

METODE DE TRANSMITERE A TIMPULUI ȘI FRECVENȚEI

TIME AND FREQUENCY DISSEMINATION METHODS

Anca NICULESCU

INSTITUTUL NAȚIONAL DE METROLOGIE/*NATIONAL INSTITUTE OF METROLOGY*

Rezuma: Sistemele de telecomunicații utilizează informațiile de timp și frecvență pentru generarea frecvențelor purtătoare și a bitului de sincronizare a fazei. Rețelele de calculatoare necesită sincronizarea nodurilor distante în vederea facturării și a nevoilor de comutare specifice telecomunicațiilor. Rețelele de comunicații din domeniul militar și bancar au cerințe specifice referitoare la sincronizarea datelor criptate precum și a echipamentelor de decriptare. De asemenea, etaloanele de frecvență sunt folosite, atât în stațiile de emisie radio și televiziune, pentru comunicațiile prin intermediul sateliților, cât și de către companiile de energie electrică pentru menținerea frecvenței liniilor de alimentare. Toți acești utilizatori au nevoie de informații privind scara de timp, intervalul de timp și respectiv frecvență cu exactități de ordinul nanosecundelor și chiar unii dintre ei au nevoie și de trasabilitate demonstrată pentru aceste mărimi.

Cuvinte cheie: scară de timp, interval de timp, etalon de frecvență, sincronizare

Abstrac: Communication systems use both time and frequency to maintain carrier frequencies and data-bit phase timing. Computer networks need to synchronize distant nodes for billing and communications switching purposes. Military and banking communications networks have special timing requirements for synchronization of data encryption and decryption equipment. Frequency standards are required for radio and television stations, as well as for satellite communications transmitters and also for electrical power companies to maintain line frequency. All these users require some combination of precise time scale, time interval and frequency that attains accuracies measured in nanoseconds and also some of them need traceability.

Key words: time , time interval, frequency standard, synchronization

1. INTRODUCERE

În ultimii ani dezvoltarea tehnologiilor referitoare la telecomunicații, transport/navigație, păstrarea scării de timp și urmărirea în spațiu au impus cerințe stricte asupra informațiilor de timp și frecvență.

În general, se poate considera ca suficientă compararea etaloanelor de frecvență sau a scărilor de timp prin măsurări directe efectuate în laborator. Totuși există nevoia de a cunoaște timpul și frecvența în locuri aflate la mare distanță de un laborator de timp și frecvență. Pentru a satisface aceste nevoi a fost necesară transmiterea acestor informații la distanță.

Majoritatea metodelor de transmitere utilizează diferite tipuri de transmisii radio, fie cu emițătoare dedicate transmișiei timpului și frecvenței, fie prin sisteme de sine stătătoare cum sunt sistemele de navigație și televiziunea. Astăzi cel mai exact mod de transmitere a timpului și frecvenței se realizează prin intermediul sistemului de sateliți și a rețelelor de comunicație în domeniul microundelor.

1. INTRODUCTION

In recent years advances in technologies of communication, transportation/navigation, time keeping and space tracking have placed stringent requirements on time and frequency information.

In general, one might consider that optimum comparison of frequency standards or time scale to be performed side by side measurements in a laboratory. However, many needs of time and frequency are at great distances from a time and frequency laboratory. For this reason was necessary the dissemination of these information.

The majority of dissemination methods employ different types of radio transmission, either in dedicated time and frequency emissions or by independent established system such as navigation and television. The most accurate mean of time and frequency dissemination today is through satellite systems and microwave communication network.

2. TRANSMITERE - CONCEPTE

Există mai multe concepte de bază implicate în transferarea informației de timp și frecvență incluzând data, frecvența sau intervalul de timp și respectiv sincronizarea în timp/frecvență.

Prin dată se înțelege timpul dintr-o zi, adică reprezintă marcarea unei eveniment cu referire la o origine. Timpul unui eveniment poate fi măsurat în ore, minute și secunde și o dată calendaristică. Un interval de timp reprezintă măsurarea unei durate și poate fi măsurată prin numărul de secunde dintre două evenimente. Frecvența este definită ca numărul de evenimente care au loc într-un interval de timp.

