# Sincronização

- Tempo e Relógios

- Sincronização de Relógios
  - Algoritmo de Cristian
  - Algoritmo de Berkeley
  - Network Time Protocol

# O papel do tempo

- Crucial na ordenação de eventos

- Tempo Real?
  - Função monótona contínua e crescente
  - Unidade: segundo

  *"Actualmente um segundo é a duração de 9.192.631.770 períodos da radiação correspondente à transição entre os dois níveis hiperfinos do estado fundamental do átomo de césio 133"*

  Graficamente pode ser representado por uma sequência de pontos sobre uma linha recta ➔ ***Timeline***

# O papel do tempo

O uso do tempo em sistemas distribuídos é feito em dois aspectos:

- Registar e observar a localização de eventos na timeline

  Queremos saber qual a sequência em que ocorreu um conjunto de eventos (possivelmente distribuídos por várias máquinas)

- Forçar o futuro posicionamento de eventos na timeline

  Sincronização do progresso concorrente do sistema

# O papel do tempo

Para conhecermos qual a sequência de um conjunto de acontecimentos podemos marcar o instante de ocorrência atribuindo um,

- ***Timestamp*:** sequência de caracteres que marcam a data e/ou tempo no qual um certo evento ocorreu.

  (ex. data de criação/alteração de um ficheiro)

  - um timestamp está associado a um ponto na timeline.

Se queremos comparar a duração de vários acontecimentos podemos usar,

- **Intervalos de tempo:** cadeia de tempo composta por vários intervalos adicionados

# Durações Distribuídas

- ***Timers* / relógios locais:** implementam a abstracção da *timeline*.

Num sistema distribuído cada evento pode ocorrer em diferentes locais cada um com a sua timeline.

- Como conciliar diferentes *timelines*?

- Como medir durações distribuídas?

# Tempo Global vs Tempo Absoluto

- **Tempo Global (*global time*):** implementa a abstracção de um tempo universal, através de um relógio que fornece o mesmo tempo a todos os participantes no sistema.

- **Tempo Absoluto (*absolute time*):** padrões universalmente ajustados, disponíveis como fontes de tempo externo para o qual qualquer relógio interno se pode sincronizar.

# Relógios locais

- **Relógio físico local (physical clock - pc):** o modo mais comum para fornecer uma fonte de tempo num processo.

  - Equipamento físico, que conta as oscilações que ocorrem num cristal de quartzo a uma dada frequência.
  - Cada oscilação do cristal decrementa o contador de uma unidade.
  - Quando o contador chega a zero, é gerado um *interrupt* e o contador é recarregado com o valor inicial.

  - Cada *interrupt* é designado como um "clock tick"

# Relógios locais

- Um relógio num processo correcto, *k*, implementa uma função discreta, monótona crescente, $pc_k$, *q*ue mapeia o tempo real *t* em tempo de relógio $pc_k(t)$.

- Problemas dos relógios físicos:

**Granularidade:** relógios físicos são granulares, isto é, avançam uma unidade em cada *tick* $t_{tk}$.

$$pc_k^{\,tk+1} - pc_k^{\,tk} = g$$

# Problemas dos relógios físicos

- A frequência das oscilações varia com a temperatura
- Diferentes taxas de desvio em diferentes computadores

- **Taxa de desvio do relógio físico:** existe uma constante positiva $r_p$, a *taxa de desvio (rate of drift)*, que depende não só da qualidade do relógio mas também das condições ambientais.

$$0 \leq 1\text{-}\, r_p \leq (pc_k(t_{tk+1}) - pc_k(t_{tk}))/g \leq 1\text{+}\, r_p$$

$$\text{para } 0 \leq t_{tk} \leq t_{tk+1}$$

(Para uma taxa de desvio de $10^{-5}$, após 60 minutos o erro acumulado pode ser superior a 30 milissegundos

# Clock skew / Clock drift

**Skew** – *é a diferença do valor do tempo lido de dois relógios diferentes.*

**Drift** – *é a diferença no valor lido de um relógio e o valor do tempo fornecido por um relógio de referência perfeito por unidade de tempo do relógio de referência.*

