Sistemas Distribuídos
Aula 14

Aula passada

- Relógios
- Hora de referência
- Sincronizando relógios
- Algoritmo de Berkeley
- NTP

Aula de hoje

- Relacionando eventos
- Relógios lógicos
- Algoritmo de Lamport
- Propriedades

Sincronização de Relógios

- Problema fundamental e igualmente difícil
  - TAI utiliza satélites
- Relógios reais nunca serão *perfeitamente* sincronizados
- Sistemas distribuídos precisa de ordem
  - ordenação global dos eventos (em alguns casos)
  - escala de tempo de microsegundo (em alguns casos)

Como resolver este impasse?

Relacionando Eventos

- Relógios servem para ordenar a ocorrência de eventos
  - relógio real, sincronizado, é uma forma
- Relação de tempo definida localmente é fácil
  - evento que acontece depois, vem depois!
- Problema está na relação de tempo entre locais diferentes
  - evento no local A e outro no local B, qual aconteceu antes?

Exemplo Futebolístico

- Considere a cobrança de um pênalti e cinco lugares
  - linha do gol, marca do pênalti, linha da pequena área, linha da grande área, linha de fundo
- Considere os seguintes eventos
- e1: artilheiro na linha da grande área
- e2: goleiro na linha do gol
- e3: artilheiro corre para bola na marca do pênalti
- e4: goleiro abre os braços
- e5: artilheiro chuta bola
- e6: goleiro pula para o lado
- e7: bola bate no goleiro
- e8: artilheiro corre para linha da pequena área
- e9: bola vai para linha da pequena área
- e10: artilheiro chuta bola na linha da pequena área
- e11: bola sai pela linha de fundo

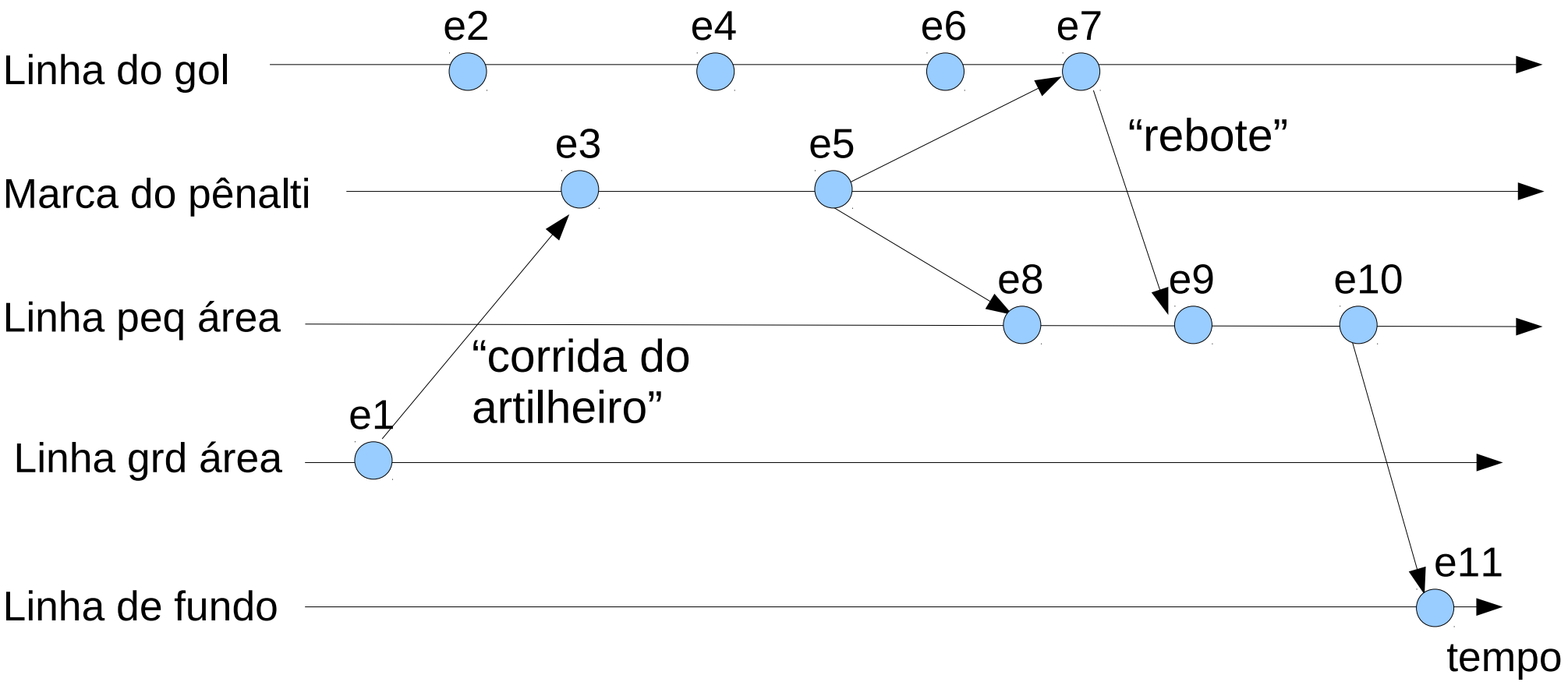
Podemos ordenar os eventos pela ordem de ocorrência?

