Sistemas de Tempo-Real

Aula 4

Conceitos básicos de escalonamento

Escalonamento de tarefas, taxonomia básica
Técnicas de escalonamento preliminares
Escalonamento estático cíclico

Aula anterior (3)

Executivos de tempo real

- Os **estados de execução** de uma tarefa (diagrama de transição de estados)
- A **arquitectura genérica** de um kernel de tempo-real
- Os **componentes básicos** de um kernel de tempo-real, estruturas de dados e funções
- Exemplos: ReTMiK, OReK, SHaRK e RTAI

Complexidade temporal

- Medida do **crescimento** do **tempo de execução** de um algorítmo quando **aumenta a dimensão do problema** (i.e. dos dados de entrada)
- Costuma expressar-se com o operador **O( )**
- Aritmética do operador O( ), n=dimensão do problema, k=cons.
  - O(k) = O(1)
  - O(kn) = O(n)
  - $O(k_1 n^m + k_2 n^{m-1} + \ldots + k_{m+1}) = O(n^m)$

```
for (k=0;k<N;k++)
  a[k]=0;
```
Compl. = O(N)

```
for (k=0;k<N-1;k++)
  for (m=k;m<N;m++)
    if a[k]<a[m]
      swap(a[k],a[m]);
```
Compl. = $O(N^2)$

Cálculo das permutações de um dado conjunto $A=\{a_i, i=1..N\}$

Compl. = $O(N^N)$

Complexidade temporal

- **Classes P** e **NP** em problemas de decisão
- P – problema que se resolve em tempo polinomial, O(p(N))
- NP – problema que não se resolve em tempo polinomial mas em que cada solução se pode verificar em tempo polinomial
- Noção de **NP-complete** e **NP-hard**
- A complexidade temporal é uma importante medida de desempenho de um algorítmo (e.g. de escalonamento)

Definição de escalonamento

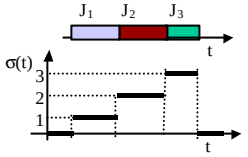
Escalonamento de tarefas

- Sequência de execução de tarefas num ou mais processadores
- Aplicação de R^+ (tempo) em N_0^+ (conjunto de tarefas), fazendo corresponder a cada instante de tempo *t* uma tarefa *i* que está executando nesse instante.

  $\sigma: R^+ \rightarrow N_0^+$

  $i = \sigma(t),\ t \in R^+$ (i=0 => processador livre)
- σ(t) é uma função degrau cujo traçado é um *gráfico de Gantt*

$\mathbf{J=\{J_1, J_2, J_3\}}$ (conjunto de tarefas) →



Definição de escalonamento

•Um **escalonamento** diz-se **praticável** (***feasible schedule***) se cumpre as restrições associadas ao conjunto de tarefas (**temporais**, não preempção, recursos partilhados, precedências)

•Um **conjunto de tarefas** diz-se **escalonável** (*schedulable task set*) se existe pelo menos um **escalonamento praticável** para esse conjunto.

Problema de escalonamento

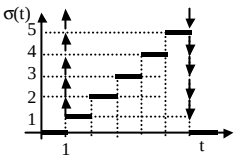
•Dados:

- um **conjunto de tarefas**
- **restrições** que lhe estão associadas (ou função de custo)

•Encontrar uma **atribuição de tempo** de processador às **tarefas** que lhes permita :

- **executar as tarefas completamente**
- **cumprir** as suas **restrições** (ou minimizar a função de custo)

e.g. $J = \{J_i\ (C_i=1,\ a_i=1,\ D_i=5,\ i=1..5)\}$ →



Algorítmos de escalonamento

•Um **algorítmo de escalonamento** é um método de resolução de um problema de escalonamento.

Nota: não confundir *algorítmo de escalonamento* com *escalonamento*

Cassificação de algorítmos de escalonamento:

- **Preemptivo** *versus* **não-preemptivo**
- **Estático** *versus* **dinâmico**
- ***Off-line*** *versus* ***on-line***
- **Óptimo** *versus* **sub-óptimo** (heurístico)
- Com **garantias** de pior caso *versus* **melhor possível** (*best effort*)

Algorítmos preliminares

EDD - Earliest Due Date (Jackson, 1955)

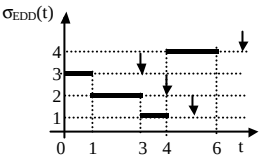
Tarefas de única instância e disparadas sincronamente:
$J = \{ J_i (C_i, a_i=0, D_i) \; i=1..n\}$

Executar as tarefas por **ordem não decrescente de deadline** **minimiza o atraso máximo** $L_{max}(J) = \max_i (f_i - d_i)$

O(n.log(n))

e.g. $J = \{J_1(1,5), J_2(2,4), J_3(1,3), J_4(2,7)\}$

$L_{max,EDD}(J) = -1$



Algorítmos preliminares

EDF - Earliest Deadline First (Liu and Layland, 1973; Horn, 1974)

