GPSとNTPを用いた船内コンピュータの時刻整合法

富永 敏明*・添田 忍**・鈴木 治***・安田 明生*

Time Adjustment Method for Onboard Computer with GPS and NTP

Toshiaki TOMINAGA, Shinobu SOEDA, Osamu SUZUKI and Akio YASUDA

Abstract

It is important to synchronize the real time clock with standard time in computer network. The clock of the computer on land can be adjusted through the Internet to the time server for reliable network.

Shipboard LAN or Internet via IMMARSAT is set up quickly onboard. But, some troubles are found in the file maintenance and e-mail exchange onboard, because the clock can not be adjusted to the standard time. It is impossible to connect the clock of the shipboard computer to Internet from the ship on the ocean.

Thus, the authors propose the time adjustment method is for onboard computer with NTP (Network time protocol) and GPS receiver. We improve the 'daytime' protocol to be reinforced with the basis local time and difference from UTC. Then we acquired the data by our system on land and ocean. The results are as follows.

- 1) Time synchronous GPS receiver is best time source among GPS, public NTP through PHS, and Radio clock with low frequency. The accuracy for setting NTP sever is 10ms and it is 50 ms for ocean going vessel.
- 2) NTP server supported by GPS serves to offer the time standard instead of the UTC time signal by short wave broadcasting.
- 3) OS of MS Windows XP can set local time information (LTI) with the aid of the enhanced daytime protocol via shipboard LAN.
- 4) Radio clock by low frequency (JJY - 40 kHz) is good time source and the synchronous precision for NTP sever is 14ms. But it is not useful for ocean going ships, as the service area is limited to around Japanese archipelago.
- 5) The proposed time adjustment method with the precision of 50 ms is useful for time adjustment onboard.

Keywords: GPS, Shipboard LAN, Network Time Protocol, Daytime Protocol, Marine Clock

キーワード: GPS、船内 LAN、ネットワークタイムプロトコル、デイトタイムプロトコル、船内時計

1. はじめに

船上での時刻管理は、主として船内時計の世界時に対する同期維持と、地方時設定とによってなされてきたが、近年の急速なネットワーク化により、船内の Personal Computer(以下 PC)についても同様な時

刻管理が必要となっている。筆者らは、船上における PC 時刻管理の問題点として、基準時刻となる時計から PC への時刻供給ができないこと、インターネット接続による時刻整合ができないこと、そして PC 自体に船内時を設定する機能がないことに注目

* 正会員 東京海洋大学海洋工学部 (〒135-8533 東京都江東区越中島 2-1-6)

** 正会員 航海訓練所 (〒231-8435 神奈川県横浜市中区北仲通 5-57)

*** 正会員 鳥羽商船高等専門学校 (〒517-8501 三重県鳥羽市池上町 1-1)

し、GPS と NTP⁽¹⁾(Network time protocol)を用いた時刻整合法を提案し、陸上及び船上で時刻同期精度計測及び作製したプログラムの検証実験を行った。

なお、本論文では時刻差が生じないように調整する作業を「同期」、時刻差を修正する作業を「整合」と定義する。

1.1 船舶での時刻管理手法

現在、船舶では船舶用水晶時計(Fig.1)を船内の基準時計として採用することが多い。船上での時刻管理業務には、航海士が海域毎に受信可能な各国の報時放送⁽²⁾を受信して船舶用水晶時計の親時計を協定世界時(以下 UTC)に同期させる作業と、モニター子時計の時刻設定を行う地方時管理作業がある。

地方時(Local Time)には入港国の地方標準時だけでなく、航海中の正午位置によって算出される船内時⁽³⁾があり、必要に応じて UTC との時差を変更する時刻改正が実施される。時刻改正時には、船舶用水晶時計の操作により、親時計から同期信号が発せられ、地方時表示用に船内各所に設置された子時計とデータロガーの時刻を一斉に更新できる⁽⁴⁾。乗組員の個人用時計などは最寄りの子時計を見て各自が船内時へ整合させている。

