

SISTEMA GPS Y PROTOCOLO NTP

**Andrés Jiménez Sevilla
Ampliación Automatización Industrial
3º I.T.I. Electrónica**

INDICE

1 INTRODUCCIÓN.....	5
2 GPS BÁSICO	6
2.1 COMO FUNCIONA EL SISTEMA GPS, EN CINCO PASOS LÓGICOS	8
3 GPS DIFERENCIAL.....	18
3.1 ERRORES RELATIVOS AL SATÉLITE.	19
3.1.1 ERROR DEL RELOJ DEL SATÉLITE.....	19
3.1.2 ERRORES EN LOS PARÁMETROS ORBITALES.....	20
3.2 ERRORES RELATIVOS A LA PROPAGACIÓN DE LA SEÑAL.....	20
3.2.1 REFRACCIÓN IONOSFÉRICA.....	21
3.2.2 REFRACCIÓN TROPOSFÉRICA.....	22
3.2.3. DISPONIBILIDAD SELECTIVA.....	24
3.2.4. PÉRDIDAS DE CICLOS.....	24
3.2.5 EFECTO MULTIPATH.....	24
3.3. ERRORES RELATIVOS AL RECEPTOR.....	25
3.3.1. ERROR DEL RELOJ.....	25
3.3.2 ERROR EN EL ESTACIONAMIENTO DE LA ANTENA.....	25
3.3.3. ERRORES EN LA MANIPULACIÓN DE LOS EQUIPOS.....	25
3.3.4. VARIACIÓN DEL CENTRO RADIOELÉCTRICO DE LA ANTENA.....	26
3.3.5. DILUCIÓN DE LA PRECISIÓN.....	26
4 ¿ CÓMO FUNCIONA EL DGPS ?.....	27
4.1 APLICACIONES DE DGPS.....	27
4.2 ¿CÓMO SOLUCIONAR LA LIMITACIÓN DE LOS 100 M DE RESOLUCIÓN?.....	30
GPS Y LOS SERVIDORES NTP PARA INTERNET	31
5 LA NECESIDAD DE UN SERVICIO CONFIABLE DE TIEMPOS	32
6 LA HISTORIA DEL TIEMPO EN INTERNET	33
7 NTP (Network Time Protocol).....	33
7.1 CARACTERÍSTICAS.....	35
8 LAS VENTAJAS OFRECIDAS POR EL SERVICIO DE SINCRONIZACIÓN SON ENTRE OTRAS:.....	35
9 ARQUITECTURA, PROTOCOLO Y ALGORITMO DE NTP 36	
9.1 INTRODUCCIÓN	36
9.2 EVOLUCIÓN DE LA VERSIÓN 4 DE NTP	36
9.3 RESUMEN ESQUEMATICO DEL PROTOCOLO DE TIEMPO (NTP).....	37

9.4 CONFIGURACIÓN DEL PROTOCOLO DE TIEMPO (NTP)	38
9.5 VISTA PRELIMINAR DE NTP	38
9.6 LOS FORMATOS DE DIRECCIÓN Y MARCADOR DE TIEMPO DE NTP.....	39
9.7 PROCESO DE DESCOMPOSICIÓN DE NTP (NTPv4).....	40
9.8 ANÁLISIS DEL FLUJO DE INFORMACIÓN DE NTP	40
9.9 ALGORITMO DEL FILTRO DEL RELOJ.....	41
9.10 COMPORTAMIENTO DEL ALGORITMO DEL FILTRO DEL RELOJ	41
9.11 INTERSECCIÓN DEL ALGORITMO.....	42
9.12 PROCESO DE LA UNIÓN DE ALGORITMOS	43
9.13 SIMBOLOGÍA	44
9.14 ALGORITMO DE LA DISCIPLINA DEL RELOJ	44
10 EL MODERNO SERVICIO POSTAL	45
10.1 HACIENDO TICTAC AL UNÍSONO.	45
10.2 UNA CIENCIA INEXACTA.	46
11 MAS QUE SOLO TIEMPO	46
11.1 TIEMPO PARA LAS MASAS	47
11.2 EL CRISOL DEL TIEMPO	47
12 GPS TRABAJANDO	48
12.1 EL ALCANCE DE USNO	48
12.2 HARDWARE GPS PARA SINCRONIZAR	49
13 EL SERVIDOR NTP CORRECTO PARA UD.	50
13.1 SERVIDORES DE TIEMPO INTERNET	50
13.2 INSTALANDO UN SERVIDOR NTP GPS INDEPENDIENTE.....	50
13.3 CONVIERTA SU COMPUTADORA EN UN SERVIDOR NTP GPS	51
13.4 INSTALE UN RELOJ DE BUS GPS	51
14 CONCLUSIONES.....	52
15 BIBLIOGRAFÍA Y SITIOS WEB.....	52

PREFACIO

Desde que en 1957 el lanzamiento del Sputnik-1 supuso el comienzo de la era de los satélites artificiales y su posterior uso en aplicaciones para el interés de la comunidad mundial, la tecnología ha avanzado en este aspecto de manera espectacular, y uno de los campos en los cuales se ha manifestado especialmente dicho avance, es en las aplicaciones que conciernen a las ciencias de la Tierra, y dentro de ellas, de manera notable en el estudio de su forma y dimensiones (*Geodesia*), así como, en el estudio de los fenómenos físicos que afectan y condicionan dicha forma y dimensiones (*Geofísica*).

Dentro de los grupos de Sistemas de Geodesia Espacial, destacan la Constelación NAVSTAR (Navegación por Satélite en Tiempo y Distancia) y la Constelación GLONASS (Sistema Global de Navegación por Satélite). Ambas constelaciones fueron creadas por los Departamentos de Defensa de los Estados Unidos y Rusia, respectivamente, y sus principal cometido era poder posicionar un objeto en la superficie de la Tierra a través de las señales emitidas en forma de ondas de radio por los satélites de dichas constelaciones, que dicho objeto procesaba en la superficie, determinando así su posición con una precisión en función del tipo de información recibida, tiempo de recepción y condiciones de la emisión.

Este posicionamiento se produce sobre un sistema de referencia inercial cartesiano, que en el caso de usar la constelación americana NAVSTAR corresponde al sistema WGS-84, y en el caso de usar la constelación rusa GLONASS corresponde al sistema PZ-90.

A principios de los años 80s, se empezaron a utilizar estos métodos para aplicaciones de índole civil, tales como actividades de navegación aérea, marítima y terrestre, lo que supuso un importante avance en la organización y el estado de los transportes y comunicaciones mundiales.

Es por ello que constituyen, hoy por hoy, unos de los sistemas de medida más usados y con mayores expectativas de futuro. Este hecho los obliga a estar en continua evolución para que la comunidad mundial obtenga resultados cada vez más satisfactorios. Pero es esta comunidad, y en concreto los profesionales de las materias afectadas, los que deben disponer de la documentación y experiencias necesarias para llegar a dominar estos métodos de trabajo y obtener de ellos el máximo rendimiento.

1 INTRODUCCIÓN

Actualmente el sistema GPS a cobrado una importancia enorme como un servicio de localización y posicionamiento global. Sus principales ventajas: disponibilidad mundial y muy económico, si bien requiere la compra del aparato receptor y decodificador el uso de la señal del sistema GPS no tiene ningún costo y es prácticamente omnipresente en todo el globo terrestre.

Su principal aplicación a sido la utilización como un sistema de referencia para ubicar algún punto sobre la superficie terrestre o trazar el recorrido de cualquier objeto o persona, con precisión de hasta 10 metros en el caso del sistema DGPS.

Es obvio que las aplicaciones basadas en esta características son innumerables, basta imaginar cualquier aplicación que requiera localizar un punto en la tierra o estimar movimientos entre puntos.

Pero actualmente se han encontrado aplicaciones para el GPS muy distintas al propósito original , algunas extremas, como el utilizar las desviaciones de la señal al cruzar la atmósfera para obtener datos acerca de las condiciones climatológicas, otra mas: en la navegación marítima se esta estudiando la posibilidad de evaluar las diferencias de la reflexión de la señal en la superficie del océano para conocer la dirección y fuerza del viento y altitud de las olas. Otras no tan extremas, como la utilización de la señal GPS (su contenido temporal) para sincronizar las transmisiones en Internet.

La transmisión de información por cualquier medio requiere que el receptor este “sincronizado” con el transmisor para poder decodificar la información contenida en la portadora. Prácticamente todos los sistemas de comunicación actual tienen algún medio interno para recuperar esta sincronía a partir de la señal recibida.

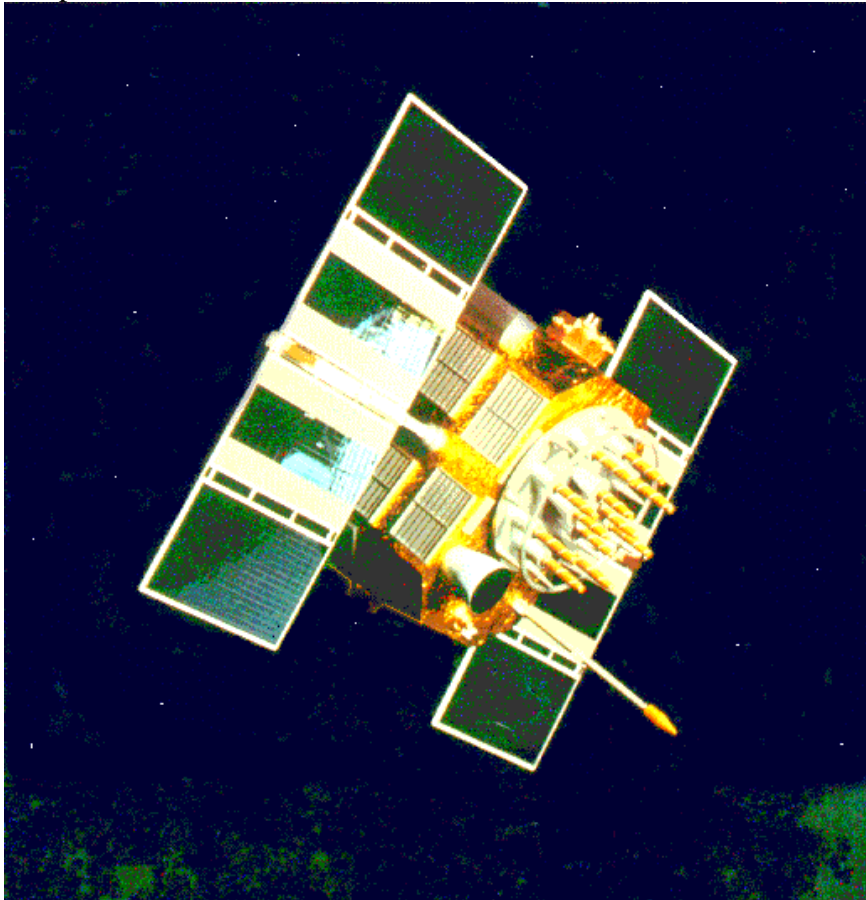
En Internet, la sincronía no se usa directamente para recuperar la señal de información, si no para lograr el acceso a los medios de transmisión dentro de la red con la mayor eficiencia posible. Por ejemplo haciendo una analogía entre Internet y la TV. La señal de televisión viaja por el aire y normalmente solo sigue una trayectoria para llegar a nuestro aparato receptor, pero en Internet las cosas son distintas, la señal puede viajar a través de múltiples caminos para llegar del punto A al punto B cada uno tendrá un cierto tiempo de retraso para ir y venir de nuestra computadora al servidor que queremos acceder. Este retraso no siempre es el mismo ya que con cada petición o recepción de información el camino seguido rara vez será el mismo. Aquí es donde entra el protocolo NTP, un conjunto de normas para acceder en el dominio del tiempo a los recursos de la red, ¿Y que tiene que ver todo esto con el sistema GPS?. Pues bien, el protocolo NTP requiere que el tiempo en la red sea absoluto y estandarizado de lo contrario las diferencias horarias o los retrasos y adelantos en los relojes de cada computadora ocasionarían un caos en la red al llegar cada equipo y decir “mi tiempo es este y no hay ningún otro” pero cada equipo conectado a Internet tendría un tiempo distinto y relativo a su reloj de sistema, que actualmente suma millones de equipos en linea. El protocolo NTP toma su referencia temporal de servidores conocidos como Stratum 1 que en su mayoría estaban conectados a algún servicio de información horaria mundial vía RF o a un reloj atómico local. Estos sistemas tienen inconvenientes de disponibilidad y claridad de la señal para el primer caso y de costo para el segundo. Aquí es donde el sistema GPS entra en acción, colocando un servidor Stratum 1 en algún lugar por medio del sistema GPS podemos determinar su localización exacta sobre el globo terrestre,

para estimar con mucha precisión a partir del conocimiento de su localización exacta, el tiempo que dura en ir y venir cualquier señal por Internet, además, el sistema GPS provee dentro de su señal el tiempo local del satélite obtenido de un reloj atómico a bordo y que esta sincronizado con los demás satélites GPS, esto no da la gran ventaja de aprovechar una señal gratuita y omnipresente de mucha precisión con un equipo receptor de un precio muy inferior al de cualquier reloj atómico.

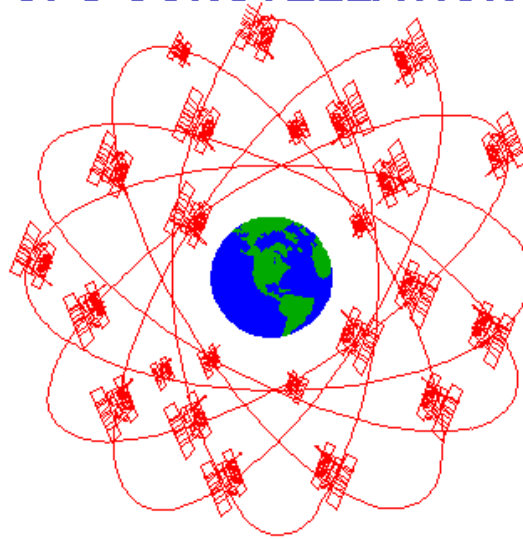
Nos permitimos dar una explicación sobre el sistema GPS como sistema de localización ya que si bien el fin de este trabajo no es la localización de puntos vía GPS si es necesario comprender como el GPS trabaja ya que como veremos más adelante los sistemas para NTP requieren, cuando menos al iniciar operaciones, de conocer su posición lo más exactamente posible, no se diga si es un servidor móvil.

2 GPS BÁSICO

Este sistema se basa en 24 satélites orbitando a más de 20000 km de altura. Estos actúan como puntos de referencia a partir de los cuales "triangulan" su posición unos receptores en la Tierra. En cierto sentido es como una versión en alta tecnología de la vieja técnica de los "boy scouts" o bandas análogas, consistente en tomar marcaciones mediante una brújula desde las cumbres de los montes cercanos para situar un punto en el mapa.



