VRing: Um Detector de Falhas em Anel

Sistemas Distribuídos

Prof. Elias P. Duarte Jr.
Universidade Federal do Paraná (UFPR)
Departamento de Informática
www.inf.ufpr.br/elias/sisdis

Sumário

- O Algoritmo VRing (*Virtual Ring*)
- Modelo de Sistema e Premissas
- Descrição do Algoritmo
- Especificação do Algoritmo
- Prova de Correção
- VRing: Latência e Número de Testes

O Algoritmo VRing

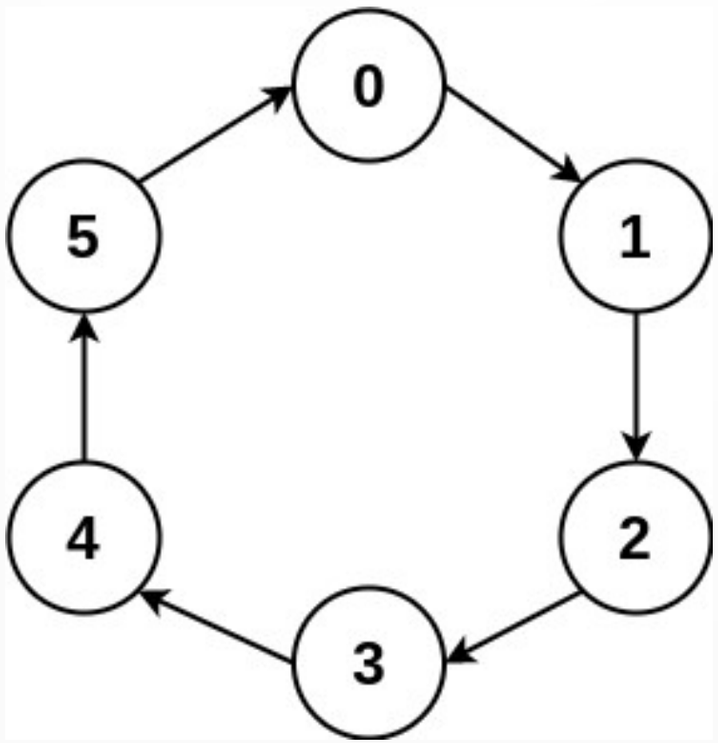
- Os processos formam um anel virtual (ou anel lógico): *Virtual Ring*
  - Os processos executando o algoritmo têm identificadores sequenciais, de 0 até (N-1)
    - Operação módulo : 0 segue (N-1)
- O anel resiste a falhas! Um processo forma enlace com o processo sem-falha *seguinte*

VRing Original: Adaptive-DSD

- Um detector de falhas *push*: processos executam testes entre si
- O algoritmo foi originalmente proposto no contexto de diagnóstico em nível de sistema: *Adaptive Distributed System-Level Diagnosis*
- Objetivo: determinar os estados de todos os processos → quais processos do sistema estão falhos?
- Modelo de falhas: *crash*