Orologiile sincronizate citesc același timp pentru un moment dat, deși, nu neapărat, având drept referință o scară absolută de timp. Sincronizarea este absolut necesară pentru coerența sistemului de comunicații.

Încă din trecutul îndepărtat, evoluția transmiterii timpului și frecvenței a marcat un progres continuu spre un transfer al timpului, la distanțe mari, cât mai exact, așa cum este ilustrată în Figura 1 [1].

2. DISSEMINATION CONCEPTS

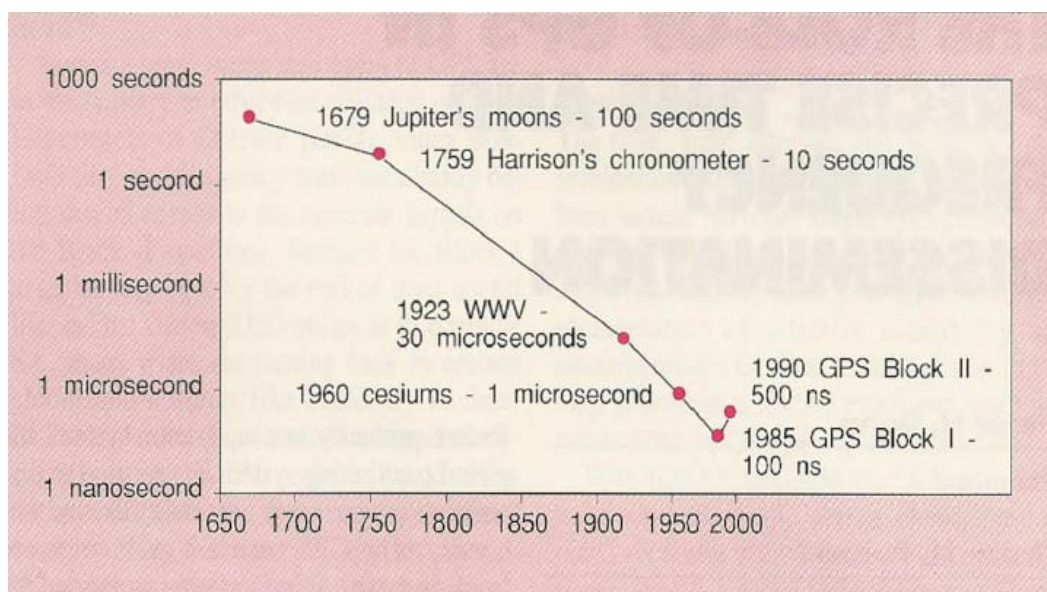
There are several basic concepts implicit in the transfer of time and frequency information, including date, frequency or time interval and time/frequency synchronization.

By date we mean time of day, in other words is the marking of an event with respect to a reference origin. Time of an event might be measured by hours, minutes, seconds and a calendar date. A time interval is a measurement of duration and might be measured by the number of seconds between two events. Frequency is the measure of the number of events that occur within a time interval.

Synchronized clocks read the same time at a given point in time, although not necessarily on the basic of an absolute time scale. Synchronization is absolute necessary for a coherent communication system.

For most past, the history of time and frequency dissemination has been a steady advancement toward more accurate time transfer between distant locations, as illustrated in Figure 1 [1].

Fig. 1. Tehnici de transmitere a timpului/*Time dissemination techniques*



Timpul și frecvența au fost transmise, până relativ recent, de la referință, utilizând orologii cu cesiu portabile care erau comparate cu orologiul de referință și apoi transportate în alt laborator și comparat din nou, cu orologiul laboratorului. Deși foarte costisitoare și consumatoare de timp, această metodă permitea

Time and frequency were transferred, until recently, from reference standards using portable cesium clocks that are compared with the reference clock, transported to the remote location, and compared with the remote laboratory clock. Although time consuming and expensive, this method does

transmiterea timpului cu exactitate de o microsecundă.

