Sistemas Distribuídos
Aula 20

Roteiro

- Tipos de falhas
- Falhas Bizantinas
- Grupos redundantes
- Acordos bizantinos
- Propriedades
- Algoritmos de Consenso

Tipos de Falhas

- Sistemas falham por diferentes razões que levam a condições diferentes
- Classificação dos tipos de falha
  - permite oferecer robustez em diferentes casos

Type of failure	Description
Crash failure	A server halts, but is working correctly until it halts
Omission failure *Receive omission* *Send omission*	A server fails to respond to incoming requests A server fails to receive incoming messages A server fails to send messages
Timing failure	A server's response lies outside the specified time interval
Response failure *Value failure* *State transition failure*	A server's response is incorrect The value of the response is wrong The server deviates from the correct flow of control
Arbitrary failure	A server may produce arbitrary responses at arbitrary times

Mais fácil de lidar!

Mais difícil de lidar!

Falhas Bizantinas

- Outro nome para “*Arbitrary Failures*”
  - nome vem de histórias de traição e corrupção no Império Bizantino (termo cunhado por Lamport)
- Modelo mais geral de falha, que também inclui comportamento malicioso
  - “tudo pode acontecer”
- Respostas podem ser incorretas, inclusive de forma propositalpara induzir falhas
  - adversário controla algumas partes do sistema
  - deseja induzir o sistema a “falhar”
  - falhar = não operar da forma esperada

Grupos Redundantes

- Como lidar com falhas em processos (ou subsistemas)?

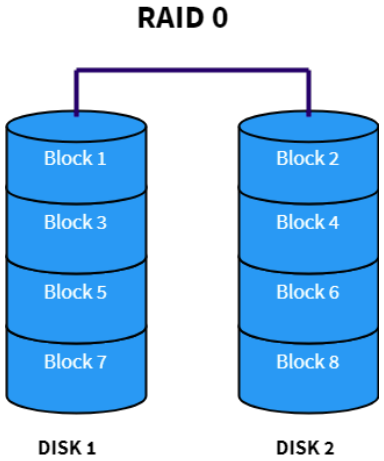
Redundância!

- Ideia: grupo de processos redundantes que executam uma função e se comunicam
  - processos (ou subsistemas) distintos, que podem responder um pelo outro
  - ex. grupo de discos, grupo de SGBDs, *TMR*, etc
- Outros processos interagem com o grupo (sem saber que é um grupo)
  - grupo é transparente para outros processos

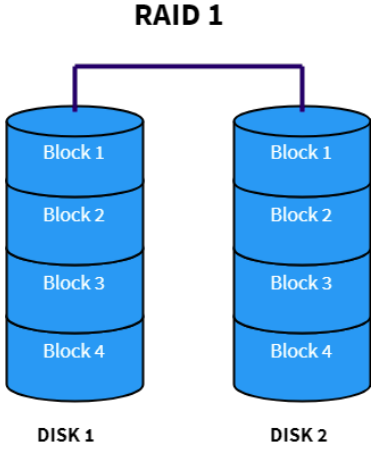
Exemplo: RAID

- Redundant Array of Inexpensive Disks (RAID)
  - grupo de discos que se apresentam (para SO) como um único disco
  - controladora RAID de disco esconde o grupo
- Melhorar desempenho
  - via *stripping* dos blocos e acesso simultâneo
- Aumentar confiabilidade
  - via paridade/redundância dos blocos
- Diferentes configurações
  - com vantagens e desvantagens entre desempenho e confiabilidade

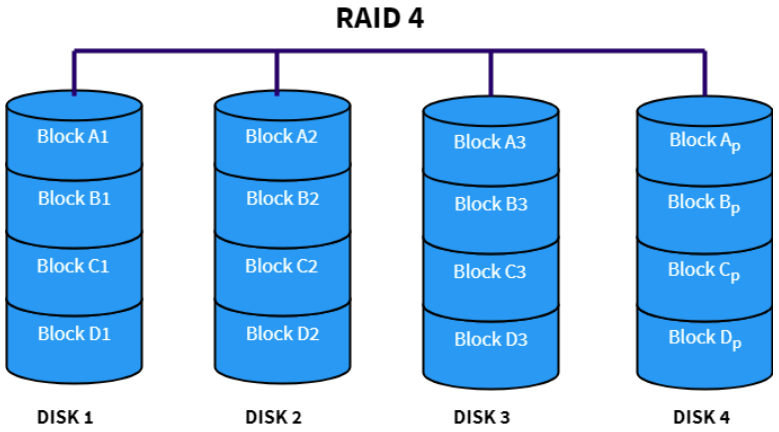
Configurações RAID



- RAID 0: dois discos para melhorar desempenho (leitura e escrita), não possui redundância. Capacidade de 2 discos.