Fig.1 Marine master clock

1.2 船舶への標準時供給の問題点

日本標準時(以下 JST)は、情報通信研究機構から JJY というコールサインを持つ標準電波によって供給されてきたが、2001 年 3 月末以降、短波による報時放送を取り止め、長波での時刻コード放送のみを行うようになった。

時刻コード放送は電波時計など多様な機器で自動的に時刻同期が可能であるが、従来の短波報時放送と違い、受信電波を耳で聞くだけでは時刻が分からないこと、また、利用可能範囲が福島および福岡県の 2 箇所の送信所から半径 1200km の日本周辺に限

定されたことから、洋上を航行中の船舶での利用が困難な状況となった。

1.3 PC 時刻管理の問題点

船上での PC 時刻設定は船舶用水晶時計の子時計を見て手動で行っているが、MS Windows 系の OS では、船内時のような任意の時刻帯を設定できない。

使用者も PC 内部時計の整合についてそれほど注意を払っておらず、船内 LAN 上の共有ファイルや電子メールでのトラブルが生じている⁽⁵⁾。

また、Windows XP の規定値では PC 起動時、自動的にインターネット上の時刻サーバへ接続し、PC 内部時計を整合させるようになっているが、船上でのインターネット接続は困難⁽⁶⁾である。

1.4 本研究の目的

情報通信研究機構が行った原子時計を時刻源とする NTP 実験*で NTP クライアントは、LAN 上で UNIX 系 OS に対して 0.95ms、Windows 系 OS については約 50ms の標準偏差で時刻同期させることができる⁽⁷⁾と報告されている⁽⁷⁾。

本研究は、PC を短波報時放送に替わる船上での標準時供給源として位置づけ、船内 LAN において NTP を用いて陸上と同等の性能で時刻同期させる手法について検討した。

さらに、船上での PC 使用の利便性を高め、ネットワーク内のトラブル防止を図るため、船内時への対応も含めた PC 時刻自動整合手法の確立を目指した。

2. NTP と航法用 GPS による時刻供給

NTP は、UNIX 系 OS 上で、ネットワーク内にあるコンピュータ間の時刻同期を目的として開発されたフリーソフトウェアで、サーバプログラムである ntpd や、サーバの同期状態を示す ntpq、クライアントとして時刻を整合する ntpdate などが公開されている。

これらを NTP サーバとして使用する場合には、原子時計などを時刻源として設定でき、時刻源から得た UTC に同期して自らのネットワークへ時刻を供給する仕組みを有している。時刻の分解能は実装上 10^{-12} 秒である。

一方、これらを NTP クライアントとして使用する場合には、NTP サーバとの接続時間差をもとにネットワーク伝送経路による遅延量を計算し、UTC 情報を調整したうえでコンピュータ内部時計を同期させ

* Experimental NTP Server, <http://www.jst.mfeed.ad.jp>

る機能がある。

さらに伝送経路による遅延量が過大な NTP サーバとの同期を防ぐ仕組みや、複数の NTP サーバの中から最も正確なものを選択する機能をも持つ。

2.1 航法用 GPS からの UTC 供給

GPS 受信機は、測位のみならず、正確な UTC を算出することができる。航法用 GPS 受信機は、自船位置や針路、速力などの航法情報を表示するだけでなく、得られたデータを他の航海計器に供給するため RC-232C やカレントループ方式の出力ポートが用意されている。一般的に船舶では電圧の変化で情報を伝送する RS-232C ポートよりも、電流の変化でデジタル情報を伝送するカレントループポートがノイズに強いので多く用いられていて、データの出力形式は NMEA 形式(National Marine Electronics Association 0813 Standard)に統一されている。

UTC 日付時刻情報は NMEA 形式のデータのうちの \$GPRMC センテンスのデータとして、1 秒ごとに出力されているので、これを船上での時刻源として利用することができる。