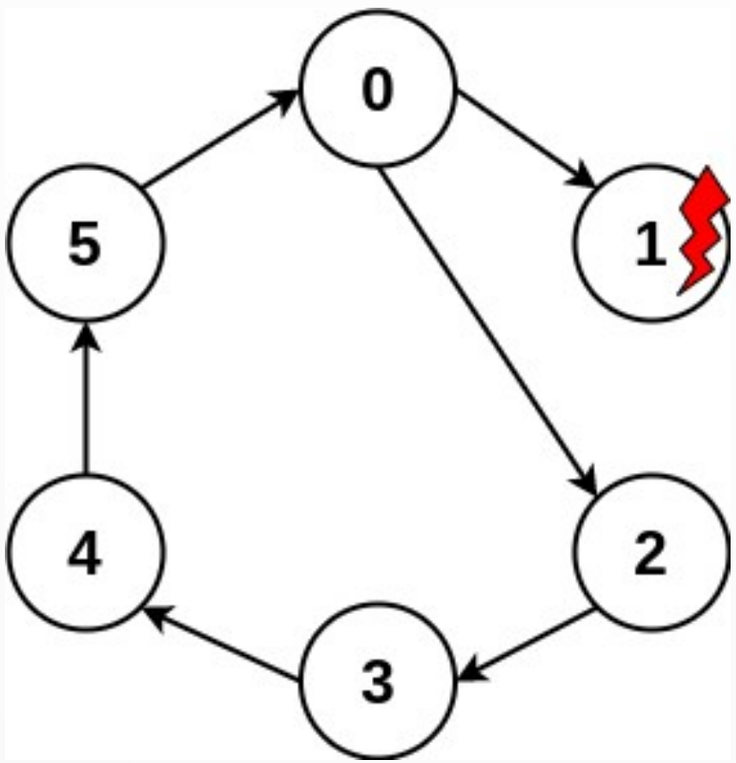
O Algoritmo *Virtual Ring: VRing*

- Cada processo testa sequencialmente



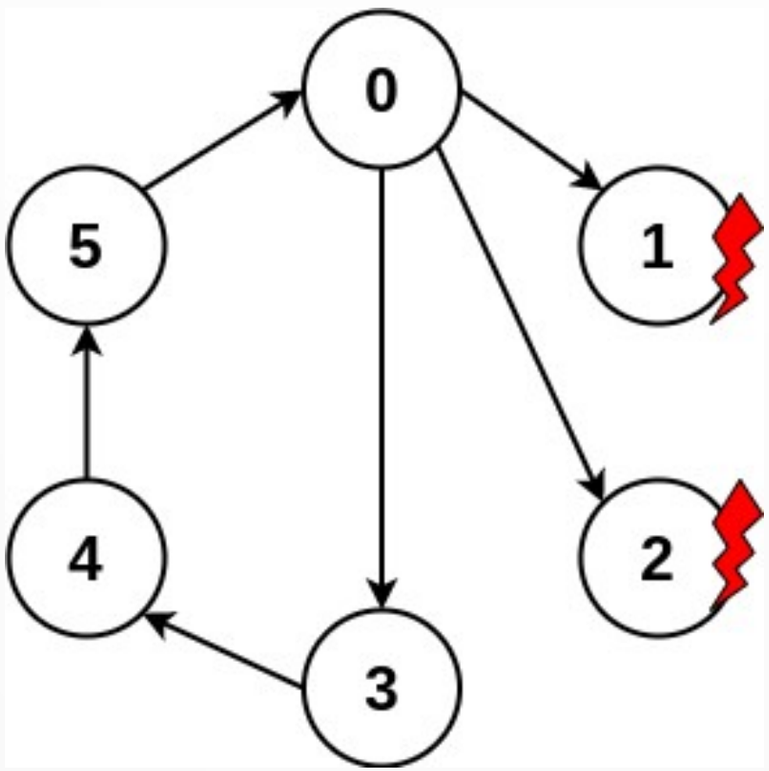
VRing: Testando um Nodo Falho, O Testador Segue até Testar um Correto

- Testes são executados sequencialmente até encontrar um nodo correto: anel que não se rompe



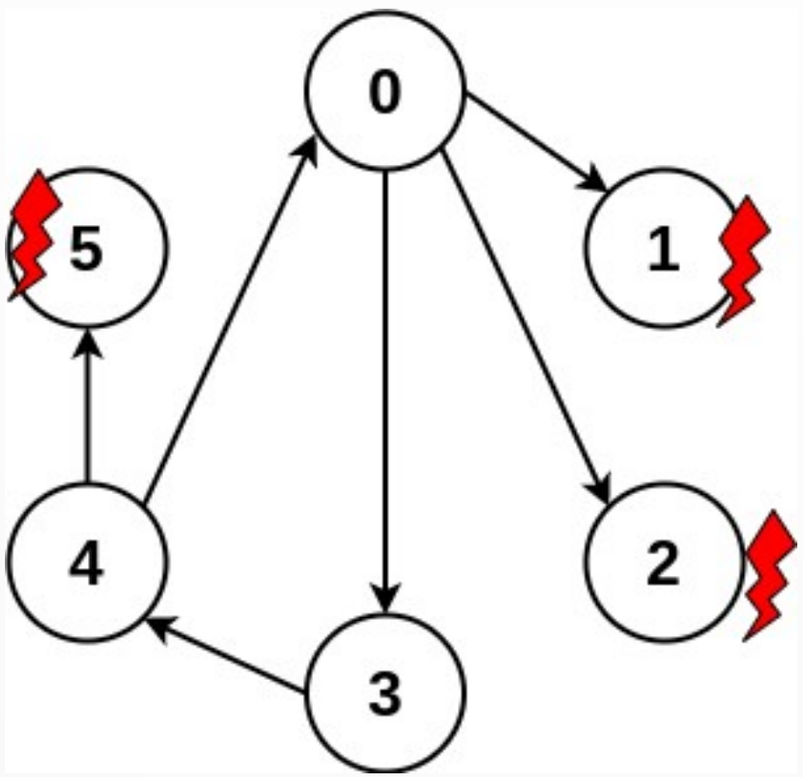
VRing: Testando um Nodo Falho, O Testador Segue até Testar um Correto

- Testes são executados sequencialmente até encontrar um nodo correto: anel que não se rompe



VRing: Testando um Nodo Falho, O Testador Segue até Testar um Correto

- Testes são executados sequencialmente até encontrar um nodo correto: anel que não se rompe



VCube: Detecção de Falhas

- Considere um sistema distribuído S, que consiste de N processos

  S ={0, 1, 2, ..., (N-1)}

  - Cada processo tem um identificador sequencial, os identificadores começam em 0
- Considere que cada processo pode estar em um de dois estados possíveis: **correto** ou **falho**
- O sistema é assíncrono, o resultado de um teste pode ser: **correto** ou ***suspeito***

Monitoramento Baseado em **Testes**

- Para descobrir os estados dos processos, o Diagnóstico utiliza **testes**, que são executados entre os processos
- O teste consiste da execução de uma bateria de procedimentos que permitem determinar o estado do processo testado
- Como implementar um teste?
  - Depende da tecnologia do sistema

