INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

Introdução aos Algoritmos e Estruturas de Dados

2017/2018 - 2º semestre

Enunciado do 2º Projecto (v1.0)

Data de entrega: 18 de Maio de 2018 (23h59m)

1. Introdução

O planeamento de projectos é uma componente fundamental da gestão de projectos, sejam projectos informáticos, de engenharia civil ou outros. O planeamento de projectos consiste no escalonamento temporal das diversas tarefas por forma a evidenciar o seu paralelismo ou sequencialidade. Dado um conjunto de tarefas, as suas durações estimadas e as suas dependências, é possível estimar quando a tarefa poderá começar a ser executada. Desta forma, é possível reservar atempadamente os recursos necessários à sua realização, sejam recursos humanos ou materiais.

Uma tarefa apenas se pode iniciar assim que todas as suas *dependências* estejam concluídas. Este tempo designa-se por *early start*. Se todas as tarefas se iniciarem assim que possível a duração do projecto será mínima. Mas para que tal seja possível, pode ser necessário reservar um grande número de recursos em certos períodos de tempo. Por exemplo, se o escalonamento por *early start* obrigar, em certo momento do projecto, a desenvolver três tarefas em simultâneo, pode não haver recursos suficientes disponíveis.
A alternativa consiste em atrasar algumas tarefas até que haja recursos suficientes. Contudo, se algumas tarefas forem atrasadas, a duração total do projecto poderá aumentar. Podem no entanto existir tarefas que, por serem curtas, possam ser atrasadas sem afectar a duração total do projecto. O momento mais tarde em que uma tarefa se pode iniciar sem atrasar a duração total do projecto é designado por *late start*. Se uma tarefa tiver um *early start* igual ao *late start* diz-se *crítica*, pois qualquer atraso no seu início tem consequências imediatas na duração total do projecto. Uma sequência contendo todas as tarefas críticas de um projecto designa-se por *caminho crítico* (*critical path*).

O objectivo deste projeto é o desenvolvimento, em linguagem C, de um programa para determinar um caminho crítico de um projecto e as suas tarefas críticas. Mais especificamente, a interacção com o programa deverá ocorrer através de uma sequência de linhas compostas por uma palavra (comando), e eventualmente uma sequência de argumentos, que permitem a inserção e análise de tarefas. *O caminho crítico a obter será aquele determinado pela ordem de inserção das tarefas*. Os possíveis comandos são listados na Tabela seguinte e indicam as operações a executar.

Comando	Descrição
`add`	Adiciona uma tarefa.
`duration`	Lista as tarefas de duração igual ou superior ao indicado.
`depend`	Lista as tarefas que dependem da indicada.
`remove`	Remove uma tarefa.

`path`	Lista todas as tarefas no caminho crítico.
`exit`	Termina o programa.

2. Especificação do programa

Cada tarefa de um projecto é representada por um *identificador* (um inteiro positivo com pelo menos 32 bits), uma *descrição* (uma cadeia de caracteres delimitada por *aspas*), uma *duração* (um inteiro positivo com pelo menos 32 bits), e uma *lista de tarefas* das quais esta tarefa depende. A tarefa só se pode iniciar depois de todas as tarefas de que depende terem terminado.

Nota: Quando a execução das tarefas 9 e 12 depende da tarefa 10, dizemos que 9 e 12 são *dependentes* de 10; alternativamente a tarefa 10 *precede* as tarefas 9 e 12.

A descrição da tarefa terá, no máximo, 8000 caracteres, mas na grande maioria dos casos será muito inferior a esse valor. Não existe limite para o número de tarefas, para o número de dependências de uma tarefa, nem para o número de tarefas dependentes de uma tarefa. O limite é apenas imposto pela memória disponibilizada pelo sistema operativo para a execução do programa. Este limite será manipulado pelo ambiente de teste Mooshak.