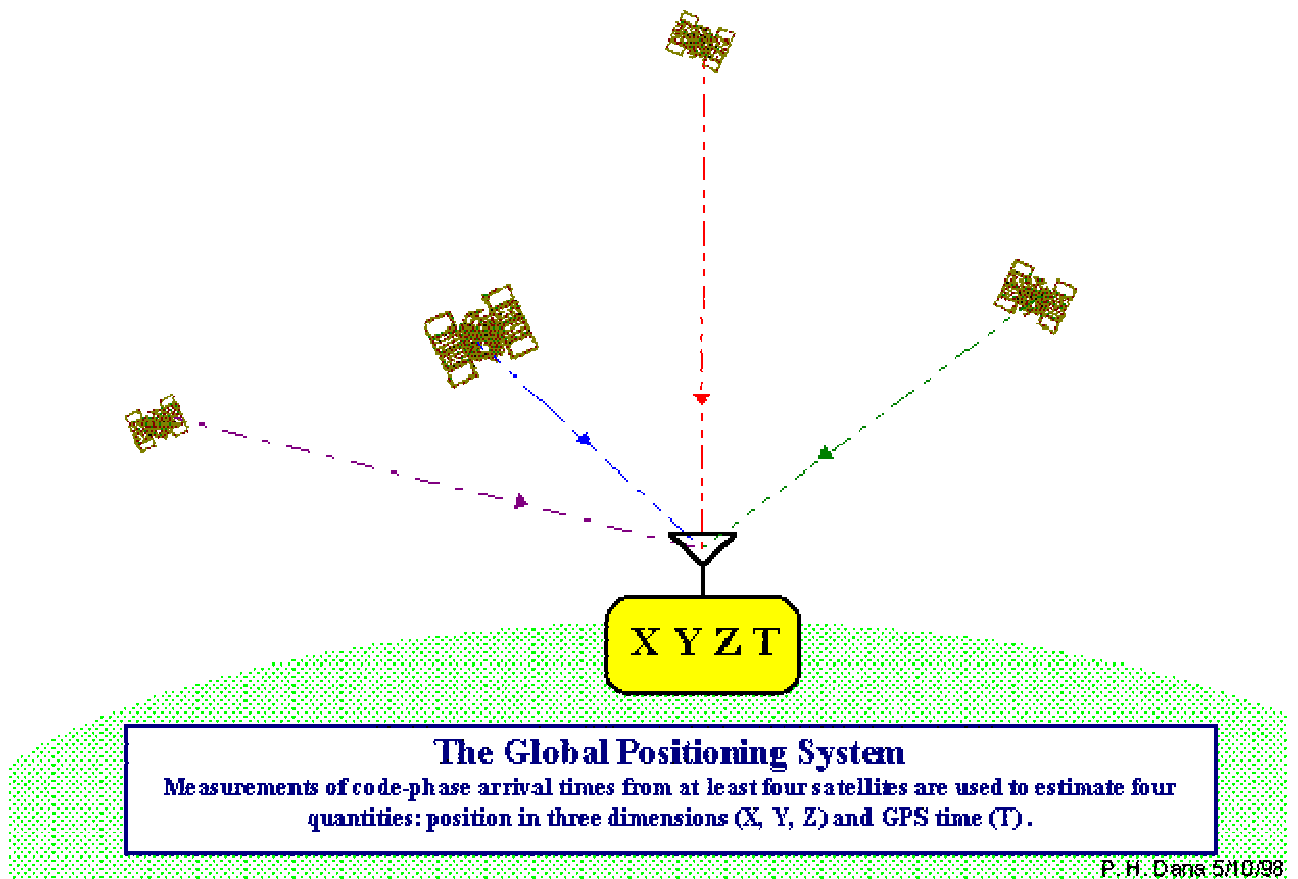
GPS CONSTELLATION



**21 SATELLITES WITH 3 OPERATIONAL SPARES
6 ORBITAL PLANES, 55 DEGREE INCLINATIONS
20,200 KILOMETER, 12 HOUR ORBITS**

P H Dana 8/17/94

Los satélites actúan como puntos de referencia al ser supervisadas sus órbitas con gran precisión desde estaciones terrestres. Mediante una medición del tiempo de viaje de las señales transmitidas desde los satélites, un receptor GPS en tierra determina su distancia desde cada satélite. Con la medición de la distancia desde cuatro satélites y la aplicación de cálculo matemático, el receptor calcula, latitud, longitud, altitud, derrota y velocidad. Los buenos receptores tienen una precisión menor que 100 m, y efectúan más de una medida por segundo.



Los receptores pueden hacerse con antenas muy pequeñas, de hecho son de tal tamaño, que caben en la mano.

Otra ventaja es que las señales GPS (código C/A) están al alcance de todos, gratuitamente sin necesidad de pagar tasas de licencia ni uso, aunque el gobierno actual le gustaría cobrar por ello, no es posible pues los satélites son de EE.UU y de Rusia, con lo cual no tiene ninguna opción de sacar dinero a costa de este tipo de usuarios. El código denominado P(Y) es de uso militar y restringido a usuarios autorizados.

2.1 COMO FUNCIONA EL SISTEMA GPS, EN CINCO PASOS LÓGICOS

1. **Triangulación.** La base del GPS es la "triangulación" desde los satélites
2. **Distancias.** Para "triangular", el receptor de GPS mide distancias utilizando el tiempo de viaje de señales de radio.

3. **Tiempo.** Para medir el tiempo de viaje de estas señales, el GPS necesita un control muy estricto del tiempo y lo logra con ciertos trucos.

4. **Posición.** Además de la distancia, el GPS necesita conocer exactamente donde se encuentran los satélites en el espacio. Orbitas de mucha altura y cuidadoso monitoreo, le permiten hacerlo.

5. **Corrección.** Finalmente el GPS debe corregir cualquier demora en el tiempo de viaje de la señal que esta pueda sufrir mientras atraviesa la atmósfera.

Veamos cada uno de estos puntos en detalle.

Paso 1: La Triangulación desde los satélites

Aunque pueda parecer improbable, la idea general detrás del GPS es utilizar los satélites en el espacio como puntos de referencia para ubicaciones aquí en la tierra.

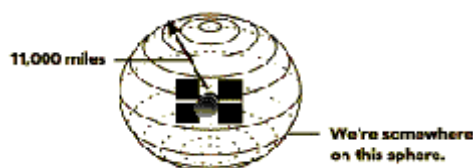
Esto se logra mediante una muy, pero muy exacta, medición de nuestra distancia hacia al menos tres satélites, lo que nos permite "triangular" nuestra posición en cualquier parte de la tierra.

Olvidémonos por un instante sobre cómo mide nuestro GPS dicha distancia. Lo veremos luego. Consideremos primero como la medición de esas distancias nos permiten ubicarnos en cualquier punto de la tierra.

La gran idea, Geométricamente, es:

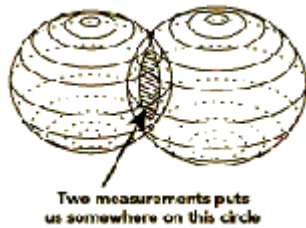
Supongamos que medimos nuestra distancia al primer satélite y resulta ser de 11.000 millas (20.000 Km)

Sabiendo que estamos a 11.000 millas de un satélite determinado, no podemos por lo tanto estar en cualquier punto del universo sino que esto limita nuestra posición a la superficie de una esfera que tiene como centro dicho satélite y cuyo radio es de 11.000 millas.

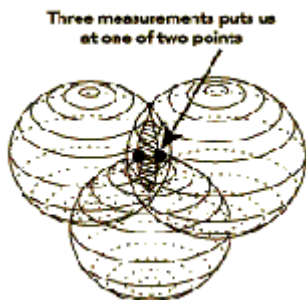


A continuación medimos nuestra distancia a un segundo satélite y descubrimos que estamos a 12.000 millas del mismo.

Esto nos dice que no estamos solamente en la primer esfera, correspondiente al primer satélite, sino también sobre otra esfera que se encuentra a 12.000 millas del segundo satélite. En otras palabras, estamos en algún lugar de la circunferencia que resulta de la intersección de las dos esferas.



Si ahora medimos nuestra distancia a un tercer satélite y descubrimos que estamos a 13.000 millas del mismo, esto limita nuestra posición aún más, a los dos puntos en los cuales la esfera de 13.000 millas corta la circunferencia que resulta de la intersección de las dos primeras esferas.



O sea, que midiendo nuestra distancia a tres satélites limitamos nuestro posicionamiento a solo dos puntos posibles.

Para decidir cual de ellos es nuestra posición verdadera, podríamos efectuar una nueva medición a un cuarto satélite. Pero normalmente uno de los dos puntos posibles resulta ser muy improbable por su ubicación demasiado lejana de la superficie terrestre y puede ser descartado sin necesidad de mediciones posteriores.

Una cuarta medición, de todos modos es muy conveniente por otra razón que veremos más adelante.

Veamos ahora como el sistema mide las distancias a los satélites.

En Resumen: Triangulación

1. Nuestra posición se calcula en base a la medición de las distancias a los satélites
2. Matemáticamente se necesitan cuatro mediciones de distancia a los satélites para determinar la posición exacta
3. En la práctica se resuelve nuestra posición con solo tres mediciones si podemos descartar respuestas ridículas o utilizamos ciertos trucos.
4. Se requiere de todos modos una cuarta medición por razones técnicas que luego veremos.

Paso 2: Midiendo las distancias a los satélites

Sabemos ahora que nuestra posición se calcula a partir de la medición de la distancia hasta por lo menos tres satélites. Pero, ¿cómo podemos medir la distancia hacia algo

que está flotando en algún lugar en el espacio?. Lo hacemos midiendo el tiempo que tarda una señal emitida por el satélite en llegar hasta nuestro receptor de GPS.

La gran idea, Matemáticamente, es:

Toda la idea bulle alrededor de aquellos problemas sobre la velocidad que resolvíamos en la secundaria, Recordemos que "Si un auto viaja a 60 kilómetros por hora durante dos horas, ¿qué distancia recorrió?

Velocidad (60 km/h) x Tiempo (2 horas) = Distancia (120 km)

En el caso del GPS estamos midiendo una señal de radio, que sabemos que viaja a la velocidad de la luz, alrededor de 300.000 km por segundo.

Nos queda el problema de medir el tiempo de viaje de la señal (Que, obviamente, viene muy rápido)

Sincronicemos nuestros relojes

El problema de la medición de ese tiempo es complicado. Los tiempos son extremadamente cortos. Si el satélite estuviera justo sobre nuestras cabezas, a unos 20.000 km de altura, el tiempo total de viaje de la señal hacia nosotros sería de algo mas de 0.06 segundos. Estamos necesitando relojes muy precisos. Ya veremos como lo resolvemos.

Pero, aún admitiendo que tenemos relojes con la suficiente precisión, ¿cómo medimos el tiempo de viaje de la señal?

Supongamos que nuestro GPS, por un lado, y el satélite, por otro, generan una señal auditiva en el mismo instante exacto. Supongamos también que nosotros, parados al lado de nuestro receptor de GPS, podamos oír ambas señales (Obviamente es imposible "oír" esas señales porque el sonido no se propaga en el vacío).

Oiríamos dos versiones de la señal. Una de ellas inmediatamente, la generada por nuestro receptor GPS y la otra con cierto atraso, la proveniente del satélite, porque tuvo que recorrer alrededor de 20.000 km para llegar hasta nosotros. Podemos decir que ambas señales no están sincronizadas.

Si quisiéramos saber cual es la magnitud de la demora de la señal proveniente del satélite podemos retardar la emisión de la señal de nuestro GPS hasta lograr la perfecta sincronización con la señal que viene del satélite.

El tiempo de retardo necesario para sincronizar ambas señales es igual al tiempo de viaje de la señal proveniente del satélite. Supongamos que sea de 0.06 segundos. Conociendo este tiempo, lo multiplicamos por la velocidad de la luz y ya obtenemos la distancia hasta el satélite.

Tiempo de retardo (0.06 seg) x Vel. de la luz (300.000 km/seg) = Dist. (18.000 km)

Así es, básicamente, como funciona el GPS.

La señal emitida por nuestro GPS y por el satélite es algo llamado "Código Pseudo Aleatorio" (Pseudo Random Code). La palabra "Aleatorio" significa algo generado por el azar.

¿Un Código Aleatorio?

Este Código Pseudo Aleatorio es una parte fundamental del GPS. Físicamente solo se trata de una secuencia o código digital muy complicado. O sea una señal que contiene una sucesión muy complicada de pulsos "on" y "off", como se pueden ver:



La señal es tan complicada que casi parece un ruido eléctrico generado por el azar. De allí su denominación de "Pseudo-Aleatorio".

Hay varias y muy buenas razones para tal complejidad. La complejidad del código ayuda a asegurarnos que el receptor de GPS no se sintonice accidentalmente con alguna

otra señal. Siendo el modelo tan complejo es altamente improbable que una señal cualquiera pueda tener exactamente la misma secuencia.

Dado que cada uno de los satélites tiene su propio y único Código Pseudo Aleatorio, esta complejidad también garantiza que el receptor no se confunda accidentalmente de satélite. De esa manera, también es posible que todos los satélites transmitan en la misma frecuencia sin interferirse mutuamente. Esto también complica a cualquiera que intente interferir el sistema desde el exterior al mismo. El Código Pseudo Aleatorio le da la posibilidad al Departamento de Defensa de EEUU de controlar el acceso al sistema GPS.

Pero hay otra razón para la complejidad del Código Pseudo Aleatorio, una razón que es crucial para conseguir un sistema GPS económico.

El código permite el uso de la "teoría de la información" para amplificar las señales de GPS. Por esa razón las débiles señales emitidas por los satélites pueden ser captadas por los receptores de GPS sin el uso de grandes antenas.

Cuando comenzamos a explicar el mecanismo de emisión de las señales por el GPS y el satélite, asumimos que ambos comenzaban la emisión de la señal exactamente al mismo tiempo. ¿Pero cómo podemos asegurarnos que todo esté perfectamente sincronizado? Ya veremos...

En Resumen: Midiendo la distancia

1. La distancia al satélite se determina midiendo el tiempo que tarda una señal de radio, emitida por el mismo, en alcanzar nuestro receptor de GPS.
2. Para efectuar dicha medición asumimos que ambos, nuestro receptor GPS y el satélite, están generando el mismo Código Pseudo Aleatorio en exactamente el mismo momento.
3. Comparando cuanto retardo existe entre la llegada del Código Pseudo Aleatorio proveniente del satélite y la generación del código de nuestro receptor de GPS, podemos determinar cuanto tiempo le llevó a dicha señal llegar hasta nosotros.
4. Multiplicamos dicho tiempo de viaje por la velocidad de la luz y obtenemos la distancia al satélite.

Paso 3: Control perfecto del tiempo

Si la medición del tiempo de viaje de una señal de radio es clave para el GPS, los relojes que empleamos deben ser exactísimos, dado que si miden con un desvío de un milésimo de segundo, a la velocidad de la luz, ello se traduce en un error de 300 km!

Por el lado de los satélites, el timing es casi perfecto porque llevan a bordo relojes atómicos de increíble precisión.

¿Pero que pasa con nuestros receptores GPS, aquí en la tierra?

Recordemos que ambos, el satélite y el receptor GPS, deben ser capaces de sincronizar sus Códigos Pseudo Aleatorios para que el sistema funcione.

Si nuestros receptores GPS tuvieran que alojar relojes atómicos (Cuyo costo está por encima de los 50 a 100.000 U\$S) la tecnología resultaría demasiado costosa y nadie podría acceder a ellos.

Por suerte los diseñadores del sistema GPS encontraron una brillante solución que nos permite resolver el problema con relojes mucho menos precisos en nuestros GPS. Esta solución es uno de los elementos clave del sistema GPS y, como beneficio adicional, significa que cada receptor de GPS es en esencia un reloj atómico por su precisión.

El secreto para obtener un timing tan perfecto es efectuar una medición satelital adicional.

Resulta que si tres mediciones perfectas pueden posicionar un punto en un espacio tridimensional, cuatro mediciones imperfectas pueden lograr lo mismo.

Esta idea es fundamental para el funcionamiento del sistema GPS, pero su explicación detallada excede los alcances de la presente exposición. De todos modos, aquí va un resumen somero:

Una medición adicional remedia el desfasaje del timing.

Si todo fuera perfecto (es decir que los relojes de nuestros receptores GPS lo fueran), entonces todos los rangos (distancias) a los satélites se intersectarían en un único punto (que indica nuestra posición). Pero con relojes imperfectos, una cuarta medición, efectuada como control cruzado, NO intersectará con los tres primeros.

De esa manera la computadora de nuestro GPS detectará la discrepancia y atribuirá la diferencia a una sincronización imperfecta con la hora universal.

Dado que cualquier discrepancia con la hora universal afectará a las cuatro mediciones, el receptor buscará un factor de corrección único que siendo aplicado a sus mediciones de tiempo hará que los rangos coincidan en un solo punto.

Dicha corrección permitirá al reloj del receptor ajustarse nuevamente a la hora universal y de esa manera tenemos un reloj atómico en la palma de nuestra mano!

Una vez que el receptor de GPS aplica dicha corrección al resto de sus mediciones, obtenemos un posicionamiento preciso.

Una consecuencia de este principio es que cualquier GPS decente debe ser capaz de sintonizar al menos cuatro satélites de manera simultánea. En la práctica, casi todos los GPS en venta actualmente, acceden a mas de 6, y hasta a 12, satélites simultáneamente.

Ahora bien, con el Código Pseudo Aleatorio como un pulso confiable para asegurar la medición correcta del tiempo de la señal y la medición adicional como elemento de sincronización con la hora universal, tenemos todo lo necesario para medir nuestra distancia a un satélite en el espacio.

Pero, para que la triangulación funcione necesitamos conocer no sólo la distancia sino que debemos conocer dónde están los satélites con toda exactitud.