VRing: O Grafo de Testes

- O grafo de testes G = (V, T) tem como vértices os processos do sistema no conjunto V
- O conjunto de arcos (arestas direcionadas) T, representa os testes executados
- Assim, existe um arco (*a*, *b*) em T se *a* e *b* são vértices pertencentes a V e *a* testa *b*
- No algoritmo VRing: no anel consideramos apenas arcos correspondentes a testes de processos corretos
- Uma premissa simplificadora: o próximo evento só ocorre após o evento anterior ter sido detectado
  - Evento: ou um processo correto falha ou vice-versa

Outras Premissas do VRing

- Os canais de comunicação são perfeitos
- Apesar de que os processos formam um anel virtual, o sistema subjacente é *fully-connected*
  - Qualquer processo é capaz de testar qualquer outro processo
- O algoritmo é apresentado no modelo de sistema GST (*Global Stabilization Time*)
  - o sistema inicia assíncrono e assim permanece até um instante a partir do qual se torna síncrono para sempre

Intervalos e Rodadas de Teste

- O VCube é executado em “intervalos de teste” (*testing intervals*) e o progresso ocorre em “rodadas de testes” (*testing rounds*)
- Dois conceitos essenciais - mas fáceis de confundir um com o outro! Cuidado!!! Fique atento(a)!!!

Intervalos Vs. Rodadas de Testes

- Os processos executam testes periodicamente, em intervalos de testes, que são intervalos de tempo constantes, pré-definidos
  - marcados no relógio local de cada processo
  - por exemplo: 30 segundos ou 10 milissegundos
- Uma rodada de testes é definida como o intervalo de tempo em que todo processo sem-falha testou pelo menos um outro processo sem-falha
  - ou testou todos os demais processos falhos

Pensando sobre Rodadas de Testes

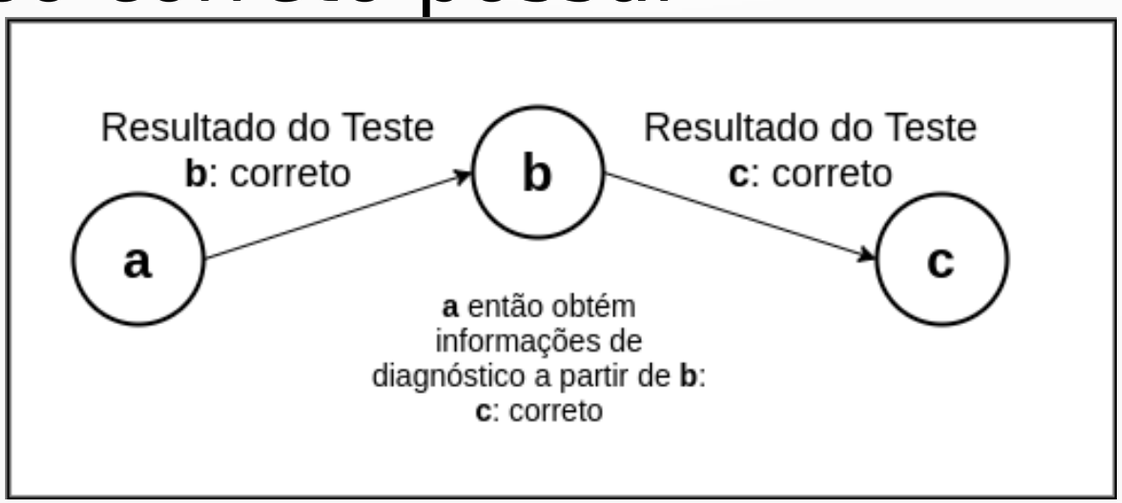
- Em um sistema real é difícil identificar as rodadas de testes
- Não há relógio global: cada processo tem um relógio local, mas não são sincronizados
- Um processo pode rapidamente testar outro processo correto...
- ... enquanto outro pode ter que testar dezenas de falhos antes...
- Quem determina a rodada é o processo mais lento

Latência da Detecção

- A latência da detecção é o número de rodadas de testes que devem ser executadas para completar a detecção de falhas de 1 evento
- Atenção: Toda a discussão a seguir sobre a latência de detecção considera que o sistema já estabilizou e não há falsas suspeitas
- Ao final discutimos o que ocorre com o algoritmo antes do instante GST

Fluxo de Informações de Testes

- As rodadas de testes são excelentes para acompanhar o progresso do algoritmo
- Quando um processo correto testa outro processo correto...
- ... pode obter as informações de diagnóstico que o processo correto possui