**Ex.** *drift de 10 $^{-5}$ segundos / segundo, significa que em cada segundo o relógio tem um desvio de 0,00001 segundos.*

# Para que serve um relógio local?

- Fornecer *timestamps* para eventos locais.
- Medir durações locais

  O erro causado pelo desvio é normalmente insignificante para pequenas durações.
- Pode ser usado como um "timer" para estabelecer *timeouts*
- Medir durações distribuídas *round-trip*

# Relógios Globais - Características

- Fornecer o mesmo tempo para todos os intervenientes do sistema
- *Timestamping* de eventos distribuídos
- Medição de durações distribuídas

# Relógios Globais - funcionamento

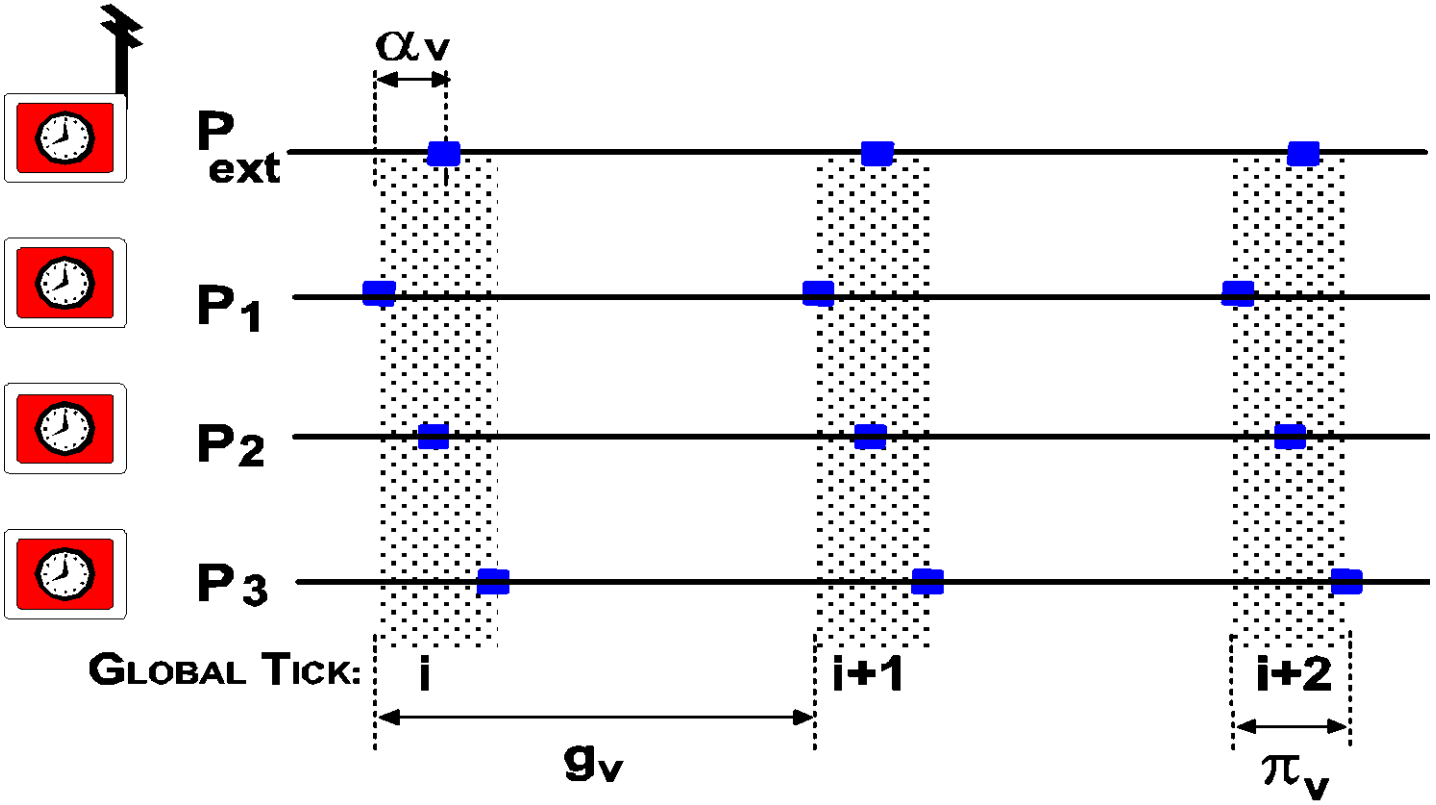
- É criado um relógio virtual $vc_p$ para cada processo *p* a partir do relógio físico
- É feita a sincronização de todos os relógios locais com o mesmo valor inicial $vc_p(t_{init})$
- Periodicamente os relógios virtuais são re-sincronizados