Veremos cómo lo conseguimos.

En Resumen: Obtener un Timing Perfecto

1. Un timing muy preciso es clave para medir la distancia a los satélites
2. Los satélites son exactos porque llevan un reloj atómico a bordo.
3. Los relojes de los receptores GPS no necesitan ser tan exactos porque la medición de un rango a un satélite adicional permite corregir los errores de medición.

Paso 4: Conocer dónde están los satélites en el espacio

A lo largo de este trabajo hemos estado asumiendo que conocemos dónde están los satélites en sus órbitas y de esa manera podemos utilizarlos como puntos de referencia. ¿Pero, cómo podemos saber donde están exactamente? Todos ellos están flotando a unos 20.000 km de altura en el espacio.

Un satélite a gran altura se mantiene estable

La altura de 20.000 km es en realidad un gran beneficio para este caso, porque algo que está a esa altura está bien despejado de la atmósfera. Eso significa que orbitará de manera regular y predecible mediante ecuaciones matemáticas sencillas.

La Fuerza Aérea de los EEUU colocó cada satélite de GPS en una órbita muy precisa, de acuerdo al Plan Maestro de GPS.

En tierra, todos los receptores de GPS tienen un almanaque programado en sus computadoras que les informan donde está cada satélite en el espacio, en cada momento.

El Control Constante agrega precisión

Las órbitas básicas son muy exactas pero con el fin de mantenerlas así, los satélites de GPS son monitoreados de manera constante por el Departamento de Defensa.



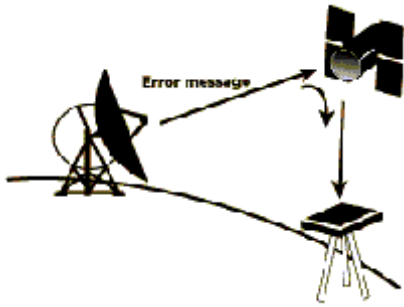
Ellos utilizan radares muy precisos para controlar constantemente la exacta altura, posición y velocidad de cada satélite.

Los errores que ellos controlan son los llamados errores de efemérides, o sea evolución orbital de los satélites. Estos errores se generan por influencias gravitacionales del sol y de la luna y por la presión de la radiación solar sobre los satélites.

Estos errores son generalmente muy sutiles pero si queremos una gran exactitud debemos tenerlos en cuenta.

Corrigiendo el mensaje

Una vez que el Departamento de Defensa ha medido la posición exacta de un satélite, vuelven a enviar dicha información al propio satélite. De esa manera el satélite incluye su nueva posición corregida en la información que transmite a través de sus señales a los GPS.



Esto significa que la señal que recibe un receptor de GPS no es solamente un Código Pseudo Aleatorio con fines de timing. También contiene un mensaje de navegación con información sobre la órbita exacta del satélite

Con un timing perfecto y la posición exacta del satélite podríamos pensar que estamos en condiciones de efectuar cálculos perfectos de posicionamiento. Sin embargo debemos resolver otros problemas.

En Resumen: Posicionamiento de los Satélites

1. Para utilizar los satélites como puntos de referencia debemos conocer exactamente donde están en cada momento.
2. Los satélites de GPS se ubican a tal altura que sus órbitas son muy predecibles.
3. El Departamento de Defensa controla y mide variaciones menores en sus órbitas.
4. La información sobre errores es enviada a los satélites para que estos a su vez retransmitan su posición corregida junto con sus señales de timing.

Paso 5: Corrigiendo Errores

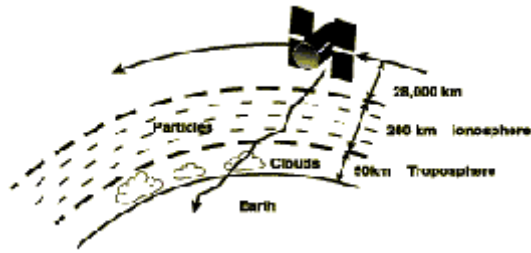
Hasta ahora hemos estado tratando los cálculos del sistema GPS de manera muy abstracta, como si todo el proceso ocurriera en el vacío. Pero en el mundo real hay muchas cosas que le pueden suceder a una señal de GPS para transformarla en algo menos que matemáticamente perfecta.

Para aprovechar al máximo las ventajas del sistema un buen receptor de GPS debe tener en cuenta una amplia variedad de errores posibles. Veamos que es lo que debemos enfrentar.

Un Rudo Viaje a través de la atmósfera

En primer lugar, una de las presunciones básicas que hemos estado usando a lo largo de este trabajo no es exactamente cierta. Hemos estado afirmando que podemos calcular la distancia a un satélite multiplicando el tiempo de viaje de su señal por la velocidad de la luz. Pero la velocidad de la luz sólo es constante en el vacío.

Una señal de GPS pasa a través de partículas cargadas en su paso por la ionosfera y luego al pasar a través de vapor de agua en la troposfera pierde algo de velocidad, creando el mismo efecto que un error de precisión en los relojes.



Hay un par de maneras de minimizar este tipo de error. Por un lado, podríamos predecir cual sería el error tipo de un día promedio. A esto se lo llama modelación y nos puede ayudar pero, por supuesto, las condiciones atmosféricas raramente se ajustan exactamente el promedio previsto.

Otra manera de manejar los errores inducidos por la atmósfera es comparar la velocidad relativa de dos señales diferentes. Esta medición de doble frecuencia es muy sofisticada y solo es posible en receptores GPS muy avanzados.

Un Rudo Viaje sobre la tierra

Los problemas para la señal de GPS no terminan cuando llega a la tierra. La señal puede rebotar varias veces debido a obstrucciones locales antes de ser captada por nuestro receptor GPS.



Este error es similar al de las señales fantasma que podemos ver en la recepción de televisión. Los buenos receptores GPS utilizan sofisticados sistemas de rechazo para minimizar este problema.

Problemas en el satélite

Aún siendo los satélites muy sofisticados no tienen en cuenta minúsculos errores en el sistema.

Los relojes atómicos que utilizan son muy, pero muy, precisos, pero no son perfectos. Pueden ocurrir minúsculas discrepancias que se transforman en errores de medición del tiempo de viaje de las señales.

Y, aunque la posición de los satélites es controlada permanentemente, tampoco pueden ser controlados a cada segundo. De esa manera pequeñas variaciones de posición o de efemérides pueden ocurrir entre los tiempos de monitoreo.

Algunos ángulos son mejores que otros

La geometría básica por sí misma puede magnificar estos errores mediante un principio denominado "Dilación Geométrica de la Precisión", o DGDP

Suena complicado pero el principio es simple.

En la realidad suele haber más satélites disponibles que los que el receptor GPS necesita para fijar una posición, de manera que el receptor toma algunos e ignora al resto.

Si el receptor toma satélites que están muy juntos en el cielo, las circunferencias de intersección que definen la posición se cruzarán a ángulos con muy escasa diferencia entre sí. Esto incrementa el área gris o margen de error acerca de una posición.



Si el receptor toma satélites que están ampliamente separados, las circunferencias intersectan a ángulos prácticamente rectos y ello minimiza el margen de error.



Los buenos receptores son capaces de determinar cuales son los satélites que dan el menor error por Dilución Geométrica de la Precisión.

¡Errores Intencionales!

Aunque resulte difícil de creer, el mismo Gobierno que pudo gastar 12.000 Millones de dólares para desarrollar el sistema de navegación más exacto del mundo, está degradando intencionalmente su exactitud. Dicha política se denomina "Disponibilidad Selectiva" y pretende asegurar que ninguna fuerza hostil o grupo terrorista pueda utilizar el GPS para fabricar armas certeras.

Básicamente, el Departamento de Defensa introduce cierto "ruido" en los datos del reloj satelital, lo que a su vez se traduce en errores en los cálculos de posición. El Departamento de Defensa también puede enviar datos orbitales ligeramente erróneos a los satélites que estos reenvían a los receptores GPS como parte de la señal que emiten. Estos errores en su conjunto son la mayor fuente unitaria de error del sistema GPS. Los receptores de uso militar utilizan una clave encriptada para eliminar la Disponibilidad Selectiva y son, por ello, mucho más exactos.

La línea final

Afortunadamente todos esos errores no suman demasiado error total. Existe una forma de GPS, denominada GPS Diferencial, que reduce significativamente estos problemas.

En Resumen: Corrección de Errores

1. La ionosfera y la troposfera causan demoras en la señal de GPS que se traducen en errores de posicionamiento.
2. Algunos errores se pueden corregir mediante modelación y correcciones matemáticas.
3. La configuración de los satélites en el cielo puede magnificar otros errores
4. El GPS Diferencial puede eliminar casi todos los errores

Resumen de las fuentes de error del sistema GPS

Errores típicos, en Metros (Por cada satélite)

Fuentes de Error	GPS Standard	GPS Diferencial
Reloj del Satélite	1.5	0
Errores Orbitales	2.5	0
Ionosfera	5.0	0.4
Troposfera	0.5	0.2
Ruido en el Receptor	0.3	0.3
Señal Fantasma	0.6	0.6
Disponibilidad Selectiva	30	0
Exactitud Promedio de Posición		
Horizontal	50	1.3
Vertical	78	2.0
3-D	93	2.8

3 GPS DIFERENCIAL

Es una forma de hacer más preciso al GPS. El DGPS proporciona mediciones precisas hasta un par de metros en aplicaciones móviles, e incluso mejores en sistemas estacionarios. Esto implica el que sea un sistema universal de medición, capaz de posicionar cosas en una escala muy precisa.

El DGPS opera mediante la cancelación de la mayoría de los errores naturales y causados por el hombre, que se infiltran en las mediciones normales con el GPS.

Las imprecisiones provienen de diversas fuentes, como los relojes de los satélites, órbitas imperfectas y, especialmente, del viaje de la señal a través de la atmósfera terrestre. Dado que son variables es difícil predecir cuales actúan en cada momento. Lo que se necesita es una forma de corregir los errores reales conforme se producen. Aquí es donde entra el segundo receptor, se sitúa en un lugar cuya posición se conozca exactamente. Calcula su posición a través de los datos de los satélites y luego compara la respuesta con su posición conocida. La diferencia es el error de la señal GPS.

No es posible calcular el error en un momento y que valga para mediciones sucesivas, ya que los receptores de los satélites cambian continuamente. Para realizar esta tarea es necesario tener dos receptores operando simultáneamente. El de referencia permanece en su estación y supervisa continuamente los errores a fin de que el segundo receptor (el itinerante) pueda aplicar las correcciones a sus mediciones, bien sea en tiempo real o en algún momento futuro.

El concepto ya está funcionando algún tiempo y se ha utilizado ampliamente en la ciencia e industria. Hay una norma internacional para la transmisión y recepción de correcciones, denominada "Protocolo RTCM SC-104".

Las medidas de código y las medidas de fase se ven afectadas por errores sistemáticos y por ruido aleatorio. La precisión en posicionamiento absoluto que un usuario puede alcanzar con un receptor depende principalmente de cómo sus sistemas de hardware y software puedan tener en cuenta los diversos errores que afectan a la medición. Estos errores pueden ser clasificados en tres grupos: los **errores relativos al**

satélite, los **errores relativos a la propagación de la señal** en el medio, y los **errores relativos al receptor**.

ELEMENTO	FUENTE DE ERROR
Satélite	Errores en el oscilador Errores o variaciones en los parámetros orbitales
Propagación de la señal	Refracción ionosférica Refracción troposférica S/A. Disponibilidad Selectiva Pérdidas de ciclos Multipath. Ondas reflejadas
Receptor	Errores en el oscilador Error en las coordenadas del punto de referencia Error en el estacionamiento Error en la manipulación del equipo Variación y desfase del centro de la antena

Algunos de estos errores sistemáticos pueden ser modelados e incluso eliminados utilizando combinaciones apropiadas de los observables a partir de una o dos frecuencias, o trabajando en modo diferencial, utilizando dos receptores.

En la medida de la calidad y bondad de una observación van a influir o contribuir dos términos: el URE y el DOP. El URE (User Range Error) es el error cometido en la medida de la pseudodistancia por el usuario. Este error contempla los errores al predecir las efemérides, inestabilidades en el vehículo espacial, relojes de los satélites, efectos ionosféricos y troposféricos, efecto multipath, ruido de la señal y para GPS, la Disponibilidad Selectiva (SA). Todos estos errores en su conjunto se recogen en el valor σ_{URE} . El DOP o Dilución de la Precisión es la contribución puramente geométrica al error en el posicionamiento de un punto. Es un valor adimensional que da una idea de la solidez de la figura formada por el receptor y los satélites que tiene a la vista. Analizando estos factores de error en su conjunto, el error en el posicionamiento de un punto viene expresado por :

$$\text{error rms de posición} = \sigma_{URE} \cdot \text{DOP}$$

3.1 ERRORES RELATIVOS AL SATÉLITE.

3.1.1 ERROR DEL RELOJ DEL SATÉLITE.

Este error es el desfase que tiene el reloj del satélite respecto al Tiempo GPS o respecto al Tiempo GLONASS. Los satélites llevan relojes atómicos con osciladores de cesio o de rubidio, sin embargo ningún reloj, incluso el atómico es perfecto.

Los errores en los osciladores de los satélites pueden eliminarse mediante las correcciones enviadas en el mensaje de navegación que recibe el receptor, y que son

calculadas y actualizadas por las estaciones de seguimiento. Para cada reloj de satélite se determina su desfase para una época inicial, y los coeficientes de la marcha o deriva del estado del reloj. Estos parámetros se graban en el correspondiente satélite y se incluyen en el mensaje de navegación que manda el satélite. Pero aunque el receptor aplique las correcciones para el error del reloj del satélite, sigue permaneciendo un pequeño error residual estimado en unos 10 nanosegundos o menos, y que es debido a la imposibilidad de predecir exactamente la marcha del estado del reloj del satélite.

3.1.2 ERRORES EN LOS PARÁMETROS ORBITALES.

Para calcular su posición, el receptor debe conocer las posiciones de los satélites. Las estaciones de seguimiento registran datos de pseudodistancia y medidas de fase que mandan a la Estación de Control principal, donde con un sofisticado software se predicen las futuras posiciones orbitales de los satélites, es decir sus efemérides. Éstas son transmitidas en el mensaje de navegación del satélite. Pero las efemérides transmitidas por los satélites tendrán asociado un error a causa de que es imposible predecir exactamente sus posiciones. El efecto del error de las efemérides transmitidas en la medida de la pseudodistancia se obtiene proyectando el vector error de la posición del satélite sobre el vector que une el satélite y el receptor. Los errores en los parámetros orbitales se pueden eliminar trabajando con las efemérides precisas de los días de observación, donde aparecen las verdaderas posiciones de los satélites.

Para líneas base cortas, trabajando en modo diferencial con dos receptores, respecto a los mismos satélites de observación, podemos eliminar todos los errores relativos a los satélites, ya que afectan de igual forma a ambos receptores. Para líneas base largas, el error del reloj del satélite se elimina igual, ya que es independiente de la línea base e igual en ambos puntos, pero los errores en los parámetros orbitales no se eliminan del todo, porque los errores que provocan en la pseudodistancia a un satélite en un punto no son los mismos que los que se producen en el otro punto para el mismo satélite e instante. El error depende de la orientación del vector error de la posición del satélite respecto de los vectores satélite-receptor para cada uno de los puntos.

3.2 ERRORES RELATIVOS A LA PROPAGACIÓN DE LA SEÑAL.

La velocidad de propagación de la señal es crítica para cualquier sistema de medida de distancias. Esta velocidad multiplicada por el intervalo de tiempo en que se propagó la señal nos da una medida de la distancia. Si una onda electromagnética se propaga por el vacío, su velocidad de propagación, sea cual sea su frecuencia es la velocidad de la luz (c). Sin embargo, en el caso de observaciones GPS o GLONASS, las señales deben atravesar las capas de la atmósfera hasta llegar al receptor posicionado sobre la superficie de la tierra. Las señales interactúan con partículas cargadas, que provocan un cambio en la velocidad y dirección de propagación, es decir, las señales son refractadas. Cuando la señal viaja por un medio que no es el vacío, ésta sufre un *retardo* debido a que la velocidad de propagación es menor, y a que la trayectoria aumenta su longitud al curvarse por refracción, si el medio no es isótropo.

