

ITS 通信における高精度な基地局間同期技術

Time Synchronization of Plural Roadside Units in 700 MHz Band Intelligent Transport Systems

山田 雅也*
Masaya Yamada

白永 英晃
Hideaki Shiranaga

浦山 博史
Hirofumi Urayama

齊藤 文哉
Fumiya Saito

安全運転支援システムに使用される通信メディア「700MHz帯高度道路交通システム」では、インフラ設備（路側に設置される無線基地局、以下路側機）と車両に搭載された車載機が通信する路車間通信と車載機相互間で通信を行う車車間通信の両方を時分割制御によって共用する通信方式が採用されている。この方式によると路側機は周囲の車載機に自身の送信期間情報（送信時刻や期間等）を通知し、それを基に車載機は自身の送信タイミングを決める。効率的で安定した時分割制御を行うため、路側機は送信タイミングを正確に合わせ、近隣の路側機との送信タイミングの時刻誤差を少なくする技術（基地局間同期技術）が重要である。本稿では、路側機の同期精度が悪化した場合の通信への影響、原因について調査し、それらへの対策をシミュレーション及びフィールド試験により有効性を確認したので報告する。

The intelligent transport system (ITS) using the 700 MHz band accommodates both Roadside-to-Vehicle Communications (RVC) and Inter-Vehicle Communications (IVC) with a single channel by assigning different transmission time periods for each roadside unit (RSU) and on-board equipment (OBE). As each RSU sends its transmission timestamps and related data (RSU slots) to OBE nearby, each RSU needs to maintain accurate time synchronization for efficient and stable time division control. This paper investigates the causes and effects of the degradation of RSU synchronization and presents a potential solution in simulation and field tests.

キーワード：700MHz帯高度道路交通システム、路車間通信、時刻同期技術

1. 緒 言

安全な道路交通社会の実現を目指して、交通インフラ設備と車両がそれぞれの持つ情報を路車間通信により交換し、それらの情報を基にドライバに安全運転支援サービスを提供するシステムの検討が行われている。路車間通信用の通信メディアとしては、道路上の標識等によって電波が遮蔽されても比較的影響を受けにくい700MHz帯を用いた通信システム（700MHzITS通信システム）が「700MHz帯高度道路交通システム」として2011年12月に制度化され早期実用化が期待されている。本稿では、700MHzITS通信システムの実用化において必要となる、路側機の送信タイミングを高精度に制御する基地局間同期技術について述べる。

2. 700MHzITS通信システムの通信方法

700MHzITS通信システムでは、単一周波数チャンネルで路車間通信と車車間通信を行うことが可能であり、各路側機には、専用の送信期間（RSU*1スロット）を近接する路側機同士がお互いに干渉しないように予め割り当て、残りの時間を各車載機がCSMA*2の手順によって送信（パケット送信）する方式が採用されている。RSUスロットは、送信周期である100ms（ミリ秒）に16個まで設定可能となっており、各路側機はRSUスロットの送信期間情報（ス

ロット開始や終了等の時刻情報）を送信データに含めて周囲に通知し、車載機は路側機からの送信期間情報を基に車載機が送信可能な期間を把握する。一般に路側機は割り当てられたRSUスロットにおいてできるだけ正確なタイミングで送信することができるように、自身の送信タイミングを決めるための路側機内部の時刻情報を内蔵された水晶発振器などの基準信号（ローカルクロック）から作成する。例えば周波数1MHzのローカルクロックをカウンタ回路で百万回カウントすると1秒間を計測することができる。またこの場合、カウンタ回路から得られるカウント値を用いれば1 μ s（マイクロ秒）の分解能でタイミングを計ることが可能である。但しこの場合、路側機の送信タイミングは内部のローカルクロックの周波数精度に依存することになる。

一方、複数の路側機が近接して設置される場合、図1に示す例のように路側機1からの送信期間情報と路側機2からの送信期間情報の時間の誤差が大きい場合、路側機1の送信期間情報から自身の送信可能時間を算出した車載機1からのパケット送信は、路側機1から少しタイミングがずれている路側機2のRSUスロットに時間的に衝突し干渉する可能性がある。特に、都市部の混雑した道路においては、より多くの車載機がパケット送信をするため、干渉する可能性が高まる。