2.2 PC 遅延量と NTP を用いた時刻整合

Fig.2 は陸上のインターネット接続環境において、日本標準時を供給する情報通信研究機構が運営する NTP サーバ(一般向けには MFEED が供給)を時刻源として NTP Ver.4.2.0 の ntpdate コマンドを用いて 1 日 1 回、PC を整合した場合の修正量を示す。PC 毎に一定の修正量があり、PCA では 1 日に 8 秒、PC B と PC D は 3 秒、最も少ない PC C でも 0.5 秒の修正が必要で、PC 内部時計の遅延量の大きさと、NTP による時刻整合の必要性が分かる。

Fig.2 Daily time correction by NTP for various PCs

Fig.3 は神戸港に停泊中の航海訓練所練習船「北斗丸」において PC 内部時計を基準として、電波時計から供給された時刻と、PHS 回線を使ったインターネットへの常時接続によって公共 NTP サーバから得た標準時刻との時刻差を表した図である。いずれの時刻差も 12 時間後には約 1 秒に達しており、長時間 PC 内部時計の整合をせずに放置した場合一定の遅延量を生じていく様子を表している。

Fig.3 Time offset of NTP Servers

Fig.4 Diagram of NTP and LTI server system for Shipboard LAN

2.3 船内時に対応する地方時情報の供給

船上では NTP を用いた UTC 同期に加え、各 PC

の使用時刻帯を船内時に設定する操作が必要となる。

この操作を自動的に行うため、Daytime プロトコル⁽⁸⁾を拡張し、使用地方時情報と UTC との時差情報を地方時情報(Local Time Information 以下 LTI)として、LTI サーバから供給することとした。

2.4 GPS と NTP を用いた時刻整合法

Fig.4 は GPS と NTP を用いた時刻整合法のシステム構成図である。NTP サーバは GPS 受信機を時刻源として UTC との同期を行い、船内 LAN サーバへ UTC を供給する。NTP サーバに時刻同期した船内 LAN サーバは UTC と LTI をネットワークに配信する。各 PC では UNIX 系 OS については NTP クライアントが、MS Windows 系 OS については LTI クライアントプログラムが内部時計を船内時へ整合させることになる。

3. 陸上実験

通常、NTP サーバには時刻同期用 GPS 受信機が使用されているが、Fig.4 の仕組みの汎用性を高めるには、船舶で利用している航法用 GPS 受信機を時刻源としなければならない。そこで航法用 GPS 受信機が正確に標準時を供給できるかを確認するため、鳥羽商船高専において手持ちの GPS 受信機を利用して標準時との比較を行った。

比較対象として、JST を提供し精度が評価されている MFEED との接続によって JST に時刻同期した NTP クライアントを用いた。また、GPS 受信機のアンテナは 4 階屋上に設置し、カレントループ方式の出力についてはコンバータ(ラインアイ社製: SI-10FA)を付加して RS-232C 形式に変換して計測を行った。

3.1 出力形式と遅延量

Table 1 は、航法用 GPS による NTP サーバと、JST と同期した NTP サーバとの遅延を示したものである。

Table 1 Constant delay of GPS output type

Model (Type of Transfer)	Constant Delay
FURUNO GP-80(Current Loop)	380ms
FURUNO GP-36(RS-232C)	737ms
FURUNO GP-36(Current Loop)	951ms
JRC JLR-5500(RS-232C)	3043ms

プレジャーボート用 DGPS 受信機 GP-36 の RS-232C 方式とカレントループ方式では、後者の方が 200ms ほど遅く、大型船用の GP-80 ではカレントル

ープにもかかわらず、遅延は 380ms であった。

今回、同一機種を複数個持ち合わせていなかったため、これら遅延量が、機器特有の値であるのか、個体による差なのかは判断できないが、事前に遅延量を計測しオフセットを設定することで、航法用 GPS 受信機でも NTP サーバが構築できる。