3. Dados de Entrada

Durante a execução do programa as instruções devem ser lidas do terminal (standard input) na forma de uma sequência de linhas iniciadas por uma palavra, que se passa a designar por *comando*, seguido de um número variável de argumentos; o comando e cada um dos argumentos são separados por um espaço.

Os comandos disponíveis são descritos de seguida e correspondem às palavras `add`, `duration`, `depend`, `remove`, `path`, `exit`. Se os argumentos não forem válidos deverá ser impressa a mensagem: `illegal arguments`.[1] Cada comando indica uma determinada acção que se passa a caracterizar em termos de objectivo, número de argumentos, sintaxe e output:

`add`: adiciona uma nova tarefa ao projecto (nargs >= 3)
`add id descrição duração ids`
- `id`: número inteiro positivo com pelo menos 32 bits;
- `descrição`: cadeia de caracteres com um máximo de 8000 caracteres iniciada e terminada pelo caracter *aspas*;
- `duração`: número inteiro positivo com pelo menos 32 bits;
- `ids`: sequência, possivelmente nula, de identificadores das dependências desta tarefa. Estes identificadores são separados por um espaço e deverão corresponder a tarefas previamente adicionadas.

Output: Não tem qualquer output.

[1] Note que neste projecto, contrariamente ao primeiro projecto, deverá efectuar validação dos parâmetros.

Adiciona a tarefa ao projecto, invalidando o caminho crítico anteriormente calculado.

No caso de introdução de uma tarefa com um identificador já existente deverá ser impressa a mensagem de erro

```
id already exists
```

No caso de introdução de uma tarefa que tenha uma dependência que não existe deverá ser impressa a mensagem de erro

```
no such task
```

`duration`: imprime as tarefas com duração igual ou superior ao indicado (nargs <= 1)

```
duration
duration value
```

- `value`: número inteiro positivo com pelo menos 32 bits.

Output: imprime as tarefas de duração igual ou superior a `value` pela ordem em que foram introduzidas. Se o argumento `value` for omitido, deverão ser impressas todas as tarefas (pela ordem em que foram introduzidas).

Cada tarefa deve ser impressa com o mesmo formato do comando `path`. Caso o comando `path` ainda não tenha sido executado, ou o caminho crítico esteja inválido, a sequência `[<early> <late>]` referida abaixo deverá ser omitida.

`depend`: lista as tarefas dependentes da tarefa indicada (nargs = 1)

```
depend id
```

- `id`: número inteiro positivo.

Output: deve ser impresso o `id` da tarefa seguido dos id_i das tarefas dependentes dela separados por um espaço

```
<id>: <id1> <id2> <id3>
```

Caso a tarefa não tenha tarefas dependentes dela deverá ser impressa a mensagem

```
<id>: no dependencies
```

Caso não exista uma tarefa com o identificador `id` deverá ser impressa a mensagem

```
no such task
```

No caso de existirem 2 ou mais dependências, deverão ser listadas pela ordem em que foram inseridas.

`remove`: remove uma tarefa sem tarefas dependentes (nargs = 1)

```
remove id
```

- `id`: número inteiro positivo.

Output: Não tem qualquer output.

Remove uma tarefa sem dependentes, tornando o caminho crítico calculado anteriormente inválido.

Caso a tarefa com o identificador `id` tenha dependentes deverá ser impressa a mensagem

```
task with dependencies
```

Caso não exista uma tarefa com o identificador `id` deverá ser impressa a mensagem

```
no such task
```

`path`: lista todas as tarefas do caminho crítico (nargs = 0)

```
path
```

Output: lista todas as tarefas do caminho crítico do projecto pela ordem de introdução e com a forma

```
<id> <descrição> <duração> [<early> <late>] <ids>
```

onde `<id>`, `<descrição>`, `<duração>` e `<ids>` são os valores introduzidos aquando da criação da tarefa; `<early>` e `<late>` correspondem respectivamente ao *early start* e *late start* da tarefa; caso o *early start* seja igual ao *late start*, então `<late>` deverá ser substituído por `CRITICAL`)

