Sistemas distribuidos

Grado en Ingeniería Informática

Tema 03-01: Sincronización en SD

Departamento de Ingeniería Informática
Universidad de Cádiz

Escuela Superior de Ingeniería
Dpto. de Ingeniería Informática

Curso 2019 – 2020

Indice

Sección 1 | Introducción

Introducción

Propiedades de los Sistemas Distribuidos

La información relevante se distribuye entre varias máquinas.

Los procesos toman las decisiones sólo con base en la información disponible en **forma local**.

Debe evitarse un punto único de fallo.

No existe un reloj común o alguna otra fuente precisa del tiempo global.

Introducción

Problemas a tener en cuenta

Tiempos y estados globales.

Exclusión mutua.

Algoritmos de elección. Problemas de consenso.

Operaciones atómicas distribuidas: Transacciones.

Cada nodo posee un reloj estándar.

La comunicación entre nodos presenta retardos.

Cada nodo presenta una visión subjetiva del estado global.

Introducción

Posibles soluciones

Propuesta de solución: un único reloj preciso + red dedicada para trasmitir la señal sin retardos

- No es práctico (coste), o es inviable (Internet)

Solución: tiempo distribuido

- Cada nodo posee su propio reloj **tiempo físico local**
- Los relojes son imprecisos: necesarios ajustarlos periódicamente a un **tiempo físico de referencia**

Por otra parte, la gestión consistente del estado global requiere al menos ordenar los eventos producidos por los nodos

- **Tiempo lógico**

Introducción

Posibles soluciones

Sincronizar todos

- Sincronizar todos los relojes con reloj de referencia (NTP).

Sincronizar entre los nodos

- Estimar retrasos por la conexión (Algoritmo de Cristian).
- Establecer un promedio (Algoritmo de Berkeley).

No sincronizar, sólo ordenar eventos

- Ordenar los eventos, algoritmo de Algoritmo Lamport.
- Ordenar todos los nodos, relojes vectoriales.

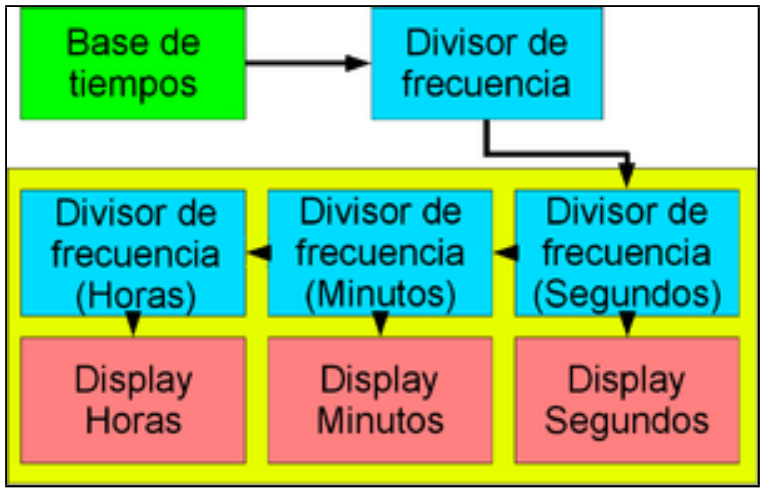
Sección 2 | Tiempo físico

Tiempo físico

Relojes de cuarzo

Los relojes de los ordenadores son de **cuarzo**

- Las moléculas en el cristal de cuarzo vibran millones de veces por segundo (piezoelectricidad), a una velocidad que *nunca* cambia. El ordenador usa las vibraciones en el reloj del sistema para tomar el tiempo de sus operaciones de procedimiento
- La frecuencia de oscilación varía con la temperatura
- deriva(retraso): $\sim 10^{-6}$ (90 ms en un día, 1s cada 11,6 días)



Tiempo físico

Relojes atómicos

Son de gran precisición pero muy caros

deriva: $\sim 10^{-13}$ (9 ns en un día, 1s cada 300.000 años)

precio: $ 50.000 - $100.000

Reloj atómico Real Instituto y Observatorio de la Armada

Otros modelos pueden ser los NIST (National Institute of Standards and Technology) en `http://tf.nist.gov/timefreq/cesium/atomichistory.htm`

Tiempo físico

Definiciones

Segundo solar o astronómico: 1/86.400 del periodo de rotación de la Tierra (mean solar second) pese a ser perfectamente válido para las situaciones de la vida cotidiana, la Tierra no gira a velocidad constante (va perdiendo lentamente velocidad), por lo que no sirve como referencia

Segundo atómico (IAT, 1967): 9.192.631.770 periodos de transición en un átomo de Cesio-133. Los relojes atómicos miden este tiempo deriva de $\sim 3 * 10^{-8}$ con el segundo solar ($\sim$1 s al año)

Tiempo universal coordinado (UTC): medido en segundos atómicos, sincronizado con tiempo astronómico (diferencia $>$ 900 ms $\rightarrow$ inserción de 1 s)

Tiempo físico

Definiciones

Tiempo físico o de referencia normalmente UTC (*Universal Time Coordinated*)
`http://www.bipm.org/en/scientific/tai/time_server.html`

Resolución periodo entre dos actualizaciones del registro del tiempo local

Desviación *offset*, *skew*, θ Diferencia entre el tiempo local y el tiempo físico de referencia de un instante

Deriva *drift*, δ desviación por unidad de tiempo (lo que adelanta o retrasa el reloj)

Precisión *accuracy* desviación máxima que se puede garantizar en el ajuste de un reloj

Sección 3 | Sincronización

Sincronización

de relojes físicos

Los computadores de un sistema distribuido poseen relojes que no están sincronizados (derivas)

Importante asegurar una correcta sincronización

- En aplicaciones de tiempo real
- Ordenación natural de eventos distribuidos (fechas de ficheros)
- Análisis de rendimiento

Tradicionalmente se han empleado protocolos de sincronización que intercambian mensajes

Actualmente se puede mejorar mediante GPS

Sincronización

Externa

Sincronización: procedimiento por el que se ajusta el valor de un reloj a un tiempo físico de referencia con una precisión preestablecida

Referencias de tiempo UTC se difunden periódicamente por radio

Precisión de receptores comerciales: Estaciones terrestres, Satélites geoestacionarios, Satélites GPS

Usos: servicio horario preciso, contabilidad...