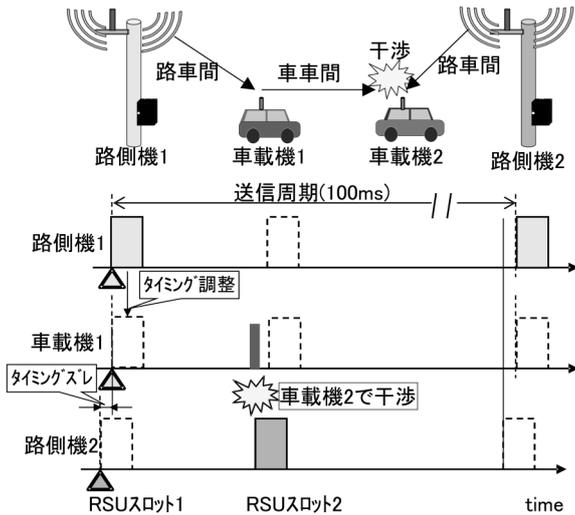


図1 各路側機の送信期間情報の誤差が大きい場合の例

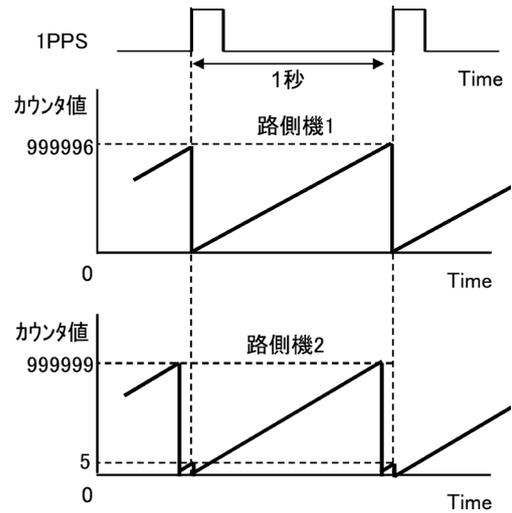


図3 GPS同期の内部動作の例

干渉を回避するために、一般社団法人電波産業会が策定した標準規格⁽¹⁾において、各路側機は16 μ s以下の時刻同期精度を保つことが定められており、各路側機間の送信期間情報の時刻誤差をできるだけ小さくする高精度な時刻同期技術が必要となる。

時刻同期の一般的な方法は、図2に示すようにGPS受信機から1秒周期で得られる信号(1PPS)に同期する方式(GPS同期)と隣接する路側機の送信期間情報を基に自身の時刻情報を修正することにより同期する方式(エア同期)等がある。

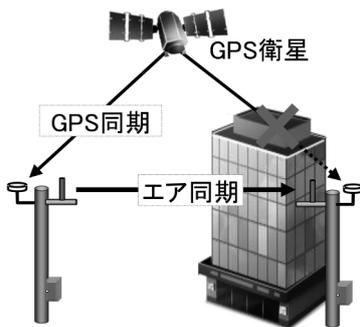


図2 時刻同期の方法

3. GPS同期の方法と課題

GPS同期の例として、2台の路側機(路側機1、2)が1ppsの立ち上がりエッジのタイミングを用いて自身のカウンタ値を補正することにより同期を行う内部動作の例を図3に示す。

この例では、路側機1のローカルクロック周波数は基準より3ppm低く、路側機2のローカルクロックでは6ppm高い。このため路側機1はカウンタ値が999,996になった直後に1PPSの立ち上がりエッジが現れカウンタ値を0にセットしている。一方、路側機2は、カウンタ値が999,999から0に戻り更に5までカウントした時点で1PPSの立ち上がりエッジでカウンタ値を再び0にしている。この方法によると、1PPSの立ち上がりエッジ直後は各路側機のカウンタ値を一致させることができるが、仮に2台の路側機のローカルクロック周波数の精度が+20ppmと-20ppmである場合、これらの路側機間では、1PPSの立ち上がりエッジ直前には、最大40 μ sの差が生じる可能性がある。