Algoritmos de Sincronização

# Propriedades dos Relógios Globais

- Granularidade $g_v = vc_p(t_{k+1}) - vc_p(t_k)$
- Precisão ($\pi_v$): quão próximos os relógios se mantêm sincronizados entre si em qualquer instante do tempo.
- Exactidão (accuracy -$\alpha_v$): quão próximos os relógios estão sincronizados em relação a uma referência de tempo real absoluto (sincronização externa)

# Propriedades dos Relógios Globais (cont.)



# Sincronização interna vs Sincronização externa

- Sincronização interna:

  - relógios têm que obter precisão relativamente a um tempo interno ao sistema

- Sincronização externa:

  relógios tem que estar sincronizados com uma fonte externa de tempo universal

# Referências de Tempo universal - Normas

- Tempo Atómico Internacional (TAI - Temps Atomique International)

  função contínua monotona crescente a uma taxa constante (tempo médio dos relógios atómicos de césio existentes)

- Universal Time, Coordinated (UTC)

  referência de tempo política (correcção do TAI de forma a ajustar o tempo com o dia solar)

- **Forma mais simples de obter o UTC**: por GPS (Global Position System) – é assegurada uma exactidão, em terra, <= 100ns para os relógios dos receptores de GPS

# Medição de durações *round-trip*

- Certas durações distribuídas podem ser medidas sem a existência explícita de relógios globais
- O atraso de entrega de uma mensagem pode ser calculado com um erro conhecido e limitado, se existir uma mensagem prévia recente no sentido inverso

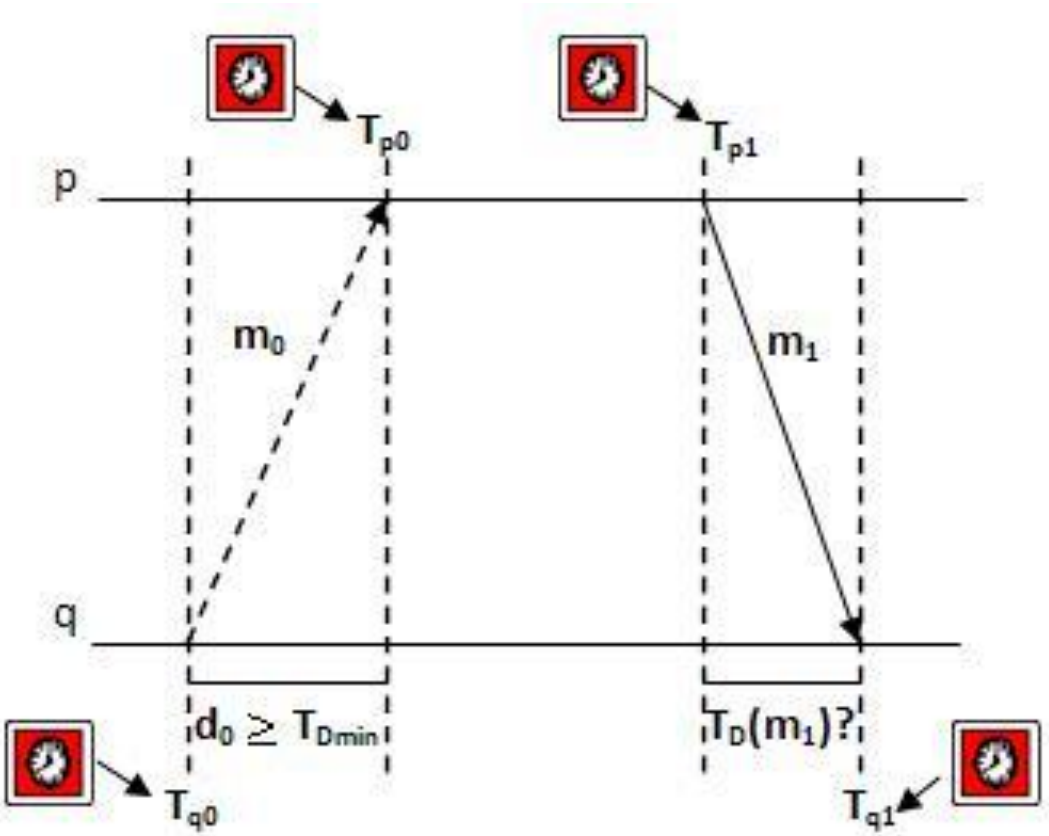
# Medição de durações *round-trip* (cont.)