また、航法用 GPS から各種計器に UTC を含む航法情報が供給されているが、遅延量が含まれていることを認識した上で運用しなければならないことが分かった。

なお、時刻同期用 GPS ではオフセットが予め決定されているので設定は不要である。

3.2 時刻源ごとの連続時刻同期

Fig.5 は、GP-36 と 40kHz の長波報時放送を受信して毎分同期を試みる電波時計(Tristate 製)を時刻源とする NTP サーバ及び 2 つの公共 NTP サーバと MFEED に同期させた NTP サーバのとの時刻のずれ(Time offset)を ntpdate コマンドによって 5 分ごとに計測したものである。

Fig.5 Time offset of various NTP Servers

GPS による時刻は安定した時刻差であるのに対して、公共 NTP にはばらつきが見られる。なお、電波時計の受信には屋外に設置したプリアンプ内蔵の長波専用アンテナ(RF Systems 社製 LF-150)を利用したが、外来雑音のため受信不能になり、時々同期が外れることが分かった。

Table 2 は同様の方法で各種 GPS 受信機及び電波時計を時刻源とするそれぞれ NTP サーバそれぞれの Time offset を 24 時間計測した時の標準偏差を示したものである。

時刻同期用 GPS(Garmin 製 eT36tm)では、Time offset の標準偏差は 0.8ms であり、UTC と同期して出力されている PPS(Pulse Per Second)信号の公称精度は $\pm 1\mu s$ であるが、この NTP の時刻比較精度は 1ms であった。

Table 2 Standard deviation of Time offset various

Time sources			
Time source	model		St. Dev.
DGPS for Ocean Going ship	FURUNO GP-80		53ms
DGPS for Pleasure Boat	FURUNO GP-36		8ms
Portable GPS	JRC JL-5500		402ms
DGPS for Time Syncro	Garmin eT36tm		1ms
Radio Clock	Tristate (JJY-40kHz)		14ms
Public NTP Sever	ntp2.jst.mfeed.ad.jp		17ms

一方、航法用 GPS においても、大型船用及びプレジャーボート用では、標準偏差がそれぞれ、50ms 程度と 8ms であり、目標値に達している。

携帯型 GPS では 400ms と目標値に達してはいないものの、自動的に時刻整合が行えるという意味では、一考の余地はあると思われる。電波時計についても標準偏差 14ms であり、目標値以内であった。

4. 船上実験

実船実験に使用した船舶の要目及び実験海域を Table 3 に示す。

Table 3 Principal dimension of onboard experiment

	T.S. Hokuto Maru	T.S. Kaiwo Maru
Type	SteamTurbineVessel	Sailing Vessel
LOA	124.80m	110.09m
Gross ton	5877.19 t	2556 t
Exp. Area	Japan	Pacific Ocean.
OS	FreeBSD 4.3	FreeBSD 5.0
NTP	NTP Ver.4.2.0	NTP Ver.4.1.0

4.1 時刻源ごとの NTP サーバ時刻同期精度

航法用 GPS の GP-36 と電波時計を時刻源とする NTP サーバそれぞれの時刻を比較する実験を「北斗丸」船上で行った。なお、GP-36 のアンテナとして GPS アンテナ内蔵の磁界型 DGPS アンテナを羅針儀

Fig.6 Antenna Location on Hokuto Maru

甲板に設置した。また、電波時計には北斗丸既設の逆L型アンテナ(92m 長)に専用のアンテナカップラを介して受信回路に接続することとした(Fig.6)。

Fig.7 Time offset about NTP Server with various time sources

Fig.7 は青森錨泊前後における時刻源ごとの時刻同期精度計測結果を示す。錨泊後には PHS 回線が使用できたため、2つの公共 NTP サーバに接続した結果も併せて示している。

青森錨泊前、航行時の GPS と電波時計の時刻差の標準偏差は 14ms と 11ms であり、陸上実験とは数 ms の差が生じているが、いずれも目標値以内であり、航法用 GPS と電波時計による NTP サーバは航行中の船舶においても有効であることが分かった。

なお、錨泊後の PHS 回線接続による公共 NTP サーバでは時刻差の標準偏差が 242ms 及び 112ms と航法用 GPS と電波時計に比べ 10 倍近く大きく、PC 時刻同期精度 50ms の目標値に達しないことが確認された。

