MC714

Sistemas Distribuídos

2° semestre, 2014

Consistência e replicação

Consistência e replicação

- Dados são replicados para aprimorar confiabilidade ou melhorar desempenho.
- Problema: manter réplicas consistentes.
  - Cópia é atualizada → assegurar que as outras também sejam
- Ex. confiabilidade: sistema de arquivos replicados
  - Um cai, outro continua atendendo solicitações
  - Melhor proteção contra dados corrompidos
  - 3 cópias: toda operação de leitura e escrita feita em cada cópia; confia na maioria.

Consistência e replicação

- Replicação para desempenho
  - Importante quando SD precisa ser ampliado em (1) quantidade e (2) em área.
  - (1) Número cada vez maior de processos precisa acessar dados de um único servidor → replicar
  - (2) Cópias de dados próximas do usuário diminui tempo de acesso → melhora desempenho → pode aumentar uso de banda.
    - Métrica de eficiência pode ser diferente dependendo do ponto de vista.

Consistência e replicação

- Cópias próximas ao usuário pode melhorar desempenho → resolve problema de escalabilidade.
- Manter cópias atualizadas pode requerer mais largura de banda.
  - Compromisso entre manter cópias atualizadas e uso de banda da rede
- Processo P que acessa uma réplica local N vezes por segundo; réplica atualizada M vezes por segundo.
- Se N << M (razão acesso/atualização) for muito baixa, muitas atualizações nunca serão usadas
  - Desperdício de banda

Consistência e replicação

- Intuitivamente: cópias consistentes = cópias sempre iguais
- Leitura em qualquer cópia sempre retornará o mesmo resultado.
- Atualização em uma cópia → atualização em todas as cópias antes de qualquer operação subsequente
  - Atualização em todas as cópias como uma única operação atômica → transação
  - Difícil concluir transação amplamente distribuída de forma rápida.
    - Sincronização global para decisão de sincronizar réplicas pode ser muito cara.

Consistência e replicação

- Dilema:
  - problemas de escalabilidade podem ser amenizados por replicação e cache → melhor desempenho.
  - Manter consistência pode ter desempenho ruim.

- Solução em muitos casos: relaxar restrições de consistência.
  - Evitar sincronização global (instantânea).
  - Preço: cópias que nem sempre são iguais em todos os lugares.
  - Abrandamento da consistência depende de padrões de acesso e atualização e da finalidade dos dados.

Consistência centrada em dados

Consistência centrada em dados

- Consistência no contexto de operações de leitura/ escrita em dados compartilhados
  - Memória compartilhada distribuída
  - Banco de dados distribuído
  - Sistema de arquivos distribuído
- Termo genérico: depósito de dados
  - Pode ser distribuído fisicamente por várias máquinas
  - Cada processo tem uma cópia local (ou próxima) do depósito inteiro
  - Escrita propagada para outras cópias.

Consistência centrada em dados

- Não há regra geral para abrandar consistência
  - Depende muito da aplicação
- Pode-se definir três eixos independentes para definir inconsistências (Yu e Vahdat 2004).
  - Desvio numérico (absoluto ou relativo)
  - Desvio em idade
  - Desvio em relação à ordenação de operações de atualização
- Consistência contínua

Unidades de consistência

- Consistency unit – conit
  - Especifica a unidade segundo a qual a consistência deve ser medida (1 registro, 1 formulário, 1 tabela...)
- Fig. 107

Unidades de consistência

- Fig. 107.
  - t,i → operação na réplica *i* em seu tempo lógico *t*
  - Réplica **A** recebe **5,B: x ← x + 2** e a torna permanente
  - Réplica **A** tem 3 operações de atualização: **8,A; 12,A; 14,A**
    - Desvio de ordenação: 3
    - Relógio vetorial de **A** vai para (15,5) → 15 em A e 5 em B
    - Desvio numérico: (1,5) → uma operação de **B** que **A** ainda não viu (**10,B**)
  - Réplica **B** tem duas operações de atualização: **5,B; 10,B**
    - Desvio de ordenação: 2
    - Relógio vetorial: (0,11) → 0 em A e 11 em B
    - Desvio numérico: (3,6) → 3 operações em A com diferença (comprometida) máxima de 6

Unidades de consistência

- Compromisso entre conits de granularidade fina e grossa
- Se conit é um banco de dados completo, atualizações são agregadas para todos os dados
  - Pode levar réplicas a estado inconsistente mais cedo.
- Conits pequenas podem retardar propagação de atualizações
  - Mas pode aumentar custo de gerência
- Implementação necessita:
  - Protocolos de consistência
  - Especificar requisitos de consistência para aplicações