Ordenação dos Eventos

- É possível colocar os eventos futebolísticos em ordem?
- Para cada local, sabemos a relação de ordem
  - ex. e2 ocorre antes de e4 que ocorre antes de e7
- Para locais diferentes, sabemos algumas relações de ordem
  - ex. e5 ocorre antes de e7 que ocorre antes de e10
- Mas para locais diferentes, não sabemos algumas relações de ordem
  - ex. e3 ocorre antes ou depois de e4

Ordenação Parcial dos Eventos!

Diagrama de Eventos



- Diagrama ilustrativo: não sabemos se e4 ocorreu antes de e5, como no diagrama
- Diagrama ajuda a entender ordem parcial
  - ex. “seta” indica que origem ocorreu antes do destino

Tempo Lógico

- Capturar aponas relação “ocorreu antes” entre um par de eventos
  - descarta aspecto infinitesimal do tempo
  - corresponde a causalidade
- Passagem de tempo em cada local é bem definida
- Definição de $\rightarrow_i$: Dizemos que $e \rightarrow_i e'$ se o evento e “ocorreu antes” de e' no local i
  - local vai ser processo, ou computador

Tempo Lógico Global

- Definição de → : Definimos a relação $e \rightarrow e'$ usando as regras:
  - ordem local: $e \rightarrow_i e'$ para algum local i
  - mensagens: send(m) → receive(m) para algum m
  - Transitividade: se $e \rightarrow e'$ e $e' \rightarrow e''$ então $e \rightarrow e''$
- send(.) e receive(.) são eventos
- Dizemos que *e* “ocorreu antes” de *e'* se $e \rightarrow e'$

Concorrência

- Relação → define apenas *ordem parcial* entre os eventos
  - alguns eventos não estão relacionados
- Definição de ||: Dizemos que *e* || *e*' se não existir *e* → *e*' e *e*' → *e*, ou seja *e* “ocorre concorrentemente” com *e*'
  - não temos como ordenar *e* e *e*'

Voltando ao Futebol

- Relação entre os eventos do futebol
- e2 → e4, e8 → e9 (por ordem local)
- e1 → e3, e7 → e9 (por mensagem)
- e2 → e6, e5 → e10 (por transitividade)
- e3 || e4, e5 || e6 (por falta de relação → entre os eventos)
  - “ocorrem concorrentemente”