Alte metode de transmitere a timpului și frecvenței au utilizat stațiile de transmisie radio pe frecvențe înalte operate de laboratoarele de timp din diferite țări [2]. Timpul și intervalul de timp puteau fi extrase din aceste semnale radio cu exactități cuprinse între 1 ms și 10 ms, iar frecvența cu o exactitate cuprinsă între 1×10^{-10} și 5×10^{-12} .

Există un număr de elemente comune care caracterizează majoritatea sistemelor de transmitere a timpului, respectiv frecvenței, dintre care merită menționate: exactitatea, ambiguitatea, repetabilitatea, acoperirea, disponibilitatea în timp a semnalului, încrederea, ușurința în folosire, costurile la utilizator precum și numărul de utilizatori.

Identificarea, sincronizarea și etalonarea întâzierilor sunt cele trei operațiuni comune tuturor schemelor de transmitere. Aceste operațiuni trebuie efectuate atât la stația de emisie, cât și la stația de recepție a utilizatorului.

3. METODE DE TRANSMITERE

Acest capitol încearcă să prezinte cele mai utilizate metode de transmitere a informațiilor de timp și frecvență.

Undele radio sunt cele mai utilizate metode de transmitere și au oferit un mediu atractiv pentru transmiterea semnalelor etalon de timp și frecvență, începând cu anii 1990.

Mediul de propagare utilizat de aceste semnale, incluzând solul, atmosfera și ionosfera împreună cu caracteristicile fizice și electrice ale transmițătoarelor și receptoarelor, influențează stabilitatea și exactitatea semnalelor radio recepționate, în funcție de frecvență și lungimea drumului parcurs de semnal.

Tehnicile de transmitere radio includ sistemele dedicate, ca transmisiile radio VLF (frecvențe foarte joase), LF (frecvențe joase) și HF (frecvențe înalte); sisteme de navigație și metode care folosesc televiziunea, sateliții și semnalele de microunde [3,7]. Tehnologiile actuale ale sistemelor de transmitere a timpului și frecvenței includ atât etaloane atomice, cât și stații radio de joasă și înaltă frecvență.

Sistemele de radio navigație, Omega și Loran-C, au caracteristici comune cu stațiile de radio emisie a semnalelor etalon de timp și frecvență.

Semnalele de navigație Omega și VLF acoperă o bună parte din suprafața Pământului și permit, ținând seama de variațiile ionosferei și de interferențe, transmiterea informațiilor de timp cu o exactitate de două până la zece

provide time transfer with one microsecond accuracy.

Other methods for time and frequency dissemination used high frequency radio time services maintained by more than dozen time laboratory from different country [2]. Time, frequency and time interval can be derived from these signals with time accuracies ranging from 1 to 10 ms and fractional frequency accuracies from 1×10^{-10} to 5×10^{-12} .

There is a number of common elements that characterize most of the time / frequency dissemination systems. Among them the most important are: accuracy, ambiguity, repeatability, coverage, availability of time signal, reliability, ease of use, cost to the user and the number of users served.

Identification, synchronization and delay calibration are three operations that are common to all time dissemination schemes. This identification, synchronization and calibration must be performed at both the sender and the user stations.

3. DISSEMINATION METHODS

This chapter attempts to present the most used time and frequency dissemination methods.

Radio wave is essential to most dissemination methods and has offered attractive means of transferring standard time and frequency signals since the early 1990's.

The propagation media, used by these signals, including the earth, atmosphere and ionosphere as well as physical and electrical characteristics of transmitters and receivers, influence the stability and accuracy of received radio signals, dependent upon the frequency of transmission and length of signal path.

The radio dissemination techniques include dedicated systems, such as VLF (very low frequency), LF (low frequency) and HF (high frequency) broadcasts; navigation systems and methods using television, satellites and microwave signals [3,7]. Current time and frequency dissemination technologies include atomic standards and both high and low frequency radio services.

The radio navigation systems, Omega and Loran-C, have common characteristics with the standard time and frequency radio emissions.