3-1 カウンタ補正機能

GPS同期の課題に対して高精度な発振器を路側機のハードに採用することはコストアップにつながるため、ローカルクロックの精度が比較的低い場合でも時刻誤差を抑える機能(カウンタ補正機能)を開発した。図4に、カウンタ補正機能の例を示す。この例では、1秒間のカウンタ値と1PPSから得られる基準カウンタ値との差分を用いて、カウンタ回路のカウンタ値を調整することにより時刻誤差を補正することが可能である。

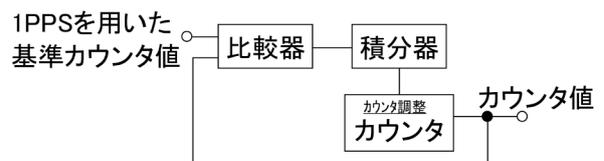


図4 カウンタ補正機能の実現例

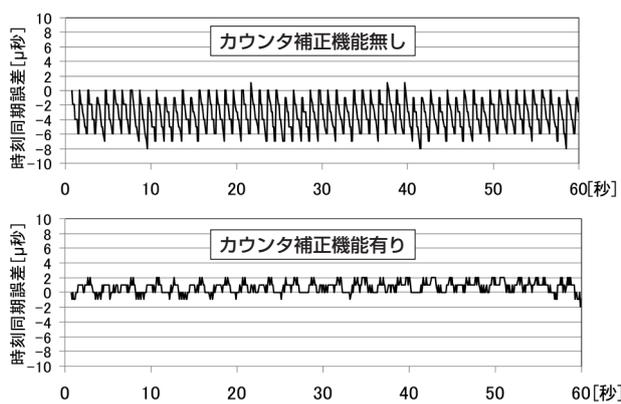


図5 カウンタ補正機能の効果

図5にカウンタ補正機能の実機を用いた効果検証例を示す。カウンタ補正機能がない場合、路側機間の時刻同期誤差は1秒周期で変動している。これは、上述のように、1PPSの立ち上がりエッジのタイミングで誤差がリセットされ、その後各路側機のカウンタ値がローカルクロックでカウントする間に誤差が蓄積するためである。一方、カウンタ補正機能がある場合、誤差が抑えられる傾向が見られた。

3-2 フィールド実験検証

屋外環境での検証のため、5台の路側機を図6のように配置して東京・東銀座の実フィールドで実験を行った。

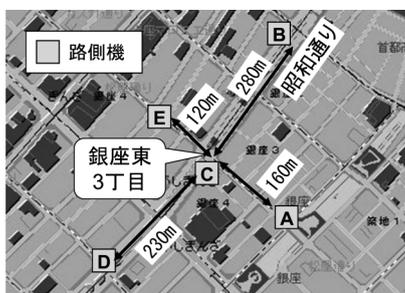


図6 東京・銀座での屋外実験における路側機の配置



図7 実験用路側機と実験風景

本実験では各路側機がGPS同期を行い、カウンタ補正機能をOFFにした状態で、中央の路側機Cと周辺の路側機A、B、D、Eとのそれぞれの時刻誤差を測定した。次に各路側機のカウンタ補正機能をONにして、同様に時刻誤差を継続して測定した。図8に路側機Bにおける路側機Cとの時刻誤差の測定結果を、図9に路側機Cを基準とした場合の路側機A、B、D、Eの時刻誤差の密度分布を示す。