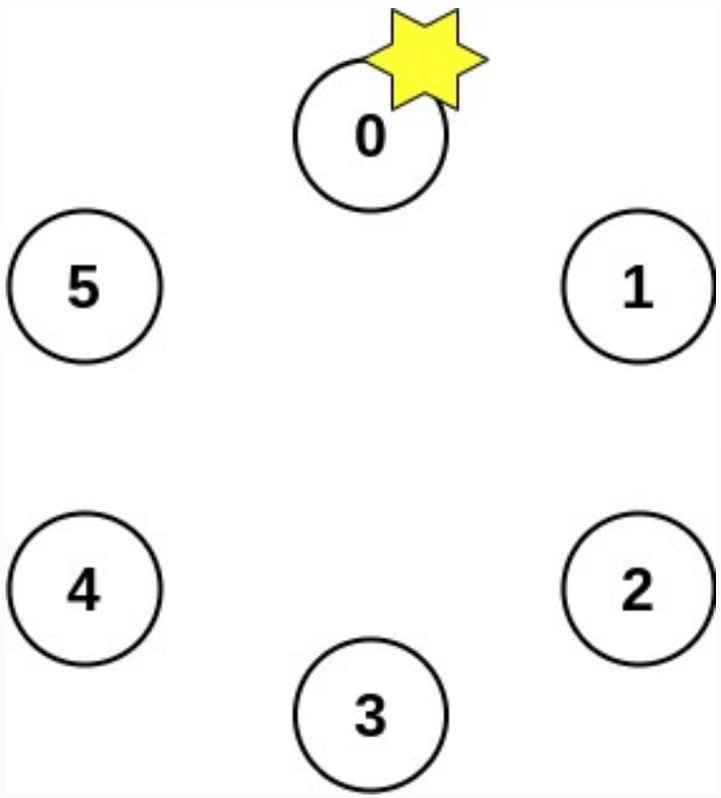


Fluxo de Informações

- Após 1 rodada de testes, podemos dizer que todos os processos corretos obtiveram informações
  - cada testador do seu processo correto testado
- Os resultados de testes fluem no sentido oposto dos testes
- Considere que um evento ocorreu no processo 0
  - Evento: ou um processo correto falha ou vice-versa