Unidades de consistência

- São necessárias interfaces de programação simples para especificar consistência
- Ex.: biblioteca onde conit é declarada com atualização de dados.

```
AffectsConit(ConitQ, 1, 1);
Inclua mensagem m na fila Q;
--------
DependsOnConit(ConitQ, 4, 0, 60); //desvNum, desvOrd,
                                  //desvTempo
Leia mensagem m da fila Q;
```

Ordenação consistente de operações

- Consistência sequencial e consistência causal
- Ordenar operações consistentemente em dados compartilhados replicados

Ordenação consistente de operações

- $W_i(x)a$ → escrita do processo *i* no item de dados *x* com o valor *a*
- $R_i(x)b$ → leitura do item x pelo processo *i,* retornando *b*
- Tempo: esquerda para direita

- Fig. 108: $W_1(x)a$; $R_2(x)NIL$; $R_2(x)a$

Consistência sequencial

- Consistência sequencial – Lamport 1979
- Memória compartilhada para multiprocessadores
- Depósito de dados é sequencialmente consistente quando satisfaz:

O resultado de qualquer execução é o mesmo que seria se as operações (de leitura e escrita) realizadas por todos os processos no depósito de dados fossem executadas na mesma ordem sequencial e as operações de cada processo individual aparecessem nessa sequencia na ordem especificada por seu programa.

Consistência sequencial

- Ou: quando processos executam concorrentemente em máquinas diferentes, qualquer intercalação válida de operações de escrita e leitura é um comportamento aceitável, mas todos os processos vêem a mesma intercalação de operações.
- Nada é dito sobre o tempo
- Processo vê escritas de todos, mas apenas suas leituras.
- Fig. 109.

Consistência causal

- Consistência causal – Hutto e Ahmad 1990
- Enfraquece consistência sequencial
  - Distinção de eventos que são potencialmente relacionados por causalidade.
- Se evento **b** é causado ou influenciado por evento anterior **a**, a causalidade requer que todos vejam primeiro **a** e depois **b.**

Consistência causal

- BD compartilhado
- P1 escreve item de dados **x.**
- P2 lê de **x**, escreve no item de dados **y.**
- Leitura de **x** e escrita de **y** potencialmente relacionadas por causalidade: cálculo de **y** pode ter dependido de **x,** escrito por P1.

- Escrita “espontânea” e simultânea de dois itens de dados diferentes, não são relacionados por causalidade
  - operações concorrentes (não relacionadas por causalidade)

Consistência causal

- Depósito de dados consistente por causalidade:

Escritas que são potencialmente relacionadas por causalidade devem ser vistas por todos os processo na mesma ordem. Escritas concorrentes podem ser vistas em ordem diferente em máquinas diferentes.

- Fig. 110. Sequencia permitida em depósito consistente por causalidade, mas proibida quando sequencialmente consistente.
- Fig. 111: (a) proibida por causalidade; (b) permitida por causalidade.

Consistência centrada em cliente

Consistência eventual

- Necessidade de garantia de consistência pode variar.
- Tolerância a inconsistência: consistência eventual.
- Na ausência de atualizações, todas as réplicas convergem na direção a cópias idênticas umas às outras.
- Pode haver problemas se usuário se move: pode ler dado diferente daquele que escreveu.
- Consistência centrada no cliente dá *a um único cliente* uma garantia de consistência de acesso a um depósito de dados.

Leituras monotônicas

- Consistência de leitura monotônica:

Se um processo ler o valor de um item de dados x, qualquer operação de leitura sucessiva de x executada por esse processo sempre retornará o mesmo valor ou um valor mais recente.

Escritas monotônicas

- Consistência de escrita monotônica:

Uma operação de escrita executada por um processo em um item de dados x é concluída antes de qualquer operação de escrita sucessiva em x pelo mesmo processo.

Leia-suas-escritas

- Consistência leia-suas-escritas

O efeito de uma operação de escrita por um processo no item de dados x sempre será visto por uma operação de leitura sucessiva em x pelo mesmo processo.

Escritas-seguem-leituras

- Consistência escritas-seguem-leituras

Garante-se que uma operação de escrita por um processo em um item de dados x em seguida a uma operação de leitura anterior em x pelo mesmo processo ocorre sobre o mesmo valor, ou sobre o valor mais recente de x que foi lido.