3.2.1 REFRACCIÓN IONOSFÉRICA.

La Ionosfera es aquella región de la atmósfera comprendida entre 100 y 1000 Km de altitud, donde las radiaciones solares y otras radiaciones ionizan una porción de las moléculas gaseosas liberando electrones, que interfieren en la propagación de ondas de radio. La Ionosfera es un medio disperso para ondas de radio, por lo tanto su índice de refracción es función de la frecuencia de la onda. También es función de la densidad de electrones, y en menor grado, de la intensidad del campo magnético de la tierra.

Este error es negativo para la medida de fase (se produce un avance de la portadora y se miden distancias más pequeñas), y positivo para las pseudodistancias (se produce un retardo y se miden distancias más largas), pero tienen el mismo valor absoluto.

$$\lambda\Phi = \rho + c \Delta\delta + \lambda N - \Delta^{\text{Iono}}(f)$$

$$R = \rho + c\Delta\delta + \Delta^{\text{Iono}}(f)$$

El error es proporcional a la densidad de electrones (TEC-Total Electron Content) a lo largo del camino seguido por la señal, y está en función del cuadrado de la longitud de la onda (inversamente proporcional al cuadrado de la frecuencia de la portadora). Este error varía espacial y temporalmente, es decir, para cada punto según su latitud y longitud, y momento de la observación. Se pueden utilizar modelos ionosféricos, como el de Klobuchar (1986) que establecen la distribución del TEC, pero estas concentraciones de electrones son irregulares y poco predecibles, por lo que cualquier modelo ionosférico es sólo una aproximación. El TEC es función del cambio constante en la ionización solar, de la actividad magnética, de los ciclos de las manchas solares, hora del día, lugar de observación, y dirección del camino de la señal. Una expresión en primer orden de aproximación para este retardo es:

$$\Delta^{\text{Iono}} = \frac{40.3}{c f^2} \text{TEC} = \frac{A}{f^2}$$

TEC => electrones por m³. (Valores observados de 10¹⁶ a 10¹⁹).

Debido a la dificultad de encontrar un modelo satisfactorio, se emplea un método más eficiente para eliminar la refracción ionosférica que es la utilización de dos señales con diferentes frecuencias. Como el retardo depende de la longitud de la onda, será distinto para cada frecuencia y podremos observar un retardo diferencial entre ambas, que será mayor cuanto mayor sea el retardo ionosférico sufrido, siendo por tanto este deducible.

También se pueden utilizar combinaciones de las observables que por su naturaleza estén libres del efecto ionosférico. Tal es el caso de la combinación de fases llamada “*combinación libre de efecto ionosférico*”, en la que partiendo de la siguiente expresión:

$$\Phi_{L1,L2} = n_1 \Phi_{L1} + n_2 \Phi_{L2}$$

lo que se pretende es obtener qué valores deben tener los coeficientes n_1 y n_2 para que los valores del efecto ionosférico que sufren ambas portadoras sea eliminado. Desarrollando esta expresión, se obtienen los valores de n_1 y n_2 para la *combinación libre de efecto ionosférico*, que quedaría de la forma:

$$\Phi_{L1,L2} = \Phi_{L1} - \frac{f_{L2}}{f_{L1}} \Phi_{L2}$$

La eliminación de la refracción ionosférica es la mayor *ventaja* de la combinación lineal libre de efecto ionosférico, pero el término libre de efecto ionosférico no es del todo correcto, ya que para su obtención hay que considerar algunas aproximaciones. Esta combinación libre de efecto ionosférico tiene la *desventaja* de que si N_{L1} y N_{L2} son valores enteros, la combinación da un valor : $N = n_1 N_{L1} + n_2 N_{L2} = N_{L1} - (f_{L2}/f_{L1})N_{L2}$, que no es un valor entero, luego el concepto de fijar las ambigüedades en este caso no se puede aplicar y este valor va a ser siempre un valor real.

Si sólo se registran medidas en una sola frecuencia, tanto en pseudodistancias como en medida de fase, entonces se tiene que emplear un procedimiento alternativo para eliminar el efecto ionosférico. Normalmente se usan modelos empíricos para corregir el efecto, en los que se modela el TEC en función del tiempo, lugar de observación y dirección de la señal. En el mensaje de navegación se incluyen unos parámetros para tal modelo. Usando este modelo se pueden llegar a reducir en un 50% los efectos de la Ionosfera.

Actualmente, estamos saliendo de un mínimo en la actividad de las manchas solares (11 años de ciclo), por lo que las condiciones ionosféricas son ahora más idóneas. Pero dentro de unos 4 años, estaremos cerca del máximo, y entonces los efectos de la Ionosfera en las señales serán mucho peores.

El retardo ionosférico depende del ángulo de elevación del satélite, siendo menor en el cenit, y mayor cuando disminuye el ángulo de elevación. En observaciones nocturnas, los niveles de TEC son menores que durante el día, lo que implica un menor error en la pseudodistancia.

Pero después de la aplicación del modelo empírico transmitido puede quedar algún error ionosférico residual que afectará principalmente a la componente altimétrica del punto y a la estimación del error del reloj del receptor. Este error contribuye poco a la posición planimétrica cuando la concentración de electrones encima del receptor es uniforme.

3.2.2 REFRACCIÓN TROPOSFÉRICA.

La Troposfera es la última zona o capa de la atmósfera (hasta unos 80 Km, pero sólo en los últimos 40 se producen retardos significativos), donde se produce retardo y donde las temperaturas decrecen con el incremento de altura. El espesor de la Troposfera no es el mismo en todas las zonas. La presencia de átomos y moléculas

neutros en la Troposfera afecta a las señales de propagación electromagnética. El índice de refracción para un área parcial es función de su temperatura, de la presión de los gases secos y del vapor de agua. Esta atmósfera neutra es un medio no disperso con respecto a las ondas de radio de frecuencias superiores a 15 GHz, por lo tanto, la propagación es independiente de la frecuencia. Consecuentemente, no es necesario distinguir entre medidas de código y fase sobre las portadoras L1 y L2. La desventaja está en que no es posible eliminar la refracción troposférica con medidas en las dos frecuencias. El retardo troposférico experimentado por una señal que va desde un satélite a un punto en la superficie, puede ser expresado en primera aproximación por la siguiente integral a lo largo del camino recorrido por la señal:

$$\Delta^{\text{Trop}} = \int (n - 1) ds$$

Se introduce la aproximación de que la integral se realiza a lo largo del camino seguido por la señal. Usualmente, en lugar del índice de refracción se utiliza la refractancia:

$$N^{\text{Trop}} = 10^{-6} (n - 1)$$

$$\Delta^{\text{Trop}} = 10^{-6} \int N^{\text{Trop}} ds$$

La integral puede ser evaluada conociendo el índice de refracción, o puede ser aproximada por funciones analíticas. Pero lo más normal es utilizar aproximaciones basadas en modelos atmosféricos simplificados. Algunos de estos modelos son: el modelo de Hopfield (1969), modelo de Saastamoinen (1972), modelo de Hopfield modificado, Goad y Goodman (1974), Black (1978), Robinson (1986), etc.

En la mayoría de los casos, se considera por separado la *componente seca* y la *componente húmeda* :

$$N^{\text{Trop}} = N_d^{\text{Trop}} + N_w^{\text{Trop}}$$

donde la componente seca resulta de la atmósfera seca y la componente húmeda del vapor de agua.

Se puede mejorar el cálculo del retardo troposférico tomando datos meteorológicos en el lugar de observación. A diferencia de la componente seca, la componente húmeda varía espacialmente y temporalmente. La componente seca es la causante de un 90% del total del retardo y puede ser obtenido con precisión de algunos milímetros a partir de medidas de presión en superficie. La componente húmeda es función del vapor de agua a lo largo del camino de la señal.

El gradiente térmico admite modelación con precisión aceptable, pero el principal problema está en la forma de modelar el vapor de agua, que tiene una irregular distribución. El simple uso de medidas meteorológicas en superficie no puede dar la precisión alcanzable con los radiómetros de vapor de agua. Estos instrumentos miden la radiación basal que se recibe desde el espacio en la dirección de la observación, y son capaces de medir el contenido de vapor de agua en la atmósfera.

El retardo se puede evaluar en 1.9-2.5 m en la dirección cenital e incrementa aproximadamente con la cosecante del ángulo de elevación, llegando a ser de 20-28 m a unos 5°.

El efecto del *retardo ionosférico* y *el troposférico* debido al vapor de agua sobre las emisiones de la banda radioeléctrica es menor cuanto mayor sea la frecuencia, o cuanto menor sea la longitud de la onda. La refracción ionosférica y troposférica puede ser eliminada trabajando en modo diferencial, pero esto es sólo cierto para líneas base pequeñas, donde las medidas de distancias satélite-receptor se ven afectadas de igual forma por la refracción. De otro modo, ya vimos que la refracción ionosférica puede ser eliminada utilizando una adecuada combinación de datos en doble frecuencia.

3.2.3. DISPONIBILIDAD SELECTIVA.

La Disponibilidad Selectiva supone una alteración o manipulación de la información que los satélites de la constelación GPS envían a los usuarios en su mensaje de navegación, manipulación que realiza el Departamento de Defensa de los Estados Unidos (DoD). Se actúa sobre los estados de los relojes y parámetros orbitales. Trabajando con posicionamiento relativo o diferencial se puede eliminar este error.

3.2.4. PÉRDIDAS DE CICLOS.

Las pérdidas de ciclos suponen un salto en el registro de las medidas de fase, producido por alguna interrupción o pérdida de la señal enviada por el satélite. Estas pérdidas de ciclos pueden ser causadas por la obstrucción de la señal del satélite debido a la presencia de árboles, edificios, puentes, montañas, etc. Esta causa es la más frecuente, pero también pueden ser debidas a una baja SNR (calidad señal-ruido) debido a unas malas condiciones ionosféricas, efecto multipath, receptores en movimiento, o baja elevación del satélite. Otra causa puede ser un fallo en el software del receptor, que conduce a un procesamiento incorrecto de la señal. Una última causa de pérdida de ciclo, aunque suele darse en raras ocasiones, es aquella debida a un mal funcionamiento del oscilador del satélite.

La detección de una pérdida de ciclo y su reparación requiere la localización del salto y determinación de su tamaño. La detección se lleva a cabo por medio de un chequeo o test de cantidad, estos test pueden ser medida de la fase en bruto, combinaciones de fase, combinaciones de código y fase, etc. Una vez determinado el tamaño de la pérdida de ciclo, la reparación se hace corrigiendo a todas las observaciones de fase siguientes para este satélite y su portadora, según una cantidad fija. El software interno del receptor es capaz (in situ) de detectar y corregir las pérdidas de ciclo.

3.2.5 EFECTO MULTIPATH.

El efecto multipath o multicamino es causado principalmente por múltiples reflexiones de la señal emitida por el satélite en superficies cercanas al receptor. Estas señales reflejadas que se superponen a la señal directa son siempre más largas, ya que tienen un tiempo de propagación más largo y pueden distorsionar significativamente la amplitud y forma de la onda. Este efecto puede ser considerablemente reducido eligiendo puntos de estación protegidos de reflexiones (edificios, vehículos, árboles, etc.), es decir, evitar las superficies reflectantes en las proximidades del receptor; y por

un apropiado diseño de la antena, como es la utilización de planos de tierra, que reducen las interferencias de señales con baja elevación o incluso con elevación negativa, que son las que provocan el multipath, en otras palabras, se intenta reducir la intensidad de las señales secundarias y aislar a la señal directa. El efecto multipath depende de la frecuencia de la portadora. Por lo tanto, las medidas de fase se verán menos afectadas que las medidas de código, donde el efecto multipath puede alcanzar hasta el nivel de metro.

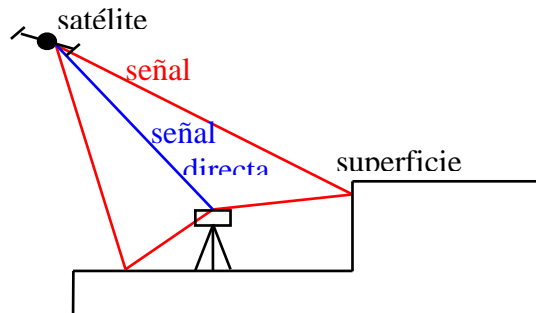


Figura 2. Efecto Multipath.

3.3. ERRORES RELATIVOS AL RECEPTOR.

3.3.1. ERROR DEL RELOJ.

Cuando un receptor recibe una señal de un satélite, en ese momento su reloj interno tendrá un desfase o error con respecto a la Escala de Tiempo. Este error afectará a todas las medidas de pseudodistancias realizadas para cada época.

Los errores en los osciladores de los receptores los podemos eliminar trabajando con posicionamiento relativo por medidas de fase, planteando las ecuaciones de dobles diferencias.

3.3.2 ERROR EN EL ESTACIONAMIENTO DE LA ANTENA.

Los errores en el estacionamiento de la antena tienen menos influencia y las exigencias de estacionamiento son muy inferiores a las de los instrumentos de observación clásica. No necesitan una altísima estabilidad, ya que pequeños desplazamientos, vibraciones o torsiones en nada afectan a la observación de las señales de los satélites.

3.3.3. ERRORES EN LA MANIPULACIÓN DE LOS EQUIPOS.

Los errores de manipulación se producen cuando no se siguen las instrucciones del fabricante del instrumento o cuando éstas suelen descuidarse cuando se trabaja rutinariamente. Por ejemplo, es importante no comenzar una observación hasta que no

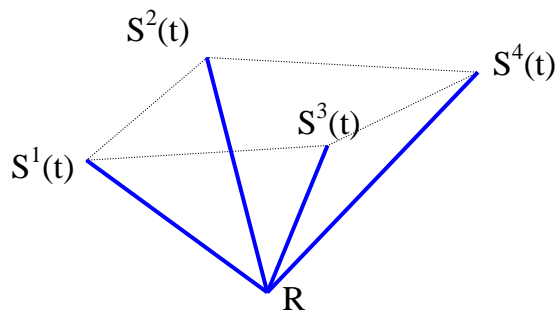
se hayan sincronizado perfectamente todos los satélites, ya que lo único que estaremos haciendo es introducir ruido a la observación.

3.3.4. VARIACIÓN DEL CENTRO RADIOELÉCTRICO DE LA ANTENA.

La variación y desfase del centro de la antena se debe a la falta de coincidencia entre el centro radioeléctrico o punto que realmente se posiciona, ya que es el punto al que llega la señal; y el centro mecánico o físico, generando un error residual por excentricidad que puede ser de unos milímetros. Para evitar este error en posicionamiento relativo se recomienda una orientación aproximada común para todas las antenas, ya que el fabricante monta en el interior de todas las carcasas el elemento físico receptor en la misma posición respecto a alguna referencia exterior del conjunto, y trabajando en modo diferencial este error se eliminará en ambas estaciones.

3.3.5. DILUCIÓN DE LA PRECISIÓN.

La geometría de los satélites visibles es un factor importante a la hora de conseguir altas precisiones en el posicionamiento de un punto. Dicha geometría cambia con el tiempo como consecuencia del movimiento orbital de los satélites. Un factor que mide la bondad de esta geometría es el denominado factor de dilución de la precisión (dilution of precision , **DOP**).



El valor del DOP puede ser interpretado geoméricamente como el volumen del cuerpo formado por los satélites y el receptor. Cuanto mayor sea el volumen de este cuerpo mejor será la geometría, y por lo tanto menor será el valor del DOP, siendo el valor ideal la unidad.

Como ya se vio anteriormente, el valor del DOP es el factor por el que debe ser multiplicado el error obtenido en las pseudodistancias para obtener el error final en el posicionamiento. Los valores de DOP más utilizados son los siguientes:

- * **GDOP**: Dilución de precisión en posición y estado del reloj.
- * **PDOP**: Dilución de precisión en posición.
- * **TDOP**: Dilución de precisión en el estado del reloj.
- * **HDOP**: Dilución de precisión en planimetría.

- * **VDOP:** Dilución de precisión en altimetría.
- * **RDOP:** Dilución de precisión relativa entre dos puntos.

4 ¿ CÓMO FUNCIONA EL DGPS ?

El GPS es "autónomo", esto es, que un solo receptor puede desplazarse a cualquier sitio y realizar mediciones por sí mismo, empleando como referencia los satélites GPS. Mientras que el DGPS implica otro receptor añadido, uno que se desplaza y otro estacionario.