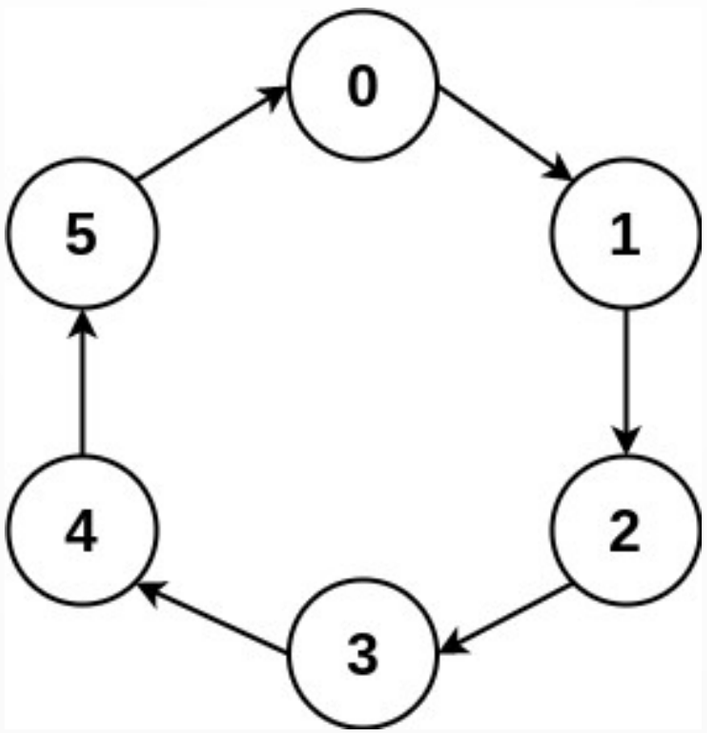
VRing:Fluxo de Informações

- Um evento ocorre no processo 0



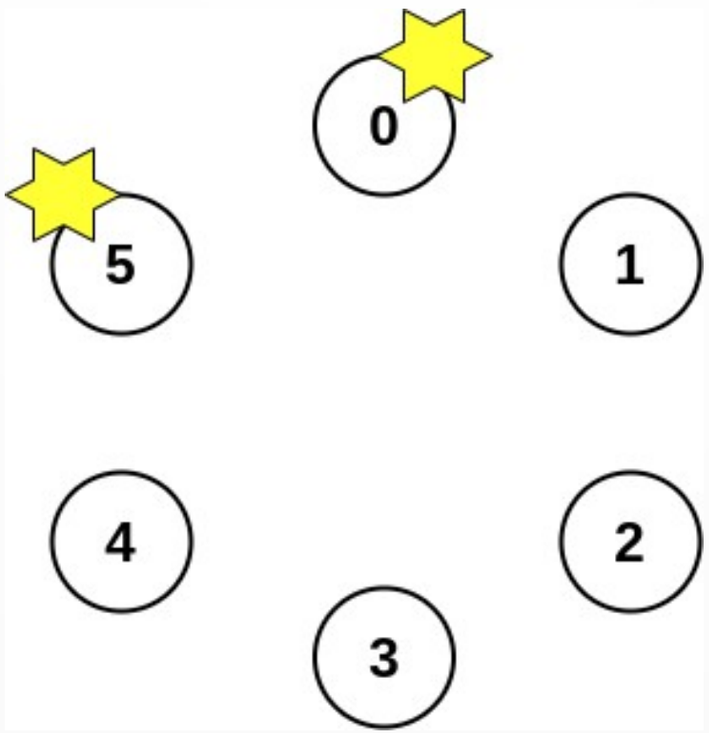
VRing:Fluxo de Informações

- Acontece uma rodada de testes



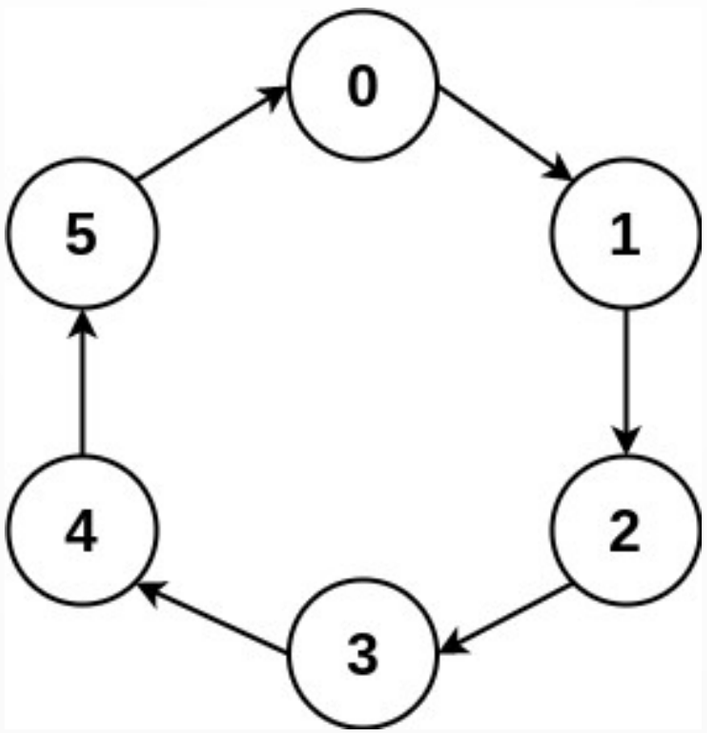
VRing:Fluxo de Informações

- O processo 5 detecta o evento



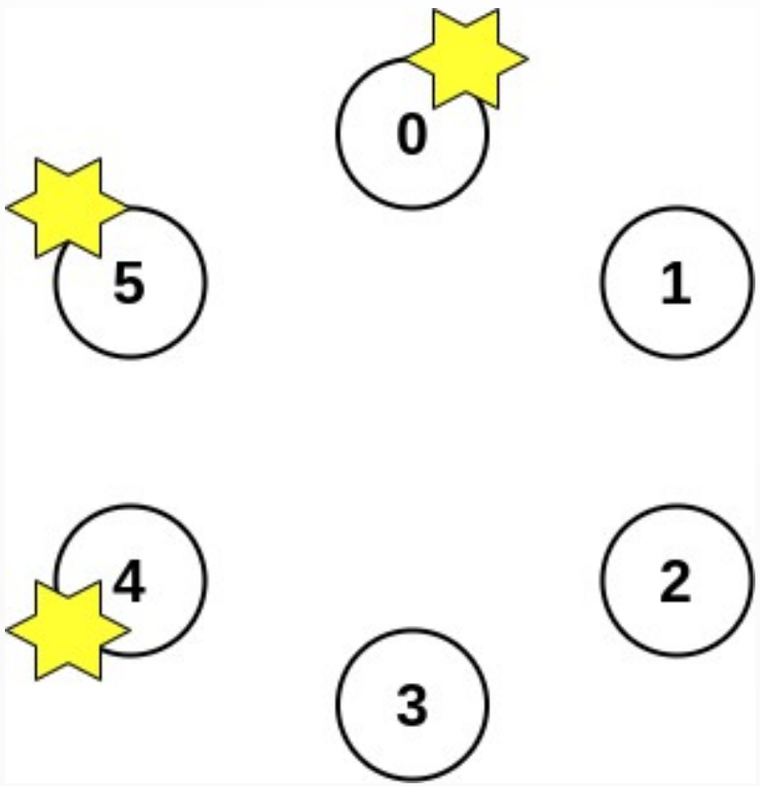
VRing:Fluxo de Informações

- Acontece uma rodada de testes



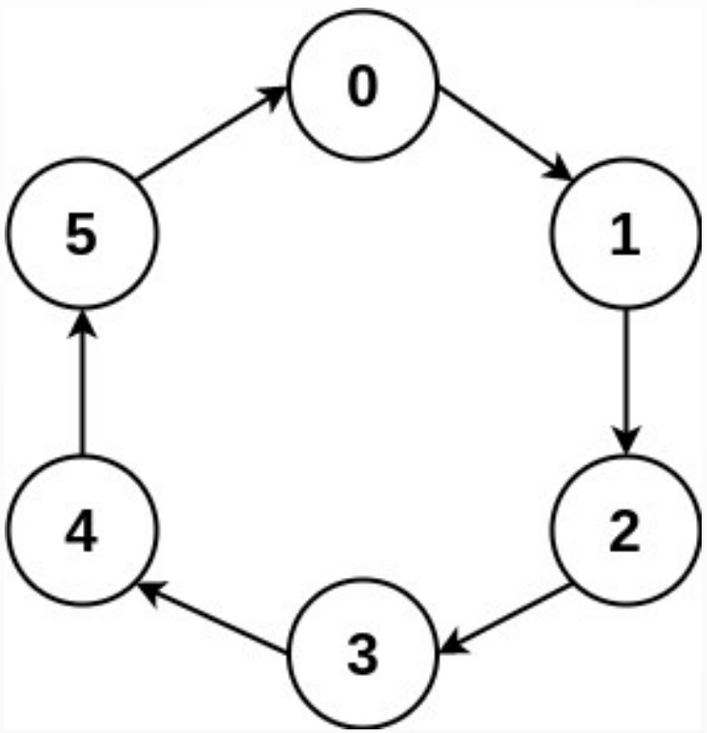