Gerenciamento de Réplicas

- Posicionamento do servidor de réplicas
- Replicação e posicionamento de conteúdo
  - Réplicas permanentes
  - Réplicas iniciadas por servidor
  - Réplicas iniciadas por cliente

Tolerância a falha

Tolerância a falha

- Sistema tolerante a falha → sistema confiável

- Disponibilidade: capacidade de um sistema estar pronto para ser usado imediatamente
- Confiabilidade: sistema poder funcionar continuamente sem falha
- Segurança: se um sistema deixar de funcionar corretamente durante um certo tempo, nada de catastrófico acontecerá
- Capacidade de manutenção: facilidade com que um sistema que falhou pode ser consertado.

Tolerância a falha

- Sistema que apresenta defeito: sistema que não pode cumprir suas promessas.
- Erro: parte do estado de um sistema que pode levar a uma falha
- Falha: causa de um erro.
- Falha → erro → defeito

Tolerância a falha

- Sistemas confiáveis dependem de controle de falhas
  - Evitar, remover, prever falhas.
- Tolerância a falhas: sistema pode prover serviço mesmo na presença de falhas.

- Falhas transientes: ocorrem uma vez e desaparecem.
- Falha intermitente: ocorre e desaparece, reaparece.
- Falha permanente: continua existindo até que o componente faltoso seja substituído.

Modelos de falha

- Em SDs há dependências entre, componentes, servidores e serviços.
  - Falha pode estar localizada em diversos lugares.
- Classificação de falhas:
  - Falha por queda: servidor pára prematuramente.
  - Falha por omissão: servidor deixa de responder a uma requisição.
  - Falha de temporização: resposta fora de um intervalo especificado.
  - Falha de resposta: resposta incorreta.
  - Falha bizantina: arbitrariedade.

Modelos de falha

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

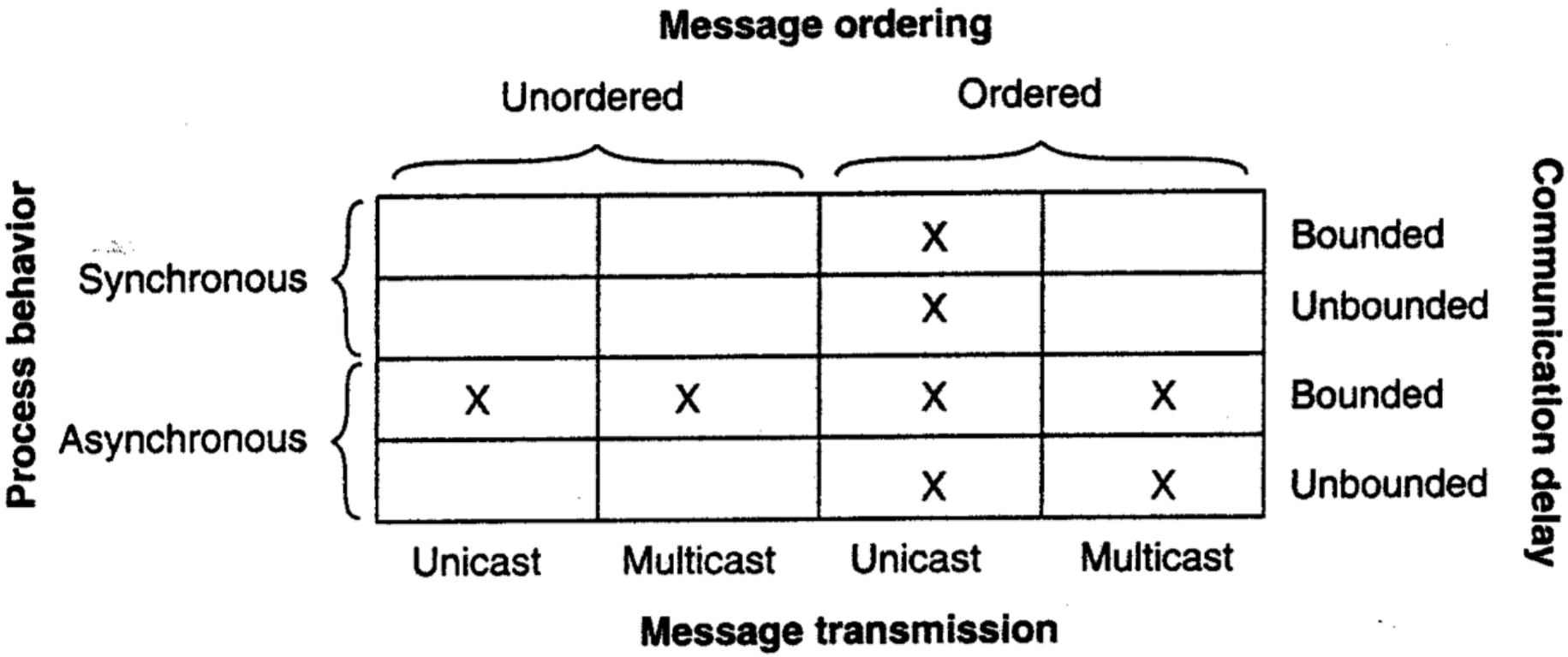
Mascaramento por redundância

- Ocultar ocorrência de falhas através do uso de redundância.
  - Redundância de informação
  - Redundância de tempo
  - Redundância física