Relógio Lógico de Lamport

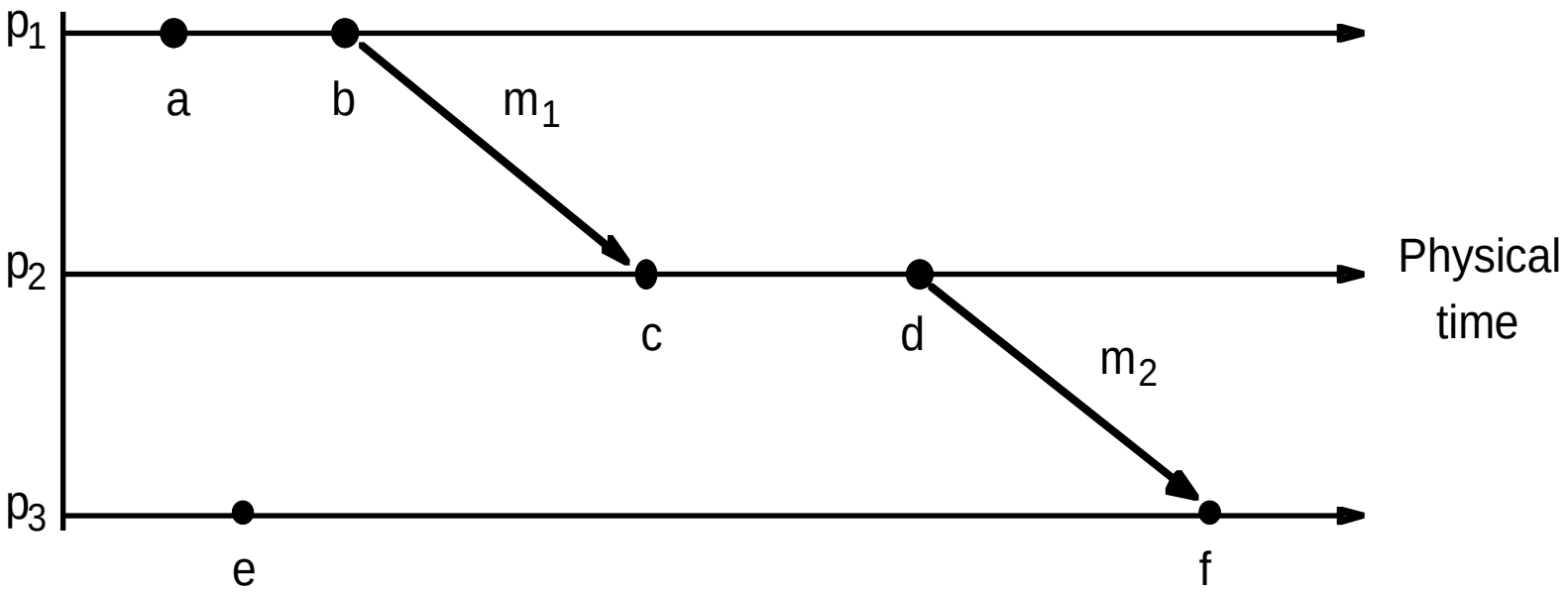
- **Ideia:** construir um relógico lógico baseado na ocorrência dos eventos
  - objetivo: inferir relação entre eventos usando relógio lógico
- Associar a cada evento do sistema um valor inteiro
  - sem relação com relógio real
- Cada processo (local) mantém um relógio lógico, L_i
  - processo associa valor de relógio a seus eventos
- Relógio lógico de cada process cresce monotonicamente

Algoritmo de Lamport

- Como ajustar o relógio lógico? Três regras:
- 1) em cada processo i, incrementar relógio lógico L_i antes de cada evento
- 2) transmissão de mensagem é evento, enviar valor do relógio L_i na mensagem
- 3) ao receber mensagem (m,t), processo i atualiza seu relógio: $L_i = \max(L_i, t) + 1$
  - t é o valor do relógio lógico recebido na mensagem
- Valor do relógio global de um evento é valor do relógio local onde evento ocorreu
  - $L(e) = L_i(e)$ se e ocorreu em i