VRing:Fluxo de Informações

- O processo 4 descobre o evento



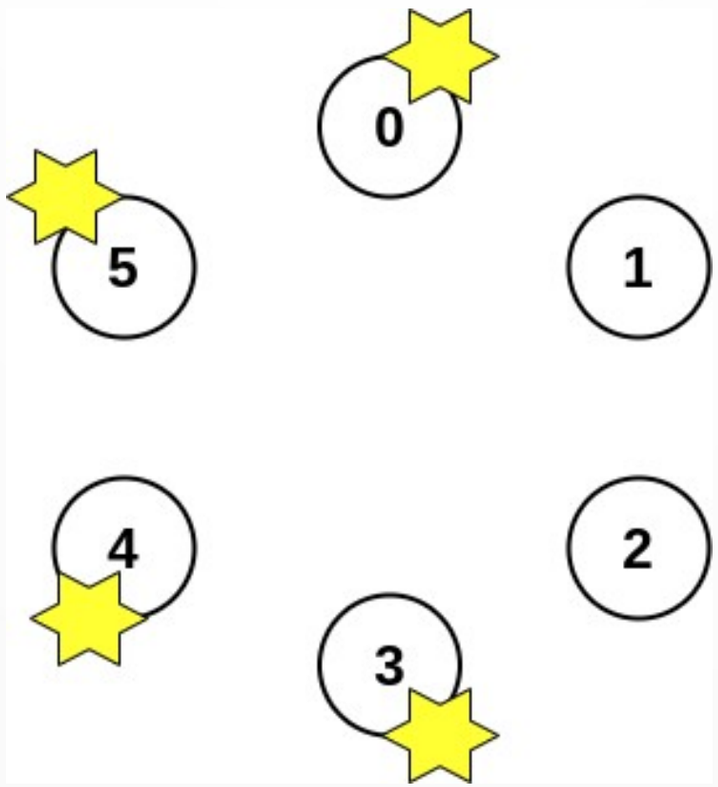
VRing:Fluxo de Informações

- Acontece uma rodada de testes



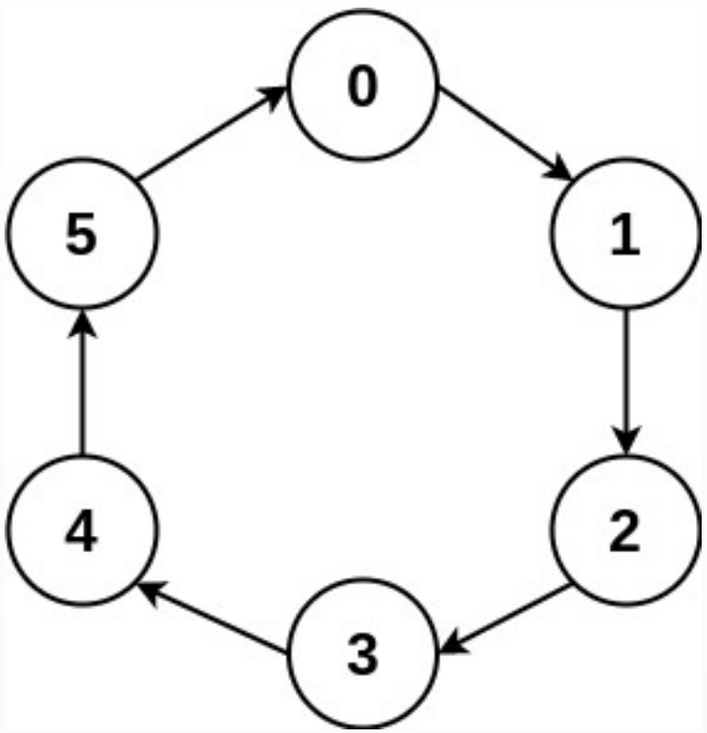
VRing:Fluxo de Informações

- O processo 3 descobre o evento



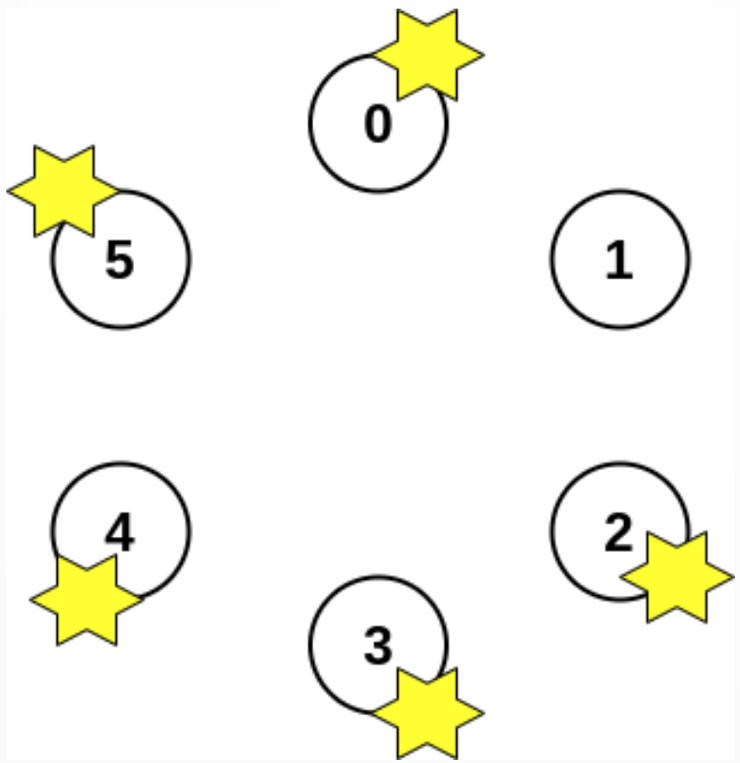
VRing:Fluxo de Informações

- Acontece uma rodada de testes



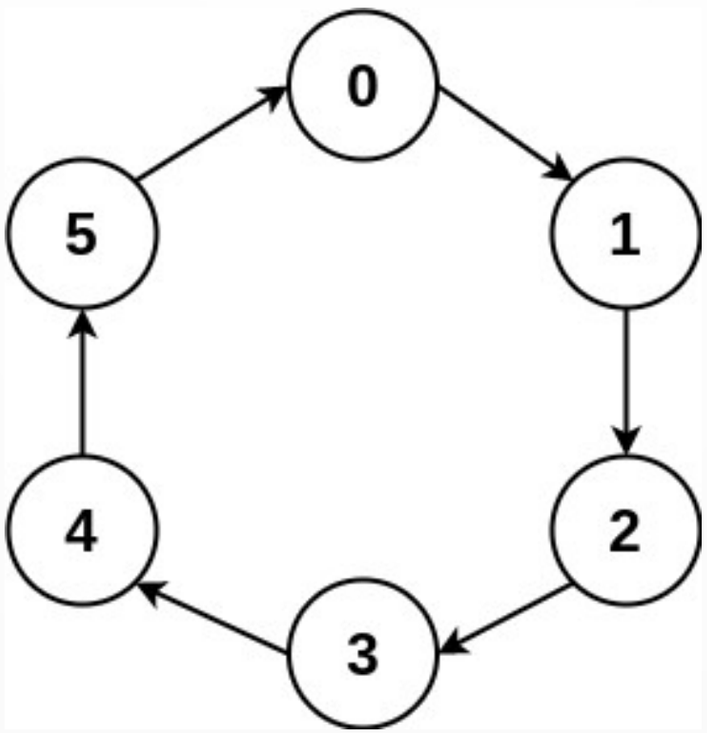
VRing:Fluxo de Informações

