

Contenido

introducción
fundamentos
tecnologías
nombres
tiempo
seguridad
coordinación
transacciones

sistemas de establecimiento de tiempo

Contenido

introducción
fundamentos
tecnologías
nombres
tiempo
seguridad
coordinación
transacciones

- ⌚ Monitorización y temporización de ejecuciones
- ⌚ Necesidad de conocer cuando ocurrió un evento
- ⌚ Algoritmos de sincronización
 - Manteniendo de consistencia en transacciones
 - Protocolos de autenticación
 - ...
- ⌚ ¿Existe un reloj universal de referencia?
 - Teoría Especial de la Relatividad de Einstein
 - Causa física y efecto físico
 - Temporización de la causa y el efecto
 - Tiempo físico absoluto de Newton



Contenido

introducción
fundamentos
tecnologías
nombres
tiempo
seguridad
coordinación
transacciones

- ❏ Noción de tiempo es también problemática en un sistema distribuido (SD):
 - No existe un reloj global al sistema
- ❏ Aproximaciones:
 - Sincronización de los relojes de los computadores
 - Relojes lógicos, vectoriales, ...



Contenido

introducción
fundamentos
tecnologías
nombres
tiempo
seguridad
coordinación
transacciones

- ⌚ Cada computador de la red tiene su propio reloj interno:
 - usado por los procesos locales para obtener el valor del tiempo actual
 - procesos en computadores distintos pueden tener marcas de tiempo distintas
 - los relojes derivan con respecto al tiempo perfecto y las tasas de deriva también difieren entre ellos
- ⌚ Aunque todos los relojes del SD se sincronicen, estos variarán significativamente con el tiempo



tiempo y estados globales

relojes, eventos y estados

Contenido

introducción
fundamentos
tecnologías
nombres
tiempo
seguridad
coordinación
transacciones



Cada computador de la red tiene su propio reloj

Tasa de deriva de reloj: diferencia por unidad de tiempo en que el reloj del computador difiere del reloj perfecto

■ procesos en computadores distintos pueden tener

¿Cuáles son las **necesidades del *make de Unix*** con respecto al reloj, en un sistema NFS?



Aunque todos los relojes del SD se sincronicen, estos variarán significativamente con el tiempo



Contenido

introducción
fundamentos
tecnologías
nombres
tiempo
seguridad
coordinación
transacciones

- @ Un SD está definido como una colección P de N procesos $p_i, i = 1, 2, \dots, N$
- @ Cada proceso p_i tiene un estado s_i formado por todas sus variables u objetos y que puede cambiar en ejecución
- @ Se comunican a través de la red mediante mensajes
- @ Las acciones que puede realizar un proceso:
 - *Enviar, Recibir, Cambiar estado*
- @ **Evento**: ocurrencia de una acción que lleva a cabo un proceso al ejecutar, p.e. Enviar, recibir, ...
- @ Los eventos en el proceso p_i , pueden ordenarse de forma total por la relación \rightarrow_i "suceder antes en p_i "
- @ **Historia del proceso p_i** es una serie de sus eventos ordenados por \rightarrow_i : $historia(p_i) = h_i = \langle e_i^0, e_i^1, e_i^2, \dots \rangle$



Contenido

- introducción
- fundamentos
- tecnologías
- nombres
- tiempo**
- seguridad
- coordinación
- transacciones

Relojes:

- ⌚ Para establecer las marcas temporales se usa el reloj del computador
- ⌚ En un instante t el SO lee el valor del reloj hardware del computador : $H_i(t)$
- ⌚ Calcula el tiempo en el reloj software:
$$C_i(t) = \alpha H_i(t) + \beta \text{ (escala y compensa)}$$
 - p.e. un número de 64-bit dando los nanosegundos desde un tiempo base
 - En general no es completamente exacto
 - Pero si C_i se comporta suficientemente bien, puede ser usado como marcador de los eventos de p_i



Contenido

- introducción
- fundamentos
- tecnologías
- nombres
- tiempo**
- seguridad
- coordinación
- transacciones

Relojes:

- Para establecer las marcas temporales se usa el reloj del computador

- En un instante t el SO lee el valor del reloj hardware del computador: $H(t)$
Resolución del reloj $<$ intervalo de tiempo entre dos posibles eventos consecutivos

Resolución del reloj: periodo entre dos actualizaciones consecutivas del reloj

- En general no es completamente exacto
 - Pero si C_i se comporta suficientemente bien, puede ser usado como marcador de los eventos de p_i

tiempo y estados globales

relojes, eventos y estados

Contenido

introducción
fundamentos
tecnologías
nombres
tiempo
seguridad
coordinación
transacciones



Red

- Los relojes no siempre están en perfecto acuerdo
- Sesgo:** diferencia de tiempo entre dos relojes en un instante determinado
- Tasa de deriva:**
 - Los relojes de cuarzo ordinarios derivan 1 seg. cada 11-12 días (10^{-6} segs/seg)
 - Los relojes de alta precisión derivan 10^{-7} ó 10^{-8} segs/seg



tiempo y estados globales

relojes, eventos y estados

Contenido

introducción
fundamentos
tecnologías
nombres
tiempo
seguridad
coordinación
transacciones



Red

Los relojes no siempre están en perfecto acuerdo
¿qué puede influir en la **tasa de**
Ses **deriva** del reloj?
un instante determinado

Tasa de deriva:

- Los relojes de cuarzo ordinarios derivan 1 seg. cada 11-12 días (10^{-6} segs/seg)
- Los relojes de alta precisión derivan 10^{-7} ó 10^{-8} segs/seg



Contenido

introducción
fundamentos
tecnologías
nombres
tiempo
seguridad
coordinación
transacciones

Tiempo Universal Coordinado (UTC)

- ⌚ Los relojes se pueden sincronizar con fuentes externas muy precisas: Tiempo atómico Internacional basado en un reloj con deriva de 10^{-13} (un seg. cada 300.000 años)
- ⌚ UTC es un estándar internacional de establecimiento y mantenimiento del tiempo transcurrido
- ⌚ Está basado en el tiempo atómico y ocasionalmente ajustado al tiempo astronómico
- ⌚ La señal se difunde mediante estaciones de radio por tierra y mediante satélites. Las computadoras pueden sincronizar sus relojes mediante receptores adecuados
 - estaciones terrestres tienen una precisión entre 0.1-10 miliseg.
 - GPS tiene una precisión de 1 microseg.



