無線ノードのなす角を測定することと、移動無線ノード自身の移動距離を測定することによって、移動無線ノード間距離の取得を可能にしている。本論文では、一時停止する移動無線ノードと移動距離を測定する移動無線ノードとをカメラによる取得映像内で識別可能であることを前提としているが、実際の適用環境においては、多数の移動無線ノードが取得映像に含まれることが想定される。そこで、このような状況においても移動無線ノード間距離を取得可能となるように提案手法を拡張することが今後の課題である。

参考文献

- [1] Boukerche, A., Oliveira, H.A.B.F. and Nakamura, E.F., "Localization Systems for Wireless Sensor Networks," IEEE Wireless Communications 2007, vol. 14, no. 6, pp. 6-12 (2007).
- [2] Shchekotov, M., "Indoor Localization Method Based on Wi-Fi Trilateration Technique," Proceeding of The 16th Conference of Fruct Association, pp. 177-179 (2014).
- [3] 加藤, 石黒, バース, "全方位視覚センサをもつ複数ロボットの同定と位置決め," 電子情報通信学会論文誌 D-II, vol. 7, no. 6, pp. 1270-1278 (2001).
- [4] 濱田, 沼尾, "Wi-Fi 電波強度を利用した機械学習による屋内位置推定における環境変化への適用手法," 情報処理学会研究報告, vol. 2017-DPS-169, no. 3, pp. 1-8 (2017).