Previamente se han comentado las diversas fuentes de error. A su vez las distancias entre los dos receptores son muy pequeñas comparadas con las distancias a las que se encuentran los satélites, esto quiere decir que recorrerán la atmósfera con retrasos análogos, de forma que una de las estaciones puede dedicarse a medir esos errores y facilitárselo a la otra.

Se ha de ubicar el receptor de referencia en un punto cuya posición se haya determinado con exactitud, al recibir las señales GPS ataca los cálculos en sentido inverso al de un receptor. Emplea su posición para calcular el tiempo. Y así obtiene el error entre el teórico y el real.

Todos los receptores de referencia han de facilitar esta información de errores a todos los receptores itinerantes de su zona con objeto de que corrijan sus mediciones. El receptor de referencia reconoce todos los satélites visibles y calcula los errores instantáneos.

Luego codifica esta información en un formato estándar y lo transmite a los receptores itinerantes.

Algunos trabajos no requieren correcciones en tiempo real, en este caso se conoce como GPS posprocesado.

También existe el DGPS invertido, por ejemplo, en una flota de camiones que informan periódicamente de su posición a una estación base. En lugar de enviar a los camiones las correcciones diferenciales, la corrección se realiza en la estación base. Los camiones sólo conocen su posición de una manera aproximada, pero el controlador sabría la posición exacta, hasta el punto de poder ubicar el camión en el carril de la calle en que se encuentra.

4.1 APLICACIONES DE DGPS

Servicio de guardacostas

El Servicio de Guardacostas de EE.UU. es el responsable de proporcionar todas las ayudas de navegación. El huracán BOB que azotó la costa este de EE.UU. en 1991 destrozó o desplazó un gran número de boyas. La situación era peligrosa, pues los barcos iban a puerto confiados en unas boyas que ya no existían o estaban cambiadas de sitio.

El Servicio de Guardacostas equipó uno de sus barcos de mantenimiento de boyas con un receptor DGPS y reposicionaron las boyas de nuevo, en tan solo unos días. A lo largo de este año se espera esté implantado el sistema DGPS para toda la costa de EE.UU.

Aviación

Algunos experimentos realizados por la NASA y por las FAA de EE.UU. contribuyeron al aterrizaje de helicópteros y aviones de pasajeros mediante DGPS como único sistema guía, sin las radiobalizas tradicionales.

En la actualidad los sistemas de aterrizaje con poca visibilidad son tan caros que sólo están disponibles en los mayores aeropuertos. El DGPS es tan barato que lo puede instalar cualquier aeropuerto. La mejora de seguridad de vuelo es tremenda.

Como referencia se puede citar Canadá, donde el sistema GPS ha sustituido al habitual, conocido como Omega.

Gestión de los recursos naturales

La gestión del uso y protección de los bosques es una gran tarea. Su estudio topográfico es difícil, sin embargo hay que medir constantemente parcelas de árboles, ya sea por asunto de su conservación o por ventas a empresas madereras. El Servicio Forestal de EE.UU. ha sido uno de los pioneros del DGPS. Hacen medidas con GPS desde helicópteros.

Otras aplicaciones son: topografía de galerías de minas, de superficies de pantanos y de zonas para pesca.

Otro caso es el control de incendios en los bosques.

Exploración costera

Las empresas petrolíferas gastan enormes cantidades de dinero en la exploración del fondo de los océanos en busca de lugares idóneos para perforar. El problema, es que una vez el barco encuentra un lugar de perforación, su tripulación necesita llevar a ese punto los dispositivos de perforación, lo cual no es fácil llegar al mismo sitio, al no haber posibilidad de poner marcas de referencia, y apartarse unos metros significa muchos millones de gasto de más. Para solucionar este problema usan el GPS.

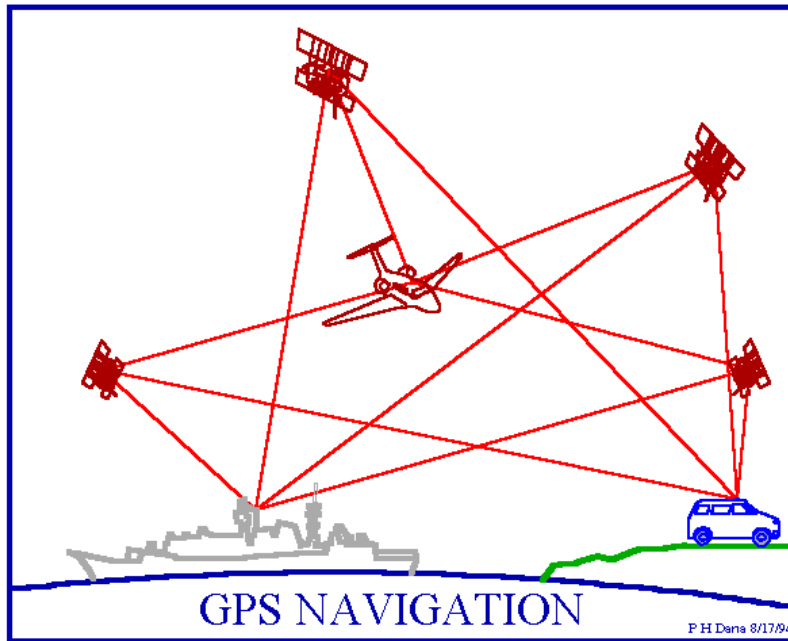
Otra utilidad es para mantener a los barcos en las rutas exactas.

También se usan para el levantamiento topográfico de los puertos.

Gestión transporte y flotas

Con este sistema el controlador de una flota puede llevar la cuenta de cada vehículo, el resultado es una más estricta adhesión al horario y una mejor supervisión. A las empresas de transporte, flotas de servicios y servicios de seguridad pública les gusta saber la posición de sus vehículos incluso al extremo de conocer el nombre de la calle. La solución es DGPS.

También se usa en los ferrocarriles



Agricultura

El GPS está abriendo una nueva era de "agricultura de precisión". Un agricultor puede analizar las condiciones del suelo en cada parcela, y compilar un mapa de las demandas de fertilizante. Este mapa se digitaliza y se registra en ordenador. La máquina que adiciona los productos químicos al terreno, va con un GPS y su posición se correlaciona con los datos previamente digitalizados, añadiendo en cada punto la cantidad exacta de fertilizante. Se beneficia el agricultor con menos gasto y el medio ambiente evitando un exceso de productos químicos.

También se puede aplicar a la fumigación aérea.

Transporte marítimo

En EE.UU. es obligatorio que los barcos petroleros lleven GPS por motivos de seguridad.

Otras aplicaciones costeras son: la verificación de vaciados en barcazas, hasta la determinación de las zonas de pesca legal.

También es posible su aplicación en cualquier tipo de actividad marina.

Seguridad pública

Para los servicios de bomberos y policía el tiempo de respuesta es muy importante. Con DGPS se pueden guiar los vehículos con gran precisión. Los planos de rutas centralizadas ofrecen a los controladores un mejor conocimiento de la forma en que están desplegados sus efectivos.

Servicio de información de tiempo mundial

La señal del sistema GPS contiene también la información de tiempo proporcionado por el reloj atómico a bordo del satélite y ya que todos los relojes de los satélites están sincronizados se puede usar esta información para sincronizar cualquier evento temporal a nivel mundial evitando que las diferencias horarias o los errores humanos interfieran en la ejecución de estos eventos a la hora y día indicados por la fuente.

4.2 ¿CÓMO SOLUCIONAR LA LIMITACIÓN DE LOS 100 M DE RESOLUCIÓN?

Como se ha comentado previamente, el sistema GPS para usos no militares tiene una limitación puesta intencionadamente por el ministerio de defensa de EE.UU., con la finalidad, como ya en normal en ellos de incordiar y no beneficiar a nadie, la limitación a 100 m en la resolución, salvo que se use el DGPS que como se ha visto requiere más medio y por lo tanto es más costoso. Debido a las presiones de diversos sectores, el presidente de EE.UU. ha indicado que en el plazo de 10 años se eliminarán las restricciones militares, pero mientras tanto el error es demasiado grande para algunas aplicaciones, como el control de flotas de autobuses urbanos. Para resolver esta falta de resolución, en EE.UU se ha propuesto un sistema aplicable a los autobuses que consta del siguiente equipamiento en cada autobús, un odómetro o sensor de velocidad del vehículo, y un giróscopo que nos dará el cambio en acimut del vehículo. Estos sensores ha de estar perfectamente calibrados y además ha de conocerse la posición inicial y el acimut. Como todos los sensores están sujetos a error esta no es la solución perfecta. La empresa Andrew Corp., ha creado un sistema que combina lo mejor del GPS y el sistema de posicionamiento continuo (CPS). El sensor de GPS calibra los sensores para evitar errores acumulados. El factor más importante en la generación de errores es la estabilidad del giróscopo, reducidos al mínimo con el sistema Navigator AUTOGIRO, basado en un giróscopo con fibra óptica, diseñado especialmente para sistemas de navegación. El sistema propuesto por esta empresa está aplicándose en diversas empresas de transporte urbano de EE.UU.

GPS y los Servidores NTP para Internet

5 LA NECESIDAD DE UN SERVICIO CONFIABLE DE TIEMPOS

El tiempo es un argumento irreversible que afecta globalmente a todas las actividades humanas y es componente clave para todas las relaciones causales entre procesos. Las relaciones de dependencia entre unos hechos y otros son función del orden en el que se realizan cada uno de ellos y suelen ser manifestación de las relaciones causales que los unen.

Por este motivo, cualquier versión telemática de los procesos que hoy realizamos por otros medios, habrá de disponer de un mecanismo que permita poner de manifiesto esa misma dependencia temporal. Consideremos, por ejemplo, el caso de la celebración de un examen o prueba evaluatoria. En este tipo de escenarios, todos los participantes deben tener las mismas oportunidades, por lo que se les reúne simultáneamente en un mismo lugar, se les plantean las mismas preguntas y se les otorga el mismo tiempo para confeccionar sus respuestas. Al final del periodo marcado, las respuestas de cada uno de los participantes no podrán ser ya modificadas por nadie ya que eso iría en contra del principio de igualdad de oportunidades.

En este tipo de situaciones es necesaria la intervención de una Autoridad que pueda certificar que cada respuesta al examen planteado fue firmada por su autor y fue presentada dentro del plazo. Una vez emitido el documento que afirma tales hechos, ni el contenido de las respuestas, ni la autoría de las mismas, ni el momento en que se produjo la entrega deberán poder modificarse sin que con ello se invalide automáticamente el "sello" emitido por la Autoridad de Certificación.

Consideremos otro caso más, el de un Concurso Público de Ofertas. En este caso, varias compañías presentan sus opciones como respuesta a un mismo pliego de exigencias, y hacen sus cuentas para presentar una oferta que les pueda hacer ganar el concurso.

Actualmente, sus propuestas, convenientemente firmadas por sus representantes legales, se meten en sobres que se cierran y sellan para, posteriormente, ser entregados en depósito ante el organismo titular del concurso. Cuando han sido presentadas todas las opciones dentro de un mismo plazo de tiempo marcado por las normas del concurso, se reúnen en un acto público todas las partes involucradas para verificar el estado inalterado de los sellos, y luego abrir los sobres haciendo así su contenido público. Si alguien pudiese abrir los sobres antes de que se termine el plazo de presentación de ofertas, el transgresor podría conocer información privilegiada que le permitiría ganar fraudulentamente el concurso.

Si alguien pudiese sustituir o modificar una oferta previa incluyendo algo nuevo después de que haya terminado el plazo de presentaciones, también dispondría de información privilegiada que posiblemente se habría filtrado desde sus oponentes ya que éstos se encuentran más relajados al creer que nada puede hacerse ya para modificar las opciones presentadas.

En el primer caso, en el del examen, además del documento con las respuestas, todos los participantes deberían hacerse con un sello de tiempo que pueda, posteriormente, probar ante cualquiera, que ese documento existía en el momento de ser entregado, y que lo fue dentro del plazo estipulado para ello. A partir de ese instante, su contenido no podrá modificarse sin que con ello no se invalide el sello. Si surgiese cualquier disputa posterior, cualquiera podría verificar que el sello está intacto y que el documento que tiene delante es realmente el que se presentó a la salida del examen. Ni el examinador ni el examinado pueden ponerse de acuerdo para cambiar las respuestas ya que no son capaces de reconstruir un sello válido.

En este caso del concurso público, lo mejor sería no tener que entregar en modo alguno, las propuestas antes de que deban ser abiertas y hechas públicas. Para poder hacerlo así, tan sólo es necesario que exista un mecanismo confiable que pruebe la existencia de cada una de las propuestas con anterioridad al final del plazo de presentación, de modo que también nadie pueda modificarlas con posterioridad y antes de hacerlas públicas resolviendo automáticamente el concurso.

Este mecanismo insinuado en los párrafos anteriores es lo que denominamos un Sello de Tiempo, cuya única finalidad es probar que en un determinado instante de tiempo, todos los agentes involucrados declararon disponer o disponían de un determinado documento; en un caso las respuestas del examen, y en otro de una oferta secreta.

Sincronizar el tiempo en la vasta Internet es crucial para los millones de computadoras intercambiando información. Hoy, GPS ayuda a llenar el rol de un reloj de red global, proveyendo un serio y exacto tiempo.

La Internet es muchas cosas para mucha gente. Para algunos, es un enorme y distribuido reloj de red, aun en su infancia pero creciendo rápido. Ahora mas que nunca, la fuerza que maneja el rápido acceso a Internet es el sistema GPS, que ha venido convirtiéndose en todo lo que un reloj de red puede ser: exacto, seguro, barato y omnipresente.

Hace no mas de cinco años, la mundial Internet se jactaba de tener 3.8 millones de hosts en mas de 37,000 redes, de acuerdo con el Consorcio de Internet y Software. A finales de Febrero del 2000, esta vasta web ha crecido a unos asombrosos 71 millones de computadoras en línea, con muchas de ellas hambrientas de tiempo. Llegaron los días de los servidores aislados existiendo en un vacío de información.

Hoy, las comunicaciones complejas entre computadoras son comunes, con gente intercambiando bases de datos a través de la red y procesando transacciones de incontables tipos. En este abierto ambiente de intercambio de información la necesidad de un tiempo – la sincronización del tiempo en internet – rápidamente se vuelve aparente. Hoy, GPS es el reloj más ampliamente usado para esta tarea.

6 LA HISTORIA DEL TIEMPO EN INTERNET

Los primeros esfuerzos cronometrando la red comenzaron una década atrás en la red de la DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency, Agencia de la Defensa para los Proyectos de Investigación Avanzada), ancestros de la actual Internet. David Mills de la Universidad de Delaware diseño a los “Fuzzballs”, servidores de tiempo con receptores de radio que podrían sincronizarse a las estaciones de tiempo de onda corta del Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (National Institute of Standards and Technology, NIST). Pronto se volvió claro, sin embargo estas señales recibidas de tiempo por radio tenían muchos problemas y relevarlas a través de la Internet fue enteramente otro asunto.

En la Internet de hoy, un reloj “cliente” de red puede aplicar esta diferencia para saberlo de acuerdo a un reloj “servidor” de red.

7 NTP (Network Time Protocol)

La sincronización de los ordenadores con referencia al tiempo real se lleva a cabo en todo momento, aunque el ordenador este desconectado o sufra una falta de corriente. Esto se lleva a cabo gracias a la CMOS, memoria del tipo RAM que se encuentra alimentada por una pequeña batería.

Pese a esto, esta sincronización no es exacta, ya que va sufriendo pequeñas variaciones, tanto durante las desconexiones como durante la gestión de tareas o programas.

Para solucionar estas desviaciones en la sincronización temporal de los ordenadores surgió NTP (Network Time Protocol), protocolo standard de Internet utilizado con el fin de sincronizar el tiempo de distribución en una red entre un cliente o servidor, y otro servidor o fuente de referencia, como puede ser una radio, un receptor satélite o un reloj atómico.

Como dedujo Dennis Ferguson de Universidad de Toronto algunas décadas atrás cuando diseñó el Protocolo de Tiempo de Red, un método para transferencias en tiempo precisas en la Internet, extensamente desarrollado por Mills en un reporte del grupo de trabajo de red de la DARPA en Marzo de 1992, desde entonces se volvió el estándar de Internet para la sincronización del tiempo.

NTP ha sido portado a prácticamente todas las plataformas de computadoras, desde supercomputadoras hasta las modestas computadoras personales (PC).