Contenido

- introducción
- fundamentos
- tecnologías
- nombres
- tiempo**
- seguridad
- coordinación
- transacciones

Tiempo Universal Coordinado (UTC)

- Los relojes se pueden sincronizar con fuentes externas muy precisas: Tiempo atómico Internacional basado en un reloj con deriva de 10^{-13} (un seg. cada 300.000 años)
- UTC es un estándar internacional de establecimiento y mantenimiento del tiempo transcurrido
 - ¿Por qué no poner **receptores GPS** en todos los computadores?
- Está basado en el tiempo atómico y ocasionalmente ajustado al tiempo astronómico
- La señal se difunde mediante estaciones de radio por tierra y mediante satélites. Las computadoras pueden sincronizar sus relojes mediante receptores adecuados
 - estaciones terrestres tienen una precisión entre 0.1-10 miliseg.
 - GPS tiene una precisión de 1 microseg.



Contenido

introducción
fundamentos
tecnologías
nombres
tiempo
seguridad
coordinación
transacciones

- ④ **Sincronización externa:** un reloj C_i se sincroniza con una fuente UTC exacta S :
 - $|S(t) - C_i(t)| < D$ para $i = 1, 2, \dots, N$ en un intervalo I de tiempo real
 - Los relojes C_i son precisos con el límite D .
- ④ **Sincronización interna:** cualquier par computadores están sincronizados si sus relojes cumplen:
 - $|C_i(t) - C_j(t)| < D$ para $i, j = 1, 2, \dots, N; i \neq j$ en un intervalo I de tiempo
 - Los relojes C_i y C_j concuerdan con el límite D .
- ④ Relojes sincronizados internamente no necesariamente lo están externamente, puesto que pueden derivar juntos
- ④ Si el conjunto P está sincronizado externamente con un límite D , ¿también lo está internamente?



Contenido

introducción
fundamentos
tecnologías
nombres
tiempo
seguridad
coordinación
transacciones

Corrección del reloj:

- ⌚ Se dice que un reloj hardware (H) es correcto si su límite de deriva es conocido $\rho > 0$. (p.e. 10^{-6} secs/ sec)
- ⌚ Por tanto, el error en la medida de dos eventos en t y t' está limitado:
 - $(1 - \rho)(t' - t) \leq H(t') - H(t) \leq (1 + \rho)(t' - t)$ donde $t' > t$
 - Esto impide que se produzcan saltos traumáticos en el valor leído
- ⌚ Se puede relajar la condición (monotonicidad)
 - $t' > t \Rightarrow C(t') > C(t)$
 - p.e. requerido por el *make* de Unix
 - se puede alcanzar la monotonicidad en un reloj hardware que funciona rápido, ajustando los valores de α y β en $C_i(t) = \alpha H_i(t) + \beta$
- ⌚ Un **reloj defectuoso** es aquel que no cumple ninguna de las condiciones de corrección
- ⌚ Un **fallo de ruptura** de reloj: el reloj se para, no emite tics
- ⌚ Un **fallo arbitrario**: cualquier otro fallo...



Contenido

introducción
fundamentos
tecnologías
nombres
tiempo
seguridad
coordinación
transacciones

Corrección del reloj:

- Se dice que un reloj hardware (H) es correcto si su límite de deriva es conocido $\rho > 0$. (p.e. 10^{-6} secs/ sec)
- Por tanto, el error en la medida de dos eventos en t y t' está limitado:

$$(1 - \rho)(t' - t) \leq H(t') - H(t) \leq (1 + \rho)(t' - t) \quad \text{donde } t' > t$$

- Esto impide que se produzcan saltos traumáticos en el valor leído
- Importante:** un reloj no tiene por qué ser preciso para ser correcto

p.e. requerido por el make de Unix

- se puede alcanzar la monotonicidad en un reloj hardware que funciona rápido, ajustando los valores de α y β en $C_i(t) = \alpha H_i(t) + \beta$
- Un **reloj defectuoso** es aquel que no cumple ninguna de las condiciones de corrección
- Un **fallo de ruptura** de reloj: el reloj se para, no emite tics
- Un **fallo arbitrario**: cualquier otro fallo...



Contenido

- introducción
- fundamentos
- tecnologías
- nombres
- tiempo**
- seguridad
- coordinación
- transacciones

Sincronización en un SD síncrono:

- Se dice que un SD es síncrono si están definidos los límites siguientes:
 - Tiempo máximo y mínimo para ejecutar cada paso de un proceso
 - Tiempo máximo y mínimo de recepción de un mensaje
 - Los límites de deriva de cada reloj local donde se ejecuta cada proceso son conocidos

Primera aproximación (sincronización interna):

- Un proceso p_1 envía su tiempo local t al proceso p_2 en un mensaje m ,
- p_2 podría poner su reloj a $t + T_{\text{trans}}$, donde T_{trans} es el tiempo de transmisión de m ,
- T_{trans} es desconocido, pero $\min \leq T_{\text{trans}} \leq \max$
- La incertidumbre $u = \max - \min$. Si se establece el reloj a $t + (\max - \min)/2$ entonces el sesgo $\leq u/2$

Contenido

introducción
fundamentos
tecnologías
nombres
tiempo
seguridad
coordinación
transacciones

Sincronización en un SD síncrono:

- Se dice que un SD es síncrono si están definidos los límites siguientes:
 - Tiempo máximo y mínimo para ejecutar cada paso de un proceso
 - Tiempo máximo y mínimo de recepción de un mensaje
 - Los límites de deriva de cada reloj local donde se ejecuta cada proceso son conocidos

Primera aproximación (sincronización interna):

¿Es **Internet** un sistema síncrono?