また、電波時計では錨泊後、同期精度が著しく低下しているが、これは、外来ノイズによって受信不能となり、NTP サーバが同期を外されたことが原因である。

4.2 NTP による時刻情報の船内利用

航海訓練所練習帆船「海王丸」において、船内 LAN を用いた時刻同期実験を行った。今回は時刻同期精度を更に向上させるため、時刻同期用 GPS 受信機 (Garmin 製 MARS15HTMt、PPS 公称精度 $\pm 1\mu s$) を利用した NTP サーバ (Fig.4 の Stratum1 に相当) を設け、船内 LAN を構成する既設ファイルサーバと船陸間通信用サーバの 2 台 (Stratum2 に相当) に NTP サーバをインストールし Stratum1 と 2 による階層構造を導入して日本とニュージーランドを往復する訓練航海中、長期にわたって時刻整合法を利用する実験を行った。

それぞれのサーバ間の時刻差は、時刻同期用 GPS を用いた NTP サーバでは、1ms 以下の時刻差しか生じず安定していたが、ファイルサーバと船陸間通信用サーバについては 2ms の変動が見られた。このこ

とから、NTP サーバの時刻同期精度はコンピュータやネットワークの負荷によって変動するため、船内 LAN サーバへ時刻源を直接接続せず、専用 NTP サーバを設けて階層構造を持たせれば、精度向上が可能であろう。

4.3 共有ファイルによる PC での船内時の表示

海王丸では NTP により時刻整合した PC 上に船内時、JST、UTC、UTC との時差、目的地の地方標準時などの情報表示と、必要に応じて時分を wave ファイルを用いてアナウンスするプログラムを作製し、航海中、PC で利用する他、船内テレビアンテナ分配ケーブルを経由した船内放映を行った。

Fig.8 はファイルサーバ内に共有ファイルとして保存された UTC と LTI をもとに、時刻を表示するプログラムで、PC の時刻は変更せずに船内時を表示する。Fig.8 の画面の表示時刻を視覚で、日本以外の国が行っている短波報時放送を聴覚で比較したところ常時、時刻差を感じる事がなく、GPS と NTP を利用したコンピュータの時刻整合法を応用する仕組みが短波報時放送の代替手段となることが確認できた。

Fig.8 Time Information Broadcast Program

4.4 PPS による同期精度の検証

太平洋上を航行中の海王丸において、時刻同期用 GPS 受信機の PPS 信号出力を FreeBSD の PPS 同期機能を使って、NTP 同期精度の検証実験を行った。

ここでは通常の NMEA 出力に同期させた NTP サーバと、NMEA 出力と PPS 信号出力との両者に同期させた NTP サーバとの時刻差を測定した。ただし、UTC との同期状況は計測の対象としていない。

NMEA 出力のみの場合 10ms 程度の時刻差を生じたが、PPS 信号を利用した NTP サーバではほとんど変動が見られなかった。

5. LTI サーバとクライアントの実装

船内で利用者の多い MS Windows 系 OS の時刻設定法では、レジストリに登録されていない時刻帯は、全て UTC-12 時間の時刻帯と認識され、船内時の設定ができない。

Visual Basic Ver.6.0 の GetTimezoneInformation 関数と SetTimezoneInformation 関数を用いたクライアント用時刻整合プログラム(Fig.9)によって、PC 時刻整合とレジストリへの時刻帯登録を同時に行い PC への船内時設定が可能となった。