Sincronización

Interna

Para muchas aplicaciones es más importante mantener bien sincronizados entre sí los relojes locales que conseguir una gran precisión en la sincronización externa (permite ordenar eventos (causalidad)

Propuesta de solución: receptor UTC en cada nodo (no es práctico por coste)

Solución: algoritmos de sincronización interna

- centralizados: basados en un servidor específico
- distribuidos: estadísticos

Sincronización

Métodos de Sincronización

UTC: Universal Coordinated Time

- Transmisión de señal desde centros terrestres o satélites.
- Una o más máquinas del sistema distribuido son receptoras de señal UTC.

Método de Cristian

- Es un algoritmo probabilístico
- Es un algoritmo centralizado en el cual un servidor brinda el tiempo unificado
- Este servidor puede estar conectado a un UTC para tener la hora correcta

Algoritmo de Berkeley

- Es un algoritmo centralizado en el cual un servidor es seleccionado como maestro
- Este maestro NO puede estar conectado a un UTC para tener la hora correcta
- El maestro estima el valor de los relojes de los esclavos

NTP (Network Time Protocol)

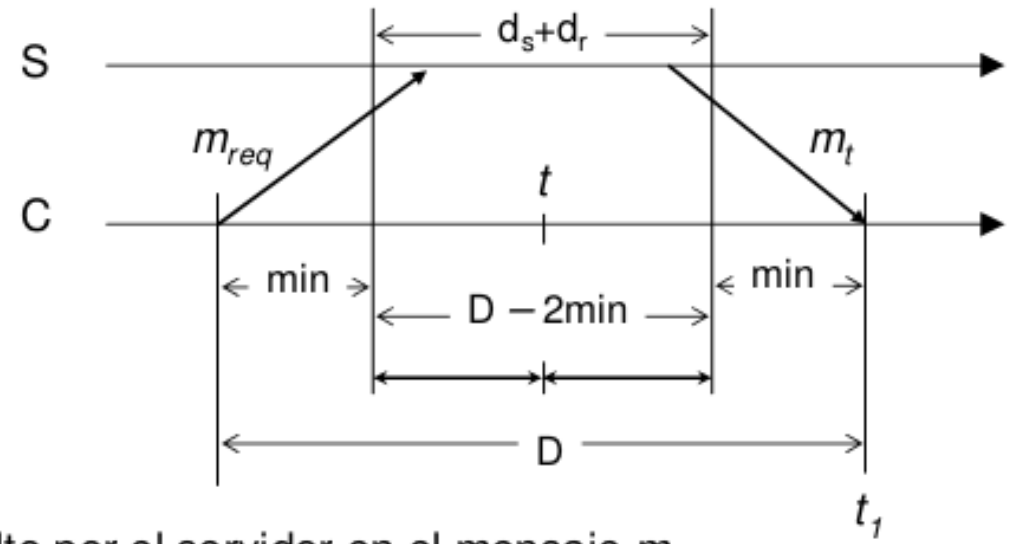
- Permitir sincronizar clientes con UTC sobre Internet
- Jerarquía de servidores en diferentes estratos
- Los fallos se solventan por medio de ajustes en la jerarquía

Sección 4 | Método Cristian

Método Cristian

Explicación

Algoritmo de *Cristian*



$t(m_t)$: tiempo devuelto por el servidor en el mensaje m_t

D: tiempo desde que se envía m_{req} y se recibe m_t

min: tiempo mínimo de transmisión de un mensaje

Suposición: el servidor asigna la referencia $t(m_t)$ en la mitad del intervalo *D-2*min* (instante *t* en el cliente). Así se logra la mejor precisión

Desviación: $\theta = t - t(m_t) = t1 - D/2 - t(m_t)$

Precisión = $D/2 - min$

Método Cristian

Cuestiones

- Ejemplo del algoritmo de *Cristian* (3 peticiones):

Pet.	*D (ms)*	t_1 *(hh:mm:ss.ms)*	$t(m_t)$ *(hh:mm:ss.ms)*
(1)	*22*	*10:54:22.236*	*10:54:23.674*
(2)	*26*	*10:54:24.000*	*10:54:25.450*
(3)	*20*	*10:54:26.946*	*10:54:28.342*

  - ¿Qué petición debería usar el cliente? Calcula la precisión y desviación obtenidas

    Precisión = 10 *ms* Desviación = 1406 *ms*

  - Conociendo que el tiempo mínimo de transmisión es de 7 ms, ¿cambia en algo la respuesta anterior?