- Pré-requisitos para  o uso deste método:

- Assegurar troca de mensagens frequente entre os *sites* relevantes

- Assegurar que o *timestamping* das transmissões de mensagens e entregas, também sejam trocados entre os *sites* relevantes

# Medição do atraso de entrega de mensagens




$$t_D(\mathrm{m}_1) \leq \left(T_{q1} - T_{q0}\right) - \left(T_{p1} - T_{p0}\right) - T_{D\min}$$

# Algoritmos de Sincronização

Caso mais simples:

- Sincronização interna entre dois processos num sistema distribuído síncrono.

- São conhecidos os limites máximo (Max) e mínimo (Min) para o envio de mensagens, assim como para o desvio do relógio e para o tempo de execução dos processos.

Assumindo que o processo 1 envia uma mensagem ao processo 2 com o tempo que marca o seu relógio, t

# Algoritmos de Sincronização

A incerteza no envio da mensagem será u = (Max – Min)

Se o processo 2 acerta o seu relógio para t + Min, o máximo desvio (skew) será u porque a mensagem pode ter demorado Max.

Se o processo 2 acerta o seu relógio para t + Max, o máximo desvio será também u porque a mensagem pode ter demorado Min.

Mas se o processo 2 acertar o seu relógio para, t + (Max + Min) /2

O desvio (skew) entre os dois relógios será no máximo,

(Max - Min) / 2

# Algoritmos de Sincronização

- Como acertar um relógios

- obter UTC e corrigir o software do relógio

- Problemas

➔ O que acontece se um relógio está adiantado e é acertado?

