

# Sincronización del reloj

Debido a que el tiempo es esencial en la forma de pensar de la gente y el efecto de no sincronizar los relojes puede volverse catastrófico, es conveniente que iniciemos nuestro estudio sobre la sincronización con una sencilla pregunta: ¿es posible sincronizar todos los relojes de un sistema distribuido? La respuesta es sorprendentemente complicada.

## Relojes físicos

Un cronómetro de computadora, en general, es un cristal de cuarzo mecanizado con precisión. Cuando este dispositivo se mantiene sujeto a tensión, los cristales de cuarzo oscilan en una frecuencia bien definida que depende del tipo de cristal, de la forma de su corte, y de la cantidad de tensión. Hay dos registros asociados con cada cristal, un **contador** y un registro de **mantenedor**. Cuando el contador llega a cero, se genera una interrupción. A cada interrupción se le conoce como **marca de reloj**.

La mayoría de las computadoras tiene una pila especial que respalda la RAM CMOS de tal modo que no es necesario introducir la fecha ni la hora en inicios posteriores. En cada marca del reloj, el procedimiento de servicio de interrupción agrega uno a la hora almacenada en memoria. De esta manera, el reloj (software) se mantiene actualizado.

En la práctica, cuando un sistema tiene  $n$  computadoras, los  $n$  cristales funcionarán a velocidades ligeramente diferentes, lo cual ocasiona que los relojes (software) se salgan gradualmente de sincronía y arrojan diferentes valores cuando se leen. Esto se conoce como **distorsión de reloj**.

Importante conocer:

- Tiempo Atómico Internacional
- UTC

Para proporcionar el UTC a la gente que necesita el tiempo exacto, el National Institute of Standard Time (NIST) opera una estación de radio de onda corta con las siglas de llamado WWV desde Fort Collins, Colorado. WWV emite un pulso corto al inicio de cada segundo UTC.

## Sistema de posicionamiento global

Como un paso hacia la solución de problemas de sincronizado de relojes, primero consideraremos un problema relacionado, a saber, cómo determinar nuestra posición geográfica en cualquier parte del planeta. Este problema de posicionamiento se resuelve por sí mismo a través de un sistema distribuido altamente específico y dedicado llamado **GPS** (por sus siglas en inglés), y que significa sistema de posicionamiento global.

El GPS utiliza **29 satélites** que circulan cada uno en una órbita situada a una altura aproximada de 20000 km. Cada satélite tiene hasta cuatro relojes atómicos que son calibrados regularmente desde estaciones especiales ubicadas en la Tierra.

Hasta el momento hemos asumido que las mediciones son perfectamente exactas. Por supuesto, no lo son. Por una parte, el GPS no considera segundos vacíos. En otras palabras, existe una desviación sistemática del UTC, la cual a partir del 1 de enero de 2006 es de 14 segundos. Tal error puede compensarse fácilmente en el software. Sin embargo, existen muchas otras fuentes de error, comenzando con el hecho de que los relojes atómicos satelitales no siempre se encuentran en perfecta sincronía, la posición de un satélite no se conoce con precisión, el reloj del receptor tiene una exactitud finita, la velocidad de propagación de la señal no es constante (la velocidad de las señales disminuye cuando, por ejemplo, entran a la ionosfera), etc. Más aún, todos sabemos que la Tierra no es una esfera perfecta, lo que nos lleva a necesitar más correcciones.

## Algoritmos de sincronización de relojes

Todos los algoritmos tienen como base el mismo modelo del sistema. Se supone que cada máquina tiene un cronómetro que ocasiona una interrupción  $H$  veces por segundo. Cuando este cronómetro se apaga, el manipulador de interrupciones agrega 1 al reloj de software, el cual da seguimiento al número de marcas (interrupciones) a partir de algún momento pasado acordado.

### Protocolo de tiempo de red

Un método común en muchos protocolos, originalmente propuesto por Cristian (1989), es dejar a los clientes contactar a un servidor de tiempo. El último puede proporcionar exactamente el tiempo actual, por ejemplo, debido a que está equipado con un receptor WWV o un reloj exacto. Por supuesto, el problema cuando se contacta al servidor es que los retrasos del mensaje ocasionarán que el tiempo reportado no esté actualizado.

Existen muchas características importantes del NTP, de las cuales una gran cantidad se relaciona con identificación y enmascaramiento de errores, pero también con ataques a la seguridad. Mills (1992) describe al NTP, y es reconocido por lograr (a nivel mundial) una exactitud en el rango de 1 a 50 ms.

### Algoritmo de Berkeley

En Berkeley UNIX se aplica exactamente el método opuesto (Gusella y Zatti, 1989). Aquí, el servidor de tiempo (de hecho, un demonio de tiempo) es activo, ya que cada cierto tiempo pregunta a cada máquina sobre la hora ahí registrada. Basado en las respuestas, calcula un tiempo promedio y les indica a todas las máquinas que adelanten o atrasen sus relojes, según la nueva hora. Este método es conveniente para un sistema en el que ninguna máquina tiene un receptor WWV.

### Sincronización de relojes en redes inalámbricas

a sincronización de transmisión de referencias (RBS, por sus siglas en inglés) es un protocolo de sincronización de relojes que difiere mucho de otras propuestas (Elson y cols., 2002). Primero, el protocolo no asume que hay un solo nodo con una cuenta exacta del tiempo real disponible. En lugar de ayudar a proporcionar a todos los nodos el tiempo UTC,

este protocolo ayuda simplemente a sincronizar internamente los relojes, justo como el algoritmo de Berkeley. Segundo, las soluciones explicadas hasta el momento están diseñadas para lograr que el emisor y el receptor están sincronizados, esencialmente siguiendo un protocolo de dos vías. El RBS se desvía de este patrón haciendo que sólo los receptores se sincronicen, y manteniendo al emisor fuera del ciclo.

Por desgracia, los relojes pueden avanzar de manera diferente. El efecto es que un simple cálculo de la compensación promedio, como hicimos antes, no funcionará: los últimos valores enviados son sólo menos exactos que los primeros. Además, conforme el tiempo pasa, se supone que la compensación se incrementa.

## Preguntas

¿Porque un reloj es importante en un sistema distribuido?

- A. Nos ayuda a medir el tiempo el cual ayudará a la sincronización de los procesos.
- B. Ayuda a estar a tiempo en las reuniones.
- C. Nos dice en qué momento encender el ordenador.
- D. Mide el tiempo transcurrido desde que se encendió el ordenador hasta que se apagó.

¿Cuales son los 2 registros de un reloj?

- A. Contador y mantenedor.
- B. Segundos e interrupciones.
- C. Contador y segundos.
- D. Mantenedor y mantenedor auxiliar.

¿Que es el UTC?

- A. Es un estándar de tiempo.
- B. Es un servicio de sincronización de tiempo.
- C. Una empresa encargada de estudiar el tiempo y los algoritmos de compensación del mismo.
- D. Es un reloj atómico que mide el tiempo global.

¿Existe algún algoritmo para tener el tiempo 100% ajustado?

- A. No, pero existen muy cercanos a la realidad.
- B. Si, se implementan actualmente.
- C. No, el tiempo es relativo.
- D. Depende de la definición de tiempo que se relacione.

¿De qué variables depende el sincronizar los relojes?

- E. Lugar, distancia y tiempo.
- F. Procesamiento y memoria RAM.
- G. El cristal con el que está hecho el reloj y el tamaño de los registros.
- H. El proveedor de tiempo real y su costo.