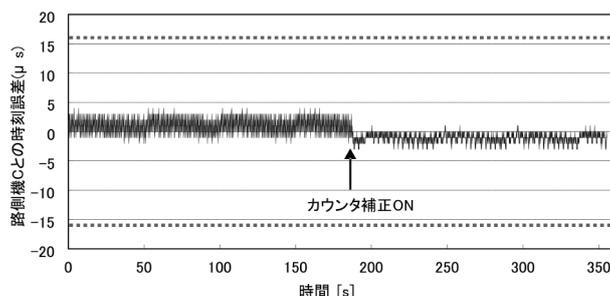


図8 路側機Bにおける路側機Cとの時刻誤差

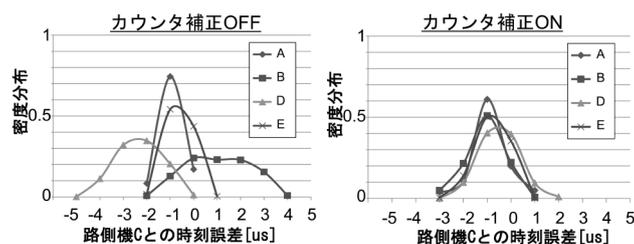


図9 路側機Cと路側機A、B、D、Eの同期誤差の分布

図8に示すようにカウンタ補正機能をONにすると時刻誤差が小さくなる傾向が見られた。また図9からわかるように他の路側機においても同様に時刻誤差が少なくなる傾向が見られ、カウンタ補正機能が有効であることが確認できた。

4. エア同期の方法と課題

エア同期の課題は、①通信環境が悪く、近隣路側機からの受信信号において通信エラーが発生し近隣路側機の送信期間情報が取得できず、自身のローカルクロックのみでカウントするため時刻同期誤差が拡大するケース、②各路側機に設定されたRSUスロットの順序関係によって、自身が送信する直前に受信した路側機の送信期間情報によるカウンタ補正のみに依存し、時刻誤差が悪化するケースの2種類が考えられる。本稿においてはこれらの課題に対して、複数の隣接する路側機の時刻誤差を平均化する方法を提案

し、その効果を検証する。

図10のように、3台の路側機が一行に配置された場合の動作についてシミュレーションで検証する。本シミュレーションでは、各路側機の同期種類、ローカルクロック周波数精度、RSUスロット番号の設定は図10に示す通りである。この例では、路側機Cは、GPS同期中の路側機AからのRSUスロット1の受信情報を基に自身のカウンタを補正し、RSUスロット5で送信を行い、その後GPS同期中の路側機BからのRSUスロット9の受信情報を基に自身のカウンタを再度補正する動作を繰り返す。図11に、シミュレーション結果を示す。



路側機	A	C	B
同期種類	GPS同期	エア同期	GPS同期
クロック精度	+20ppm	0ppm	-10ppm
RSUスロット番号	1	5	9

図10 シミュレーション条件

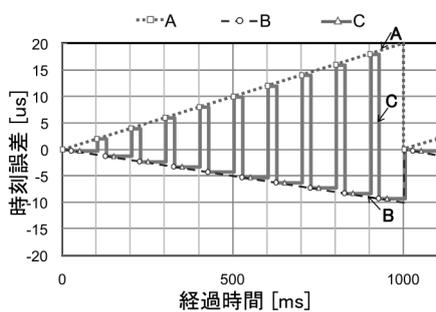


図11 シミュレーション結果 (従来法)

この結果から路側機A、Bはそれぞれ自身のローカルクロックの精度により、時刻誤差が蓄積している。一方路側機Cは、路側機A、BからのRSUスロットを受信するたびに、カウンタの補正を行う動作を行っており、時刻誤差の変動が大きい。但し、RSUスロット番号の順序により、路側機Cの送信は、路側機Aの送信の後なので、路側機Aの影響を受け、結果的に路側機Aの時刻誤差に近い時刻誤差を持つことになる。この例では、時間経過とともに路側機BとCの時刻誤差は拡大し規格値の16μsを超過するので、両路側機間に存在する車載機は、上述したように送信パケットの衝突による干渉が発生する可能性が高くなる。RSUスロットの配置を変えることにより時刻誤差が軽減で

きる例も考えられるが、実運用ではローカルクロックの精度によりスロット配置を入れ替えることは現実的ではなく、別の対策が求められる。

この課題への対策として、一定期間内に受信する複数の隣接路側機との時刻誤差を平均化し、それをカウンタ補正值として用いる方法 (平均化エア同期方式) を提案した。図12に上述の路側機A、B、Cの設定において、本方法を適用した場合のカウンタ補正值の算出方法例を示す。