- Un proceso p_1 envía su tiempo local t al proceso p_2 en un mensaje m ,
- p_2 podría poner su reloj a $t + T_{trans}$, donde T_{trans} es el tiempo de transmisión de m ,
- T_{trans} es desconocido, pero $min \leq T_{trans} \leq max$
- La incertidumbre $u = max - min$. Si se establece el reloj a $t + (max - min)/2$ entonces el sesgo $\leq u/2$

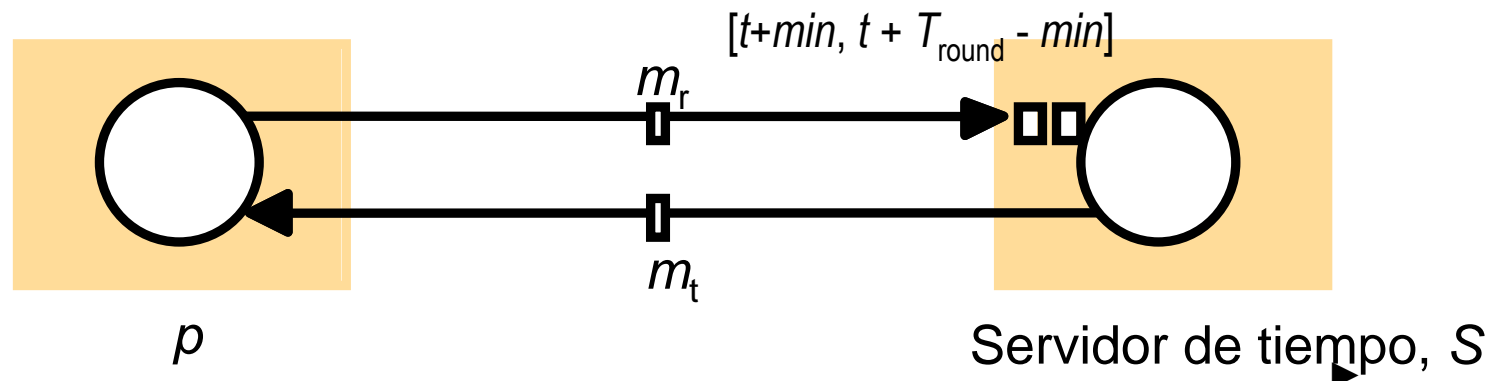
Contenido

introducción
fundamentos
tecnologías
nombres
tiempo
seguridad
coordinación
transacciones

Método de Cristian (para sincronizar relojes externamente):

Un servidor de tiempo S recibe señales UTC

- El proceso p solicita el tiempo en un mensaje m_r y recibe t en m_t de S
- p establece su tiempo a $t + T_{\text{round}}/2$ [T_{round} es el tiempo de ida y vuelta]
- Precisión: $\pm (T_{\text{round}}/2 - \text{min})$ [min es el mínimo estimado de transm.]
 - el momento más temprano en que S pone t en m_t es min después de que p enviara m_r
 - el momento más tardío es min antes de que m_t llegue a p
 - el tiempo de S cuando m_t llega está en el rango:



Contenido

introducción
fundamentos
tecnologías
nombres
tiempo
seguridad
coordinación
transacciones

Método de Cristian (para sincronizar relojes externamente):

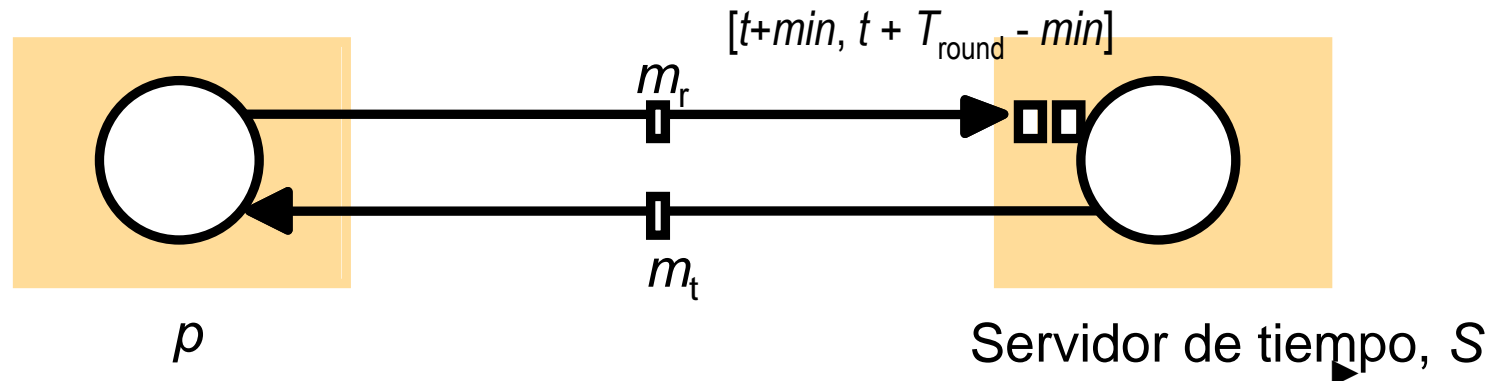


Un servidor de tiempo S recibe señales UTC

- El proceso p solicita el tiempo en un mensaje m_r y recibe t en m_t de S

¿Potenciales **problemas** de este algoritmo?