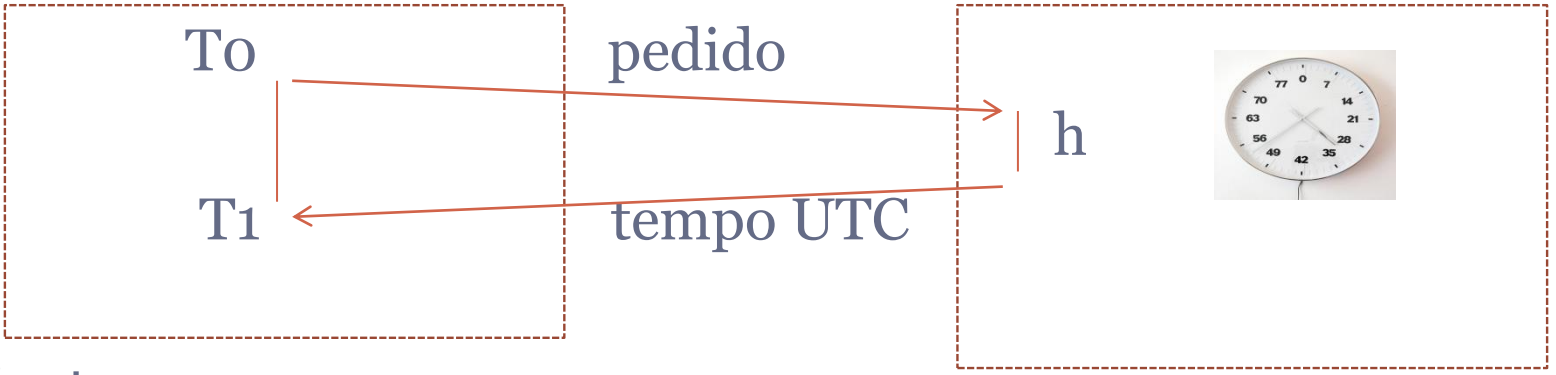
➔ O tempo nunca anda para trás

➔ O valor lido do relógio físico deverá ser escalado pelo software de forma a ir atrasando lentamente, sempre como uma função crescente.

# Algoritmos de Sincronização

- Sistemas Assíncronos – Algoritmo de Cristian

- obter UTC e corrigir o software do relógio




Estimativa para o tempo de propagação da mensagem:

p = (T1 – To – h ) /2 (= metade do "round-trip time" - RTT )

# Algoritmos de Sincronização

- Algoritmo de Cristian

- Acertar o relógio do cliente para UTC + p

- Fazer várias medições para obter o valor de T1-T0
  - Descartar valores acima de um determinado limite
  - Ou assumir os valores mínimos

Algoritmo probabilístico:

- a sincronização é conseguida se o RTT é pequeno quando comparado com a exactidão desejada
- a exactidão é tanto maior quanto o tempo de transmissão está perto do mínimo

# Algoritmos de Sincronização

- Algoritmo de Cristian

- Problemas
  - Ponto único de falha e congestionamento (*bottleneck*)

  Possível solução: - utilizar um conjunto de servidores com receptores de UTC

  - o cliente faz o pedido em *multicast* para o conjunto de servidores e usa a primeira resposta que recebe

  - Um servidor em falha ou malicioso pode provocar estragos.

  Possível solução: - autenticação

  - protocolo de acordo entre vários servidores que permita mascarar falhas.

# Algoritmos de Sincronização

- Algoritmo de Berkeley (sincronização interna)

  - É escolhido um computador para ser o co-ordenador (*master)*

  - O *master* periodicamente contacta os outros computadores, (*slaves*)