- O processo 2 descobre o evento



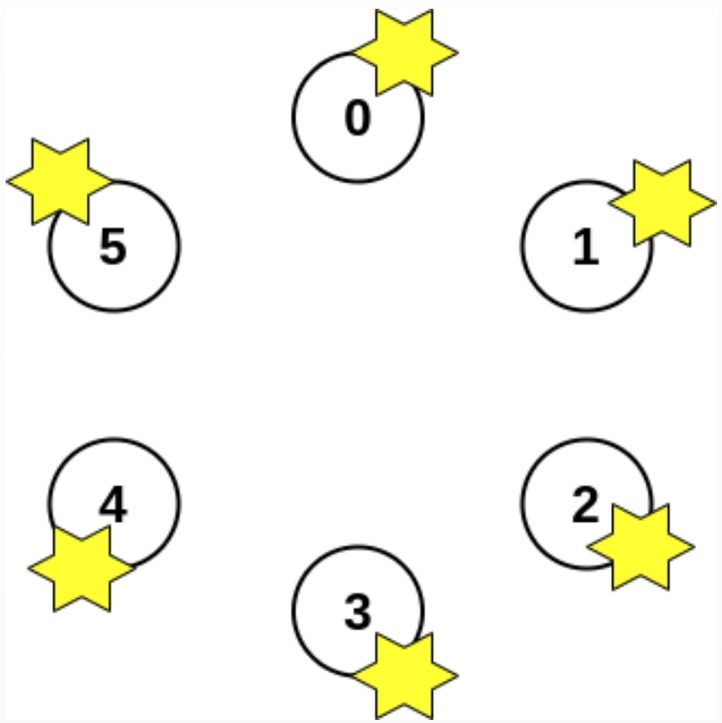
VRing:Fluxo de Informações

- Acontece uma rodada de testes



VRing:Fluxo de Informações

- Diagnóstico completo: todos os processos



O Algoritmo VRing

- A referência principal do VRing:

  R. P. Bianchini Jr., R. W. Buskens, "Implementation of On-Line Distributed System-Level Diagnosis Theory," *IEEE Transactions on Computers*, Vol. 41, No. 5, 1992.