- el momento más temprano en que S pone t en m_t es min después de que p enviara m_r
- el momento más tardío es min antes de que m_t llegue a p
- el tiempo de S cuando m_t llega está en el rango:



Contenido

introducción
fundamentos
tecnologías
nombres
tiempo
seguridad
coordinación
transacciones

Algoritmo de Berkeley (para sincronizar relojes internamente):

- ⌚ Un *maestro* consulta y recoge valores de reloj del resto de computadores, *esclavos*.
- ⌚ El maestro utiliza los tiempos de ida y vuelta de los mensajes para estimar el valor de los relojes esclavos.
- ⌚ Promedia los resultados incluyéndose y eliminando cualquier valor que no sea consistente.
- ⌚ Envía la magnitud de ajuste de cada reloj, puede ser positivo o negativo.
- ⌚ Experimentos:
 - 15 computadoras, tiempo de sincronización 20-25 millisegs. Tasa de deriva de relojes locales $< 2 \times 10^{-5}$
 - Si el maestro falla, se puede elegir a un nuevo maestro.



tiempo y estados globales

sincronización de relojes físicos

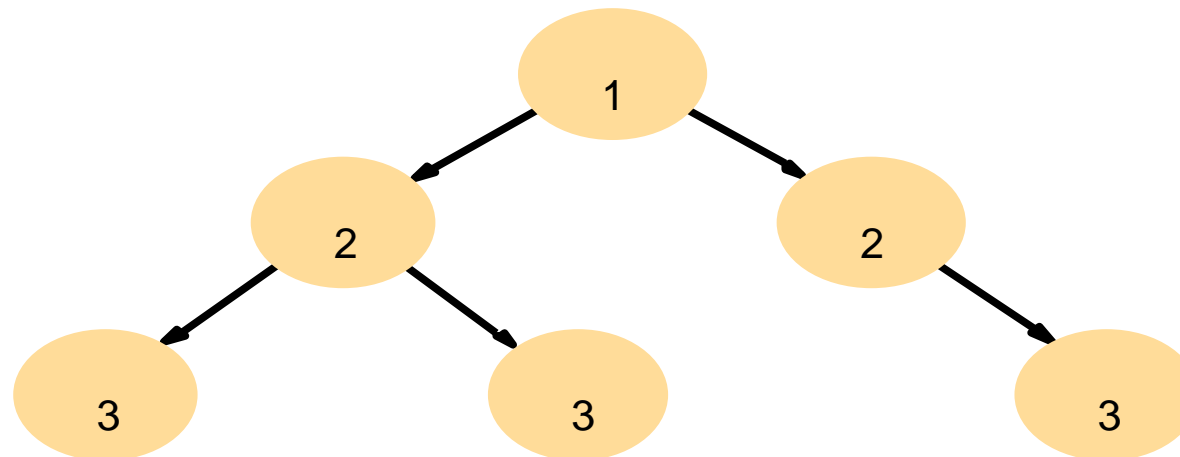
Contenido

introducción
fundamentos
tecnologías
nombres
tiempo
seguridad
coordinación
transacciones

Protocolo de Tiempo de Red (NTP):

⌚ Servicio de tiempo para Internet. Sincroniza a los clientes con UTC

Servicio fiable, redundante, reconfigurable si alguno cae, escalables, con autenticación de las fuentes de tiempo



tiempo y estados globales

sincronización de relojes físicos

Contenido

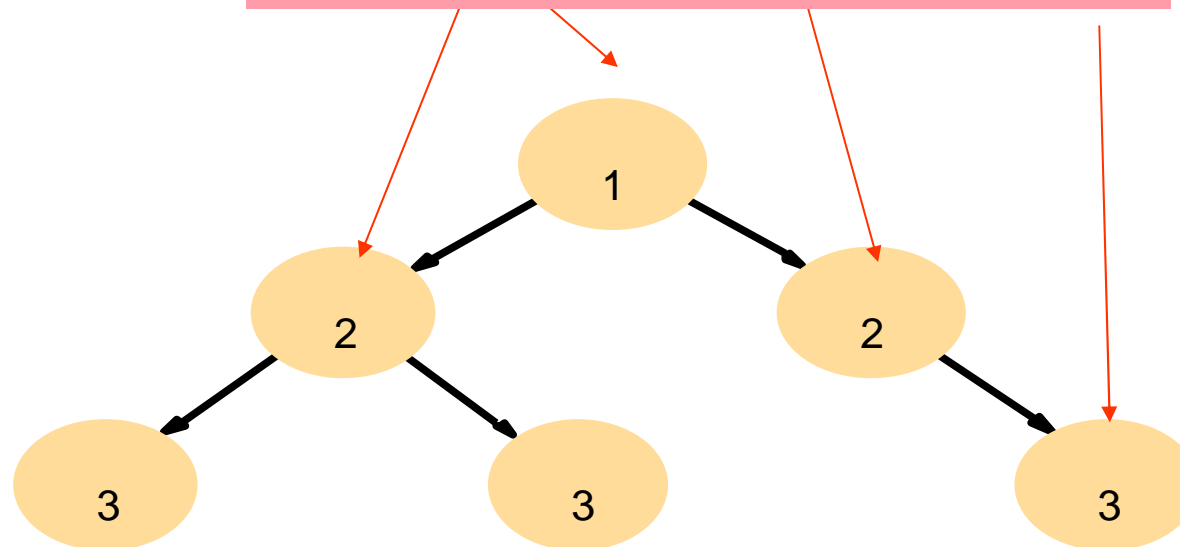
- introducción
- fundamentos
- tecnologías
- nombres
- tiempo
- seguridad
- coordinación
- transacciones

Protocolo de Tiempo de Red (NTP):

Ⓢ Servicio de tiempo para Internet. Sincroniza a los clientes con UTC. Los servidores primarios están conectados a fuentes UTC.