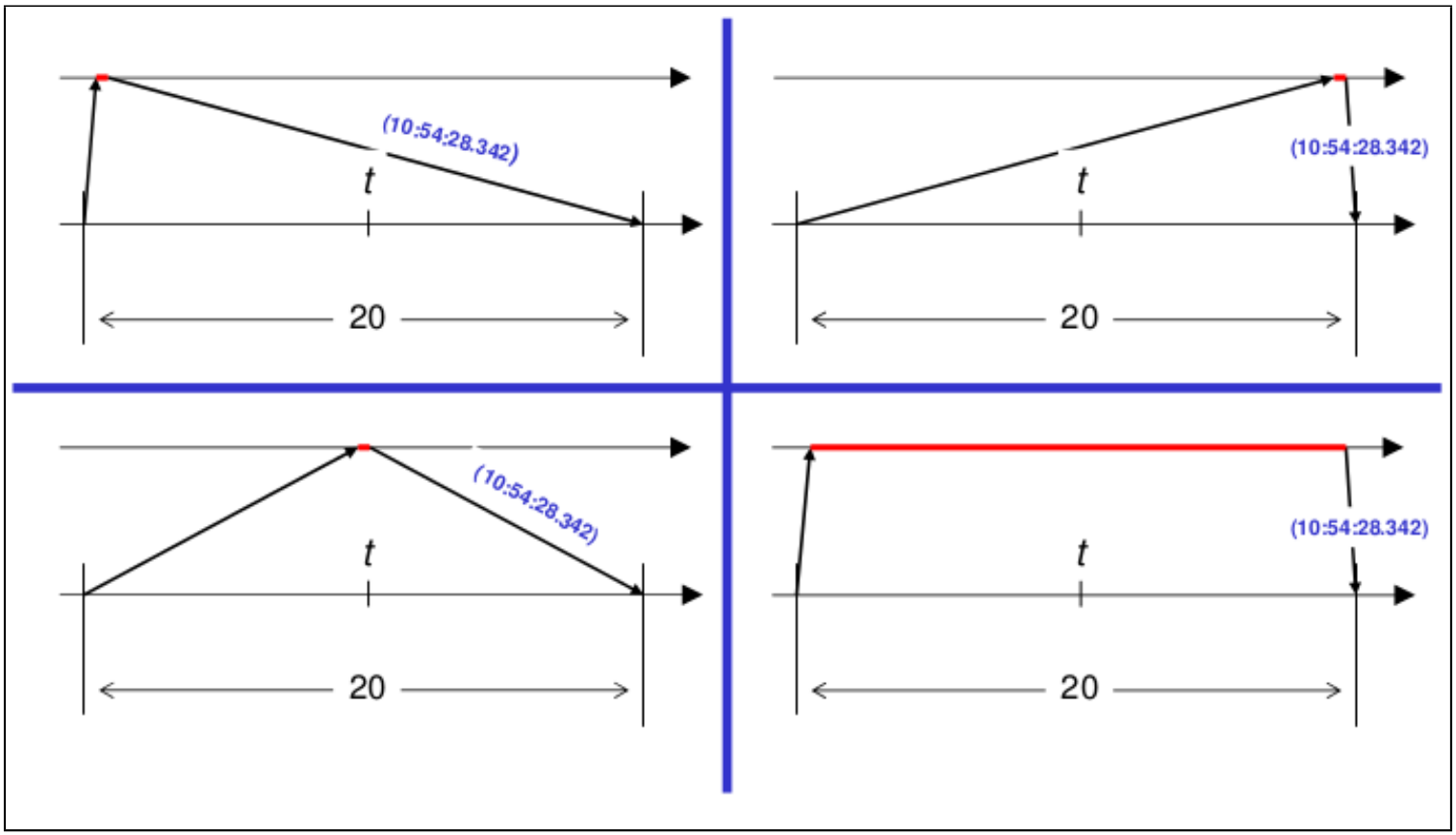
    Precisión = 3 *ms*

  - ¿Qué se necesitaría para obtener una precisión de 2 ms?

    Siendo min = 7 *ms*, una petición con $D \leq 18$ *ms*

Método Cristian

Posibilidades



Método Cristian

Problemas

Duración variable del tiempo de transmisión de los mensajes en la red, y del tiempo de respuesta del servidor

Servidor único: sobrecarga y caída. **Solución** grupo de servidores sincronizado

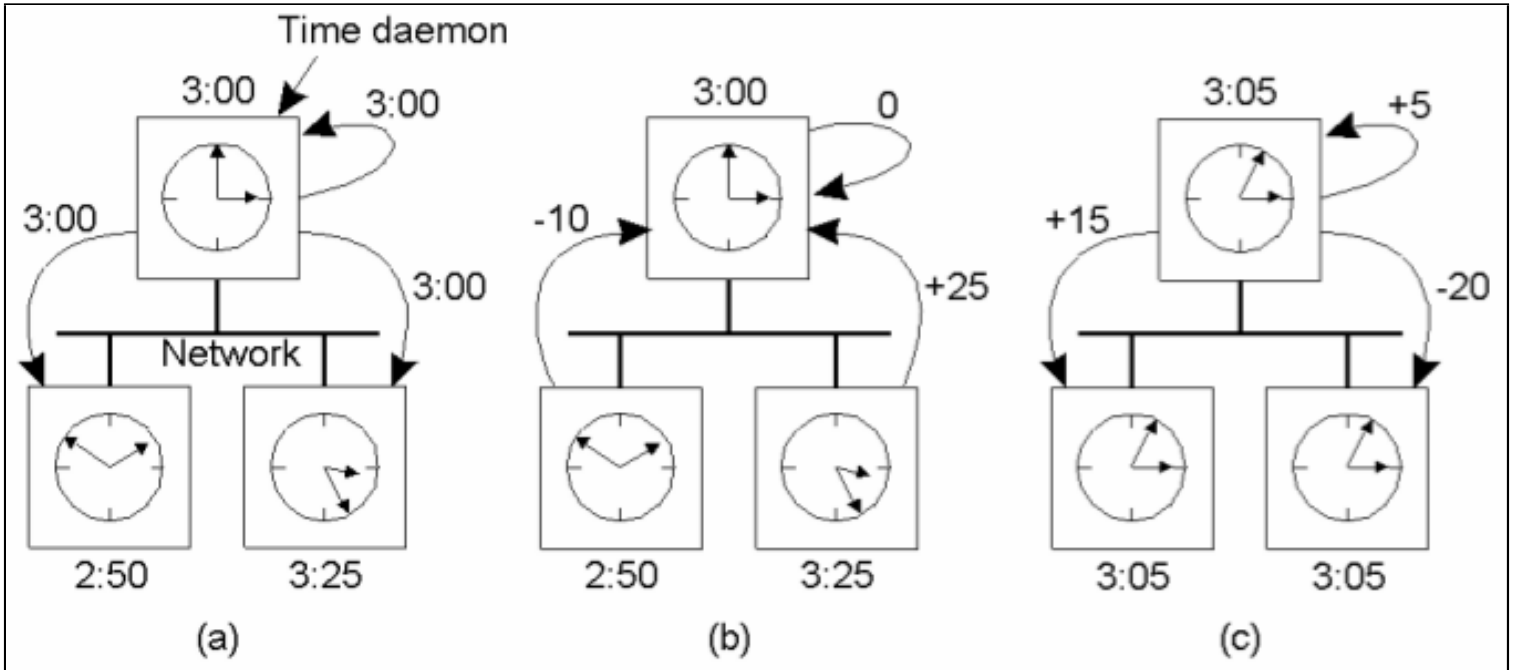
Servidor impostor: seguridad **Solución** autenticación del servidor