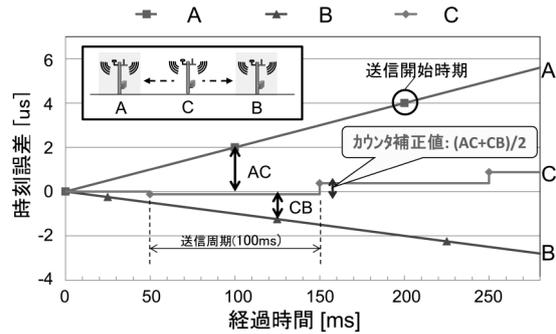


図12 カウンタ補正值の算出方法例

この方法では、複数の路側機との時刻誤差を平均化し、この平均化された値を用いてカウンタ補正を行う。これにより、路側機Cでは、路側機AとBの両方の時刻誤差分を平均化するので、特定の路側機との時刻誤差のみによる影響を軽減することができる。本方法を適用したときのシミュレーション結果を図13に示す。

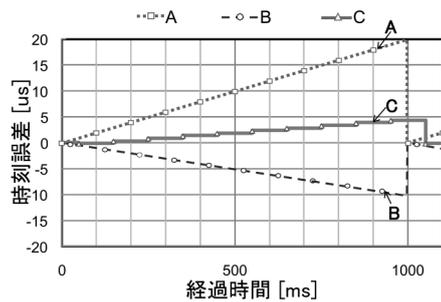


図13 シミュレーション結果 (平均化エア同期)

図13の結果のように、平均化エア同期方式では、路側機Cは、路側機AとB双方との時刻誤差の平均値でカウンタ補正を行うため、特定の路側機との時刻誤差が悪化する状

況を軽減できている。また本方式を用いれば、近隣路側機からの受信エラーが多く、送信期間情報からカウンタ補正が途切れる状況においても、平均化された補正値を保持しそれをカウンタ補正に用いれば、エア同期の課題としてあげた通信環境が悪い場合への対策としても有効であると考えられる。更に各路側機に3-1節で述べたカウンタ補正機能も組み合わせることにより、更に高精度な時刻同期が可能となる。

5. 結 言

700MHzITS通信システムを用いた路側機において必要となるRSUスロットの送信タイミングを高精度に保つ路側機間の時刻同期の検討として、一般的なGPS同期、エア同期技術における実用化の際の課題を調査し、その対策案を示した。さらに、シミュレーション、実機によるフィールド試験により、対策案の効果を確認した。

700MHzITS通信システムを用いた路車協調による安全運転支援システムは、我が国の交通事故及びそれによる死傷者数の低減を実現するための有効な手段として期待されている。本稿で示した路側機間の高精度な同期を実現する技術により、路車協調システム用の路側機の安定運用が期待できる。

6. 謝 辞

本稿で述べた検討内容は、2012年度総務省からの受託プロジェクト「700MHz帯高度道路交通システムの高度利用に関する調査検討の請負」において実施されたものである。

用語集

※1 RSU

Road Side Unit：路側に設置され周辺車両と路車間通信を行う無線基地局装置（本稿では路側機）。

※2 CSMA

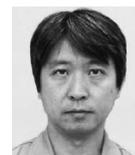
Carrier Sense Multiple Access：送信開始前に、受信動作を行い通信メディアが使用中かを確認し、使用されていないと判断したときに送信を行う方式。

参 考 文 献

- (1) 700MHz帯高度道路交通システム ARIBSTD-T109 1.1

執 筆 者

山田 雅也*：インフォコミュニケーション・社会システム研究開発センター 部長補佐



白永 英晃：インフォコミュニケーション・社会システム研究開発センター 主席



浦山 博史：インフォコミュニケーション・社会システム研究開発センター 主査



齊藤 文哉：インフォコミュニケーション・社会システム研究開発センター



*主執筆者