Omega navigation and VLF (very low frequency) communication signals cover much of the globe and can, with careful attention to ionospheric variations and modal interference, be used for time dissemination within 2 to 10

microsecunde. Aceste sisteme permit și transmiterea frecvenței cu exactitate de câteva unități de 10^{-11} .

Loran-C este o altă metodă utilizată pentru transmiterea atât a informațiilor de timp și de frecvență [4]. Proiectată inițial ca un sistem de navigație, Loran-C transmite semnale purtătoare de 100 kHz, modulate de impulsuri precis controlate, care se propagă ca unde de suprafață, cu faza stabilă, pe distanțe de mii de kilometri. Loran-C poate furniza frecvența cu o exactitate de 1×10^{-12} , iar timpul poate fi obținut cu exactitate de câteva microsecunde.

Transmiterea semnalelor de timp și frecvență prin intermediul semnalelor de televiziune a devenit o tehnică utilă și folosită în multe țări în cursul anilor 1970. Sistemul prezintă o stabilitate pe termen lung (câteva zile) de ordinul a 10^{-12} și permite transmiterea informației de timp cu o exactitate mai bună de o microsecundă la nivel local.

În prezent, cea mai avantajoasă metodă de transmitere o reprezintă sistemul global de sateliți (GPS) ce permite furnizarea cu exactitate a timpului, intervalului de timp și a frecvenței.

În timp ce receptoarele pentru navigație și supraveghere folosesc timpul GPS pentru calcularea poziției, receptoarele specifice nevoilor timpului și frecvenței utilizează transmisiunile sateliților GPS pentru controlul semnalelor de timp și al oscilatoarelor. Sistemul GPS oferă posibilitatea măsurării exacte a timpului la nivel global. În întreaga lume, timpul UTC (Timp Universal Coordonat) poate fi măsurat cu exactitate în limitele a (1...60) ns, cu ajutorul acestui sistem.

În funcție de modele de receptoare GPS, există diferite categorii de măsurări utilizate în domeniul metrologiei timpului și frecvenței [5]. Aceste măsurări pot fi împărțite în trei categorii: one-way, common-view și purtătoare de fază.

Majoritatea măsurărilor GPS efectuate în laboratoare de încercări sau de etalonare sunt măsurări de tip one-way.

Măsurările common-view și purtătoare de fază implică un efort mai mare, necesitând prelucrarea ulterioară a datelor de măsurare. Din acest motiv, ele sunt utilizate, în general, pentru comparațiile internaționale dintre laboratoarele de metrologie atunci când incertitudinea de măsurare trebuie să fie cât mai mică posibil. Tabelul 1 prezintă o comparație a diferitelor tehnici de măsurare.

microsecond range accuracy. These systems can also disseminate frequency with several units in 10^{-11} accuracy.

Loran-C is another method used to disseminate both time and frequency information [4]. Design primarily as a navigation system, Loran-C signals use a 100 kHz carrier modulated by precisely controlled pulses that propagate as ground waves with stable phase over distance of thousands of kilometers. That Loran-C can provide frequency accuracy of 1×10^{-12} and time can be obtained with accuracies of several microseconds.

Time and frequency dissemination via television signals have become a valuable and useful technique used in many country during 1970's. The system shows a long term (several days) stability of a few 1×10^{-12} and can transfer real time to submicrosecond accuracy in local service area.

Presently, the most advantageously dissemination method is the global satellite positioning system (GPS) which provides precise time, time intervals and frequency.

While navigation and survey receivers use GPS time to aid in computation of position solutions, time and frequency receivers use GPS satellite transmissions to control timing signals and oscillators. The GPS provides us with the opportunity of measuring time exactly on a global basis. Right around the world "time" (UTC - Universal Time Coordinated) can be accurately determined to within (1...60) ns with the help of the satellite positioning system.

As implied by the different types of receivers, there are several different types of GPS measurements used in time and frequency metrology [5]. These measurements can be divided into three general categories: one-way, common-view and carrier-phase.