Servidor con reloj que falla: tiempo erróneo en el SD **Solución** algoritmo de Berkeley

Sección 5 | Algoritmo de Berkeley

Método Algoritmo de Berkeley

Explicación



a) The time daemon asks all the other machines for their clock values

b) The machines answer

c) The time daemon tells everyone how to adjust their clock

Método Algoritmo de Berkeley

Cuestiones

- Ejemplo del algoritmo de *Berkeley*:

	Nodo	*D (ms)*	*t (hh:mm:ss.ms)*	***Desviaciones***
	N1 (coord.)	*0*	*10:54:23.118*	***-948 ms***
	N2	*22*	*10:54:22.236*	***-1842 ms***
	N3	*26*	*10:54:24.000*	***-79 ms***
Excluido!	*N4*	*190*	*10:41:46.179*	***-757983 ms***
	N5	*20*	*10:54:26.946*	***+2870 ms***

- Calcula el tiempo medio para la sincronización y la desviación a enviar a cada nodo

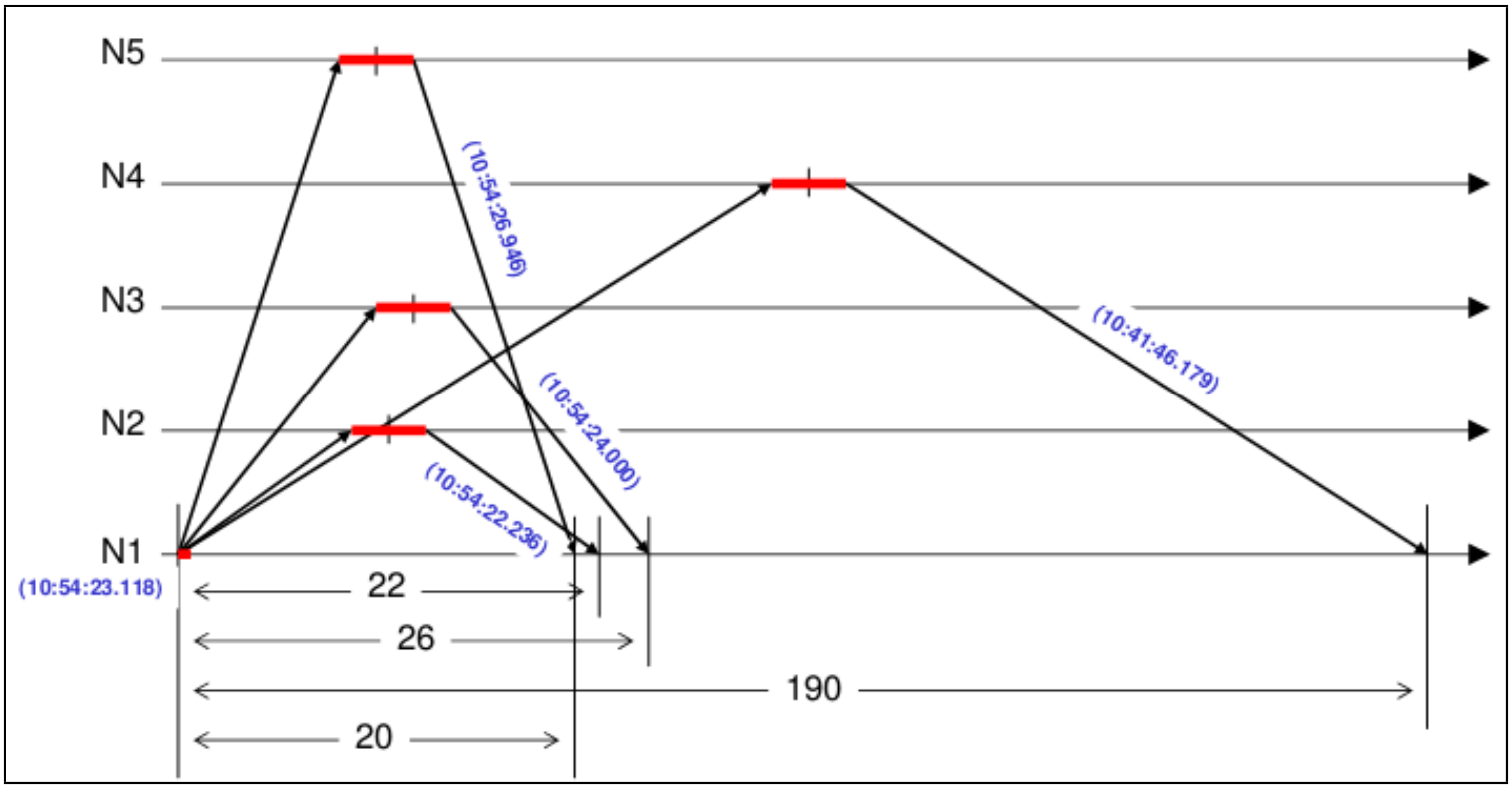
  Tiempo medio = 10:54:24.067

- Usando el método de *Cristian*, calcula la precisión en el ajuste de cada nodo al sincronizarse (*min* no se conoce)

  D/2

Método Algoritmo de Berkeley

Posibilidades



Sección 6 | Network Time Protocol

Network Time Protocol

Explicación

Estándar en Internet

Proporciona sincronización redundante con UTC

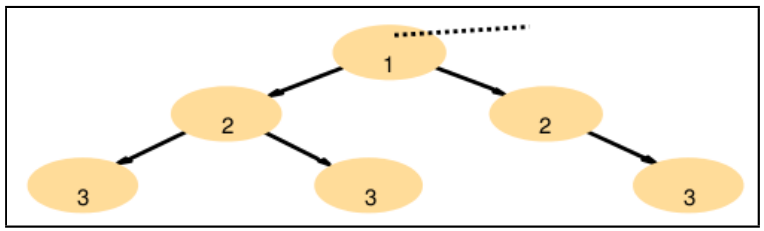
Estructurado en capas (strata) de servidores de tiempo