El protocolo NTP se usa para sincronizar la hora de los Clientes instalados en los PC y en los Servidores, tomando como referencia otro Servidor o fuente de tiempo (como puede ser un receptor de satélite). Esto provee al cliente de una exactitud en la sincronización del orden de los milisegundos en LAN y de centésimas en las WAN, relativos a un servidor primario sincronizado a la escala UTC. La escala UTC se usa en la mayoría de las naciones, y se basa en la rotación de la Tierra alrededor del Sol.

En España el organismo encargado de mantener el patrón nacional de tiempo es el R.O.A. (Real Instituto y Observatorio de la Armada - San Fernando (Cádiz)), utilizando para ello un conjunto de patrones atómicos de cesio. Este laboratorio mantiene en funcionamiento varios servidores que distribuyen el tiempo a través del protocolo NTP. La configuración típica utiliza varios servidores de tiempo redundantes, situados en lugares distintos, con el propósito de obtener una mejor exactitud en la sincronización.

El principal factor que contribuye a ofrecer una sincronización segura y precisa del tiempo, es la selección de las rutas de acceso y los servidores que serán usados en el archivo de configuración. El soporte que NTP ofrece a uno o varios ordenadores es habitualmente diseñado a partir del NTP de una subred ya existente, que consiste en una jerarquía o stratum redundante de servidores y clientes donde cada nivel está identificado por un número de stratum. Algunas configuraciones de NTP incluyen autenticación criptográfica para preservar a este protocolo de ataques malintencionados o accidentales.

Antes de la llegada de NTP, habían sido desarrollados otros dos protocolos: *the Time Protocol* y *the DayTime Protocol*; estos permitían la sincronización automática como NTP, pero por el contrario no compensaban de ninguna forma el retraso en la transmisión entre un cliente y un servidor.

Una razón de porque NTP sobresale es su habilidad para sincronizar los relojes de sistema de servidores primarios (Stratum 1) al Tiempo Universal Coordinado (Universal Coordinated Time, UTC) por vía radio, satélite, modem o relojes atómicos locales y entonces proporcionar tiempo para los Stratum 2, servidores bajos y clientes que carecen de hardware especial pero en cambio se sincronizan a la Internet usando su propia copia del programa de NTP.

7.1 CARACTERÍSTICAS

A continuación presentamos algunas de las características de NTP:

- Necesita disponer de relojes de referencia que determinen el tiempo real para operar. Todos estos relojes deben sincronizarse en un tiempo real que se tomará como standard.

NTP usa como tiempo de referencia UTC (Universal Time Coordinated, standard oficial para contabilizar el tiempo actual) .

- Es un protocolo tolerante a fallos que es capaz de seleccionar entre varias fuentes temporales, la que más se adecua a sus necesidades para realizar una sincronización. Puede combinar diferentes fuentes para minimizar el margen de error.
- NTP es altamente escalable, puesto que la sincronización de una red puede consistir en varios relojes de referencia. Cada nodo de esta red puede intercambiar información temporal de forma unidireccional o bidireccional con otros nodos, de forma jerárquica y tomando como base los relojes de referencia situados en el nivel superior de esta jerarquía, que se denominará estrato 0.
- Puesto que, como ya hemos dicho antes, este protocolo puede estimar el tiempo real escogiendo entre varios fuentes, resulta altamente preciso usando una resolución menor a un nanosegundo.
- Incluso si la conexión a una red no está temporalmente disponible, NTP puede usar mediciones anteriores para calcular el tiempo real y el margen de error.

8 LAS VENTAJAS OFRECIDAS POR EL SERVICIO DE SINCRONIZACIÓN SON ENTRE OTRAS:

- Correo electrónico y listas de distribución: Fiabilidad en las fechas de recepción de mensajes.
- Proxy-caché: Es fundamental que en el intercambio de documentos entre servidores los diversos tiempos asociados al documento (última modificación, tiempo en la caché, etc...) sean precisos para que los documentos puedan considerarse consistentes de acuerdo con la política de refresco y expiración de documentos de la caché.

- Seguridad en red: La detección de problemas de seguridad frecuentemente exige poder comparar logs de acceso de máquinas diferentes, para lo que es imprescindible la coincidencia horaria de las mismas.
- En general para un estudio detallado de cualquier servicio distribuido, es muy útil el disponer de datos horarios precisos entre los equipos implicados, bien sea para la detección de problemas de hardware y/o software, así como para el estudio estadístico de los mismos.

9 ARQUITECTURA, PROTOCOLO Y ALGORITMO DE NTP

9.1 INTRODUCCIÓN

o La red del Protocolo de Tiempo (NTP) sincroniza relojes de hosts y routers en Internet

o Bastante más de 100.000 pares de NTPs han sido desplegados por todo el mundo en internet

o El protocolo proporciona una exactitud nominal de pocas decenas de milisegundos en WANs, submilisegundos en LANs, y submicrosegundos haciendo uso de una fuente de precisión temporal como puede ser un oscilador de cesio o un receptor GPS

o El sistema NTP de UNIX reúne casi la totalidad de puntos de trabajo y plataforma de servidores de las que se dispone hoy en día

o La arquitectura, protocolo y algoritmos del NTP han sido desarrollados durante los últimos veinte años hasta llegar a la última versión de NTP, la número 4, que se describe en el siguiente resumen:

9.2 EVOLUCIÓN DE LA VERSIÓN 4 DE NTP

o La actual versión 3 de NTP ha estado en uso desde 1992 con una exactitud nominal de escasos milisegundos

o Los puntos de trabajo y las redes modernas son mucho más rápidas hoy en día, con una exactitud obtenible en escasos microsegundos

o La arquitectura, protocolo y algoritmo de la versión 4 del protocolo de tiempo (NTP) han ido evolucionando hasta obtener el mencionado grado de exactitud

- Los modelos de relojes mejorados predicen con gran exactitud la fase y la frecuencia para cada fuente de sincronización y cada paso en la red

- Esta versión proyecta algoritmos que reducen el impacto del retraso de las agujas y los desvíos del oscilador mientras aumentan la aceleración de convergencia inicial

- La versión 4 ha redesignado el algoritmo de disciplina del reloj, el cual puede operar en frecuencia fija, en fase fija y de manera híbrida

o Las mejoras, confirmadas por simulación, han aumentado la exactitud en un factor de diez, mientras permite operar dentro de intervalos de encuesta mayores sin que esto conlleve una reducción significativa de exactitud

9.3 RESUMEN ESQUEMATICO DEL PROTOCOLO DE TIEMPO (NTP)

o Los Servidores primarios (stratum 1) sincronizan el tiempo nacional estandar via radio, satélite y MODEM

o Los servidores secundarios y clientes (stratum 2, ...) sincronizan a los primarios por medio de una Intranet jerarquica

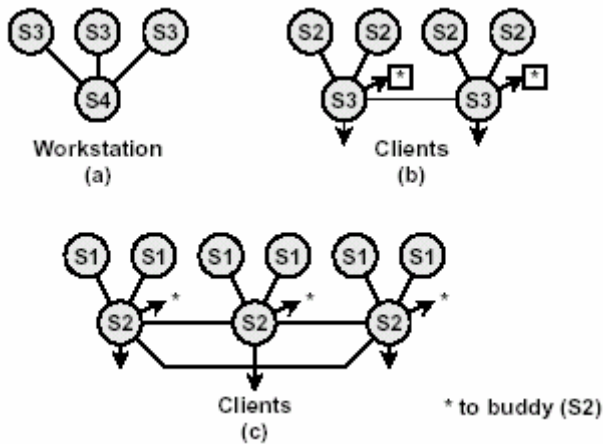
o Los clientes y servidores operan en base a una relación maestro/esclavo, de forma simétrica con o sin autorización criptográfica

o La fiabilidad se asegura a través de una serie de servidores repetidos y varios caminos en la red

o Los algoritmos proyectados reducen incertidumbre, mitigan las diferentes vías e impiden que haya servidores funcionando de forma incorrecta

o El sistema horario está estructurado en tiempo y frecuencia haciendo uso de un algoritmo adaptado sensible a la incertidumbre de tiempo y de frecuencia de oscilación del reloj de la red

9.4 CONFIGURACIÓN DEL PROTOCOLO DE TIEMPO (NTP)

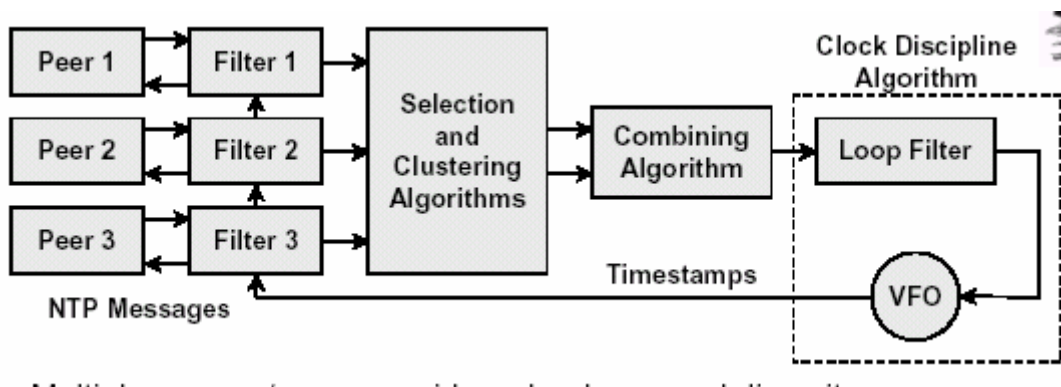


o (a) Los puntos de trabajo usan un modelo de multiselección con múltiples servidores en departamentos

o (b) Los servidores departamentados usan los modelos cliente/servidor en un campo múltiple

o (c) Los servidores de campo usan modelos cliente/servidor con hasta 6 servidores primarios diferentes y modelos simétricos con cada uno, así como también servidores externos secundarios

9.5 VISTA PRELIMINAR DE NTP



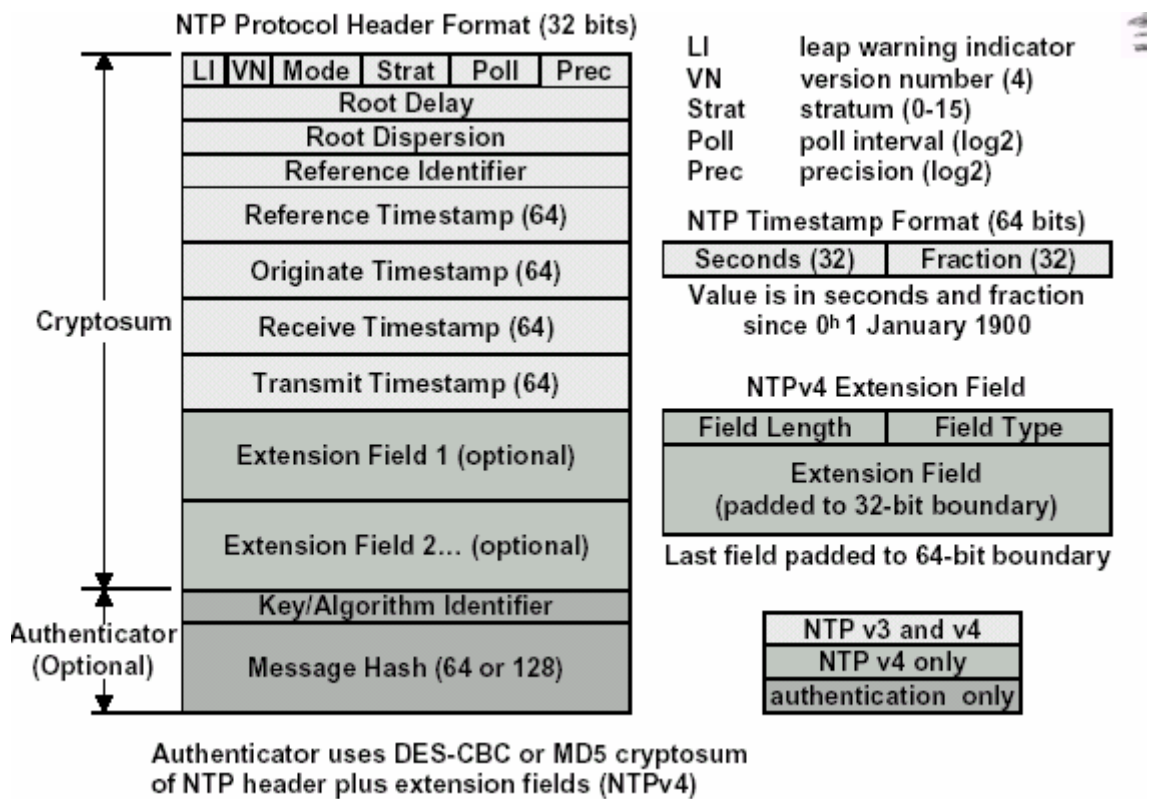
o Los servidores múltiples/pares proporcionan redundancia y diversidad

o Los filtros del reloj seleccionan lo mejor de una gama de 8 ejemplos de equivalencias de tiempo

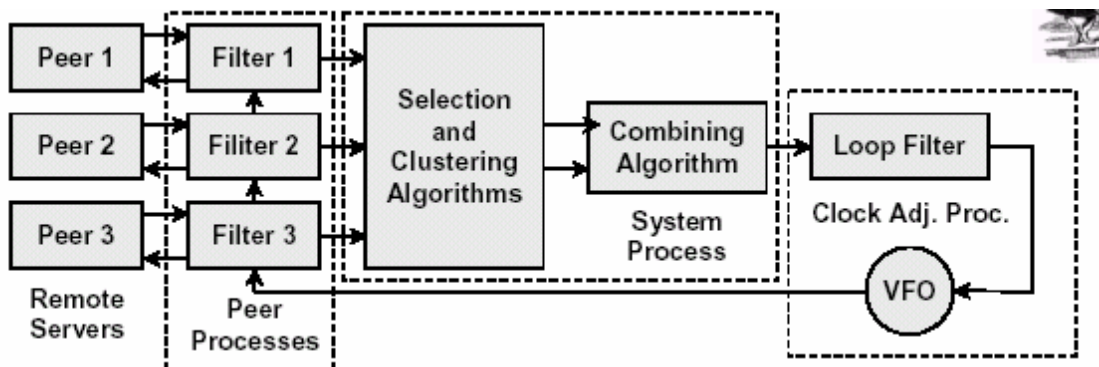
o El algoritmo combinado calcula equivalencias medias de tiempo

o El filtro de circuito cerrado y el oscilador de frecuencia variable implementan la fase híbrida del circuito de realimentación para minimizar la incertidumbre y la desviación

9.6 LOS FORMATOS DE DIRECCIÓN Y MARCADOR DE TIEMPO DE NTP



9.7 PROCESO DE DESCOMPOSICIÓN DE NTP (NTPv4)

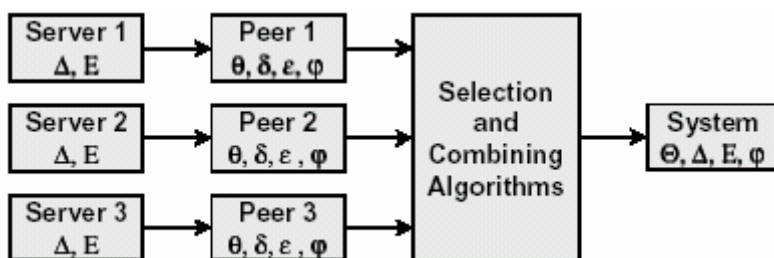


o Cada proceso de formación de pares funciona de manera independiente en intervalos de encuesta determinados por el proceso de sistema y el servidor remoto

o El proceso de sistema funciona a intervalos de encuesta determinados por la incertidumbre medida en la fase de red y la estabilidad de la frecuencia de oscilación del reloj(local)

o El proceso de ajuste del reloj funciona en intervalos de 1-s para dirigir la frecuencia y fase del VFO

