

Η ΔΙΑΔΟΣΗ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΜΕΣΩ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟΥ

Ξ. Αλεξούδη¹, Χ. Σαραφίδης^{1,2}, Ε. Φλουδά²

1. Τμήμα Ηλεκτρονικής, Αλεξάνδρειο ΤΕΙ Θεσσαλονίκης, ΤΘ 141, 57400 Σίνδος
2. Ελληνικό Ινστιτούτο Μετρολογίας, ΟΤ45, 57022 Σίνδος
hsara@eim.gr

Περίληψη

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται αποτελέσματα σχετικά με την χρήση του διαδικτύου για την διάδοση και τήρηση χρονικής πληροφορίας καθώς και την εξωτερική διακρίβωση της λειτουργίας του με απλές μετρήσεις σήματος 1 PPS. Αναπτύχθηκε διακομιστής χρόνου NTP με έμφαση στην απλότητα σχεδιασμού και υλοποίησης. Αναπτύχθηκε απλό λογισμικό για την παράκαμψη του εσωτερικού ρολογιού του υπολογιστή και η λειτουργία του με εξωτερικό σήμα 1 PPS διαμέσου της παράλληλης θύρας όπως επίσης και η αντίστροφη λειτουργία, ο συγχρονισμός σήματος εξόδου 1 PPS με το ρολόι του υπολογιστή. Ο υπολογιστής ελέγχου χρησιμοποιήθηκε είτε χωρίς συγχρονισμό είτε ως δέκτης συγχρονισμού από το Εθνικό Πρότυπο Χρόνου και Συχνότητας και έγιναν μετρήσεις τόσο ψηφιακά μέσω των εργαλείων του πρωτοκόλλου NTP όσο και με εξωτερικό απαριθμητή συχνότητας. Διαπιστώθηκε ότι μία τέτοια διάταξη μπορεί να λειτουργήσει ως μία οικονομική και ιχνηλάσιμη πηγή χρονικού σήματος. Επίσης, με χρήση ελεύθερου λογισμικού, μελετήθηκε η αποδοτικότητα χρήσης του πρωτοκόλλου NTP ως πηγής χρονικής πληροφορίας. Διαπιστώθηκε ότι η μετάδοση της χρονικής πληροφορίας υποβαθμίζεται με την αύξηση του φόρτου του δικτύου.

Εθνικός Χρόνος, πρωτόκολλο NTP, διακομιστής NTP

Abstract

In the present work internet utilization for time dissemination and confirmation measurements by means of external devices are presented. A time server using NTP protocol was developed with emphasizing on simplicity. A concise software application was also developed in order to achieve clock discipline in external 1 PPS signal and the opposite, the ability of exporting a synchronized with the internal clock 1 PPS signal. This computer was used for measurements in two different ways, either free running or under the discipline of the National Time and Frequency standard. Measurements were carried out using NTP log files external frequency counter. It is suggested that this kind of implementation could serve as an inexpensive and traceable time source. Also, a preliminary study for the use of internet as a means of time source distribution was carried out using tools freely available. A first result was that the network load affects the time distribution quality in a negative manner, as expected.

National Time, NTP protocol, NTP server

Ξ. Αλεξούδη¹, Χ. Σαραφίδης^{1,2}, Ε. Φλουδά² Τμ. Ηλεκτρονικής, ΤΕΙ Θεσ/νίκης, ²Ελληνικό Ινστ. Μετρολογίας
Η διάδοση του χρόνου μέσω διαδικτύου

4^ο Τακτικό Εθνικό Συνέδριο Μετρολογίας
Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου
Αθήνα, 3-4 Φεβρουαρίου 2012

1. Εισαγωγή

Η απάντηση στο ερώτημα τι είναι ο χρόνος μπορεί να ακούγεται απλή αρχικά. Όπως όμως ο Άγιος Αυγουστίνος διατύπωσε, “πριν με ρωτήσουν ήξερα την απάντηση αλλά όταν προσπάθησα να δώσω τον ορισμό, κατάλαβα ότι δεν γνώριζα”. Κατά τον John A. Wheeler χρόνος είναι το φυσικό φαινόμενο που εμποδίζει όλα τα γεγονότα από το να συμβαίνουν ταυτόχρονα. Εκτός από την πληθώρα φιλοσοφικών αναζητήσεων, η έννοια του χρόνου είναι πολύ σημαντική στην τεχνολογική μας καθημερινότητα. Κάθε μορφής δικτυακή επικοινωνία, η λειτουργία μεγάλων δικτύων διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, τεχνολογικές εφαρμογές όπως το σύστημα προσδιορισμού θέσης Galileo, και φυσικά πολλές επιστημονικές εφαρμογές βασίζονται στην μέτρηση του χρόνου με μεγάλη ακρίβεια.

Υπάρχουν και πολλές εφαρμογές των οποίων η απαιτούμενη χρονική ακρίβεια είναι εύκολα εφικτή, αλλά πάλι απαιτητή, όπως για παράδειγμα δικτυακές οικονομικές συναλλαγές στο παγκοσμιοποιημένο διεθνές περιβάλλον. Η έννοια “ακρίβεια δευτερολέπτου”, έχει απαιτήσεις που ξεπερνούν τις τυπικές, χαμηλού κόστους συμβατικές τεχνολογίες μέτρησης χρόνου, ένας τυπικός υπολογιστής που στην αρχή της εβδομάδας συγχρονίστηκε με κάποια αξιόπιστη πηγή χρόνου, είναι σχεδόν σίγουρο ότι μέχρι το τέλος της βδομάδας θα έχει αποκλίνει αρκετά δευτερόλεπτα.

Η λύση στο πρόβλημα αυτό ήταν η ανάπτυξη του πρωτοκόλλου NTP (Network Time Protocol) με πρωτεργάτη τον καθηγητή του Πανεπιστημίου του Delaware, David L. Mills (Mills 1985). Το συγκεκριμένο πρωτόκολλο του διαδικτύου επιτρέπει τον συγχρονισμό των ρολογιών απομακρυσμένων υπολογιστών μέσω του διαδικτύου.