- servidores primarios (strata 1): referencias UTC fiables
- servidores de nivel 2 (strata 2): sincronizados con primarios

Modos de operación:

- red local con soporte adecuado: modo multicast
- mayor precisión: modo de llamada a procedimiento
- mejor sincronización interna: modo simétrico

La red de servidores se puede reconfigurar



Sección 7 | Tiempo lógico

Tiempo lógico

Introducción

A veces la precisión obtenida al sincronizar los relojes no nos permite usar el tiempo físico para ordenar los eventos de los diferentes nodos de un sistema distribuido

- siempre es posible ordenar los eventos de un mismo nodo (si se respeta la monotonicidad del reloj)
- en cambio, relaciones de causalidad entre eventos de nodos diferentes pueden verse distorsionadas

Muchas aplicaciones requieren únicamente ordenar los eventos (y no tanto conocer el instante exacto en que ocurrieron)

Reloj lógico: contador de software que se incrementa monótonamente, cuyo valor no necesita estar relacionado con ningún reloj físico.

Generalmente se asocia a cada proceso un reloj lógico.

Tiempo lógico

Modelo de eventos

Modelo de sistema: conjunto de procesos que comunican únicamente mediante paso de mensajes

- enviar (p_i, mensaje)
- recibir (p_j, mensaje)
- p_i y p_j son el emisor y el receptor del mensaje

Simplificación: un proceso por nodo/máquina

Cada proceso genera una secuencia de eventos. Identificamos tres tipos de eventos:

- Envío de un mensaje (al ejecutar enviar)
- Recepción de un mensaje (al ejecutar recibir)
- Eventos locales/internos (resto de eventos, sin comunicación)

Tiempo lógico

Modelo de eventos

Para ordenar los eventos de un mismo proceso bastaría con asociar a cada evento x el tiempo local T(x) (si la resolución es suficiente)

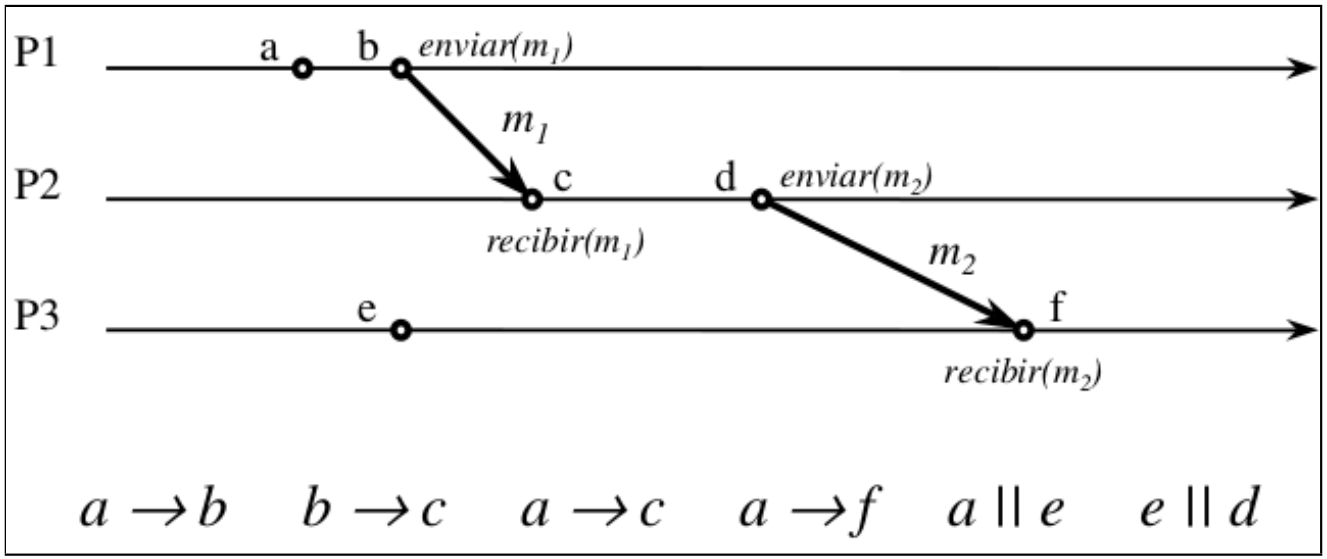
Se dice que existe una **relación de causalidad** entre dos eventos del sistema ($x \rightarrow y$, "x ha sucedido antes que y", "x happened before y") si:

- x e y son eventos del mismo proceso y $T(x)<T(y)$
- x e y son los eventos enviar(m) y recibir(m) del mismo mensaje m
- Existe otro evento z tal que $x \rightarrow z$ y $z \rightarrow y$ (cierre transitivo de la relación)

Tiempo lógico

Concurrentes

Si entre dos eventos no hay relación de casualidad, se dice que son **concurrentes - paralelos: x $\|$ y**



Sección 8 | Tiempo lógico de Lamport

Tiempo lógico de Lamport

Introducción

Propuesto en 1978, para indicar relaciones de causalidad. Cada proceso P_i tiene su reloj lógico local C_i, para asociar marcas de tiempo a sus eventos (un simple contador asíncrono basta)

Algoritmo:

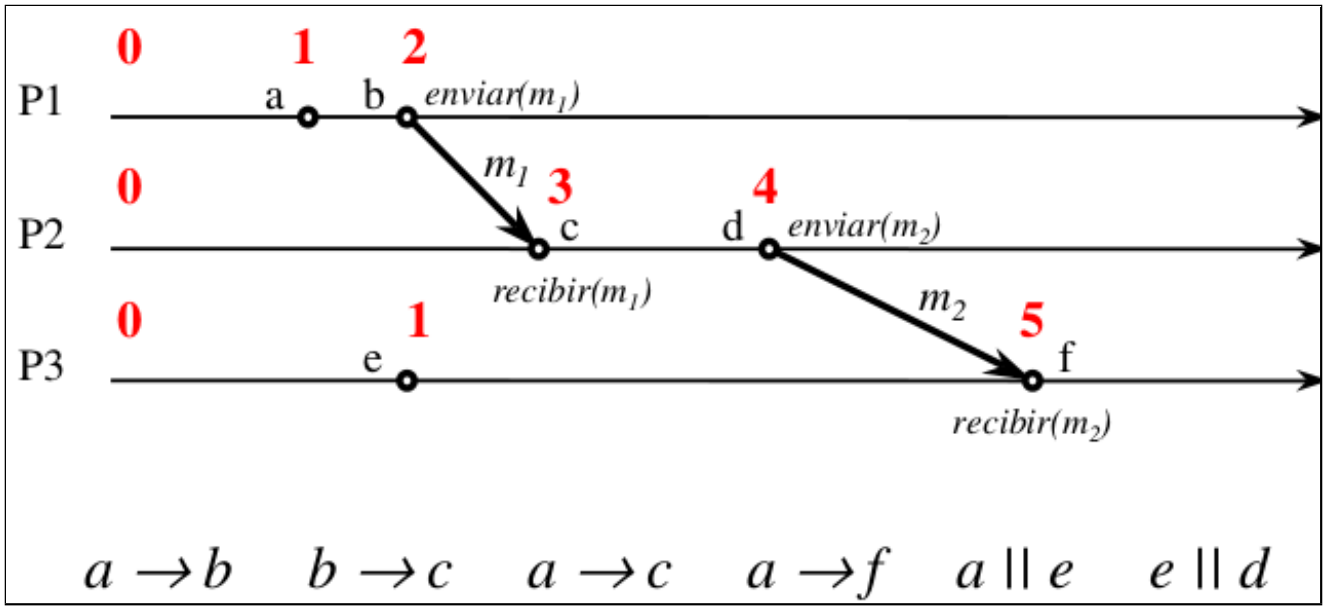
- Inicialmente, $C_i = 0$, $\forall$i
- Antes de un evento local o envío de mensajes en p_i: $C_i = C_i + 1$
- Cuando p_j envía un mensaje m a p_i incluye el valor de su reloj lógico en el mensaje, C_m. Al recibir el mensaje, p_i actualiza su reloj local de la siguiente manera

$$C_i = \max(C_i, C_m)$$
$$C_i = C_i + 1$$

Problema $C_i(x) < C_j(y)$ no implica x $\leftarrow$y

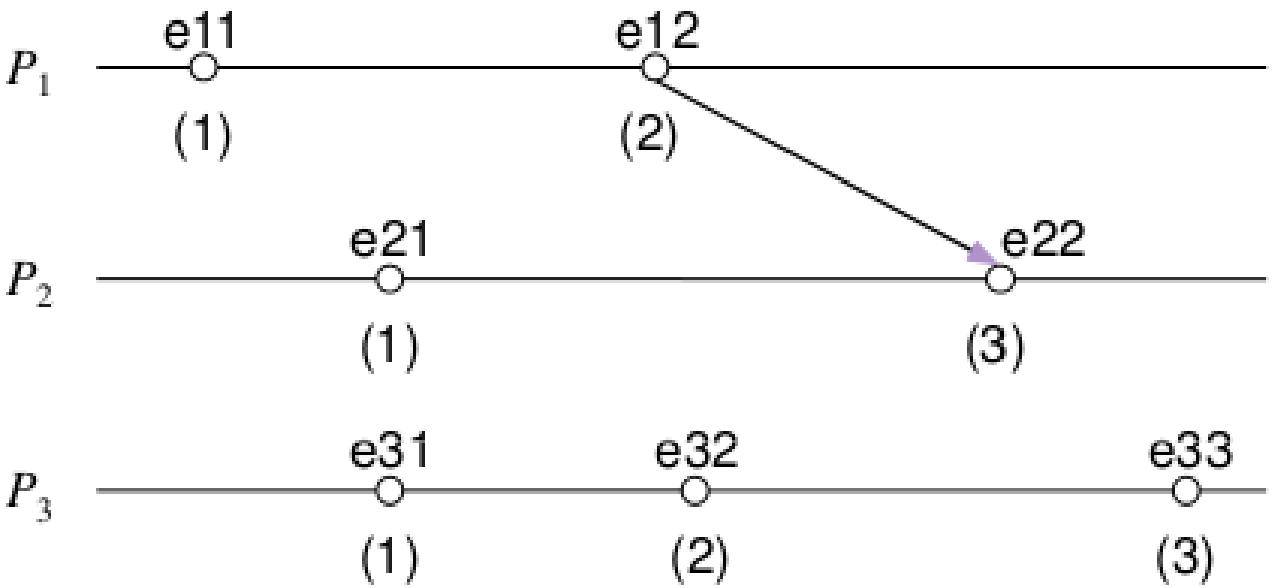
Tiempo lógico de Lamport

Esquema



Tiempo lógico de Lamport

Problemas



$C(e11) < C(e22)$, y $e11 \rightarrow e22$ es cierto

$C(e11) < C(e32)$, pero $e11 \rightarrow e32$ es falso

Sección 9 | Vectores de tiempo

Vectores de tiempo

Introducción

Relojes vectoriales

- Son un caso más potente que Lamport.
- Sistemas con comunicaciones entre muchos nodos: Amazon

Concepto intuitivo

- Cada nodo envía no sólo su reloj lógico, si no todos los que tiene constancia.