Fig.9 LTI client program for Windows XP

6. まとめ

本研究では、航法用 GPS と NTP を用いた時刻整合法の陸上及び実船実験および試作ソフトウェアの使用を通じて以下のことが確認された。

- 1) 船上で使用する NTP サーバの時刻源として、PPS 信号出力のある時刻同期用 GPS 受信機を用いれば容易に無調整で UTC に同期でき、PPS を用いない場合でも 10ms 程度の同期精度が得られた。
- 2) 航法用 GPS を NTP サーバの時刻源とした場合、受信機から NTP サーバまでのデータの伝送遅延を計測する必要があるものの、50ms 程度の同期精度があり、日常利用に必要な精度を確保できる。
- 3) 試作した NTP サーバから時刻を取得、表示するソフトウェアは、短波報時放送の代替手段とすることができた。
- 4) NTP サーバを階層構造にすると、クライアントからの接続を最小限に抑えられ、同期精度が数 ms 向上する。
- 5) 本研究で提案した Daytime プロトコルの拡張と、レジストリの追加登録によって MS Windows 系 OS でも、標準では不可能な船内時の設定が可能となった。
- 6) 受信可能範囲が 1000km 程度と狭いながら、電波

時計の時刻同期精度は航行中の実験により、航法用 GPS 受信機と同程度の同期精度を持ち、船舶での利用にも有効であった。

このように、既存の航法用 GPS や陸上用の電波時計が NTP によって船内の PC 時刻を容易に同期できることが明らかになった。ただし、これらの機器を利用する場合は、UTC 出力遅延量を、精度の高い標準時供給源を持つ陸上で行うか、時刻同期用の GPS を利用して計測する必要がある。

時刻同期 GPS 受信機は航法用 GPS よりも廉価になっているので、時刻同期用 GPS と NTP サーバを船内に設置することは実用性が高いといえる。

謝辞

実船実験にご協力くださいました航海訓練所練習船「海王丸」「北斗丸」の皆様に深く感謝の意を表します。

参考文献

- (1) インターネット RFC 辞典：アスキー社、pp.352-355
- (2) 船舶通信士労働組合技術専門委員会編：世界無線通信資料、pp.648-650, pp.703-706 無線通信社、2002 年
- (3) 長谷川健二：天文航法、pp.45-48, p.341、海文堂、昭和 54 年 3 月 15 日
- (4) 井関 貢：新訂航海計器学、p.163、海文堂 昭和 52 年 3 月 20 日
- (5) 鈴木 治、Borje Fossell 安田明生：インターネット標準技術を使った船員のための陸船間の電子メールシステムの提案、日本航海学会論文集、第 104 号、pp.71-77 2001 年 3 月
- (6) 鈴木 治：船陸間メールインターネット利用の将来について、航海学会誌 Vol.158, pp.10-19、2003 年 12 月
- (7) 佐藤克久、浅利一善：NTP 時刻同期精度の OS 依存性について、融合科学研究所技術研究会報告、pp.263-266、2002 年。
- (8) J.Postel：Daytime Protocol, RFC 867

質疑応答

笹尾 昭（古野電気株式会社）：

自動的に船内時計を整合させる必要性・可能性はありますか。

鈴木 治：

チェックをする作業は省けませんが、業務の簡素

化のためには自動化の必要性は十分にあります。最新型の舶用水晶時計には GPS 受信機との接続により自動的に時刻整合と地方時管理をさせる機能を持つものがありますが、船内 LAN に対応するものではありません。

本研究で明らかになったように NTP の使用は時刻源と船内 LAN を通じたコンピュータの時刻同期に有効であり、舶用水晶時計の機能に NTP 及び本研究で提案する LTI 機能を組み込めば、これらを一元化することができることを示しています。

吉村和昭（桐蔭横浜大学）：

船舶においての電波時計の利用の現状を教えてください。（電波時計は船舶では有用なのか）

鈴木 治：

現状において、船舶ではほとんど使用されていません。世界中を航行する船舶では、海域ごとに受信できる放送を利用することになりますが、各国の時刻コードがまちまちであることや、電波時計を新たに設置しなければならないこともあり、利用には困難な状況であると言えます。

しかし、本研究の船上実験でも、目標の時刻同期精度であることが分かりましたので、世界中のあらゆる海域で受信できる放送体制と、各国の時刻コードに対応する受信機が登場すれば、船舶での時刻源として十分有益であると思われます。