

# Imote2 を用いた高精度時刻同期に基づく ToA 測位システムの実現

井上 敬太<sup>†</sup> 金丸 達雄<sup>††</sup> 濱千代 貴大<sup>††</sup> 横田 裕介<sup>†</sup> 大久保 英嗣<sup>†</sup>

<sup>†</sup>立命館大学情報理工学部 <sup>††</sup>立命館大学大学院理工学研究科

## 1 はじめに

センサネットワークを用いた、地理および時刻情報に基づいたサービスを実現するため、これまでに我々は、高精度時刻同期に基づく ToA (Time of Arrival) 測位手法の提案を行ってきた [1]。また、この手法を用いた測位システム (ToAPS: ToA Positioning System) の開発を進めている。

ToA 測位を行う場合、測位精度を保つため、高精度な時刻同期が必要である。そのためには、高周波数のクロックを用いる必要がある。しかし、従来のセンサノードでは、クロック周波数が低く、時刻同期が低精度となり、十分な精度の測位を実現することが困難であった。

そこで、本研究では、高周波数のクロックを持つ Imote2 を用いて、ToAPS を実現する。これにより、高精度な時刻同期を実現し、測位精度の向上が期待される。

## 2 ToA を用いた測位システム

本章では、実現する ToAPS について述べる。図 1 に概要を示す。使用するノードは、N0~N3 までの 4 つのノードである。N0~N2 を座標が既知なビーコンノード、N0 を PC に接続された基地局ノード、N3 を座標が不明な未知ノードとする。ToAPS は、未知ノードに対して、時刻同期と位置推定を同時に行う。これらは、以下のフェーズで実現される。

**初期化フェーズ** 時刻誤差を求め、ビーコンノード間で時刻同期を行う。手順は以下の通りである。まず、N1, N2 がそれぞれ、2 回ずつ N0 に現在時刻を送信する。次に、N0 では受信した時刻情報を用いて時刻誤差を計算し、同期する。なお、N1, N2 が 2 回ずつ送信する理由は、各ノードが持つ水晶発振子の周波数偏差を時刻誤差の算出に利用するためである。

**位置推定フェーズ** 未知ノードの座標を算出する。未知ノードがビーコンノード集合 (N0, N1, N2) に向けて信号を送信し、ビーコンノードでの受信時刻の差から未知ノードの座標を求める。受信時刻の差を利用するため、未知ノードの内部時刻に依存しない。また、受信時刻の差は非常に短い時間となるため、ビーコンノード間の高精度な時刻同期が必要となる。

**時刻同期フェーズ** 座標を算出した未知ノードに対して、時刻同期を行う。位置推定フェーズで未知ノードの

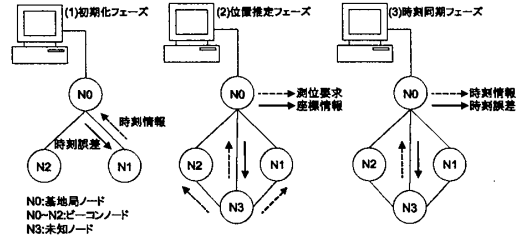


図 1 ToAPS の動作概要

センサノード	CPU	SRAM	FLASH	DRAM
Imote2	13-416Mhz	256kB	32MB	32MB

表 1 Imote2 の仕様

座標は既知となっているため、本フェーズでの動作は初期化フェーズと同様となる。

## 3 Imote2 を用いた実装

本章では、Imote2 による ToAPS の実装について述べる。表 1 に Imote2 の仕様の一部を示す [2]。以下では、ノードの種類毎のモジュール構成を示し、これらのモジュールが各フェーズでどのように利用されるかを示す。

### 3.1 モジュール構成

図 2 に示すように、モジュール構成は大きく 2 つに分けることができる。基地局ノードと、それ以外である。基地局ノードはビーコンノードから時刻情報を集め、時刻誤差や位置情報を算出する。また、ビーコンノードと未知ノードは、時刻情報を含むパケットを送信し、結果を受信するという動作が共通しているため、同じモジュール構成となる。次に、各モジュールの機能の概要について説明する。

**送信、受信モジュール**は、通信、およびその前後処理を行う。具体的には、提供されたデータをネットワークエンディアンに変換し、送信する。また、受信後、受信データを内部表現へ変換し、他モジュールに渡す。

**パケット解析モジュール**は、受信したパケットの種類を解析し、次に実行する処理を決定する。手順を次に示す。まず、パケットが自ノード宛か判定する。自ノード宛であれば、どのフェーズで用いる情報かを解析し、その結果から次に利用するモジュールを決定する。その後、フェーズ毎に必要な情報 (座標、時刻、送信元など)

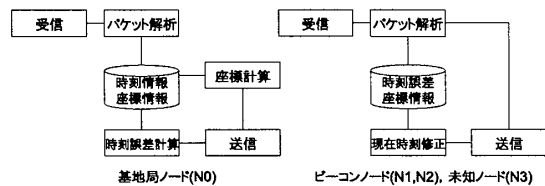


図 2 モジュール構成図

The implementation of the ToA positioning system based on the high accuracy time synchronization using Imote2  
Keita Inoue<sup>†</sup>, Tatsuo Kanamaru<sup>††</sup>, Takahiro Hamachiyo<sup>††</sup>, Yusuke Yokota<sup>†</sup> and Eiji Okubo<sup>†</sup>

<sup>†</sup>College of Information Science and Engineering, Ritsumeikan Univ.