9.8 ANÁLISIS DEL FLUJO DE INFORMACIÓN DE NTP



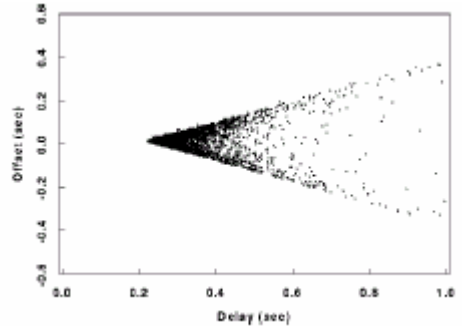
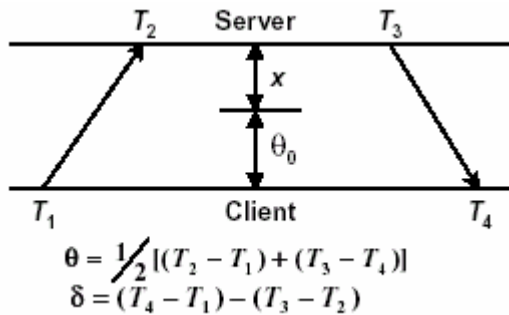
o Cada servidor calcula la equivalencia de las variables del servidor θ , retraso Δ y dispersión E relativo a la raíz del sub-árbol sincronizador

o A cada llegada de mensaje del NTP, el proceso de formación de pares actualiza la equivalencia del par θ , retraso δ , dispersión ϵ y error de filtro ϕ (NTPv4) desde el marcador de tiempo y el algoritmo de filtro del reloj

o En intervalos de encuesta del sistema, el selector del reloj y el algoritmo combinado actualizan el sistema de variables θ , Δ , E y ϕ

o Las dispersiones ϵ y E crecen con el tiempo a una proporción que depende de la tolerancia de frecuencia especificada ϕ

9.9 ALGORITMO DEL FILTRO DEL RELOJ

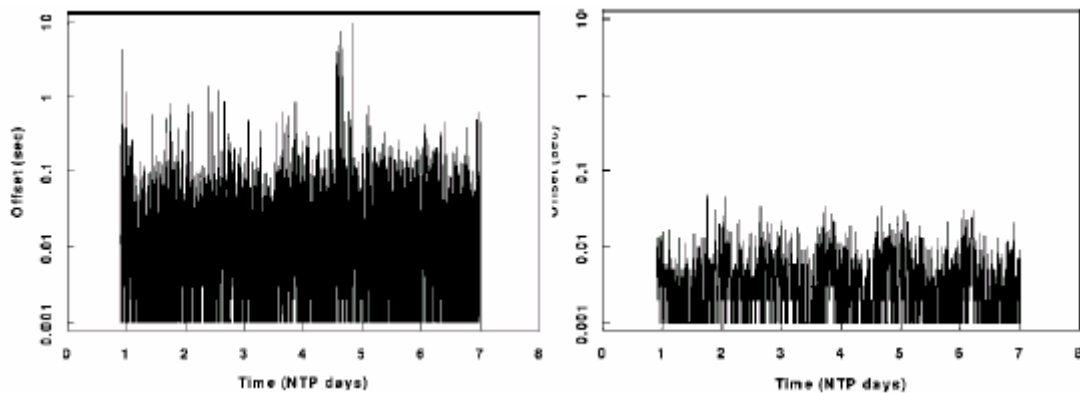


o La equivalencia más exacta de θ_0 se mide al retraso más bajo δ_0 (vértice del diagrama de dispersión)

- El tiempo correcto θ debe situarse dentro del prisma triangular $\theta_0 \pm (\delta - \delta_0)/2$
- El δ_0 se estima como de los últimos ocho medidas de retrasos y (δ_0, θ_0) se convierten en el resultado de la equivalencia y el retraso
- Cada resultado puede usarse sólo una vez y debe ser más reciente que el resultado anterior

o La distancia métrica λ está basada en el retraso, tolerancia de frecuencia y tiempo desde la última medición

9.10 COMPORTAMIENTO DEL ALGORITMO DEL FILTRO DEL RELOJ

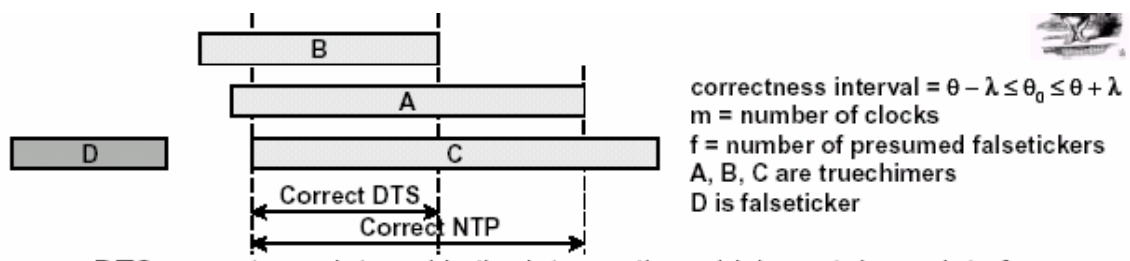


o Estos diagramas muestran la equivalencia absoluta del reloj en coordenadas semilogarítmicas mediante un camino entre las costas este y oeste de USA durante seis días

- (izquierda) Ejemplos de equivalencia de datos absolutos sin procesar
- (derecha) Ejemplos de equivalencia de datos procesados por el algoritmo del filtro del reloj

o El algoritmo reduce errors de equivalencia hasta el valor de diez

9.11 INTERSECCIÓN DEL ALGORITMO

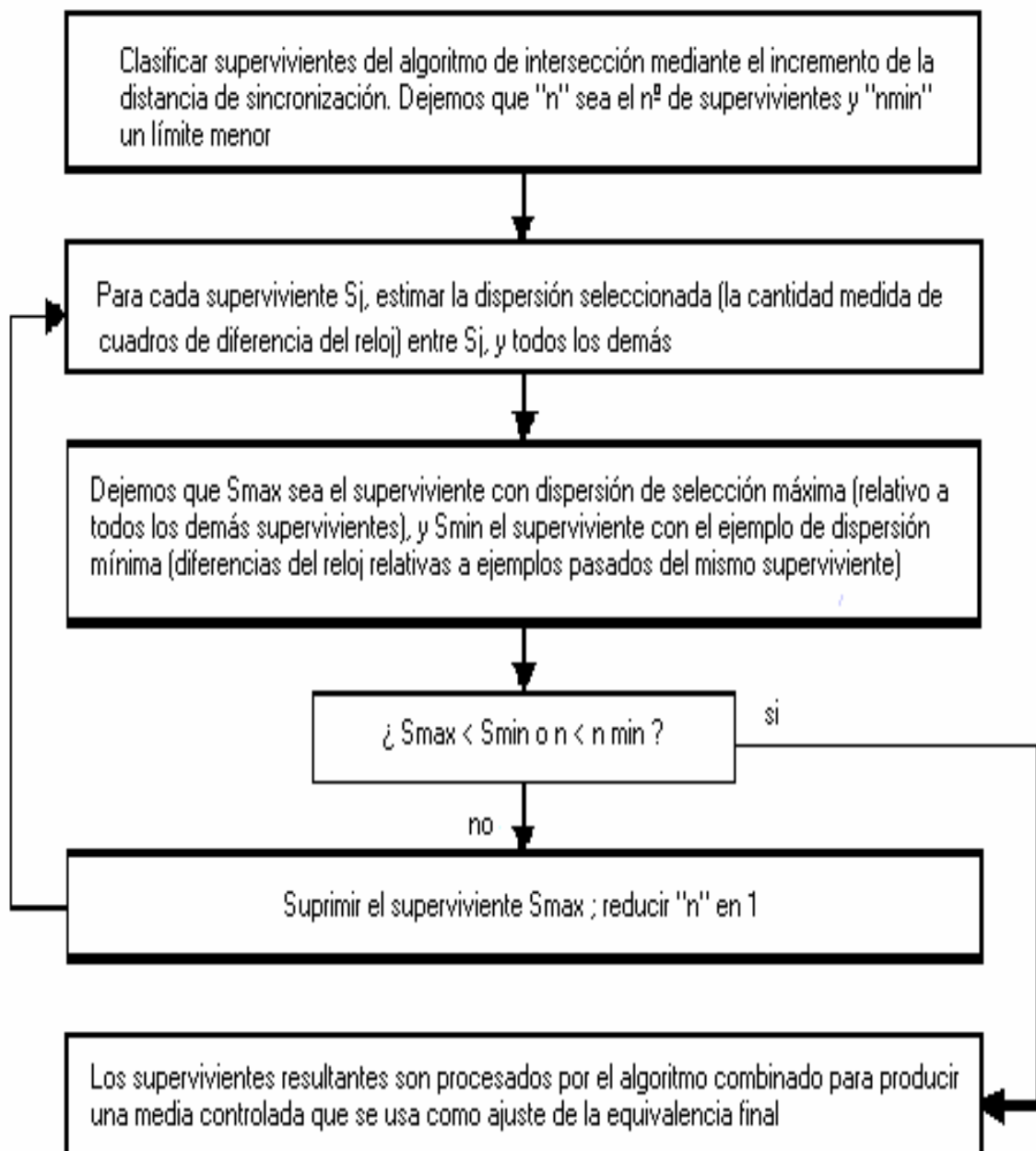


o El intervalo de corrección del DTS es la intersección que contiene puntos del mayor número de intervalos de corrección.

o El algoritmo del NTP requiere que el punto medio de los intervalos esté en la intersección.

- Inicialmente, el grupo de toques erróneos f y contadores c y d a cero.
- Escanear desde el punto final izquierdo más alejado: añadir uno a c por cada punto final más bajo, sustraer uno por cada punto final más alto, añadir uno a d por cada punto medio
- Si $c = m - f$ y $d = m - f$, se puede decir que es correcto y salir del proceso.
- Hacer lo mismo empezando por el punto final derecho más alejado.
- Si no se llega a acertarse, incrementar f en uno e intentarlo todo de Nuevo.
- Si $f = m/2$, es un fallo.

9.12 PROCESO DE LA UNIÓN DE ALGORITMOS



9.13 SIMBOLOGÍA

o Constantes (pares A y B)

ϕ máxima frecuencia de error

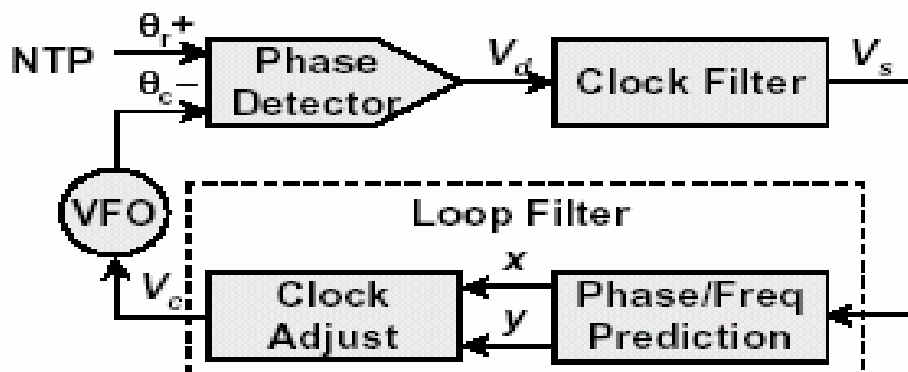
o Variables del sistema

θ equivalencia del reloj
 Δ origen del retraso
 E origen de la dispersión
 φ incertidumbre

o Variables de pares

θ equivalencia del reloj
 δ retraso del proceso de vuelta
 ε dispersión
 φ_r filtro de incertidumbre

9.14 ALGORITMO DE LA DISCIPLINA DEL RELOJ



- o V_d es una función de la diferencia de fase entre el NTP y el VFO
- o V_s depende del estado seleccionado en el registro del cambio del filtro del reloj.
- o x e y son la actualización de la fase y de la frecuencia respectivamente, computadas por las funciones de predicción.
- o El proceso de ajuste del reloj actúa una vez cada segundo para computar V_c , que controla la frecuencia del oscilador local del reloj.
- o La fase VFO se compara a la fase NTP para cerrar el circuito de regreso.

10 EL MODERNO SERVICIO POSTAL

La Internet de hoy es una red de paquetes switcheados que envía y recibe información por un medio muy distinto al del Servicio Postal. Mensajes entre computadoras que no están en la misma red de área local deben ser pasados a través la red global de ruteadores, que son computadoras que miran las direcciones de la red y consulta tablas dinámicas de por donde remitir cada mensaje para acercarlo a su destino. Un mensaje de correo electrónico de Guadalajara a Monterrey puede tener que pasar a través de una docena de ruteadores conectados en el viaje de ida. Cada uno de estos brincos toma una cantidad de tiempo que no puedes ser estimada con precisión porque dependerá de que tan ocupado este el router y sus circuitos. Dos correos electrónicos enviados uno tras otro pueden seguir rutas muy diferentes para llegar al mismo destino, ya que los ruteos (y los tiempos de viaje resultantes) están cambiando constantemente en respuesta a los respaldos del trafico de ruteadores.

10.1 HACIENDO TICTAC AL UNÍSONO.

Mientras que es fácil registrar un tiempo local y enviar la información a prácticamente cualquier parte, el hacer uso de este registro para comparar y sincronizar los relojes de las computadoras en Internet requiere un poco de magia. Una mirada de cerca a como el protocolo NTP trabaja entre el cliente y el servidor pondrá a la vista los trucos de esta magia.

El cliente podría ser una computadora personal con un programa de aplicación NTP corriendo en segundo plano. Este programa puede enviar un mensaje especialmente formateado a un servidor NTP conocido. En la Internet este mensaje es conocido como un mensaje UDP (User Datagram Protocol, Protocolo de Datagrama de Usuario), o simplemente un datagrama. Este contiene un registro del supuesto tiempo leído en el reloj del sistema cliente, formateado con un valor de 64 bits en segundos y fracciones de segundos partiendo de la fecha arbitraria de Enero 1 de 1900 y cero horas que es completamente segura al problema Y2K y provee una precisión por debajo de los nanosegundos. Llamaremos a este tiempo T_1 . UDP es un protocolo de Internet de conexión libre, así que el cliente puede enviar múltiples datagramas fuera y obtener respuesta en la misma conexión a la red (distinto a telnet o una conexión FTP).

Cuando el servidor NTP recibe el datagrama del cliente el servidor inmediatamente registra el tiempo de su llegada (T_2). Este inspecciona el datagrama en busca de alguna instrucción especial (algunos servidores NTP intercambian y decodifican palabras de

“autenticación” encriptadas, implicando checar llaves privadas para probar que este es realmente la fuente de tiempo y no algún hacker desviando la dirección del servidor.

Cuando el servidor esta listo para responder al cliente registra un tercer tiempo (T3) – su hora de transmisión – y anexa el tiempo T2 y T3 al datagrama NTP del cliente devolviéndolo a este. El cliente NTP debe prepararse para recibir este datagrama y estamparlo con un cuarto tiempo (T4). Considere que estos tiempos: dos de ellos (T2 y T3) registran el tiempo leído en el reloj del servidor, mientras que los otros dos (T1 y T4) son registrados por el reloj del cliente, qué nosotros asumimos tiene algún error o desplazamiento.

Lo que nosotros queremos saber es el valor de este desplazamiento de tiempo entre el cliente y el servidor, así podremos ajustar el cliente al servidor. Desafortunadamente no tenemos suficiente información para determinar este desplazamiento. Podemos medir el tiempo total transcurrido de este intercambio del datagrama, que llamaremos retraso, y estimar el desplazamiento como se muestra a continuación.

10.2 UNA CIENCIA INEXACTA.

Si el retraso en la red del cliente al servidor fuera exactamente igual que el tiempo de regreso la estimación de este desplazamiento entre los relojes podría ser exacta. Pero, la vida de la red no es tan simple. Los caminos de salida y regresos pueden variar de algunos a cientos de milisegundos. El ruteo en la Internet es un misterio cambiando dinámicamente, así que los caminos son raramente simétricos.

Puede mostrarse de la experiencia que las estimaciones más exactas del desplazamiento del tiempo en Internet serán cuando el desplazamiento total sea mínimo. Usando UDP, podemos buscar desplazamientos pequeños enviando múltiples datagramas al mismo o múltiples servidores NTP. Por el envío de múltiples datagramas el cliente puede observar la dispersión de los desplazamientos en la red. El desplazamiento de red es un estimado de cuanto le toma enviar paquetes de mensaje a través de la red mientras que la dispersión es una medida de la repetitividad de cada uno de los actuales desplazamientos de tiempo.