Το πρωτόκολλο τηρεί μια δικτυακή ιεραρχία, που ονομάζεται επίπεδο stratum. Στην κορυφή της, stratum 1, βρίσκονται οι πρωτεύοντες διακομιστές όπως το Εθνικό Πρότυπο Χρόνου και Συχνότητας, συστήματα που συγχρονίζονται απευθείας σε κάποιο εθνικό χρόνο από ατομικό πρότυπο ή υψηλής ακρίβειας δέκτη GPS. Κάθε επόμενο βήμα στην ιεραρχία συνοδεύεται από αύξηση του επιπέδου stratum κατά 1. Από το 2010 έχει οριστικοποιηθεί η τέταρτη αναθεώρηση του πρωτοκόλλου (Mills 2010).

Ο τρόπος λειτουργίας του πρωτοκόλλου μπορεί να περιγραφεί απλουστευμένα ως εξής. Την χρονική στιγμή t_1^{cl} (σύμφωνα με το ρολόι του) ο υπολογιστής – πελάτης στέλνει στον διακομιστή χρόνο αίτημα, το οποίο παραλαμβάνεται την χρονική στιγμή t_1^{serv} (σύμφωνα με το ρολόι του διακομιστή). Στην συνέχεια, την χρονική στιγμή t_2^{serv} ο διακομιστής αποστέλλει την χρονική πληροφορία στον πελάτη. Η πληροφορία καταφθάνει την χρονική στιγμή t_2^{cl} . Τότε, μπορεί να εκτιμηθεί η χρονική διαφορά μεταξύ των ρολογιών πελάτη – διακομιστή (offset) καθώς και η χρονική τους απόσταση (trip delay) από τις εξισώσεις:

$$\begin{aligned} \text{offset} &= 0,5 \times [(t_1^{serv} - t_1^{cl}) + (t_2^{serv} - t_2^{cl})] \\ \text{trip delay} &= (t_2^{cl} - t_1^{cl}) + (t_2^{serv} - t_1^{serv}) \end{aligned} \quad (1)$$

(2)

Το κυριότερο πρόβλημα του πρωτοκόλλου, είναι η υπόθεση ότι ο χρόνος μετάβασης του αιτήματος από τον πελάτη στον διακομιστή είναι ίσος με τον χρόνο επιστροφής της απάντησης. Αυτό γενικά δεν ισχύει ειδικά μεταξύ απομακρυσμένων υπολογιστών μεταξύ των οποίων παρεμβάλλονται πολλοί δρομολογητές.

2. Πειραματικό μέρος

Ο προσφορότερος τρόπος για την υλοποίηση ενός διακομιστή NTP είναι η χρήση

Ξ. Αλεξούδη¹, Χ. Σαραφίδης^{1,2}, Ε. Φλουδά² Τμ. Ηλεκτρονικής, ΤΕΙ Θεσ/νίκης, ²Ελληνικό Ινστ. Μετρολογίας
Η διάδοση του χρόνου μέσω διαδικτύου

4^ο Τακτικό Εθνικό Συνέδριο Μετρολογίας
Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου
Αθήνα, 3-4 Φεβρουαρίου 2012

λειτουργικού συστήματος UNIX ή κάποιου παραγώγου του. Στην συγκεκριμένη εργασία επιλέχθηκε η χρήση του Ubuntu Linux, που αποτελεί μια από τις ευρύτερα διαδεδομένες διανομές του γνωστού ανοικτού λειτουργικού. Το λειτουργικό σύστημα εγκαταστάθηκε σε έναν μεταχειρισμένο υπολογιστή με επεξεργαστή Pentium IV 3.0 GHz με 1 GB μνήμης RAM με τις τυπικές επιλογές. Στην συνέχεια, οι δυνατότητες παραμετροποίησης του λειτουργικού αξιοποιήθηκαν, έτσι ώστε να απενεργοποιηθούν πολλές υπηρεσίες και ευκολίες του λειτουργικού, έτσι ώστε κατά την λειτουργία του υπολογιστή ως διακομιστή NTP να μην φορτώνονται άσκοπες υπηρεσίες. Ακολούθησε παραμετροποίηση της εγκατάστασης του πρωτοκόλλου NTP (εφαρμογή ntpd) κυρίως στον τομέα των ρυθμίσεων συγχρονισμού και των αρχείων καταγραφής (logfiles) για την παρακολούθηση της λειτουργίας του συστήματος. Τέλος, εφαρμόστηκε κατάλληλη τροποποίηση στον πυρήνα του λειτουργικού ώστε το τελευταίο να μπορεί να συγχρονίζει το ρολόι του συστήματος με εξωτερικό σήμα 1 PPS (Mogul 2000) έτσι ώστε ο χρόνος του υπολογιστή να μπορεί να οδηγηθεί από εξωτερικό σήμα μεγάλης σταθερότητας.

Επίσης, αναπτύχθηκε κατάλληλο λογισμικό σε γλώσσα C++, έτσι ώστε να ενεργοποιηθεί η δυνατότητα πειθαρχίας του ρολογιού του συστήματος στο εξωτερικό σήμα αλλά και η αντίστροφη, να εξάγει ο υπολογιστής ένα παλμικό σήμα 1 PPS συγχρονισμένο με τον χρόνο του λειτουργικού συστήματος. Η δεύτερη διαδικασία αναπτύχθηκε ώστε να μπορεί να συγκριθεί με μεγάλη ακρίβεια η έξοδος του συστήματος με κάποιο πρότυπο υψηλής σταθερότητας. Επιλέχθηκε η είσοδος και έξοδος του σήματος από την παράλληλη θύρα του υπολογιστή (LPT). Με τον τρόπο αυτό και με πολύ απλά μέσα αναπτύχθηκε ένα εύελκτο σύστημα που μπορεί να προσφέρει διαφόρων ειδών πληροφορίες και εν ανάγκη να λειτουργήσει και ως διακομιστής χρόνου NTP σε περίπτωση βλάβης του κύριου συστήματος του ΕΙΜ.