Exemplo

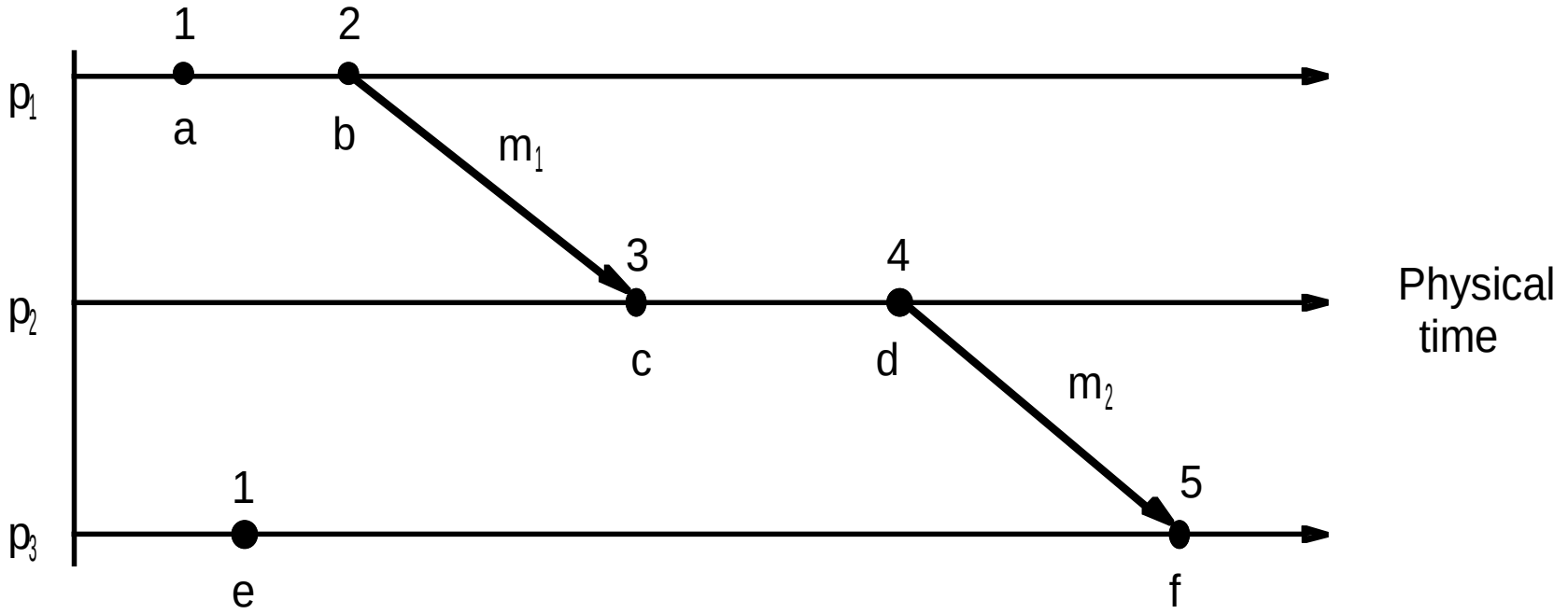
- Três processos, valores iniciais de $L_i = 0$ para todo i



- Quanto vale L(a), L(b), L(c), … ?