Servidores secundarios sincronizados a los primarios.

[Subred de sincronización] y en el nivel más bajo de servidores están los PC.



Contenido

introducción
fundamentos
tecnologías
nombres
tiempo
seguridad
coordinación
transacciones

NTP. Sincronización de servidores:

- ⌚ La subred de sincronización se puede reconfigurar si se produce un fallo:
 - un primario que pierde su conexión con UTC puede pasar a secundario
 - un secundario que pierde a su primario puede elegir otro primario
- ⌚ Modos de sincronización:
 - Multidifusión (multicast)
 - En LAN de alta velocidad. Un servidor reparte el tiempo al resto que establecen su tiempo asumiendo un retraso de transmisión (no preciso)
 - Llamada a procedimiento
 - Similar a de Cristian. El servidor acepta peticiones. Precisión más alta
 - Simétrica
 - Pares de servidores se intercambian mensajes conteniendo información de tiempo
 - Usado en los casos en que se necesita muy alta precisión (p.e. en primeros niveles)



tiempo y estados globales

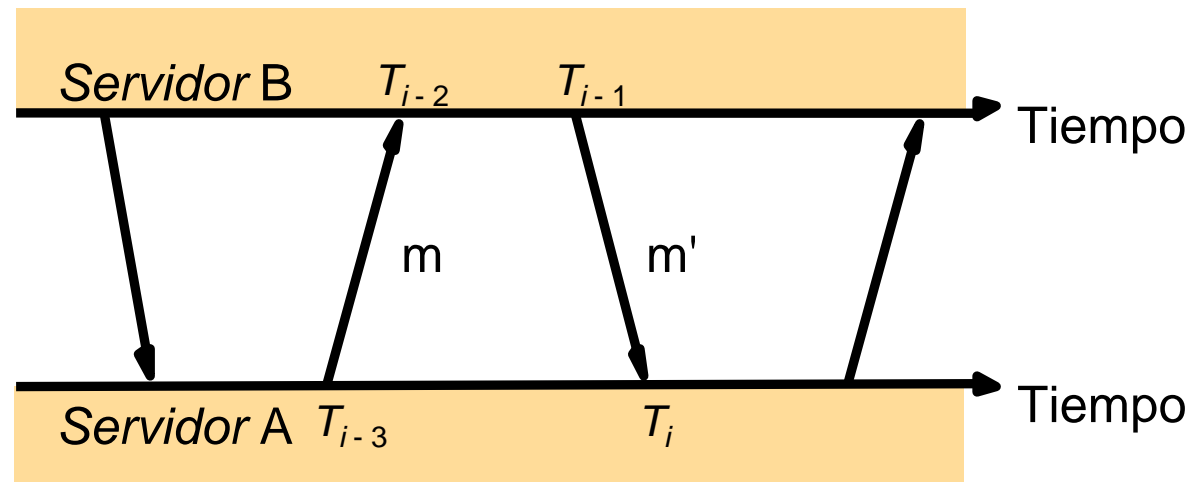
sincronización de relojes físicos

Contenido

introducción
fundamentos
tecnologías
nombres
tiempo
seguridad
coordinación
transacciones

NTP. Intercambio de mensajes entre pares de servidores:

- Ⓢ Todos los modos usan UDP
- Ⓢ Cada mensaje lleva marcas de tiempo de los eventos recientes:
 - Tiempos locales de Envío y Recepción del mensaje anterior m
 - Tiempo local de envío del mensaje actual m'
- Ⓢ El receptor anota el tiempo local cuando recibe, T_i (tenemos $T_{i-3}, T_{i-2}, T_{i-1}, T_i$)
- Ⓢ Puede haber un retraso entre la llegada de un mensaje y el envío del siguiente y se pueden perder mensajes...



Contenido

introducción
fundamentos
tecnologías
nombres
tiempo
seguridad
coordinación
transacciones

NTP. Precisión:

- Para cada par de mensajes entre servidores, NTP estima una compensación o , entre los dos relojes y un retardo d_i (tiempo total de transmisión para los dos mensajes t y t')

$$T_{i-2} = T_{i-3} + t + o \text{ y } T_i = T_{i-1} + t' - o$$

- Sumando las ecuaciones:

$$d_i = t + t' = T_{i-2} - T_{i-3} + T_i - T_{i-1}$$

- Restando las ecuaciones:

$$o = o_i + (t' - t)/2 \text{ donde } o_i = (T_{i-2} - T_{i-3} - T_i + T_{i-1})/2$$

- Como $t, t' > 0$ se puede ver que

$$o_i - d_i/2 \leq o \leq o_i + d_i/2 .$$

- por tanto o_i es una estimación de la deriva y d_i es una medida de la precisión

- Los servidores NTP mantienen pares del tipo $\langle o_i, d_i \rangle$, estimando la fiabilidad de las variaciones y permitiendo cambiar el propio par

- Ej.: precisión del orden de decenas de mseg. sobre Internet y de 1 mseg. sobre LAN