Οι μετρήσεις για την αξιολόγηση του συστήματος πραγματοποιήθηκαν με τρεις διαφορετικές μεθόδους. Στην πρώτη παρατηρούμε την διαδικασία συγχρονισμού του υπολογιστή μέσω του πρωτοκόλλου NTP. Η παρατήρηση έγινε με σύγκριση της εξόδου 1 PPS που δίνει ο διακομιστής με το αντίστοιχο σήμα που αποτελεί τον Εθνικό Χρόνο. Στη δεύτερη μέθοδο ο διακομιστής καλείται να συγχρονιστεί χωρίς τη χρήση του NTP, πειθαρχώντας σε εξωτερικό σήμα 1 PPS. Η παρακολούθηση του συγχρονισμού έγινε διαδικτυακά μέσω του πρωτοκόλλου NTP από υπολογιστή που έτρεχε το λογισμικό NTP Monitor (Taylor 2010). Η τρίτη μέθοδος είναι αυτή της απευθείας μέτρησης της συχνότητας του σήματος εξόδου, που αν και παρουσιάζει μεγαλύτερη αβεβαιότητα, δίνει τη δυνατότητα παρακολούθησης συνεχώς και επί μακρόν της σταθερότητας του συστήματος. Επίσης είναι ικανή να προσδιορίσει αλλαγές στη συχνότητα που πιθανώς να μη γινόταν αντιληπτές με την πρώτη μέθοδο.

Τέλος, η εφαρμογή NTP Monitor χρησιμοποιήθηκε και για την μελέτη της επίδρασης της δικτυακής κίνησης στην λήψη της χρονικής πληροφορίας με το πρωτόκολλο NTP. Η συγκεκριμένη εφαρμογή ανακτά χρονική πληροφορία από διάφορους απομακρυσμένους διακομιστές στο διαδίκτυο και τους συγκρίνει με αναφορά την ώρα του υπολογιστή στον οποίο εκτελείται.

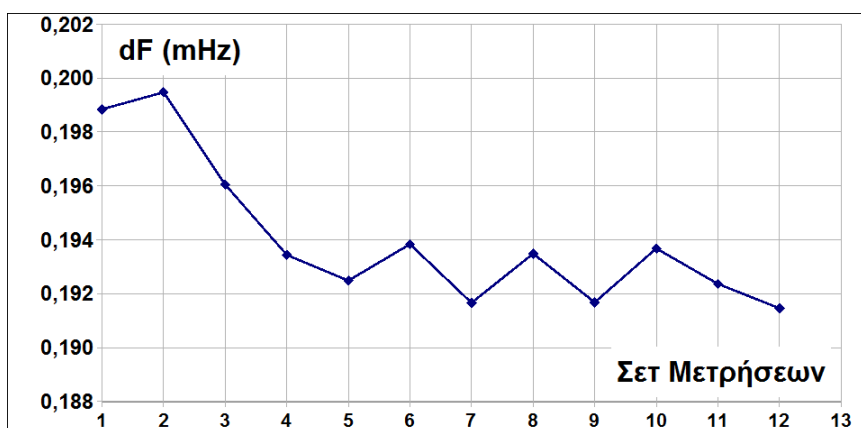
3. Αποτελέσματα – Συζήτηση

Η πρώτη μέτρηση όπως περιγράψαμε αφορούσε τον έλεγχο του συγχρονισμού μέσω του

Ε. Αλεξούδη¹, Χ. Σαραφίδης^{1,2}, Ε. Φλουδά² Τμ. Ηλεκτρονικής, ΤΕΙ Θεσ/νίκης, ²Ελληνικό Ινστ. Μετρολογίας
Η διάδοση του χρόνου μέσω διαδικτύου

4^ο Τακτικό Εθνικό Συνέδριο Μετρολογίας
Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου
Αθήνα, 3-4 Φεβρουαρίου 2012

πρωτοκόλλου NTP με παρακολούθηση του σήματος εξόδου. Ο υπολογιστής τοποθετήθηκε στο ίδιο υποδίκτυο με το Εθνικό Πρότυπο Χρόνου και ενεργοποιήθηκε, με την εφαρμογή ntpd ρυθμισμένη έτσι ώστε να αποτελεί “πελάτη” (client) του διακομιστή NTP του Εθνικού Προτύπου. Ταυτόχρονα, οι αλλαγές στο σήμα εξόδου μετρήθηκαν με απεριθμητή παλμών FLUKE PM 6681R σύμφωνα με τις διαδικασίες του Εργαστηρίου Χρόνου και Συχνότητας του Ελληνικού Ινστιτούτου Μετρολογίας (ΕΙΜ). Χρησιμοποιήθηκε η τεχνική της χρονικής σύγκρισης μετρώντας τον ρυθμό αλλαγής της διαφοράς φάσης μεταξύ του σήματος από τον υπολογιστή και του παλμού αναφοράς, το σήμα 1 PPS από το Εθνικό Πρότυπο. Λήφθηκαν 12 σετ μετρήσεων διαφοράς φάσης διάρκειας μίας ώρας έκαστο, και από κάθε σετ προσδιορίστηκε η διαφορά στην συχνότητα μεταξύ των δύο σημάτων. Οι μετρήσεις παρουσιάζονται στο Σχ. 1.



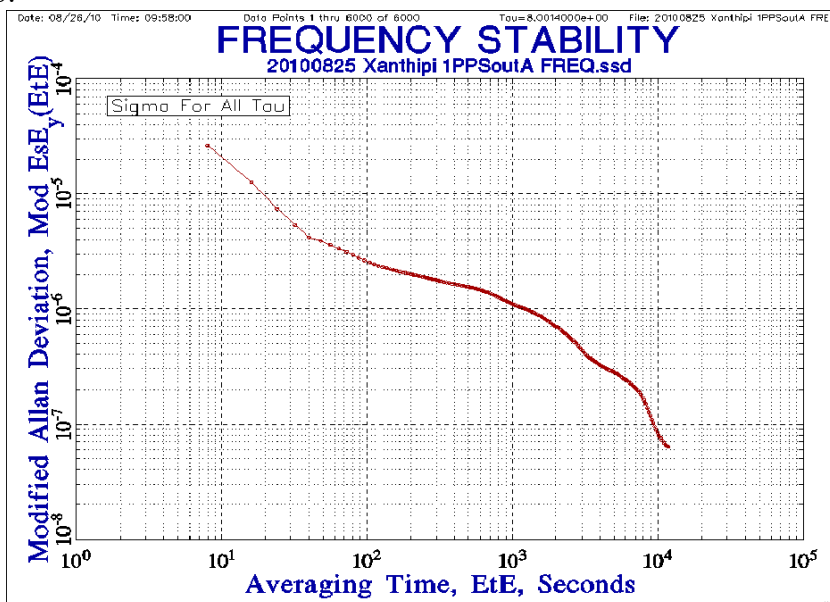
Σχήμα 1: Διαφορές στην συχνότητα εξόδου 1 PPS μεταξύ υπολογιστή και Εθνικού Χρόνου