The majority of GPS measurements made in calibration and testing laboratories are one-way measurements.

Common view and carrier-phase measurements require more effort, including post-processing of the measurement data. For this reason, they are usually reserved for international comparisons between metrology laboratories when the measurement uncertainties must be as small as possible. Table 1 compares the GPS measurement techniques.

Table 1. Incertitudini de măsurare tipice măsurărilor ce utilizează GPS
Table 1. Typical Uncertainties of GPS Measurement Techniques.

Technique	Timing Uncertainty 24 h, 2σ	Frequency Uncertainty 24 h, 2σ
One-Way	< 20 ns	< 2×10^{-13}
Single-Channel Common-View	=10 ns	= 1×10^{-13}
Multi-Channel Common-View	< 5 ns	< 5×10^{-14}
Carrier-Phase Common-view	< 500 ps	< 5×10^{-15}

În domeniul transmiterii timpului și frecvenței este deosebit de importantă furnizarea serviciilor de etalonare la distanță, pentru mijloacele de măsurare a frecvenței, cu o incertitudine de etalonare de circa 10^{-12} .

Deasemenea, pentru compararea etalanelor de frecvență ultra stabile, în curs de dezvoltare, este necesară găsirea unei metode de transfer mult mai precise, care să permită obținerea de incertitudini de ordinul 10^{-15} sau mai bune.

În prezent, sunt propuse două metode ce utilizează rețelele de fibră optică și care satisfac aceste cerințe [6,7].

Prima metodă, este o metodă economică de etalonare la distanță și care folosește rețeaua existentă de fibră optică pentru comunicații.

Stabilitatea măsurată a frecvenței (varianța Allan) utilizată la transmiterea informației este de 2×10^{-13} , mediată pe zi. Acest rezultat este promitător pentru realizarea unui serviciu de etalonare la distanță a frecvenței. Rețeaua sincronă de comunicații prin fibră optică ar putea fi utilizată pentru aplicarea acestei metode.

A doua metodă, este o metodă de transfer two-way ultra precisă pe fibră optică a timpului și frecvenței care utilizează un nou amplificator optic bi-direcțional. În această metodă, semnalul de multiplicare/divizare (WDM) este transmis printr-o singură fibră optică. Măsurările preliminare ale stabilității frecvenței au valori mai mici de 10^{-15} ($\tau = 104$ s) pentru 100 km de fibră folosind amplificatorul bi-direcțional. Rezultatul obținut sugerează posibilitatea ca această metodă să contribuie la îmbunătățirea TAI (Timp Atomic International) și a UTC.

In the time and frequency transfer and dissemination field, it is of great importance to provide cost effective remote frequency calibration services with an uncertainty of around 10^{-12} for end users.

For the comparison between ultra stable frequency standards which are under developing, it is also necessary to develop ultra precise transfer methods with an order of 10^{-15} or better uncertainty.

Currently, two methods are proposed using optical fiber networks to satisfy these demands [6,7].

The first one is an economical remote calibration method using existing synchronous optical fiber communication networks.

The measured frequency stability (the Allan deviation) of the transmission clock is 2×10^{-13} for an averaging time of one day. The result indicates the method is promising for the simple remote frequency calibration service. Existing synchronous optical fiber communication networks can be used in this method.

The second method, it is an ultra precise two-way optical fiber time and frequency transfer method using a newly proposed bi-directional optical amplifier. With this method, wavelength division multiplexing (WDM) signals are transmitted along a single optical fiber. The preliminary measured frequency stability is less than 10^{-15} ($\tau=104$ s) for a 100 km-long fiber with the bi-directional amplifier. It suggests that the method has capability for improving TAI (International Atomic Time) and UTC (Coordinated Universal Time).

4. CONCLUZII

Sistemul GPS a devenit cel mai utilizat sistem pentru transmiterea timpului și frecvenței. Semnalele sunt disponibile aproape oriunde pe Pământ și furnizează o conexiune convenabilă pentru stabilirea trasabilității la etaloane naționale și internaționale. Diferitele metode de măsurare oferă suficientă versatilitate pentru a răspunde cerințelor rețelelor de telecomunicații, laboratoarelor de etalonare și încercări și nevoilor laboratoarelor naționale implicate în realizarea TAI și UTC.