Processos faltosos

- Exemplo: acordo (consenso) distribuído com falha
- Eleger coordenador, validar ou não transação, repartir tarefas, sincronização...
- Objetivo: que todos os processos que não apresentam falha cheguem a um consenso sobre alguma questão e estabeleçam esse consenso dentro de um número finito de etapas.

Processos faltosos



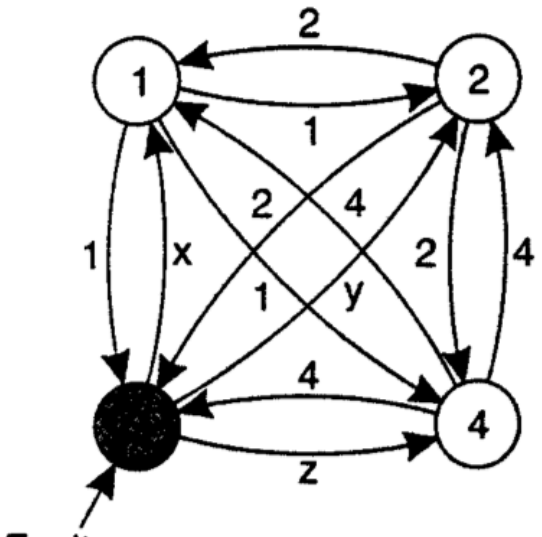
Circunstâncias sob as quais se pode chegar a acordo distribuído.

Acordo bizantino

- Lamport 1982.
- Síncrono, unicast, atraso limitado, entrega confiável.
- 4 etapas
- 1: processos enviam valores a todos os processos usando unicast confiável. Faltosos podem enviar qualquer coisa.
- 2: processos reúnem resultados em vetores.
- 3: cada processo transmite seu vetor
- 4: cada processo examina i-ésimo elemento dos vetores. Maioria é colocada no vetor resultado.

Acordo bizantino

n=4
k=1 (1 processo faltoso)



(a)

1 Got(1, 2, x, 4)
2 Got(1, 2, y, 4)
3 Got(1, 2, 3, 4)
4 Got(1, 2, z, 4)

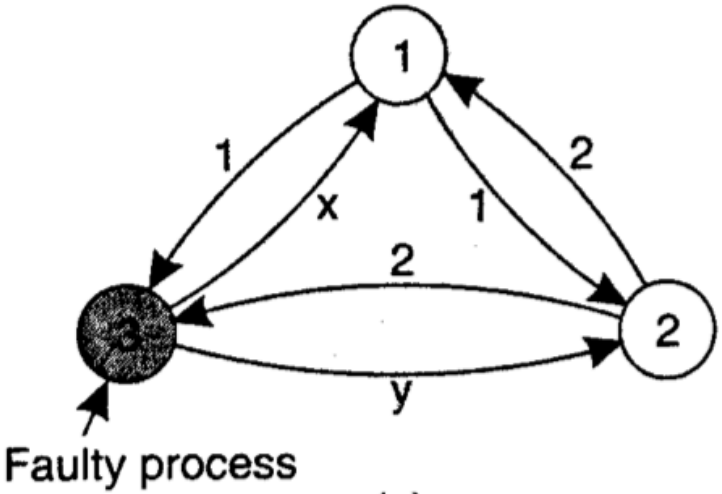
(b)

1 Got	2 Got	4 Got
(1, 2, y, 4)	(1, 2, x, 4)	(1, 2, x, 4)
(a, b, c, d)	(e, f, g, h)	(1, 2, y, 4)
(1, 2, z, 4)	(1, 2, z, 4)	(i, j, k, l)

(c)

Acordo bizantino

n=3
k=1



(a)

1 Got(1, 2, x)
2 Got(1, 2, y)
3 Got(1, 2, 3)

(b)

1 Got	2 Got
(1, 2, y)	(1, 2, x)
(a, b, c)	(d, e, f)

(c)

Acordo bizantino

- Se há K processos faltosos, necessários 2k+1 processos funcionando corretamente para um total de 3k+1.
  - Acordo só é possível se mais do que dois terços dos processos estiverem funcionando adequadamente.