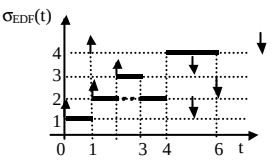
Tarefas de única instância ou periódicas, assíncronas, preemptivas:
$J = \{ J_i (C_i, a_i, D_i) \; i=1..n\}$

Executar em cada instante a tarefa com **deadline mais próxima** **minimiza o atraso máximo** $L_{max}(J) = \max_i (f_i - d_i)$

O(n.log(n)), Óptimo entre todos desta classe

$J = \{J_1(1,0,5), J_2(2,1,5), J_3(1,2,3), J_4(2,1,8)\}$

$L_{max,EDF}(J) = -2$



Algorítmos preliminares

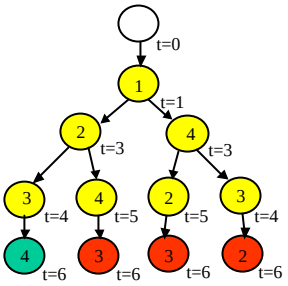
BB – Branch and Bound (Bratley, 1971)

Tarefas de única instância ou periódicas, assíncronas, não preemptivas:
$J = \{ J_i (C_i, a_i, D_i)\ i=1..n\}$

Construção do escalonamento por **busca exaustiva** no espaço de permutações (árvore)

O(n!)

$J = \{J_1(1,0,5), J_2(2,1,4), J_3(1,2,3), J_4(2,1,7)\}$



Escalonamento de tarefas periódicas

Os instantes de activação são conhecidos a priori

$\Gamma = \{ \tau_i (C_i, \Phi_i, T_i, D_i,\ i=1..n)\} \rightarrow a_{i,k} = \Phi_i + (k-1)T_i$

Assim, o escalonamento pode ser construído quer

- **Com o sistema em execução (*on-line*)**
  a próxima tarefa é escolhida à medida que o sistema vai funcionando.
- **Antes do sistema entrar em execução (*off-line*)**
  a ordem de execução é determinada antes do sistema entrar em funcionamento e é guardada numa tabela que é lida em tempo de execução para iniciar as tarefas (**escalonamento estático cíclico**).

Escalonamento estático cíclico

A tabela é organizada em **micro-ciclos (uC)** de duração fixa para que, quando varrida, se obtenha o carácter periódico das tarefas.

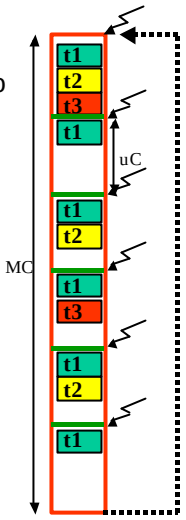
Os micro-ciclos são disparados por um timer.

O varrimento contínuo da tabela resulta num padrão cíclico global chamado **macro-ciclo (MC)**

$\Gamma = \{ \tau_i (C_i, \Phi_i, T_i, D_i, i=1..n)\}$

uC = MDC(T_i) (*GCD*)
MC = MMC(T_i) (*LCM*)

$\Phi_i = 0$,$C_i = 1$ms,
T_1=5ms
T_2=10ms
T_3=15ms



Escalonamento estático cíclico

A favor

- Implementação simples (timer+tabela)
- Overhead de execução muito baixo (*dispatcher*)
- Permite optimização do escalonamento (e.g. controlo de jitter, relações de precedência)

Contra

- Pouco escalável (alterações nas tarefas podem causar grandes alterações na tabela, em particular podem levar a tabelas enormes!)
- Pouco robusto a sobrecargas (sensível ao efeito dominó)

Escalonamento estático cíclico

Construção da tabela

- Calcular o micro-ciclo uC e o macro-ciclo MC
- Expressar os períodos e fases iniciais em micro-ciclos
- Determinar os ciclos onde as tarefas são activadas
- Utilizando um critério de escalonamento adequado, determinar a ordem de execução das tarefas activas
- Verificar se todas as tarefas activas num micro-ciclo podem ser completamente executadas nele. Senão algumas terão que ficar para ciclos seguintes
- Poderá ser necessário partir uma tarefa em várias partes de modo a cada uma poder ser executada dentro de um micro-ciclo.

Resumo da Aula 5

- O conceito de **complexidade temporal**
- Definição de **escalonamento** e de **algorítmo de escalonamento**
- Algumas **técnicas preliminares** de escalonamento (EDD, EDF, BB)
- Escalonamento **estático cíclico**

Aulas práticas 5-11

Mini-projecto!

Trabalho para a Aula 6

Virtudes do escalonamento estático cíclico

Resumir e apresentar

- Xu and Parnas (2000). **Priority scheduling versus Pre-run-time scheduling**. (Journal of) *Real-Time Systems*, **18**:7-23, 2000.