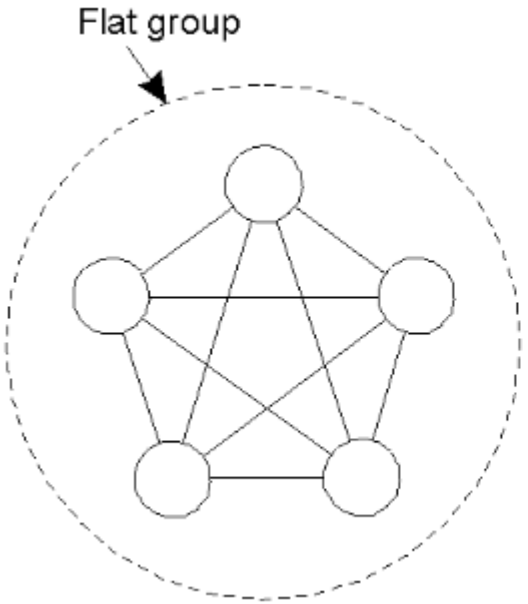
- RAID 1: dois discos (um é cópia do outro), melhora desempenho de leitura, oferece redundância. Capacidade de 1 disco

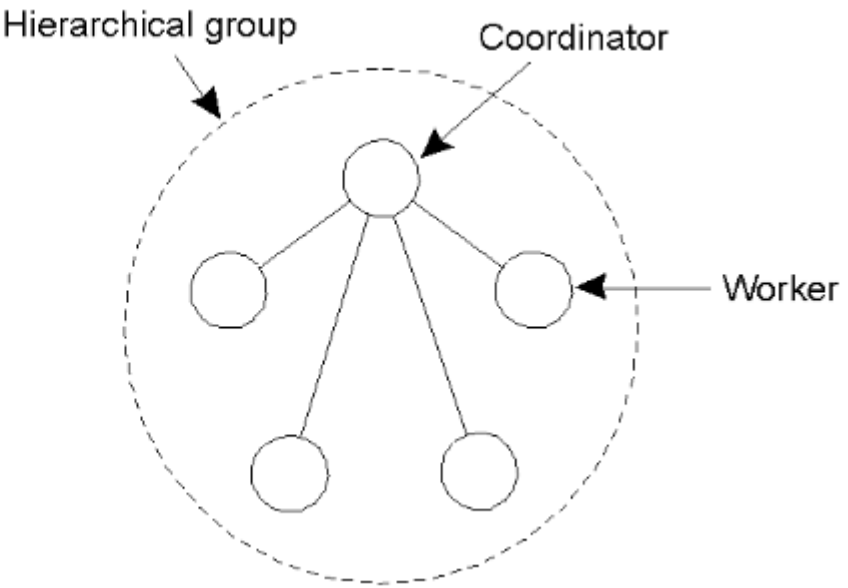


- RAID 4: 4 discos (bloco de paridade), melhora desempenho de leitura e escrita, oferece redundância. Capacidade de 3 discos.

Organização de Grupos

- Como organizar grupos de processos redundantes?





- **Com hierarquia:** coordenador lidera e gerencia o grupo, faz interface com o exterior
- **Sem hierarquia**: papeis são simétricos, gerência mais complicada, não possui ponto único de falha
- RAID: hierárquico (controladora é o coordenador)

Falha em Grupos Redundantes

- Quantos processos podem falhar e grupo continuar operacional?

Depende do tipo de falha!

  - e do tipo de grupo

- Assumir grupos simétricos com *k* processos redundantes, sem hierarquia
- *Crash failure*: basta ter 1 processo operacional
  - sistema tolera até *k* – 1 falhas no grupo
- *Value failure*: processos em falha geram valores errados. Usar valor da maioria como resposta
  - sistema tolera até *k*/2 – 1 falhas no grupo

Consenso / Acordo

- Processos em sistemas distribuídos precisam de consenso (acordo)
  - ex. definição do coordenador do grupo, definição de uma transação (commit/abort), etc
- Problema relativamente fácil, ignorando falhas
  - ou considerando alguns tipos de falha
  - ex. 2PC tolera alguns tipos de *Crash Failures*, *Omission Failures* e *Timing Failures*
- Considere falhas bizantinas (processos induzindo falhas de forma arbitrária)
- Processos que não estão em falha conseguem chegar a um consenso?