Παρατηρούμε ξεκάθαρα από το Σχ. 1 τον σταδιακό συγχρονισμό του υπολογιστή μέσω του πρωτοκόλλου NTP και την επίδραση στην συχνότητα του συγχρονισμένου σήματος 1 PPS. Η μέση διαφορά στην συχνότητα μετά την σταθεροποίηση είναι 192 ± 2 mHz, μία τιμή που αντιστοιχεί σε απόκλιση 16,5 περίπου δευτερολέπτων ανά ημέρα. Η τιμή αυτή είναι ιδιαίτερα υψηλή και οφείλεται στις βαθμίδες εξόδου της παράλληλης θύρας καθώς και στην γενικότερη λειτουργία του υπολογιστή, επειδή το λογισμικό δεν ενεργοποιούσε τον παλμό εξόδου με διακοπή στον επεξεργαστή, ο τελευταίος “αργεί” να σηκώσει την έξοδο. Το ότι είναι σταθερή, μας επιτρέπει να την αφαιρέσουμε με έμμεσο τρόπο, ζητώντας μέσω του λογισμικού που αναπτύχθηκε την ύψωση του παλμού εξόδου όχι κάθε 1 s αλλά πιο συχνά, κάθε 0,9998 s. Πράγματι, με αυτόν τον τρόπο η διαφορά στην συχνότητα εξόδου μεταξύ των δύο σημάτων μειώνεται σε τιμές μικρότερες του 1 mHz. Παρατηρούμε ότι οι επιδόσεις συγχρονισμού του πρωτοκόλλου NTP μπορούν να είναι ιδιαίτερα υψηλές, όταν η δικτυακή σύνδεση είναι ευθεία και όταν διακριβωθούν κατάλληλα οι ηλεκτρονικές συνδέσεις.

Στο Σχ. 2 παρουσιάζεται το διάγραμμα της τροποποιημένης στατιστικής Allan (Allan 1981) για τις μετρήσεις συχνότητας της εξόδου. Η τροποποιημένη στατιστική Allan μας επιτρέπει να εξάγουμε συμπεράσματα για το είδος του θορύβου που υπάρχει σε ένα περιοδικό σήμα και την σταθερότητά του. Η κλίση της καμπύλης της τροποποιημένης

Ε. Αλεξούδη¹, Χ. Σαραφίδης^{1,2}, Ε. Φλουδά² Τμ. Ηλεκτρονικής, ΤΕΙ Θεσ/νίκης, ²Ελληνικό Ινστ. Μετρολογίας
Η διάδοση του χρόνου μέσω διαδικτύου

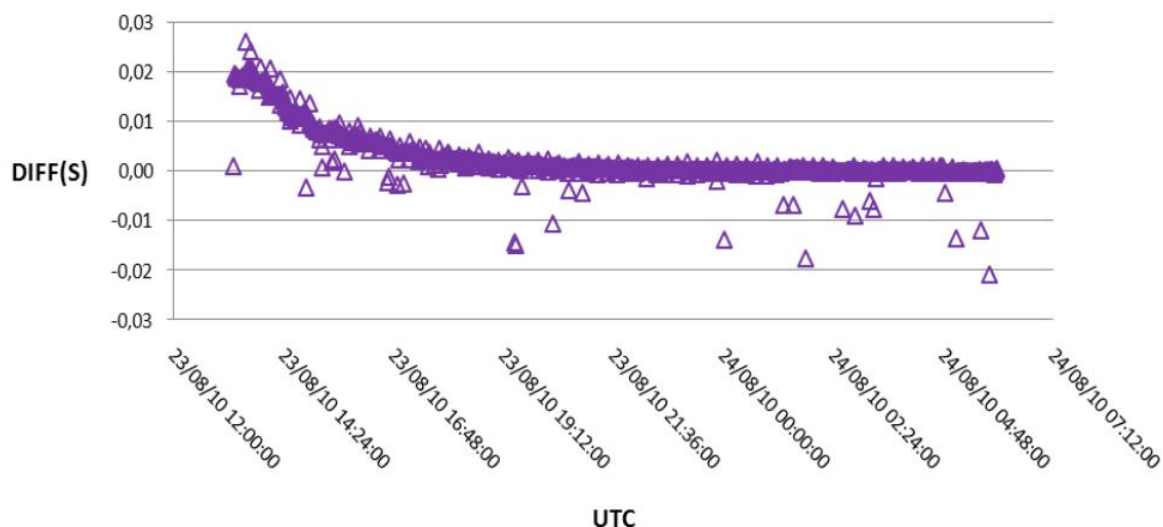
στατιστικής Allan συναρτήσεως του χρόνου δειγματοληψίας σε λογαριθμικό διάγραμμα, όπως υπολογίστηκε με ειδικό λογισμικό (Riley 2009), μας δίνει πληροφορίες για το είδος του θορύβου.



Σχήμα 2: Διάγραμμα τροποποιημένης στατιστικής Allan για τις μετρήσεις της εξόδου 1 PPS

Υπάρχουν δύο κύριες περιοχές στο διάγραμμα. Για χρόνους δειγματοληψίας μικρότερους των 100 s και μεγαλύτερους των 1000 s, η κλίση παραπέμπει σε λευκό θόρυβο στην συχνότητα (White Frequency Noise) ενώ στην ενδιάμεση περιοχή υπεισέρχεται χαρακτήρας απότομων στιγμιαίων μεταβολών (Flicker FM Noise). Οι μετρήσεις έγιναν με την τρίτη μέθοδο όπως περιγράψαμε στην εισαγωγή.

Η ίδια ακριβώς εικόνα προέκυψε και από την καταγραφή των αποκλίσεων από άλλο υπολογιστή μέσω NTP, με την εφαρμογή NTP Monitor, όπως φαίνεται στο Σχ. 3.