Una gran dispersión afectara adversamente la estimación del desplazamiento de tiempo entre el cliente y el servidor. Grandes dispersiones son inherentes a las grandes distancias de red; mientras mas allá viaja usted para obtener el tiempo, menos exacta será la estimación del tiempo. Los múltiples intercambios del datagrama también le permiten al NTP desgajar los caminos, largos desplazamientos pueden ser causados por un inusual y momentario retraso en la red o por los servidores de tiempo que erróneamente colocan el tiempo incorrecto.

11 MAS QUE SOLO TIEMPO

Pero las funciones de NTP son mas que solo un programa de ajuste de tiempo. También es un sistema evolucionado de “arquitecturas, algoritmos, entidades y protocolos”, en las palabras de Mills, que es diseñado para llevar el tiempo de servidores primarios a clientes en la Internet. Es inherente a este diseño chequeos robustos, filtros y características diseñadas para mitigar los errores de cronometraje causados por la perdida de servidores individuales o redes enteras.

Estimar un desplazamiento de tiempo en un solo punto no es suficiente para sincronizar un cliente a un servidor de reloj. Mediciones continuas de los desplazamientos del reloj pueden ser hechas para determinar la frecuencia de error del cliente o el rango de error en los intervalos del reloj del cliente. Si hace tictac rápidamente puede ganar tiempo sobre el servidor. Si hace tictac lentamente podrá perder tiempo.

NTP muestrea los desplazamientos de tiempo continuamente, en un intervalo que va de cada 16 segundos hasta 1024 segundos. El muestreo continuo habilita al cliente para operar un lazo cerrado de fase y frecuencia híbrido que disciplina al hardware del reloj de la computadora, en efecto, fuerza al hardware a correr a una frecuencia controlada. Es irónico pensar que este muestreo incesante es necesario porque las típicas estaciones de trabajo para ingeniería de \$250,000 pesos usan un simple cristal de cuarzo que puede variar fuertemente con la temperatura de la oficina y puede perder ¡hasta 10 segundos por día!.

11.1 TIEMPO PARA LAS MASAS

Los Clientes usan la sincronización NTP para miles de aplicaciones, accediendo a los servidores de tiempo de todos los lugares del globo para múltiples usos. Por ejemplo, un especialista en sistemas de red en Eugene, Oregon que vigila un servidor de tiempo para una red de mas de 3,000 nodos puede acceder a los servidores de tiempo Maestros Alternos NTP. Un proveedor de servicio en Argentina usa los servidores USNO para sincronizar su distribución secundaria de tiempo. Una arquitectura de sistemas IBM que sincroniza el tiempo para la Radio Pública Nacional en Washington, D. C. O un sistema administrador de la U. S. Naval con una red de servidores de archivos que inventarian cada articulo en cada barco del la U. S. Navy, ambos usan los servidores USNO para sus propósitos. Y la lista de aplicaciones de NTP continua, limitada solo por las necesidades de tiempo de los usuarios y clientes de Internet. Como todos estos usuarios accesan al tiempo depende de la jerarquía de NTP, donde cualquier servidor con una fuente de tiempo preciso es designada como un Stratum1.

11.2 EL CRISOL DEL TIEMPO

En la época de los 80's había solo cinco servidores de tiempo, manteniendose sincronizados con el Tiempo Coordinado Universal (UTC). Las reglas para el funcionamiento del UTC descansan en las autoridades mundiales para la medición del día –los laboratorios nacionales que determinan las escalas para el tiempo atómico y contribuyen al crisol para el UTC- estas reglas son mantenidas en el Bureau Internacional des Poids et Mesures (BIPM).

Actualmente hay más de 50 organizaciones alrededor del mundo que proveen accesos para la determinación del UTC. Cada contribución esta respaldada por la calidad y el número de relojes en las instalaciones del laboratorio. Actualmente, USNO provee una buena parte de accesos de tiempo, cerca del 35 % del total mundial. NIST agrega otro 5 % del dominio de los Estados Unidos en el sincronizamiento atomico. El reloj maestro de USNO puede proveer una precisión menor a nanosegundos usando la transferencia de dos vías basada en los satélites geostacionarios.

12 GPS TRABAJANDO

Cinco años atrás los laboratorios nacionales de tiempo, universidades y corporaciones tenían aproximadamente 50 magníficos servidores NTP de acceso público. Estos servidores Stratum 1 inyectaron tiempo a la Internet, usando relojes atómicos, y radio receptores como fuentes de tiempo. En ese tiempo solo había nueve servidores públicos Stratum 1 usando sincronía GPS. Hoy cerca de 92 servidores NTP están en operación alrededor del globo, y de estos mas de 40 usan GPS como su referencia temporal.

GPS provee un medio ideal para la transferencia del tiempo mundial. Con la presencia de una constelación de 28 satélites, la señal está siempre presente en áreas pobladas.

Solo es necesario que un satélite GPS sea visible para mantener la exactitud. A menudo, un receptor GPS usado para tiempo solo debe ser iniciado en el modo de “supervivencia”, localizando un mínimo de cuatro satélites PGS para determinar su posición: longitud, latitud y altitud. Estos valores pueden ser promediados con aproximadamente 10,000 muestras hasta que la posición se conozca hasta un error de pocos metros.

Entonces, el receptor temporal de GPS puede revertirse al funcionamiento de modo tiempo “un solo satélite”. Requiriendo solo un satélite en su vista para mantener la precisión del tiempo. Esto hace que sea posible operar en los grandes rascacielos con solo una antena montada en la ventana que tenga solo una porción de vista hacia el cielo.

El simplísimo receptor de código GPS C/A puede extraer el tiempo con una precisión de un microsegundo. USNO monitorea el tiempo GPS, mientras que el Segundo Escuadrón Operaciones Espaciales (2SOPS, 2nd Space Operations Squadron) mantiene el tiempo GPS. 2SOPS usa la información monitoreada por USNO para mantener el tiempo GPS con una diferencia por debajo de los 20 nanosegundos con respecto al UTC-(USNO) del último año, así asegura una precisión de UTC obtenida a través del GPS por debajo de los milisegundos de ruido inherente al tráfico en Internet. El precio actual de un modulo GPS lo hace una atractiva alternativa a la sincronía vía modem o radio.

12.1 EL ALCANCE DE USNO

La disponibilidad de la sincronía GPS ha sido excelente: los servidores NTP de la Universidad de Washington en San Luis Missouri han estado en operación por cuatro años y hasta la fecha nunca han experimentado perdidas de la señal GPS. Un servidor USNO NTP en la Universidad de Alaska en Fairbanks tiene que quejarse todavía de su invierno huela huesos. Y todos los servidores USNO GPS NTP navegaron perfectamente a través del problema Y2K sin ningún sobresalto.

El USNO opera los servidores más ocupados en el mundo, de acuerdo a un reciente reporte sobre los servidores NTP Stratum 1 no publicado. Hay actualmente 21 servidores NTP Stratum 1 operados por USNO, 16 d ellos cuentan con GPS para su UTC. Seis adicionales servidores NTP GPS serán establecidos por USNO en el año en curso. Los tres servidores en Washington D.C. actualmente responden a más de 170 entradas por segundo.

En 1995, en respuesta a la popularidad de los servidores NTP, USNO se embarco en un ambicioso proyecto de establecer servidores NTP regionales a lo largo de los Estados

Unidos. Distribuyendo los servidores de semejante manera ayudaría a conservar el ancho de banda de Internet y a mejorar la precisión temporal del cliente por medio de caminos de red cortos. USNO selecciono los lugares para los servidores NTP GPS basado en su proximidad con las mayores rutas de Internet, y en las universidades y organizaciones que tienen experiencia con el servicio NTP.

En Washington D.C. en el Departamento de Servicio de Tiempo USNO y en el Reloj Maestro Alterno en Colorado Springs, Colorado, cada uno de cinco servidores NTP toma el tiempo de dos MASERS de hidrógeno.

Los MASERS alimentan una señal de 5-MHz a los relojes digitales, que sacan un código estandar IRIG-b. Las computadoras NTP son servidores industriales de trabajo UNIX, cada uno con dobles generadores sincronizados en formato de tarjeta VMEbus (Virsa Module Eurocard). Estas tarjetas actúan como relojes de bus, proveyendo un código de tiempo en BCD en registros de memoria de doble puerto que están mapeados por el software del programa NTP como direcciones de programa. Este esquema provee el software NTP con acceso al código de tiempo con esencialmente cero latencia. Un receptor GPS de formato VMEbus es usado para respaldar el reloj maestro.

Otros sitios USNO NTP son muy remotos para enlazarse con los relojes atómicos maestros directamente. El primer sitio USNO GPS NTP fue establecido en diciembre de 1995 en la Universidad de Washington en San Luis, Missouri. El siguiente año, servidores GPS NTP fueron enviados al Instituto de Tecnología en Massachusetts (MIT) en Cambridge y a Digital Equipment Corp. (ahora Compaq) en Palo Alto, California.

Desde entonces, el conjunto NTP a ido en aumento con servidores GPS en la Universidad de California, Los Angeles (UCLA); Universidad de Washington, Seattle; Universidad de Houston, Texas; Universidad Estatal de Ohio, Columbus; Instituto de Tecnología de Georgia, Atlanta; Universidad de Columbia, Nueva York; Colegio Colby, Waterville, Maine y la Universidad de Florida, Gainesville. Este año los servidores NTP serán añadidos a los Laboratorios Nacionales Argonne, Chicago, Illinois; La Universidad de Minnesota, Minneapolis y el Centro Maui de Alto Rendimiento, Maui, Hawaii.

12.2 HARDWARE GPS PARA SINCRONIZAR

Solo un número muy reducido de modelos de receptores GPS han sido adaptados para usarse como relojes de referencia para NTP. La principal consideración al escoger un receptor GPS redunda alrededor de cuan herméticamente su interfase de hardware se acopla a la computadora para formar el servidor NTP. Una interfase serie RS-232 puede ser adecuada si la computadora puede responder a la entrada serie sin retrasos, cuando es finalmente el reloj del hardware de la computadora quien debe unirse a través de NTP al receptor GPS. La selección de USNO para sus productos VMEbus esta basada en la reciente experiencia controlando los dispositivos de cámara de carga acoplada para telescopios basados en el VMEbus. La baja latencia de acceso a tiempo GPS habilita algunas implementaciones para ajustar el reloj UNIX de sistema hasta unos buenos 10 microsegundos. Mayor precisión ha sido lograda en otras aplicaciones donde el kernel UNIX ha sido modificado para responder a las interrupciones NTP.

Los veintinueve USNO GPS y servidores NTP atómicos esta respondiendo actualmente a más de 640 millones de solicitudes de sincronización NTP por mes. Y este tráfico esta creciendo 5 % por mes. Actualmente, los ocupados servidores USNO –

tick.usno.navy.mil- miran el tráfico de 19,000 nuevos clientes por día. Una cosa está bastante clara –si deseas montar un servidor NTP, ellos vendrán.

13 EL SERVIDOR NTP CORRECTO PARA UD.

13.1 SERVIDORES DE TIEMPO INTERNET

El sitio NTP de la Universidad de Delaware <http://www.eecis.udel.edu/~ntp> provee las últimas distribuciones públicas de NTP, con listados de servidores Stratum 1 y Stratum 2 alrededor del mundo.. De cualquier manera puede usar el USNO y otros accesos públicos a servidores NTP simplemente bajando NTP para su computadora y contactando sitios cercanos de los listados de paginas WEB para iniciar su asociación NTP. Uno o dos de sus servidores puede entonces distribuir el tiempo NTP a su organización entera, y no se requiere de hardware especial. Un número de programas ampliamente disponibles de sincronización de tiempo existen para las estaciones de trabajo Windows. Contacte <http://tycho.usno.navy.mil/ctime.html> y <http://tycho.usno.navy.mil/ntp.html> para ligas a software.

13.2 INSTALANDO UN SERVIDOR NTP GPS INDEPENDIENTE

Para redes de área local aisladas (LAN) un servidor local NTP GPS es ideal. Cada uno de estos dispositivos de red tiene el código GPS L1, C/A (o algún otro) de fuente de tiempo y interfases Ethernet, con un procesador interno que provee un servidor de red NTP. La precisión de tiempo de la red es típicamente de 1 milisegundo en una red de área local. Muchos de estos servidores soportan otros protocolos de tiempo para red. SNMP, telnet y administración de red http.

Odetics Telecom NTPSync es un receptor GPS de 12 canales tipo “antena inteligente” conectado digitalmente a un caja compacta de red. www.odetics.com Esta disponible dentro de la familia Lantronix CoBox Network de servidores de tiempo. www.lantronix.com

Datum TymServe Network Time Server. Este servidor montable en rack dispone de un receptor interno GPS con una conexión a antena RG-59/U.

TrueTime NTS-100i. Este equipo de bajo perfil, (1U), montable en rack tiene un receptor GPS integral de 8 canales y una antena RG-59/U. Las salidas en el panel posterior proveen de código de tiempo IRIG-B y 10 Mhz o un pulso por segundo (pps).

13.3 CONVIERTA SU COMPUTADORA EN UN SERVIDOR NTP GPS

Para alto desempeño y redes de área ancha (WAN) una estación de trabajo dedicada puede ser equipada con hardware GPS y software NTP para convertirlo en un servidor corporativo o público.

Trimble Palisade NTP Synchronization ofrece compatibilidad “plug and play” con instalación en el puerto serie que incluye un receptor GPS de 8 canales y una entrada/salida digital para una pequeña caja que distribuye los pulsos de sincronía a las PC's o a la entrada serie de un servidor UNIX.

El software con los drivers NTP esta disponible gratuitamente. El Trimble Palisade es un receptor GPS de bajo costo ha sido probado por USNO y encontrando que tiene exactitudes mejores a 200 nanosegundos en errores de fase pico a pico. www.trimble.com

14.4 INSTALE UN RELOJ DE BUS GPS

Muchos productos de nivel de bus para computadora existen que proveen un código de tiempo de latencia cero. Usualmente por medio de registros de bus BCD. Esto provee un estrecho acoplamiento de la fuente de tiempo y disponibilidad para hospedar múltiples receptores. VME, Sbus, PCI, EISA, y otros productos están disponibles , todos ellos proveen precisiones de microsegundos a nivel de bus de sistema.

Brandywine Communications SyncClock32 esta disponible en VME y otros formatos de bus con características de direccionamiento de registro de tiempo de 32 bits y un simple acceso por medio de lenguaje C. Las opciones para fuente de tiempo incluyen el Motorola Oncore GPS. www.brandywine.com

TrueTime GPS-VME presenta un doble peso, formato 6U VME con un display informativo incluido. El modulo GPS es un Magnavox o algún otro receptor. El frente de la tarjeta tiene opciones de salida incluyendo IRIG-B 1 PPS y salidas de frecuencia programables.

14 CONCLUSIONES

La importancia del protocolo NTP dentro de las comunicaciones en Internet es enorme, imaginar que a nivel mundial la red de redes esta trabajando a un mismo tic-tac resulta increíble. Es cierto que Internet incluye una larga lista de protocolos pero NTP desempeña una labor muy importante, por ejemplo, en la actualidad los llamados e-busines que llevan y traen ordenes de compra por todo el mundo serían un caos sin una referencia estándar de tiempo, imaginemos una empresa en la que bastaría con que accidentalmente o intencionadamente se cambiara la hora y hasta fecha de su sistema de computo para parar la producción por horas, o quizás días.

Las redes corporativas de hoy tienden a ser enormes y algunas llevan información para controlar procesos de producción, tomar decisiones, comerciar, etc. La facilidad y economía con que estas pueden instalar un servidor Stratum 1 basado en GPS les reportaría múltiples beneficios que compensarían con creces el gasto efectuado.

Las escuelas pueden también fácilmente implementar un servidor NTP, no solo como fuente de tiempo para una red si no para contar con una fuente de tiempo y sincronía confiable que permita a los alumnos realizar importantes experimentos para mejorar el desempeño de NTP o encontrando nuevas aplicaciones, quizás muy diferentes a la actual.

No cabe duda, el tiempo sigue y seguirá siendo el factor más importante en nuestra vida cotidiana.

15 BIBLIOGRAFÍA Y SITIOS WEB

GPS Satellite Surveying

Alfred Leick

2ª edición Edit. Wiley-Interscience Publication

1995

<http://www.gpsworld.com>

<http://www.unizar.es/ccuz/servicios/ntp/inicio.html>

<http://tycho.usno.navy.mil/frtime.html>

http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/gps/gps_f.html