Acordos com Falhas Bizantinas

- **Problema:** processos conseguem chegar a um consenso em tempo finito na presença falhas bizantinas?
  - processos operacionais não sabem quais estão em falha bizantina (obviamente)
  - inicialmente estudado por Lamport et al. Em 82
- Características de sistemas distribuídos

  1) Tempo nos processos: síncrono (todos processos “andam” juntos), ou assíncrono

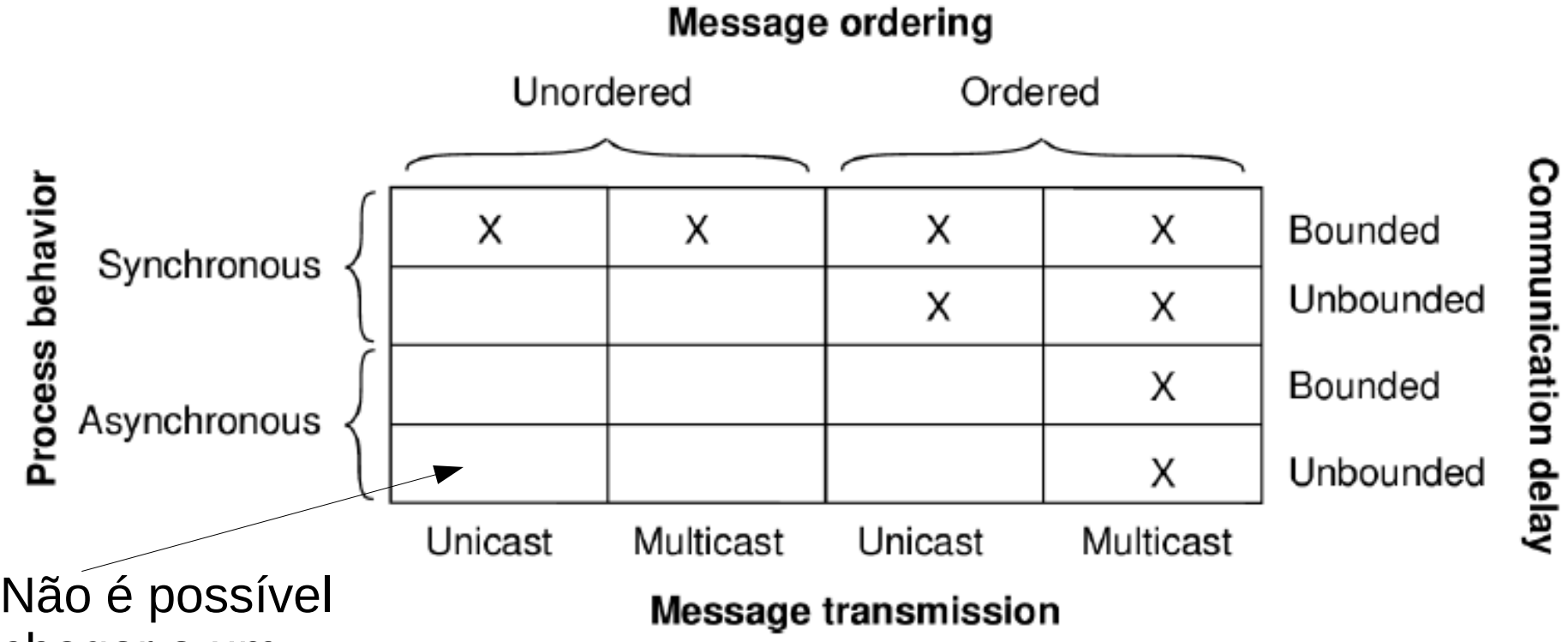
  2) Ordenação das mensagens: FIFO (mensagens entregues em ordem), ou não

  3) Tipo de transmissão de rede: multicast (um para todos), ou unicast (um para um)

  4) Atraso das mensagens: limitado (mensagens chegam dentro de um tempo máximo), ou não

Acordos com Falhas Bizantinas

- Tabela indica casos onde é possível chegar a um consenso (com algum algoritmo, a saber)
  - com multicast e FIFO, é sempre possível
  - com síncrono e atraso limitado, é sempre possível
  - impossível em metade dos casos!