O Vetor State[N]

- No nosso algoritmo os processos mantém informações sobre estado no vetor State[N]
- Vamos manter um contador de eventos (*timestamp)*
- Os estados iniciais são:
  - -1 → estado unknown (desconhecido)
  - 0 → correspondendo ao estado correto
  - 1 → processo falho
- Quando um evento é detectado pelo processo j no processo i: $State_j[i]$++
- 1: falho, 2: correto; 3: falho; ...
  - State[i] é par: i correto
  - State[i] é ímpar: i falho

O Algoritmo VRing

```
// executado pelo processo i
// a cada intervalo de testes
Início
  j ← i;
  repita
     j ← (j+1) mod N;
     teste o processo j;
     se ocorreu um evento em j então Statei[j]++;
     // ou seja: se mudou o estado de j
     se j está correto
     então obtenha Statej[];
                para todo k não testado neste intervalo
                   atualize Statei[k] ← Statej[k];
  até (encontrar j correto) ou (testar todos falhos);
Fim.
```

VRing: Prova de Correção

- Teorema 1: Dado o sistema S em uma determina situação de falha:
  - em uma rodada de testes do algoritmo VRing
  - no grafo de testes G=(V,T) há um caminho direcionado entre quaisquer 2 processos corretos
- Prova por absurdo
- Escolha um par de processos corretos x & z tal que não exista um caminho direcionado entre eles e...
- ... (z-x) é o mínimo, para todos os pares de processos sem caminho direcionado

Continuando o Teorema 1

- Identifique *o maior* processo y, y<z, tal que existe um caminho direcionado de x para y
- Após 1 rodada de testes y deve ter testado um processo correto w
- Como y<z, w deve ser maior que z
  - veja que w não pode estar entre y < w < z, pois neste caso y não seria o maior
- Entretanto, pela definição do algoritmo, y obrigatoriamente testou z antes de testar w: absurdo!

VRing: Corolário 1

- Corolário 1: Dado o sistema S em um determinado estado , em uma rodada de testes do algoritmo VRing o grafo de testes G=(V,T) consiste de um ciclo direcionado conectando todos os processos corretos de S
- Pelo Teorema 1 existe um caminho direcionado entre qualquer par de processos corretos no grafo de testes G=(V,T)
- De acordo com o algoritmo VRing, cada processo correto executa 1 único teste em outro processo correto por rodada de testes
- Um ciclo direcionado é a única estrutura que satisfaz estas duas condições

VRing: Teorema 2

- Teorema 2: Considere o sistema S em uma determinada situação de falhas. Após N rodadas de testes do algoritmo VRing, a entrada $State_i[j]$ é idêntica para todos os processos $0 <= i < N$
- Escolha um processo correto qualquer x
- Pela definição do algoritmo, se x testa z em uma rodada de testes atualiza a entrada $State_x[z]$
- Após duas rodadas rodadas de testes, o processo correto y testa o processo correto x e atualiza $State_y[z] \leftarrow State_x[z]$
- Nas próximas rodadas de testes, mais nodos atualizam a entrada correspondente com $State[z] \rightarrow State_x[z]$
- O caminho mais longo no ciclo tem N vértices
- Portanto em no máximo N rodadas todos os processos mantém o mesmo valor para $State[z] \leftarrow State_x[z]$

Latência do Algoritmo VRing

- Portanto, no pior caso, a latência de diagnóstico do algoritmo VRing é de N rodadas de testes
- Pergunta: qual a latência no melhor caso?

Latência do Algoritmo VRing

- Portanto, no pior caso, a latência de diagnóstico do algoritmo VRing é de N rodadas de testes
- Pergunta: qual a latência no melhor caso?
- 1 rodada de testes!

Tolerância a Falhas do VRing

- Seja t é o maior número de processos que podem falhar tal que o VRing ainda atinge sua missão
- Mesmo que apenas 1 único processo esteja correto, ele vai ser capaz de detectar todos os demais: t = N-1
- Esse resultado é **ótimo** (matematicamente): não tem como tolerar mais falhas que N-1

Número de Testes Executados

- Qual o maior número de testes executados pelo algoritmo VRing em uma rodada?
- Considere que todos os processos estão corretos

Número de Testes Executados

- Qual o maior número de testes executados pelo algoritmo VRing em uma rodada?
- Considere que todos os processos estão corretos
- Resposta: N testes

Número de Testes Executados

- Qual o maior número de testes executados pelo algoritmo VRing em uma rodada?
- Considere que todos os processos estão corretos
- Resposta: N testes
- Cada processo é testado no máximo 1 vez
- Ótimo (matematicamente): impossível um algoritmo que utlize menos de N testes
  - Cada processo tem que ser testado pelo menos 1 vez por rodada de testes

E antes do GST?...

- Até o sistema estabilizar e se tornar síncrono... o que acontece?
- Podem acontecer falsas suspeitas
  - Após uma falsa suspeita um processo continua testando
  - Aumenta o número de testes
  - No pior caso: todos os processos estão corretos mas todos suspeitam de todos
  - O algoritmo se transforma na força-bruta
  - A latência de detecção de falhas não aumenta!

Conclusão

- O Algoritmo VRing: processos corretos formam um anel virtual que nunca se rompe
- Premissas assumidas pelo algoritmo
- Intervalo de Testes, Rodada de Testes, Latência
- O vetor State[] de *timestamps* (contadores de eventos)
- Especificação do algoritmo VRing em pseudo-código
- Prova de correção, tolerância a falhas, número de testes
- Próxima aula: simulação com SMPL!

Obrigado!
Página da Disciplina
Sistemas Distribuídos:
www.inf.ufpr.br/elias/sisdis