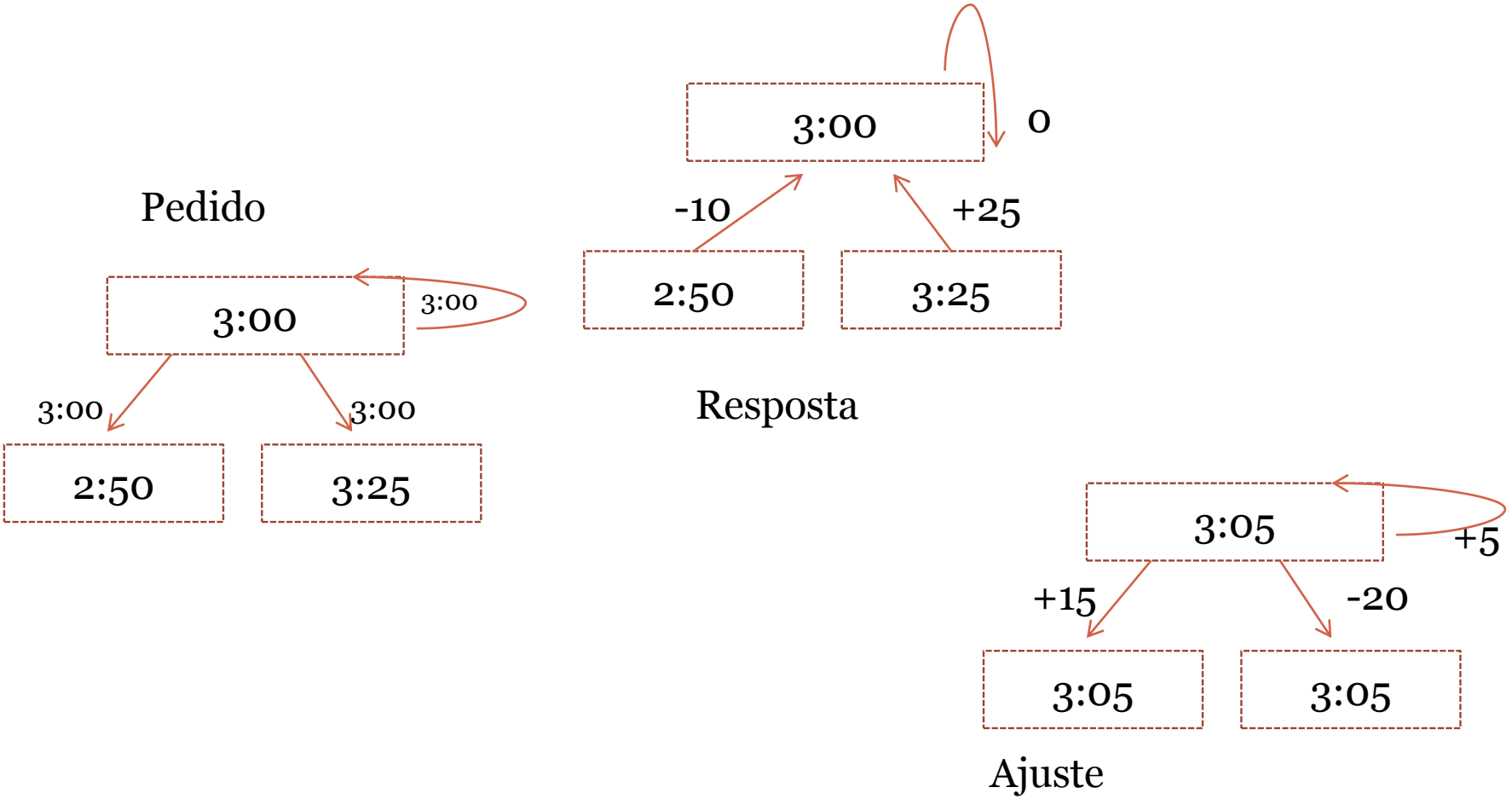
  - O *master* faz uma estimativa do tempo local de cada slave, baseado no rtt.

  - O *master* calcula o tempo médio de todos os computadores, ignorando valores de transmissão demasiado elevados e máquinas com tempos muito diferentes dos outros.

  - Finalmente o *master* envia a cada computador o valor de que o seu relógio deve ser ajustado (esse valor pode ser positivo ou negativo)

# Algoritmos de Sincronização

- Algoritmo de Berkeley (sincronização interna)



# Algoritmos de Sincronização

- Algoritmo de Berkeley (sincronização interna)
  - Precisão: depende do round trip time
  - Tolerância a falhas: Calcula a média dos tempos para um subconjunto de computadores que diferem a até um certo valor máximo.

    Ignora mensagens cujo tempo de transmissão é demasiado elevado.
  - Que fazer se o *master* falha?

    Eleger um novo coordenador.

# Algoritmos de Sincronização

- Network Time Protocol (NTP)
  - Múltiplos servidores de tempo espalhados pela Internet
  - Servidores primários (ligados directamente aos receptores de UTC
  - Servidores secundários sincronizam com os primários
  - Servidores terciários sincronizam com secundários, etc
  - Permite sincronizar um elevado número de máquinas

# Algoritmos de Sincronização

- Network Time Protocol (NTP)

  - Permite lidar com avarias de servidores

    Se um servidor secundário não consegue aceder a um primário, tenta aceder a outro. Existem servidores redundantes e caminhos redundantes entre servidores.

  - Usa autenticação para verificar se a informação vem de fonte fiável

# Algoritmos de Sincronização

- Modos de sincronização do NTP

  - Modo “multicast”

    - Usado em LANs de alta velocidade

    - um ou mais servidores faz periodicamente *multicast* do seu tempo para os outros servidores.

    - os receptores acertam os seus relógios assumindo um pequeno atraso de transmissão.

# Algoritmos de Sincronização

- Modos de sincronização do NTP

  - Modo “procedure call”

    - Similar ao algoritmo de Cristian

    - os clientes solicitam o tempo de um ou vários servidores, e estes enviam o valor do seu relógio.