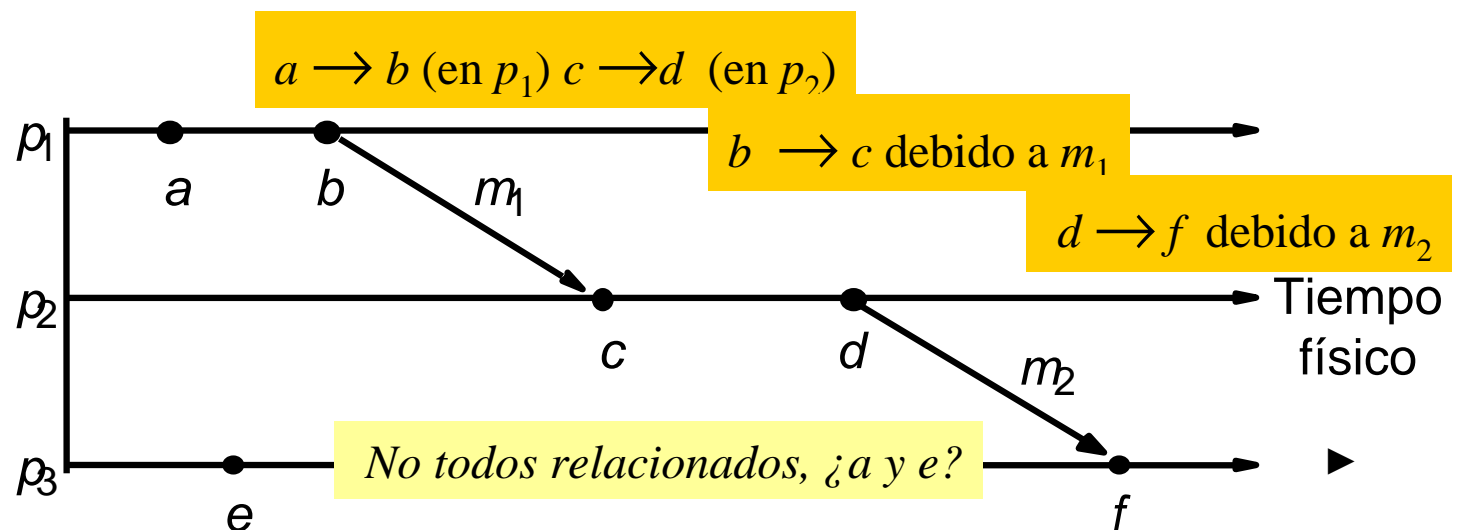
Contenido

introducción
fundamentos
tecnologías
nombres
tiempo
seguridad
coordinación
transacciones

Lamport (1978)

Ⓢ No se sincronizan relojes, sino que se ordenan eventos según \rightarrow (relación de orden parcial “suceder antes”):

1. Si los eventos ocurren en p_i ($i = 1, 2, \dots, N$) entonces ocurren en el orden observado por p_i , o sea, \rightarrow_i
2. Cuando m es enviado entre dos procesos, el envío(m) ocurre antes que recepción(m)
3. La relación \rightarrow es transitiva

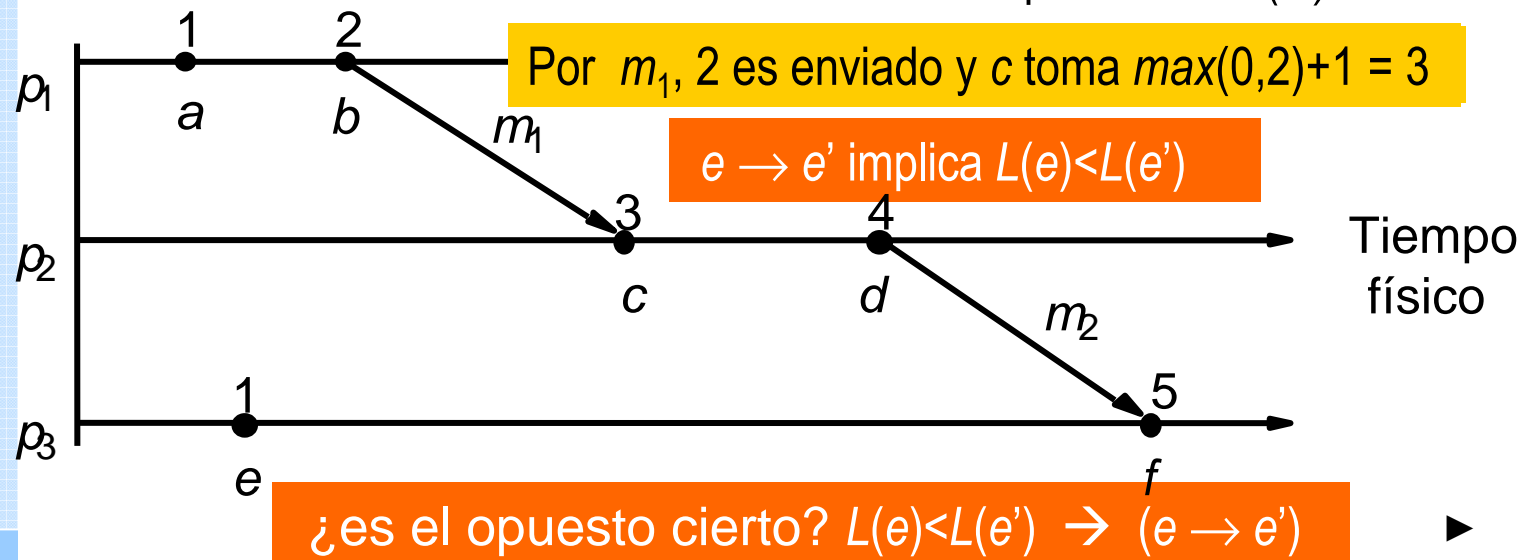


Contenido

introducción
fundamentos
tecnologías
nombres
tiempo
seguridad
coordinación
transacciones

Lamport. Relojes lógicos

- Un reloj lógico es un contador software monótono creciente. No se debe confundir con un reloj físico
- Cada proceso p_i tiene su reloj lógico (L_i) que se utiliza para fijar las marcas temporales a los eventos según,
 - R1 L_i se incrementa en 1 antes de cada evento propio de p_i
 - R2.1 cuando p_i envía m , adjunta al mensaje el valor $t = L_i$
 - R2.2 cuando p_j recibe (m, t) establece $L_j := \max(L_j, t)$ y aplica R1 antes de establecer la marca de tiempo de $\text{recibe}(m)$