Incertitudinea măsurărilor este cuprinsă în intervalul 10^{-13} ... 10^{-15} (2σ , mediere pe o zi) în funcție de metoda utilizată.

REFERINȚE

- [1] Peter H. Dana, The Role of GPS in Precise Time and Frequency Dissemination, GPS World, July/August 1990
- [2] M. A. Lombardi: NIST Time and Frequency Services “, NIST Spec. Publ. 432, 2002 Edition
- [3] Thomas E Parker and Demetrios Matsakis, Time and Frequency Dissemination, GPS World, november 2—4
- [4] C.E.Potts, B. Wieder, Precise Time Dissemination via Loran-C system, Proceedings of the IEEE 06/1972; 60(5):530- 539
- [5] J. Levine: Time and frequency distribution using satellites, Rep. Prog. Phys. 65, (2002), pp. 1119–1164
- [6] Jun Ye, Jin-Long Peng, R. Jason Jones, Kevin W. Holman, John L. Hall, David J. Jones, Scott A. Diddams, John Kitching, Sebastien Bize, James C. Bergquist, Leo W. Hollberg, [1] Lennart Robertsson and Long-Sheng Ma, „Delivery of high-stability optical and microwave frequency standards over an optical fiber network“, J. Opt. Soc. Am. B **20** (7), 1459 (2003);
- [7] D. Piester, M. Rost, M. Fujieda, T. Feldmann, A. Bauch, Remote atomic clock synchronization via satellites and optical fibers, Advances in Radio Science, March 2011

Revizie științifică:

Dragoș BOICIUC, doctor, cercetător științific I, e-mail: dragos.boiciuc@inm.ro

Despre autor:

Anca NICULESCU, doctor, cercetător științific II, e-mail: anca.niculescu@inm.ro

3. CONCLUSIONS

GPS has become the primary system for distributing time and frequency. The signals are available nearly anywhere on earth, and provide a convenient link for establishing traceability to national and international standards. The several types of GPS measurements provide enough versatility to meet the requirements of telecommunication networks, calibration and testing laboratories, and national measurement laboratories involved in the computation of TAI and UTC.

Measurement uncertainties range from parts in 10^{13} to parts in 10^{15} (2σ , 1 day average), depending upon the technique used.

REFERENCES

- [1] Peter H. Dana, The Role of GPS in Precise Time and Frequency Dissemination, GPS World, July/August 1990
- [2] M. A. Lombardi: NIST Time and Frequency Services “, NIST Spec. Publ. 432, 2002 Edition
- [3] Thomas E Parker and Demetrios Matsakis, Time and Frequency Dissemination, GPS World, november 2—4
- [4] C.E.Potts, B. Wieder, Precise Time Dissemination via Loran-C system, Proceedings of the IEEE 06/1972; 60(5):530- 539
- [5] J. Levine: Time and frequency distribution using satellites, Rep. Prog. Phys. 65, (2002), pp. 1119–1164
- [6] Jun Ye, Jin-Long Peng, R. Jason Jones, Kevin W. Holman, John L. Hall, David J. Jones, Scott A. Diddams, John Kitching, Sebastien Bize, James C. Bergquist, Leo W. Hollberg, [1] Lennart Robertsson and Long-Sheng Ma, „Delivery of high-stability optical and microwave frequency standards over an optical fiber network“, J. Opt. Soc. Am. B **20** (7), 1459 (2003);
- [7] D. Piester, M. Rost, M. Fujieda, T. Feldmann, A. Bauch, Remote atomic clock synchronization via satellites and optical fibers, Advances in Radio Science, March 2011

Scientific revue:

Dragoș BOICIUC, doctor, scientific researcher I, e-mail: dragos.boiciuc@inm.ro

About the author:

Anca NICULESCU, doctor, scientific researcher II, e-mail: anca.niculescu@inm.ro