Σχήμα 3: Παρατήρηση μεταβολών στον χρόνο του αξιολογούμενου υπολογιστή σε σχέση με τον

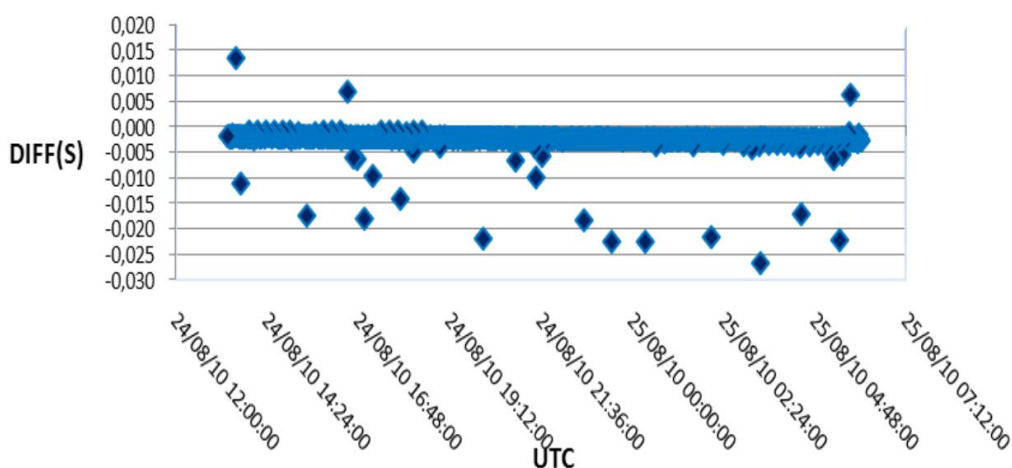
Ε. Αλεξούδη¹, Χ. Σαραφίδης^{1,2}, Ε. Φλουδά² Τμ. Ηλεκτρονικής, ΤΕΙ Θεσ/νίκης, ²Ελληνικό Ινστ. Μετρολογίας Η διάδοση του χρόνου μέσω διαδικτύου

4^ο Τακτικό Εθνικό Συνέδριο Μετρολογίας
Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου
Αθήνα, 3-4 Φεβρουαρίου 2012

Εθνικό Χρόνο

Η εμφανής ομοιότητα των διαγραμμάτων που παρουσιάζονται στα Σχ. 1 και Σχ.3 αποδεικνύει την ορθή σύζευξη του παλμού εξόδου 1 PPS του υπολογιστή με το εσωτερικό του ρολόι.

Στην συνέχεια ελέγχθηκε η λειτουργία του ρολογιού του υπολογιστή χωρίς ο τελευταίος να συγχρονίζεται ως πελάτης μέσω NTP με το Εθνικό Πρότυπο. Ο έλεγχος έγινε επίσης με δικτυακές μετρήσεις από τρίτο υπολογιστή, στο ίδιο υποδίκτυο, ώστε να μην υπάρχει επίδραση του φόρτου και της κίνησης του δικτύου. Ο υπολογιστής που αναπτύχθηκε δηλαδή, λειτουργούσε ως διακομιστής NTP (ώστε να δίνει χρονική πληροφορία στον φορέα των μετρήσεων) αλλά με χρονική βάση είχε το εσωτερικό του ρολόι και όχι κάποια αξιόπιστη πηγή χρόνου, σε αντίθεση με τον διακομιστή που έδινε τον χρόνο αναφοράς και ο οποίος ήταν συγχρονισμένος στον Εθνικό Χρόνο UTC(EIM). Αφού επιβεβαιώθηκε η χρονική απόκλιση μεταξύ του διακομιστή που αναπτύχθηκε και του Εθνικού Χρόνου, ο υπολογιστής τέθηκε σε λειτουργία υπό την “πειθαρχία” εξωτερικού σήματος 1 PPS. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων παρουσιάζονται στο Σχ. 4:



Σχήμα 4: Παρατήρηση λειτουργίας υπολογιστή υπό πειθαρχία σε εξωτερικό σήμα 1 PPS

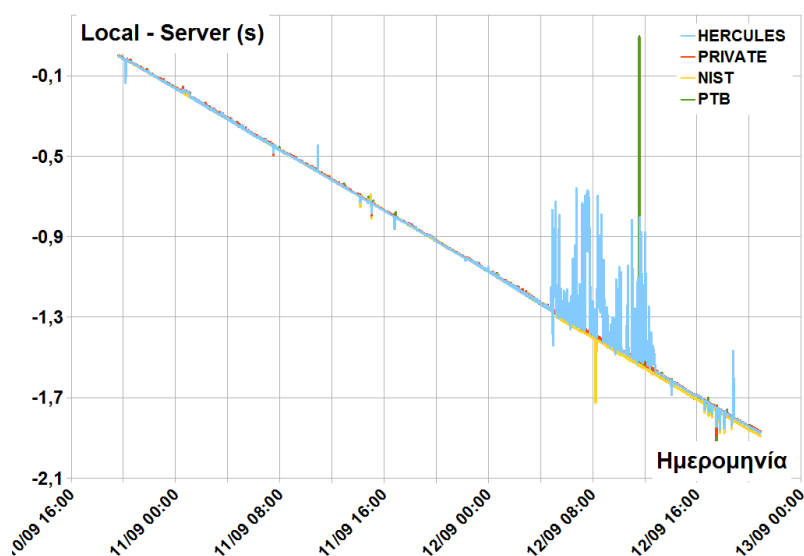
Στο Σχ. 4 παρουσιάζεται η διαφορά των χρονικών τιμών που λάμβανε ο υπολογιστής μετρήσεων από τον υπό αξιολόγηση υπολογιστή και από τον διακομιστή του Εθνικού Χρόνου, ο οποίος πειθαρχεί στο ίδιο σήμα 1 PPS στο οποίο πειθαρχούσε και ο υπό αξιολόγηση υπολογιστής. Διαπιστώνουμε ότι η κλίση της ευθείας είναι σχεδόν μηδενική, όπερ σημαίνει ότι η λειτουργία που επιδιώξαμε εγκαταστάθηκε και ενεργοποιήθηκε όπως επιδιώχθηκε. Κάποιες μετρήσεις που αποκλίνουν με τυχαίο τρόπο οφείλονται στον υπολογιστή που λάμβανε τις συγκριτικές μετρήσεις ο οποίος ταυτόχρονα χρησιμοποιούνταν και για άλλες εργασίες.