<sup>††</sup>Graduate School of Science and Engineering, Ritsumeikan Univ.

をパケットから抽出し、他モジュールに対してこれらの値を渡す。

時刻誤差計算モジュールと座標計算モジュールは、与えられたパラメータを使用し、それぞれ時刻誤差、座標を計算する。

現在時刻修正モジュールは、ビーコンノードの現在時刻を修正するモジュールである。ビーコンノードの内部時刻を直接書き換えることはできないので、内部時刻に時刻誤差を足すことで、修正された現在時刻とする。

### 3.2 基地局ノード

基地局ノードでは、他ノードの時刻誤差、および未知ノードの座標を計算する。

基地局ノードは、パケットを受信したら、パケット解析モジュールを呼び出す。パケット解析モジュールはヘッダを取り出し、パケットに含まれる時刻情報を保存し、フェーズの種類を調べる。初期化フェーズの通信であれば時刻誤差を計算するモジュールを呼び出し、位置推定フェーズの通信であれば座標計算のモジュールを呼び出す。計算が終われば、計算結果を未知ノードに通知するため、送信モジュールを呼び出し、算出した時刻誤差、または座標を渡す。

### 3.3 ビーコンノード

ビーコンノードは、主に 2 つの機能を持つ。一つは、受信モジュールを呼び出し、未知ノードからのパケット送信を待つ機能である。もう一つは、定期的に自身の時刻情報を基地局ノードへ送信し、基地局ノードと時刻同期する機能である。

ビーコンノードは、パケットを受信したら、パケット解析モジュールを呼び出す。パケット解析モジュールは、ヘッダを取り出し、パケットに含まれる時刻情報を保存し、フェーズの種類を調べる。初期化フェーズの通信であれば、保存した時刻情報は基地局ノードで計算された時刻誤差であるため、保存されている最新の時刻誤差に上書きする。次に、自身の内部時刻を取得し、時刻誤差修正モジュールへ渡す。時刻誤差を修正し、送信モジュールを呼び出す。

### 3.4 未知ノード

未知ノードは、測位を行うため、全ノードに測位要求を送信する。座標の算出を要求する機能以外は、ビーコンノードと同じである。これは、座標を取得した後の動作は、ビーコンノードと同じであることによる。

未知ノードの動作を次に示す。まず、送信モジュールを呼び出し、測位要求をブロードキャストする。次に、受信モジュールを呼び出し、基地局ノードによる座標情報を含むパケットの送信を待つ。パケットを受信したら、パケット解析モジュールを呼び出す。パケットに含まれる座標情報を取得し、自身の座標として保存する。

## 4 評価

本章では、実験の方法と考察について述べる。ToAPS では、時刻同期を行う初期化フェーズ (時刻同期フェー

ズ)、および測位を行う位置推定フェーズについて、実機による評価実験を行う予定である。時刻同期の実験は、同期精度を調べ、RBS[3] と比較する。RBS とは、受信ノード間での相対的な時刻同期を行う手法である。また、位置推定フェーズについては、測位精度について評価する。

### 4.1 評価実験の計画

**時刻同期に関する実験** 時刻同期を実行する間隔、回数を変えることで、周波数偏差が同期精度にどの程度の影響を及ぼすかを調べる。また、RBS は時刻同期の実行回数により、同期精度が変化するため、同期回数が同期精度にどの程度影響を及ぼすのかを調べ、ToAPS との比較を行う。

**測位に関する実験** 測位精度と、測位処理に要する時間を調べる。これにより、本手法が、素早い測位を求められる環境 (トラッキングなど) において利用可能であるかどうかを明らかにする。

### 4.2 考察

ToAPS では、実用的な測位精度は得られないことが予想される。

時刻同期部分単体での簡単なプロトタイプ実験を行った場合、時刻同期精度は 1~3 マイクロ秒精度であった。これは取得できる内部時刻が 100 ナノ秒単位までという制約に起因する。ToAPS においても、これに近い精度で値が得られるものと予測される。この値は時刻同期としては比較的高精度であるが、無線通信を用いた測位を行う場合、精度不足である。ToAPS では、無線通信を用いるため (無線の伝搬速度は  $10^8$  メートル/秒のオーダー)、1m 以下の精度を実現するならば、1 ナノ秒精度の時刻同期が必要となるためである。現在、最大で 1 マイクロ秒の同期精度であるため、測位精度は 300m 以上になるものと予想される。

## 5 おわりに

本稿では、ToAPS の概要と、Imote2 への実装、また実験方法について述べた。今後は RBS の実装を行い、実験、評価を行っていく予定である。また、今後の課題として、取得する時刻の制約の原因について調査を行う。

## 参考文献

- [1] 徳永雄一, 横田裕介, 大久保英嗣: 無線センサネットワークの時刻同期と位置同定の統合化手法, 電子情報通信学会論文誌 B, Vol.J93-B, No.1, pp.11-22 (2010 年 1 月).
- [2] Imote2, [http://www.xbow.com/Products/Product.pdf\\_files/Wireless.pdf/Imote2\\_Datasheet.pdf](http://www.xbow.com/Products/Product.pdf_files/Wireless.pdf/Imote2_Datasheet.pdf), crossbow, 2009
- [3] Jeremy Elson, Lewis Grid and Deborah Estrin. Fine-Grained Network Time Synchronization using Reference Broadcasts. In Proceeding of the Fifth Symposium on Operating System Design and Implementation (OSDI 2002), Boston, MA. December 2002.