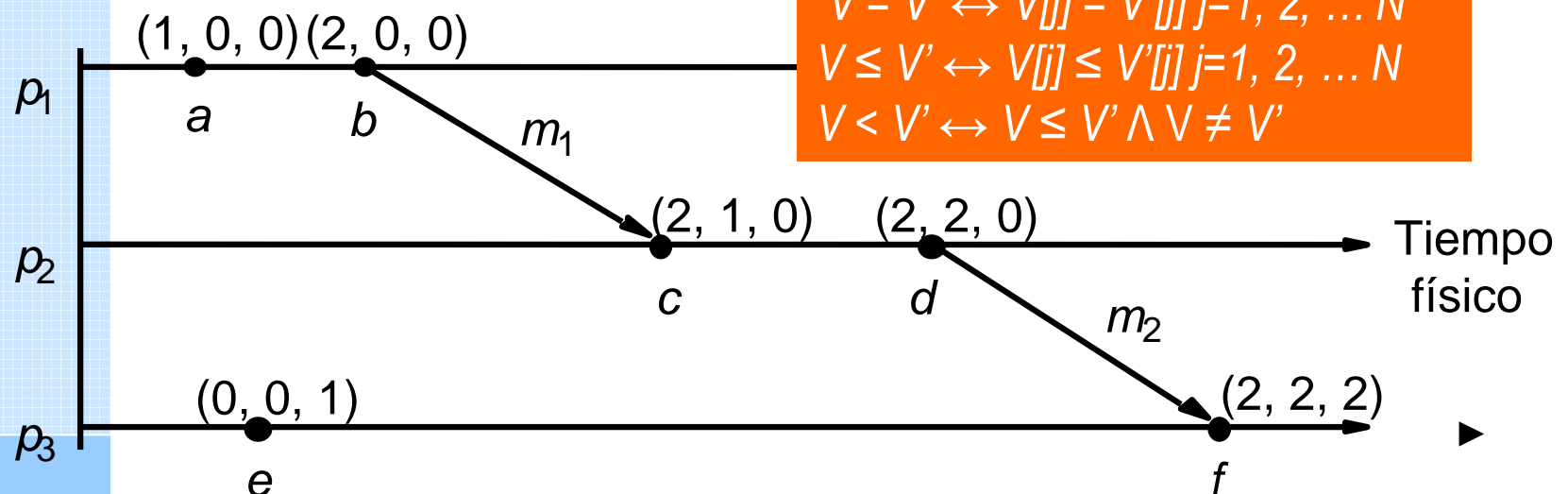


Contenido

introducción
 fundamentos
 tecnologías
 nombres
 tiempo
 seguridad
 coordinación
 transacciones

Relojes vectoriales

- Ⓢ Mattern y Fidge [1989-91] los desarrollan para superar la deficiencia de los relojes lógicos de Lamport: $L(e) < L(e')$ no implica $e \rightarrow e'$
- Ⓢ Un r_i $V_i[i]$ es el número de eventos que p_i ha marcado
 proc $V_i[j]$ ($j \neq i$) número de eventos en p_j que han sido afectados por p_i
 - R1: inicialmente $V_i[j] = 0$ for $i, j = 1, 2, \dots, N$
 - R2: antes de marcar un nuevo evento p_i incrementa $V_i[i] := V_i[i] + 1$
 - R3: p_i adjunta $t = V_i$ en cada mensaje que envía
 - R4: cuando p_i recibe (m, t) establece $V_i[j] := \max(V_i[j], t[j])$ $j = 1, 2, \dots, N$

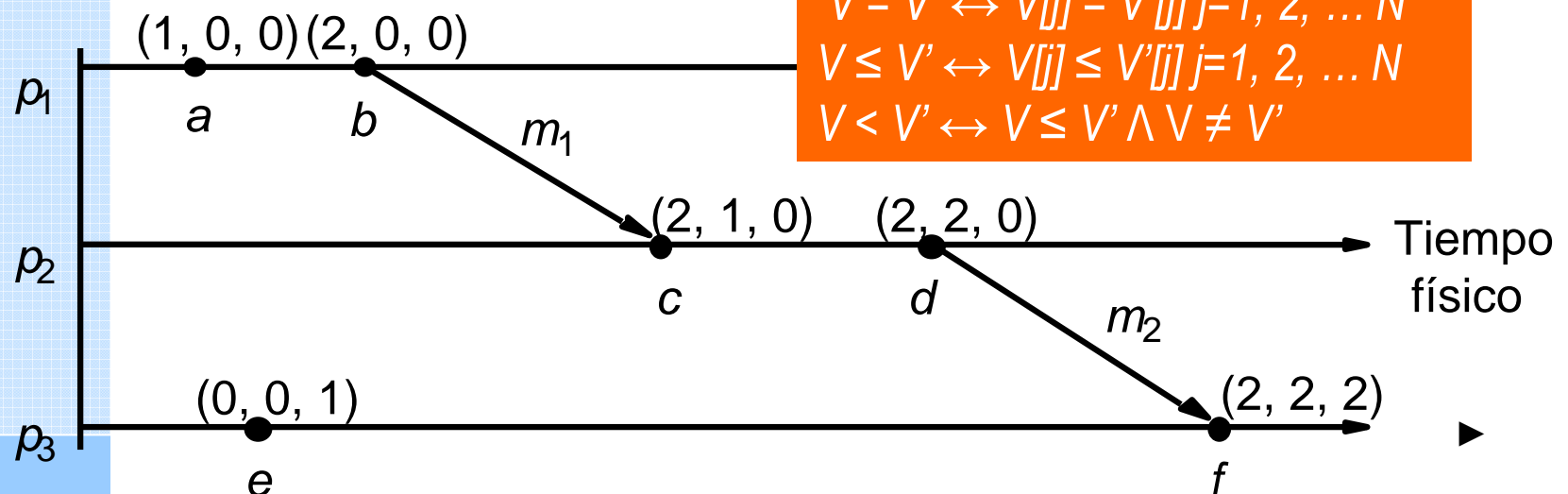


Contenido

introducción
 fundamentos
 tecnologías
 nombres
tiempo
 seguridad
 coordinación
 transacciones