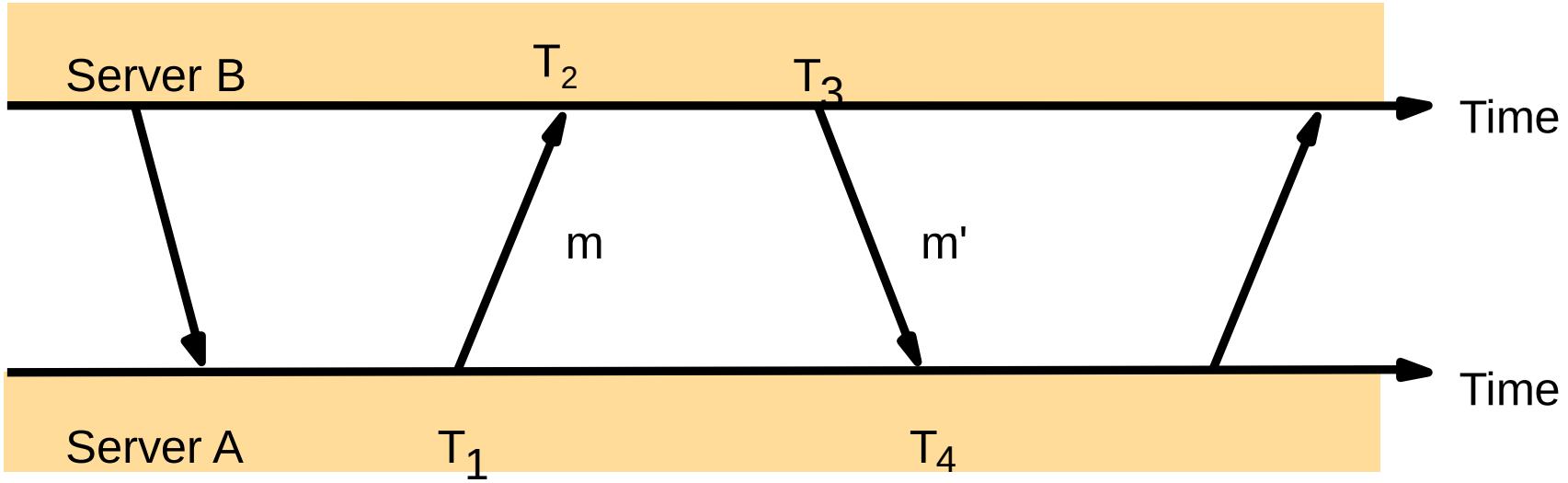
    - adequado quando se pretende maior nível de exactidão ou
    - o *multicast* não está disponível

# Algoritmos de Sincronização

- Modos de sincronização do NTP

  - Modo “symmetric” (maior exactidão, usado em servidores primários ou próximos)

    - Pares de processos solicitam o tempo um ao outro



# Algoritmos de Sincronização

- ”NTP symmetric mode”

  Para cada par de processos calcula-se um *offset*, **o**, que corresponde à diferença entre os dois relógios,

  e um *delay*, **d**, que é o tempo total de transmissão das duas mensagens

  Se o offset do relógio de A em relação ao de B for **o** os tempos de transmissão de mensagens de **m** e **m’** forem **t** e **t’**

  Então:

  $T_2 = T_1 + t + o$ e $T_4 = T_3 + t' - o$

  $d_i = t + t' = T_2 - T_1 + T_4 - T_3$ **(round trip delay)**

# Algoritmos de Sincronização

- ”NTP symmetric mode”

$T_2 = T_1 + t + o$ e $T_4 = T_3 + t' - o$

$d_i = t + t' = T_2 - T_1 + T_4 - T_3$ **(round trip delay)**

- Supondo que T2 - T1 ≈ T4 - T3

Podemos estimar o offset de A relativo a B como:

$O = T3 + ( (T_2 - T_1) + (T_4 - T_3) ) / 2 - T4$

$= ( (T_2 - T_1) + (T_3 - T_4) ) / 2$

***Se o relógio de A é mais rápido, O < 0;***