Não é possível chegar a um consenso!

Protocolo de Acordo Bizantino

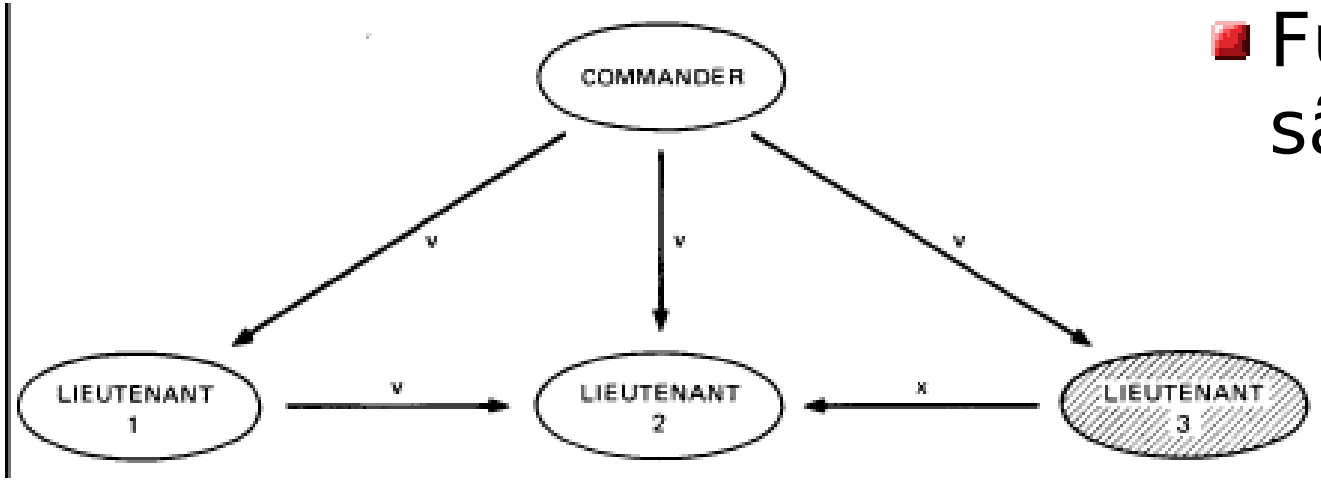
- Assumir processos síncronos, comunicação unicast, com FIFO e atraso limitado
- **Problema**: N processos, um deles envia um valor *v* aos outros
  - todos os operacionais devem concordar no valor *v*, ou concordar que desconhecem o valor
  - processo que envia *v* pode estar em falha bizantina
- Algoritmo proposto por Lamport et al. em 82

  1) Cada processo envia a todo os outros o valor que recebeu

  2) Ao receber de todos, verifica se há uma maioria (este é o valor de consenso) ou que não consenso