Vectores de tiempo

Introducción

Garantizan $V_i(x) < V_j(y) \leftrightarrow x \rightarrow y$

- V: Vector de N componentes (N=número de procesos)
- $V_i[i]$: Reloj lógico (local) del proceso P_i
- $V_i[j]$: Último valor que el proceso P_i conoce del reloj del proceso P_j

Algoritmo

- Inicialmente $V_i[j]= 0$, $\forall i,j$
- Evento local o envío de mensaje p_i: $V_i[i] = V_i[i] + 1$
- Cuando p_j envía un mensaje m a p_i, p_j incluye el valor de su vector de tiempos, V_m. Al recibir dicho mensaje, p_i actualiza su vector de la siguiente manera

$$\forall k: V_i[k] = \max(V_i[k], V_m[k])$$
$$V_i[i] = V_i[i] + 1$$

Vectores de tiempo

Introducción

Definición

- $V1 < V2 \leftrightarrow \forall_i\ V1[i] \leq V2[i]$ and $\exists j\ V1[j] < V2[j]$

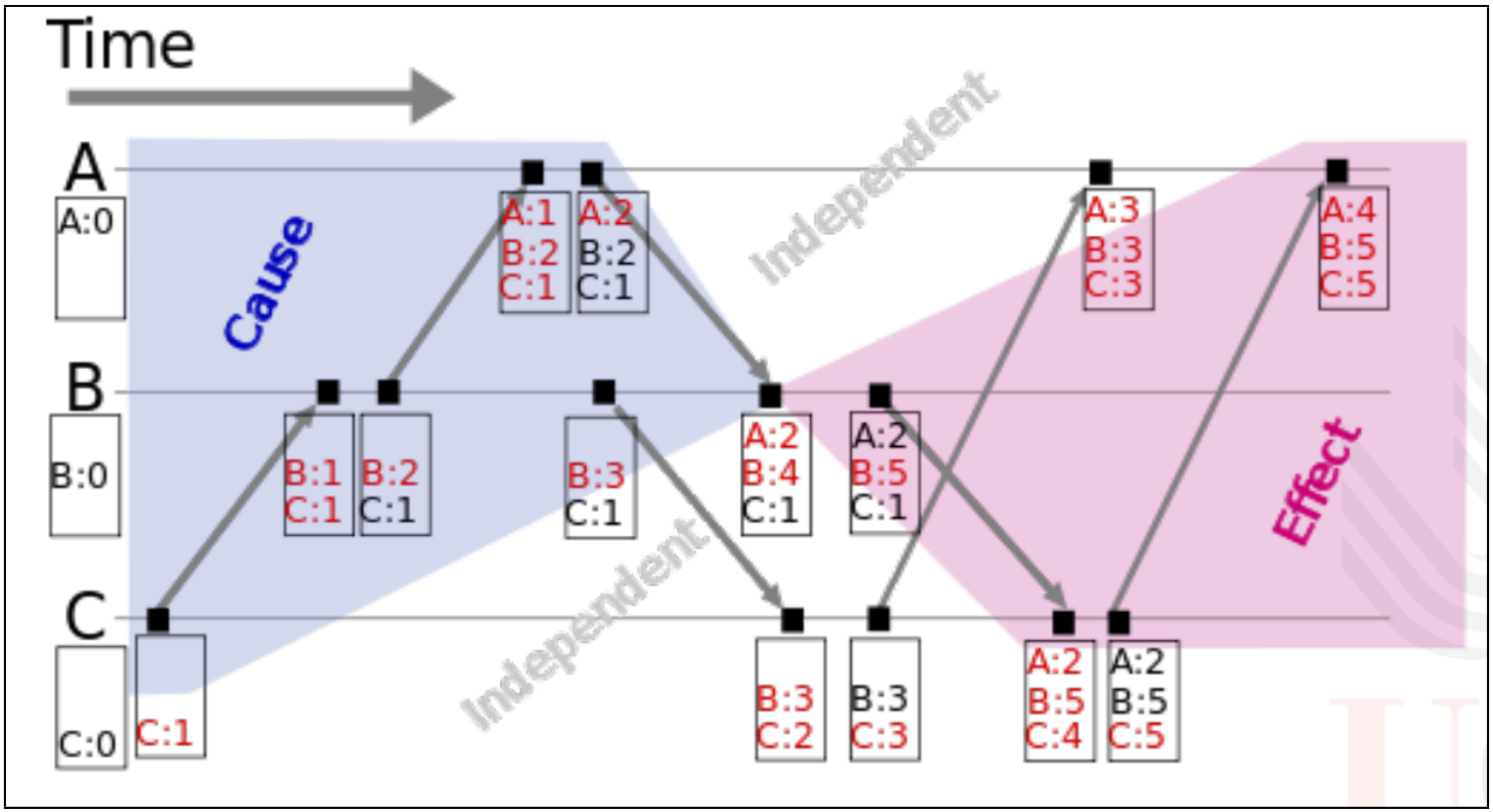
Existirá relación de causalidad entre dos eventos (x, y) si y sólo si