Στην συνέχεια αξιοποιήθηκε το πρόγραμμα NTP Monitor στην έκδοση 5.12 για μετρήσεις δικτυακής αξιολόγησης του πρωτοκόλλου NTP. Από σημεία εκτός των βασικών εγκαταστάσεων του ΕΙΜ, έγιναν πολλές σειρές συγκριτικών μετρήσεων με αναφορά πάντα το ρολόι του υπολογιστή που χρησιμοποιούνταν για την λήψη των μετρήσεων και σύγκριση με μια σειρά αξιόπιστων διακομιστών NTP. Οι διακομιστές που

Ξ. Αλεξούδη¹, Χ. Σαραφίδης^{1,2}, Ε. Φλουδά² Τμ. Ηλεκτρονικής, ΤΕΙ Θεσ/νίκης, ²Ελληνικό Ινστ. Μετρολογίας
Η διάδοση του χρόνου μέσω διαδικτύου

χρησιμοποιήθηκαν ήταν ο διακομιστής χρόνου του EIM, τόσο από την διεύθυνση hercules.eim.gr όσο και από την ξεχωριστή διαδικτυακή σύνδεση που διατίθεται σε επιλεγμένους φορείς και πελάτες του ινστιτούτου, ο κύριος διακομιστής χρόνου του Γερμανικού Ομοσπονδιακού Φορέα Μετρολογίας (PTB - ptbtime1.ptb.de) και ο κύριος διακομιστής χρόνου του Εθνικού Μετρολογικού Φορέα των ΗΠΑ (NIST - time.nist.gov). Εφαρμόστηκαν διάφορα σενάρια, μιας και σκοπός της μελέτης ήταν η αξιολόγηση του δικτυακού φόρτου στην ακρίβεια της προσδιοριζόμενης χρονικής απόκλισης Διακομιστή – Πελάτη. Τα πιο χαρακτηριστικά συμπεράσματα συνοψίζονται ευθύς αμέσως.

Στο πρώτο σενάριο, δοκιμάστηκε η επίδραση της κίνησης στο τοπικό υποδίκτυο του διακομιστή. Στο Σχ. 5 παρουσιάζονται μετρήσεις που καλύπτουν την χρονική περίοδο από το απόγευμα του Σαββάτου 10 Σεπτεμβρίου 2011 μέχρι το βράδυ της Δευτέρας 12 Σεπτεμβρίου 2011. οι χρονικές στιγμές στο διάγραμμα απεικονίζονται σε μορφή UTC, η τοπική ώρα ήταν UTC + 3 ώρες (θερινή ώρα).



Σχήμα 5: Συγκριτικές μετρήσεις λήψης χρονικής πληροφορίας διακομιστών NTP

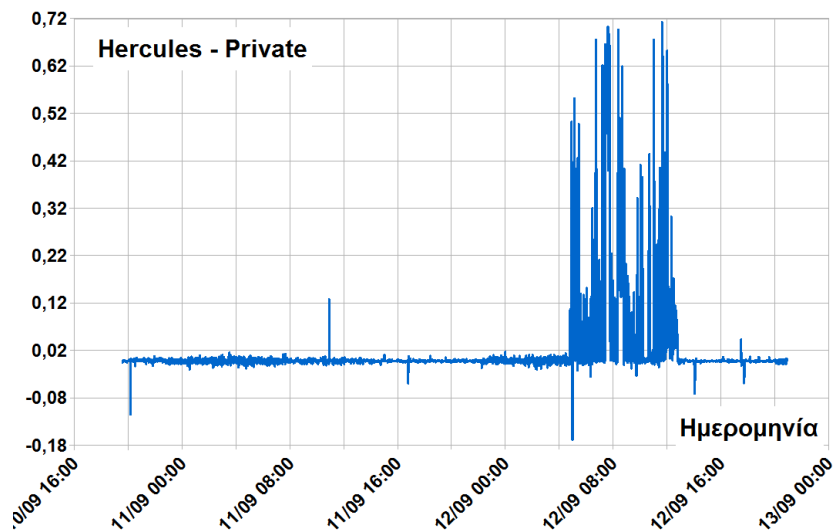
Οι μετρήσεις λήφθηκαν από υπολογιστή εγκατεστημένο σε οικιακό χώρο με πρόβλεψη ώστε να μην γίνεται ταυτόχρονα κάποια άλλη χρήση. Το πρωί της 12ης Σεπτεμβρίου στο τοπικό υποδίκτυο όπου βρίσκονται οι διακομιστές χρόνου του EIM εισήχθη μεγάλη κίνηση, τόσο λόγω αναβαθμίσεων των υπολογιστών όσο και λόγω εντατικής χρήσης προγραμμάτων που καταναλώνουν μεγάλο δικτυακό εύρος. Από το Σχ. 5 παρατηρούμε ότι η χρονική πληροφορία στον υπολογιστή μετρήσεων κατά την διάρκεια του Σαββατοκύριακου δεν έχει μεγάλες διαφορές λόγω της θέσης του διακομιστή. Πρακτικά ο συγχρονισμός με οποιονδήποτε από τους διακομιστές που δοκιμάστηκαν θα έπρεπε να δώσει ταυτόσημα αποτελέσματα. Στην περίπτωση των μετρήσεών μας βέβαια ο υπολογιστής μετρήσεων δεν συγχρονίζονταν με κανέναν διακομιστή, κάτι που είναι εμφανές άλλωστε από την σταθερή κλίση που παριστάνει την απομάκρυνση του ρολογιού του υπολογιστή μετρήσεων από τον χρόνο των διακομιστών. Παρατηρούνται και κάποιες σχετικά μεγάλες τυχαίες διακυμάνσεις στην λήψη από τους πλέον απομακρυσμένους

Ε. Αλεξούδη¹, Χ. Σαραφίδης^{1,2}, Ε. Φλουδά² Τμ. Ηλεκτρονικής, ΤΕΙ Θεσ/νίκης, ²Ελληνικό Ινστ. Μετρολογίας
Η διάδοση του χρόνου μέσω διαδικτύου

4^ο Τακτικό Εθνικό Συνέδριο Μετρολογίας
Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου
Αθήνα, 3-4 Φεβρουαρίου 2012

διακομιστές οι οποίες στην συγκεκριμένη χρονική περίοδο είναι ελάχιστες, προκύπτει όμως ότι η ιδιαίτερα απλή ρύθμιση του συγχρονισμού ώρας στους περισσότερους προσωπικούς υπολογιστές εγκυμονεί κινδύνους.