Exemplo

- N=4, m=1 – Caso L3 é bizantino



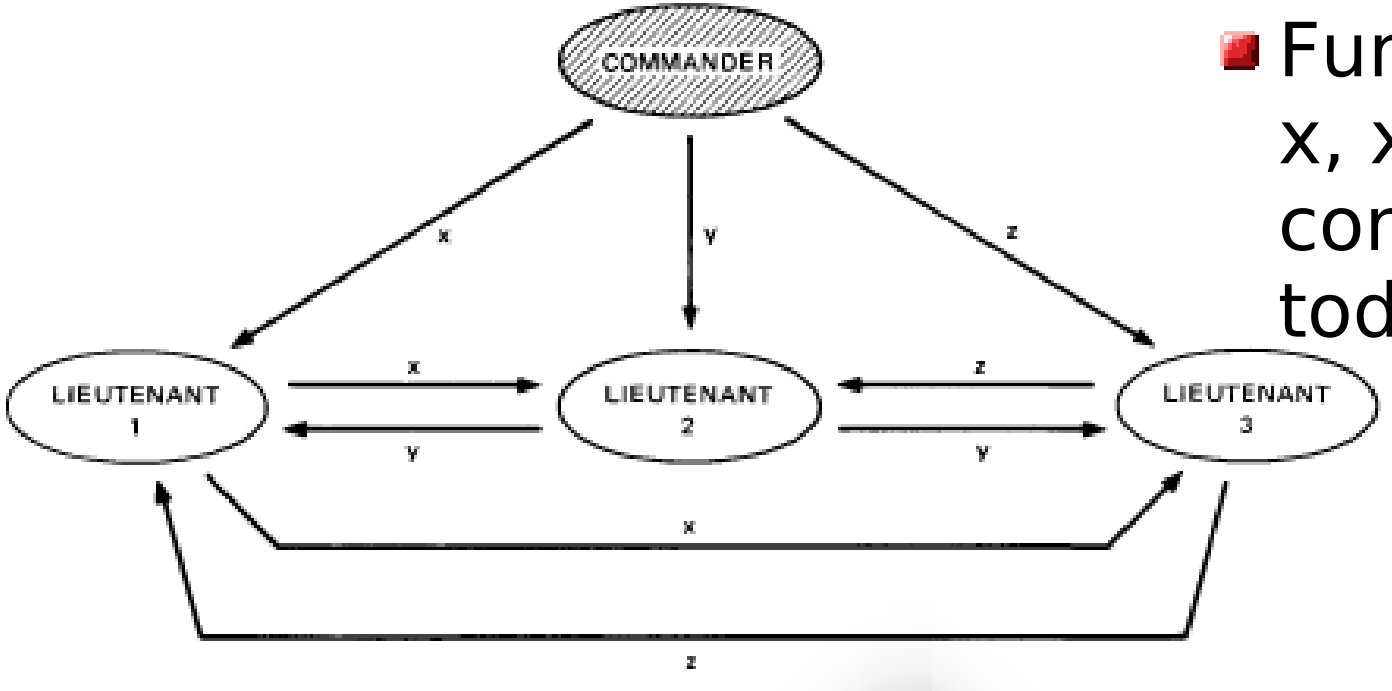
- Funciona se L3 e L1 são bizantinos? Não!

- C envia v a todos,
- L1, L2 envia v para todos os outros
- L3 envia x para todos os outros
- L2 (L1) recebe v de C e L1 (L2) e x de L3, logo assume que v é o consenso (OK)

L. Lamport, M. Pease and R. Shostak, "The Byzantine Generals Problem"
ACM Trans. on Programming Languages and Systems, 4(3), pp. 382-401 (1982)

Exemplo

- N=4, m=1 – Caso C é bizantino



- Funciona se C enviar x, x, y ? Sim, pois consenso é x (e todos concordam)

- C envia valores diferentes
- L1, L2, L3 enviam respectivos valores
- Nenhum valor tem maioria em nenhum processo, não há consenso (OK)

L. Lamport, M. Pease and R. Shostak, "The Byzantine Generals Problem"
ACM Trans. on Programming Languages and Systems, 4(3), pp. 382-401 (1982)

Algoritmo Geral

- Algoritmo anterior funciona para m=1 (um processo em falha bizantina dentre 4 processos)
  - um processo inicial envia *v* e “sai do jogo”
- Para m>1 podemos usar um algoritmo recursivo
- Recursivo no número de processos em falha bizantina
  - Ideia: eliminar um processo bizantino por rodada
  - usa regra majoritária em cada rodada
- Algoritmo mais elaborado (fora de escopo)
  - disponível em livro-texto mais avançado

Propriedades de Acordo Bizantino

- Quando acordo pode ser obtido?
  - assumir unicast, FIFO, atraso limitado
- Se k estão em falha bizantina, precisamos de 2k+1 operacional
  - de 3k+1 processos no máximo k podem estar em falha bizantina
  - resultado fundamental, conhecido como regra do 2/3
  - maior do que 1/2 necessário para maioria simples (o caso de *value failure*)
- Não existe algoritmo que consiga chegar a um acordo caso contrário

Algoritmo de Consenso

- Chegar a consenso/acordo (ex. valor de uma variável) em um sistema distribuído mediante falhas
- Propriedades
- **Término:** eventualmente todo processo operacional termina o algoritmo
- **Integridade:** se todos os processos operacionais propõem valor v, todos operacionais decidem por v
- **Acordo:** todos processos operacionais chegam ao mesmo valor
- Paxos: conjunto de algoritmos para problema de consenso (para diferentes condições)
  - muitas implementações, base para outros sistemas

Algoritmo de Consenso

- Problema antigo, difícil e importante na Computação
  - ainda estudado, na teoria e na prática
- Na moda por conta de *blockchains*
  - sistema distribuído precisa de consenso na operação das transações (ex. compra/venda no bitcoin)
  - evitam o problema do “double spending”
  - baseados em “proof-of-work” (bitcoin)

Assunto para ser explorado!