- $V(x) < V(y)$
- $V(y) < V(x)$

Si no, los eventos son concurrentes

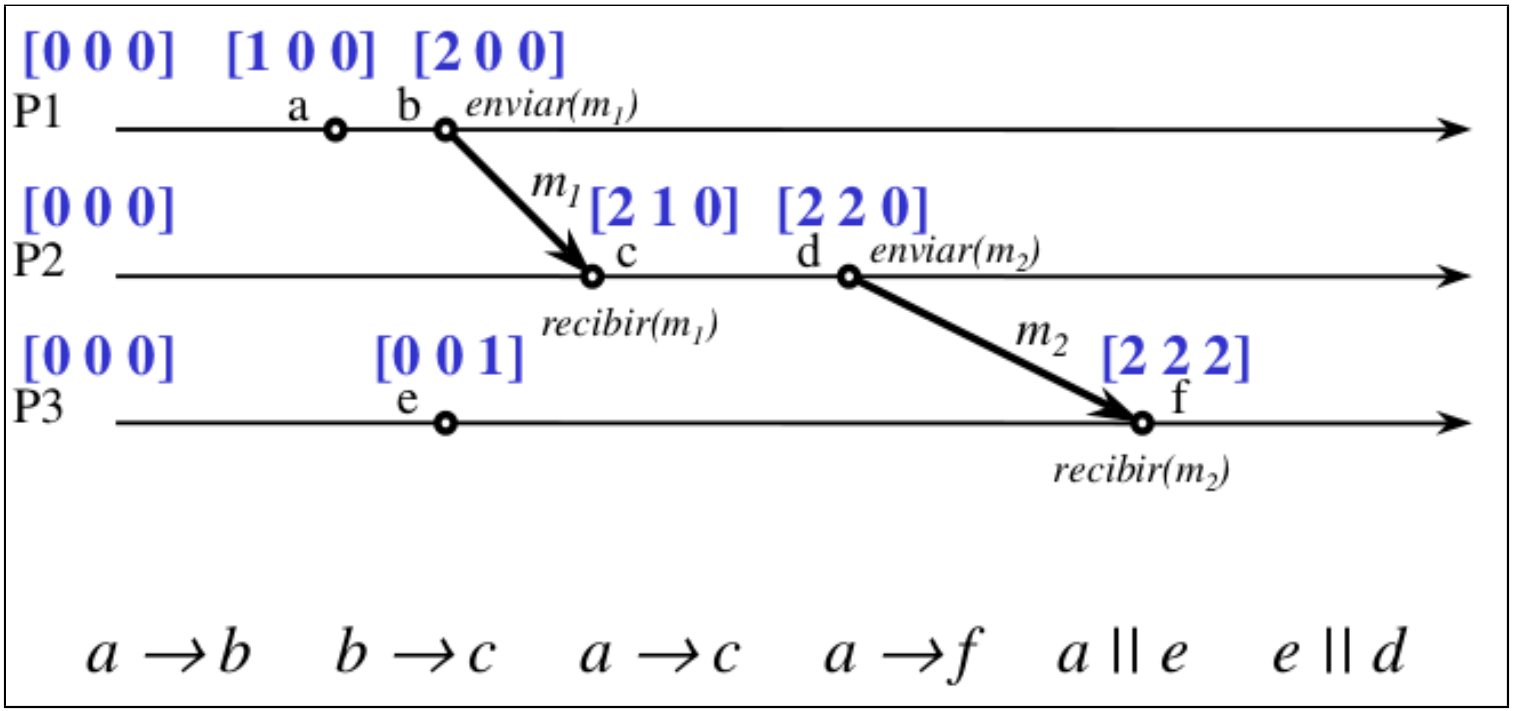
Vectores de tiempo

Ejemplo



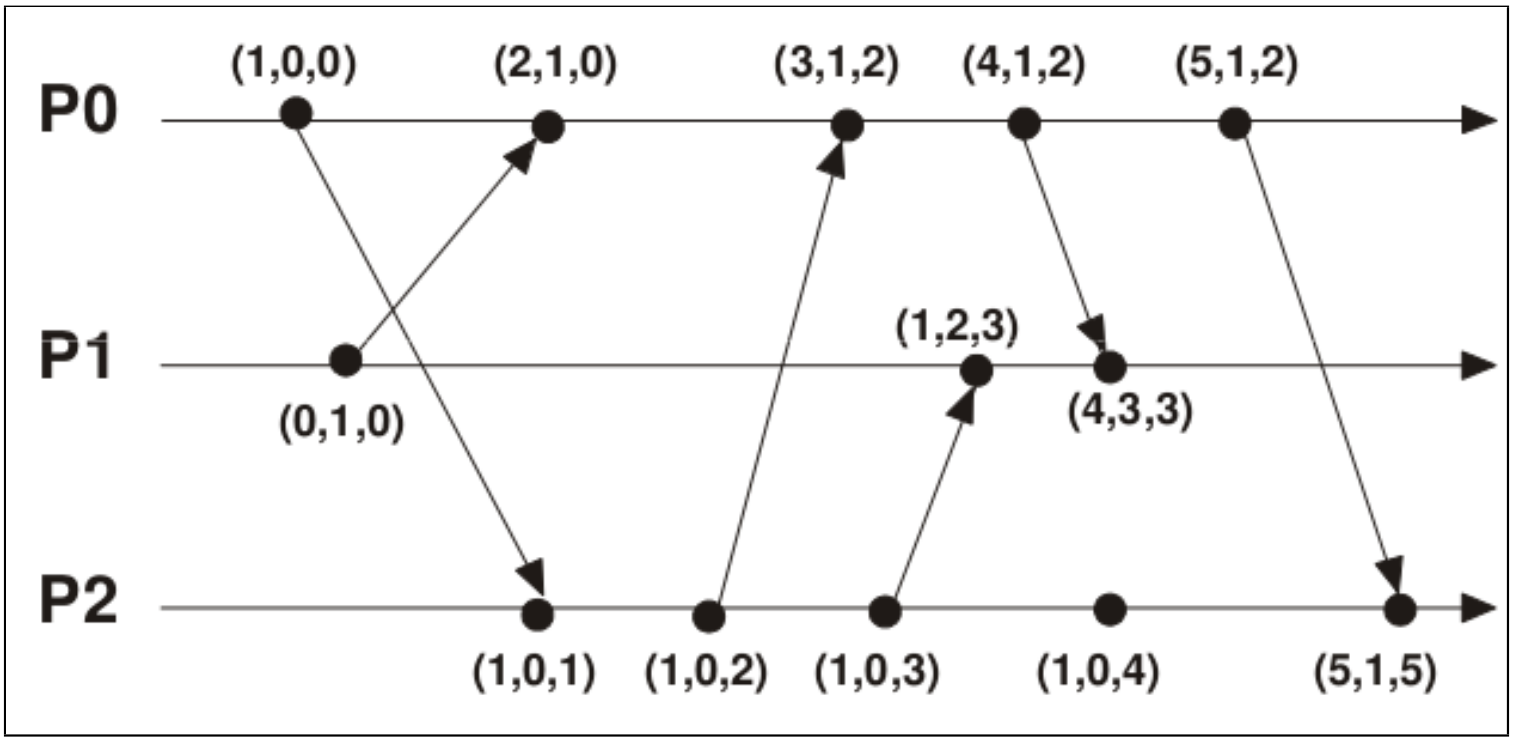
Vectores de tiempo

Esquema



Vectores de tiempo

Esquema



Sección 10 | Tareas

Tareas

Resuelva la siguiente secuencia con el algoritmo de Lamport y el de relojes vectoriales, completando los huecos con los números obtenidos por el algoritmo.