Relojes vectoriales

- Ⓢ Mattern y Fidge [1989-91] los desarrollan para superar la deficiencia de los relojes lógicos de Lamport: $L(e) < L(e')$ no implica $e \rightarrow e'$
- Ⓢ Un reloj vectorial V_i en el proceso p_i es un array de N enteros, que cada proceso utiliza para establecer marcas de sus eventos locales,
 - R1: inicialmente $V_i[j] = 0$ for $i, j = 1, 2, \dots, N$
 - R2: antes de marcar un nuevo evento p_i incrementa $V_i[i] := V_i[i] + 1$
 - R3: p_i adjunta $t = V_i$ en cada mensaje que envía
 - R4: cuando p_i recibe (m, t) establece $V_i[j] := \max(V_i[j], t[j])$ $j = 1, 2, \dots, N$

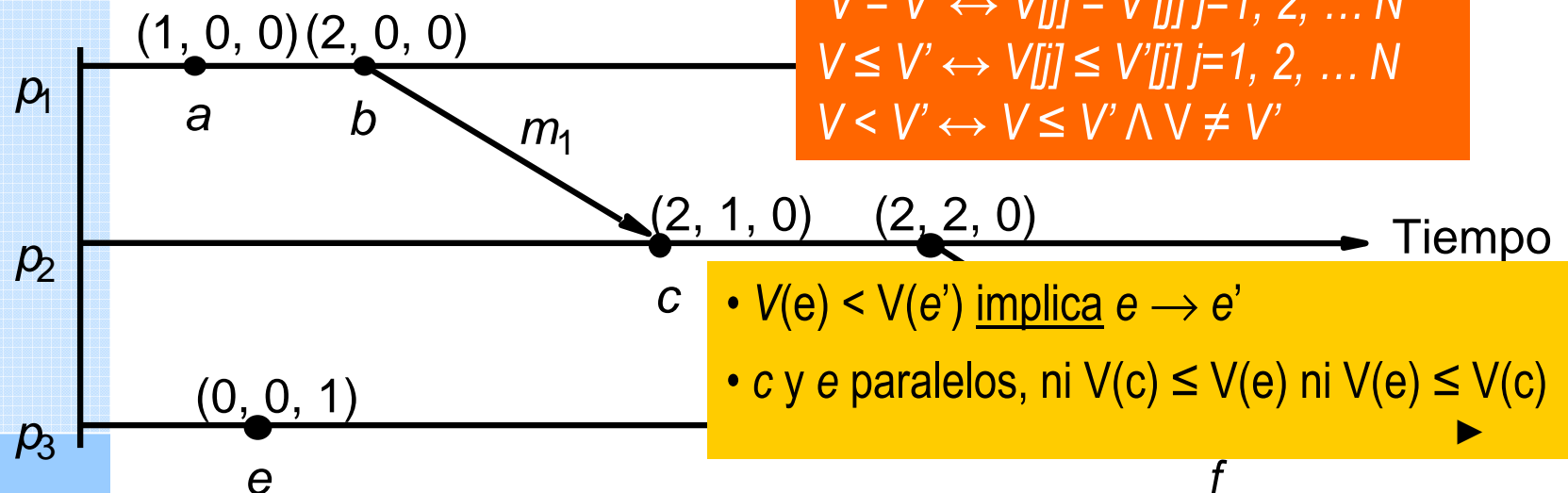


Contenido

introducción
 fundamentos
 tecnologías
 nombres
 tiempo
 seguridad
 coordinación
 transacciones

Relojes vectoriales

- Ⓢ Mattern y Fidge [1989-91] los desarrollan para superar la deficiencia de los relojes lógicos de Lamport: $L(e) < L(e')$ no implica $e \rightarrow e'$
- Ⓢ Un r_i $V_i[i]$ es el número de eventos que p_i ha marcado
 proc $V_i[j]$ ($j \neq i$) número de eventos en p_j que han sido afectados por p_i
 - R1: inicialmente $V_i[j] = 0$ for $i, j = 1, 2, \dots, N$
 - R2: antes de marcar un nuevo evento p_i incrementa $V_i[i] := V_i[i] + 1$
 - R3: p_i adjunta $t = V_i$ en cada mensaje que envía
 - R4: cuando p_i recibe (m, t) establece $V_i[j] := \max(V_i[j], t[j])$ $j = 1, 2, \dots, N$



Contenido

- introducción
- fundamentos
- tecnologías
- nombres
- tiempo
- seguridad
- coordinación
- transacciones

- ⌚ Se ha puesto de manifiesto la importancia de las marcas temporales en un SD
- ⌚ Los algoritmos como Cristian o NTP sincronizan los relojes a pesar de sus derivas y el retardo de los mensajes
- ⌚ La sincronización de relojes no siempre es suficiente para satisfacer los requisitos de ordenación de dos eventos arbitrarios que sucedan en dos computadores
- ⌚ La relación "suceder antes" es un orden parcial sobre los eventos que reflejan un flujo de información entre ellos
- ⌚ Los relojes de Lamport son contadores que se actualizan de acuerdo con la relación "suceder antes" entre eventos
- ⌚ Los relojes vectoriales mejoran los de Lamport
 - determinan si dos eventos están ordenados por la relación "suceder antes" o son concurrentes, comparando los vectores de marcas ▶