Exemplo

- Três processos, valores iniciais de $L_i = 0$ para todo i

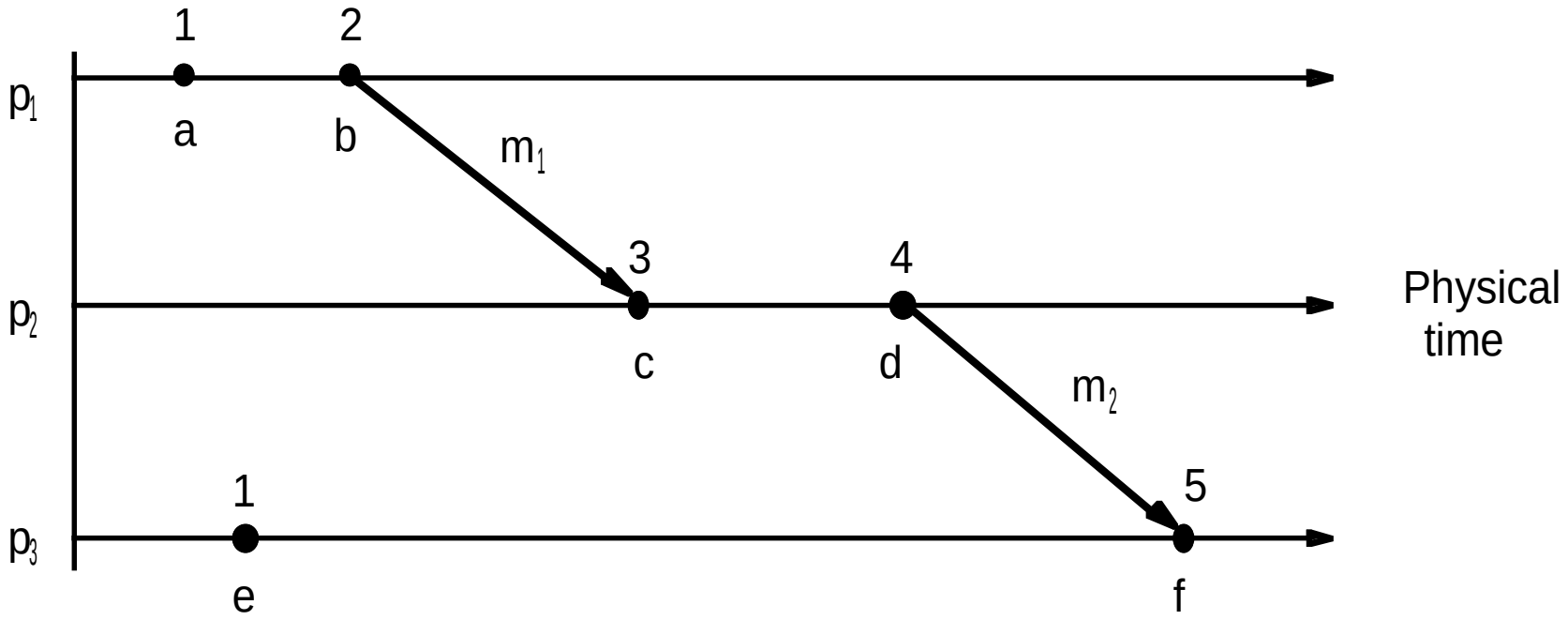


- Regra 1 para evento a, L(a) = 1
- Regra 2 para evento b, L(b) = 2 (um evento *send*)
  - m1 contém valor 2
- Regra 3 para evento c, L(c) = max(0,2) + 1 = 3 (um evento *receive*)

Propriedades

- Relógio de Lamport ordena eventos de forma consistente com relação “ocorreu antes”
  - se $e \rightarrow e'$ então $L(e) < L(e')$
- Mas o reverso não é verdade
  - $L(e) < L(e')$ não implica que $e \rightarrow e'$
- Similar para relação de “ocorreu concorrentemente”
  - se $L(e) = L(e')$ então $e \parallel e'$ (para e, e' distintos)
  - mas $e \parallel e'$ não implica em $L(e) = L(e')$
  - relógio de Lamport ordena eventos concorrentes de forma arbitrária

Verificando Propriedades



- a → b, de fato L(a)=1 < L(b)=2
- b → d, de fato L(b)=2 < L(d)=4
- L(e)=1 < L(b)=2, mas não temos e → b
- L(a)=1 = L(e)=1, de fato a || e
- Mas e || c e não temos que L(e) = L(c)

Leslie Lamport – o próprio

- Contribuições fundamentais para sistemas distribuídos
- Introduziu conceito de relógios lógicos e relação “ocorreu antes”
  - algoritmo de Lamport, 1978
- Introduziu conceito de falhas bizantinas (que veremos)
- E ainda “inventou” o LaTEX (La é de Lamport!)
- Prêmio Turing de 2013
  - palestra “*An incomplete history of concurrency*”