Το σημαντικότερο συμπέρασμα είναι η σαφής επίδραση της χρονικής πληροφορίας από το υπερφορτωμένο δίκτυο. Αυτό καταδεικνύεται καλύτερα στο παρακάτω Σχ. 6:



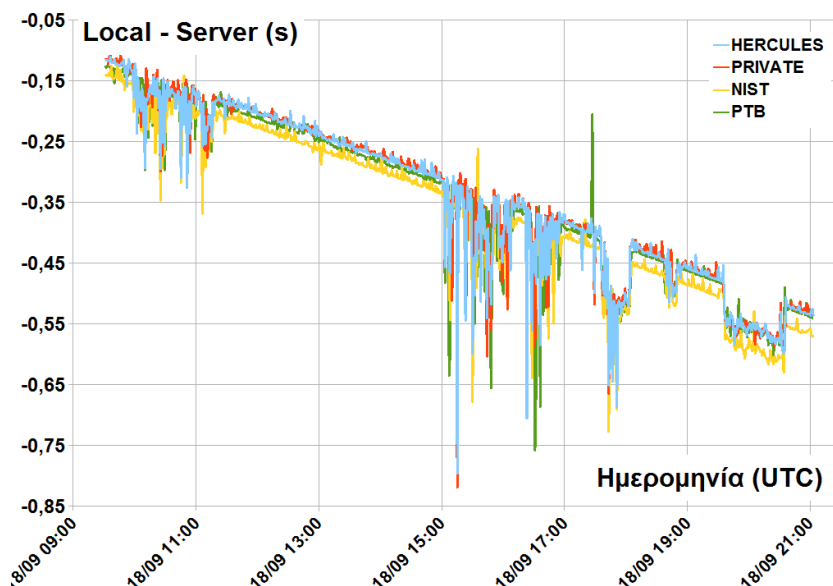
Σχήμα 6: Διαφορές λήψης χρονικής πληροφορίας από τον ίδιο διακομιστή αλλά διαφορετικό κανάλι πρόσβασης

Στο Σχ. 6 παρουσιάζεται η διαφορά μεταξύ της ληφθείσας πληροφορίας από τον κύριο διακομιστή NTP του EIM μέσω των δύο διαφορετικών εναλλακτικών διαδρομών. Ειδικά το κρίσιμο χρονικό διάστημα κατά το οποίο η μία πρόσβαση υπερφορτώθηκε με κίνηση οι αποκλίσεις είναι σχετικά μεγάλες, ξεπερνώντας το μισό δευτερόλεπτο σε σχέση με την ειδικής διαδικτυακή σύνδεση, η οποία λειτουργεί πολύ κάτω από την χωρητικότητά της. Βέβαια η ακρίβεια που δηλώνει το EIM (<1 s στο 95% των περιπτώσεων) τηρείται, ακόμη και υπό αυτές τις συνθήκες.

Είναι επίσης χαρακτηριστικό το ότι οι διαφορές στην κρίσιμη περίοδο είναι μονόσημες, δηλαδή η χρονική πληροφορία που προέρχεται από τον φορτωμένο δίαυλο πρόσβασης έχει μεταγενέστερη τιμή. Αυτή η παρατήρηση έρχεται σε συμφωνία με τα χαρακτηριστικά του πρωτοκόλλου που περιγράψαμε προηγουμένως.

Το δεύτερο σενάριο αφορούσε την εισαγωγή δικτυακής κίνησης στο τοπικό υποδίκτυο του υπολογιστή μετρήσεων. Η κίνηση έγινε με χρήση προγραμμάτων που αξιοποιούσαν μεγάλο δικτυακό εύρος, ενώ για ένα διάστημα περίπου τριών ωρών διακόπηκε η χρήση τους και η δικτυακή γραμμή λειτουργούσε χωρίς μεγάλο φορτίο. Όλα αυτά απεικονίζονται ξεκάθαρα στο παρακάτω Σχ. 7.

Ξ. Αλεξούδη¹, Χ. Σαραφίδης^{1,2}, Ε. Φλουδά² Τμ. Ηλεκτρονικής, ΤΕΙ Θεσ/νίκης, ²Ελληνικό Ινστ. Μετρολογίας
Η διάδοση του χρόνου μέσω διαδικτύου

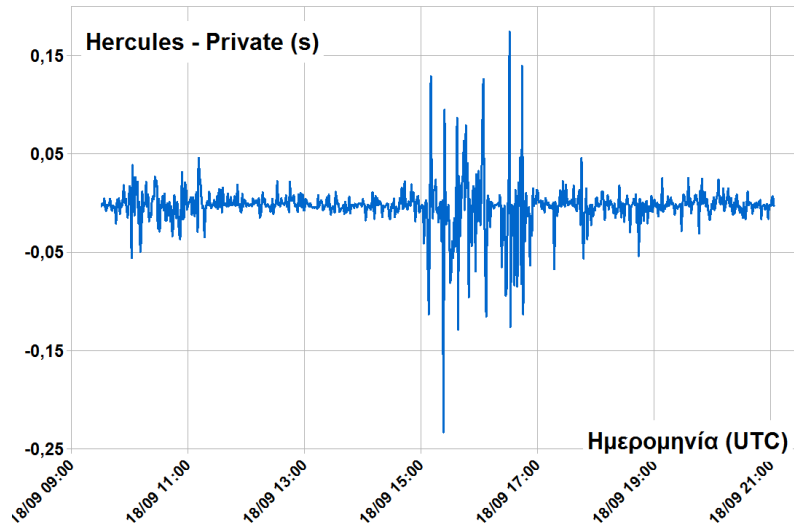


Σχήμα 7: Συγκριτικές μετρήσεις λήψης χρονικής πληροφορίας διακομιστών NTP

Από το Σχ. 7 εξάγονται ενδιαφέρουσες παρατηρήσεις. Καταρχάς, στο μεγαλύτερο διάστημα όπου το τοπικό δίκτυο διακινούσε μεγάλο όγκο δεδομένων υπάρχει εμφανής “θόρυβος” στις μετρήσεις, μεγάλες αποκλίσεις δηλαδή μεταξύ συνεχόμενων μετρήσεων. Οι αποκλίσεις αυτές έχουν επίσης μονοσήμαντη τάση και μάλιστα με αντίθετη φορά από αυτή που παρατηρήσαμε κατά την μελέτη του προηγούμενου σεναρίου. Ο λόγος και εδώ είναι αντίστοιχος, καθώς η εισαγωγή της δικτυακής κίνησης γίνεται και εδώ μέσω κατεβάσματος μεγάλου όγκου δεδομένων, ο υπολογιστής μετρήσεων δεν μπορεί να αντιληφθεί ότι ο δίαυλος επιστροφής έχει διαφορεικά μεγαλύτερη καθυστέρηση από τον δίαυλο αποστολής. Αυτό αποτελεί και το σημαντικότερο μειονέκτημα του πρωτοκόλλου NTP. Επιπρόσθετα, παρατηρούμε και μετατοπίσεις στις τιμές με συστηματικό χαρακτήρα, ιδιαίτερα στις μετρήσεις από τον πλέον απομακρυσμένο διακομιστή.

Ξ. Αλεξούδη¹, Χ. Σαραφίδης^{1,2}, Ε. Φλουδά² Τμ. Ηλεκτρονικής, ΤΕΙ Θεσ/νίκης, ²Ελληνικό Ινστ. Μετρολογίας
Η διάδοση του χρόνου μέσω διαδικτύου

4^ο Τακτικό Εθνικό Συνέδριο Μετρολογίας
Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου
Αθήνα, 3-4 Φεβρουαρίου 2012



Σχήμα 8: Διαφορές λήψης χρονικής πληροφορίας από τον ίδιο διακομιστή αλλά διαφορετικό κανάλι πρόσβασης

Ιδιαίτερα σημαντικό είναι να παρατηρήσουμε την διαφορά μεταξύ της ληφθείσας πληροφορίας από τον κύριο διακομιστή NTP του EIM μέσω των δύο διαφορετικών εναλλακτικών διαδρομών. Η εικόνα είναι σαφώς διαφορετική από την προηγούμενη περίπτωση. Οι αποκλίσεις είναι μικρότερες και έχουν μια τυχαία κατανομή με τον μέσο όρο πρακτικά στο μηδέν. Προκύπτει όμως ότι η ύπαρξη υψηλού φόρτου στο τοπικό δίκτυο δημιουργεί επίσης πρόβλημα στον συγχρονισμό και την λήψη σωστής χρονικής πληροφορίας από κάποιον διακομιστή NTP.

4. Συμπεράσματα

Στην παρούσα εργασία περιγράφεται ένας πολύ απλός και οικονομικός τρόπος ανάπτυξης και αξιολόγησης ενός διακομιστή NTP. Διαπιστώθηκε ότι η ευκολία της κατασκευής και το χαμηλό κόστος δεν επηρεάζουν τις επιδόσεις ενός τέτοιου συστήματος ως πηγή χρόνου, μόνο και μόνο αν το τελευταίο συγχρονίζεται με την σειρά του από μία αξιόπιστη χρονική πηγή. Η τελευταία μπορεί να είναι κάποιος δέκτης GPS χαμηλού κόστους ή μια καθαρή δικτυακή σύνδεση με τις υποδομές του Ελληνικού Ινστιτούτου Μετρολογίας, του Εθνικού Φορέα που έχει την αρμοδιότητα της παραγωγής και διάδοσης του Εθνικού Χρόνου UTC(EIM). Η ποιότητα της διαδιδόμενης πληροφορίας μέσω διαδικτύου σχετίζεται άμεσα με τον φόρτο του δικτύου και ως εκ τούτου απαιτείται κάποια πολιτική QoS ή δέσμευση χωριστών δικτυακών συνδέσεων για την καλύτερη λειτουργία ενός τέτοιου συστήματος.

5. Αναφορές

- David L. Mills, RFC 958 (1985), *Network Time Protocol*.
 D. Mills, J. Martin, J. Burbank, W. Kasch, RFC 5905 (2010), *NTPv4 specification*.
 Mogul, J., D. Mills, J. Brittonson, J. Stone and U. Windl. “*Pulse-per-second API for Unix-*

Ε. Αλεξούδη¹, Χ. Σαραφίδης^{1,2}, Ε. Φλουδά² Τμ. Ηλεκτρονικής, ΤΕΙ Θεσ/νίκης, ²Ελληνικό Ινστ. Μετρολογίας
 Η διάδοση του χρόνου μέσω διαδικτύου

4^ο Τακτικό Εθνικό Συνέδριο Μετρολογίας
 Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου
 Αθήνα, 3-4 Φεβρουαρίου 2012

like operating systems, version 1.”, Internet Engineering Task Force, 2000, pp. 31
David Taylor <http://www.satsignal.eu/davids.html> 2010
David W. Allan and James A. Barnes, “A modified “Allan variance” with increased oscillator characterization ability”, 35th Annual Frequency Control Symposium, 1981
W. J. Riley Hamilton Technical Services 650 Distant Island Drive Beaufort, SC 29907 USA 2009
W.J. Riley, *Handbook of Frequency Stability Analysis*, NIST Special Publication 1065
S. Stein, *Frequency and Time, Their Measurement and Characterization*, προσωπική επικοινωνία.
A. Bauch, H. R. Telle, “*Frequency Standards and Frequency Measurement*”, Rep.Prog.Phys. 65 (2002) pp. 789

Ξ. Αλεξούδη¹, Χ. Σαραφίδης^{1,2}, Ε. Φλουδά² Τμ. Ηλεκτρονικής, ΤΕΙ Θεσ/νίκης, ²Ελληνικό Ινστ. Μετρολογίας
Η διάδοση του χρόνου μέσω διαδικτύου

4^ο Τακτικό Εθνικό Συνέδριο Μετρολογίας
Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου
Αθήνα, 3-4 Φεβρουαρίου 2012