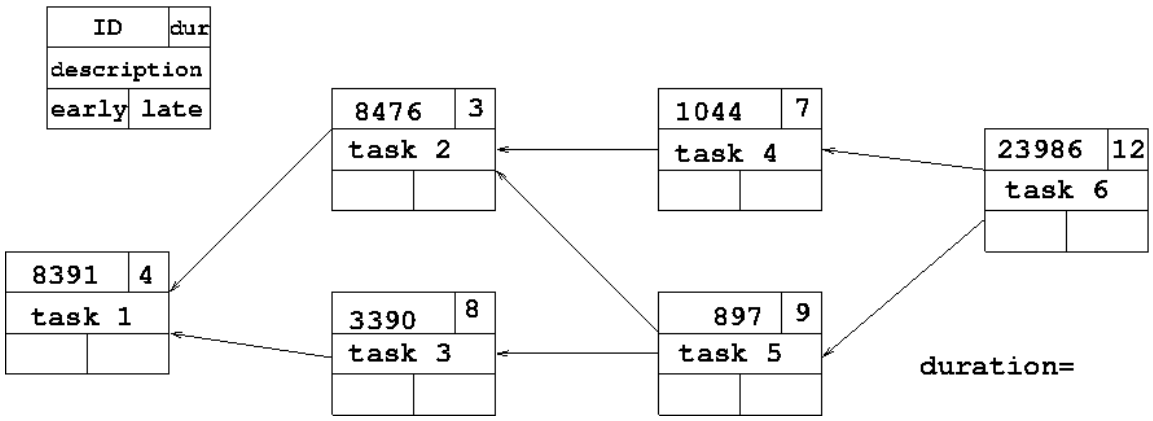
No fim da listagem das tarefas deverá ser impressa a duração total do projecto:

```
project duration = <value>
```

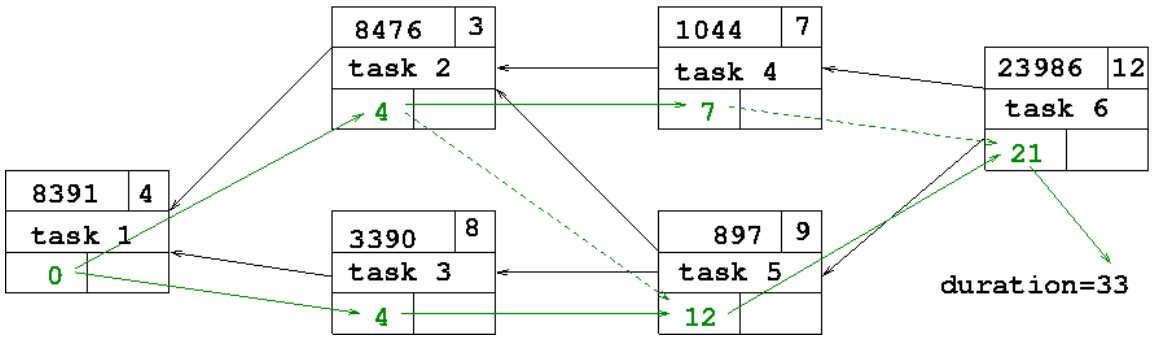
A *determinação do caminho crítico* deve analisar todas as tarefas finais, ie, aquelas de que nenhuma outra tarefa depende.
Para cada tarefa final deve determinar os *early start* percorrendo todas as suas dependências, e recursivamente as dependências delas, calculando, do início para o fim, o tempo que resulta da sua dependência que termina mais tarde (maior *early finish*). O *early start* de uma tarefa origem é 0.
A *duração do projecto* é o maior valor entre os *early finish* das tarefas finais, onde o *early finish* é a soma da *duração* da tarefa com o seu *early start*.

Para a determinação dos *late start*, deve subtrair a duração do projecto às tarefas finais e proceder como anteriormente com as dependências, subtraindo as durações dessas tarefas.
O caminho crítico corresponde às tarefas onde o *early start* é igual ao *late start*.

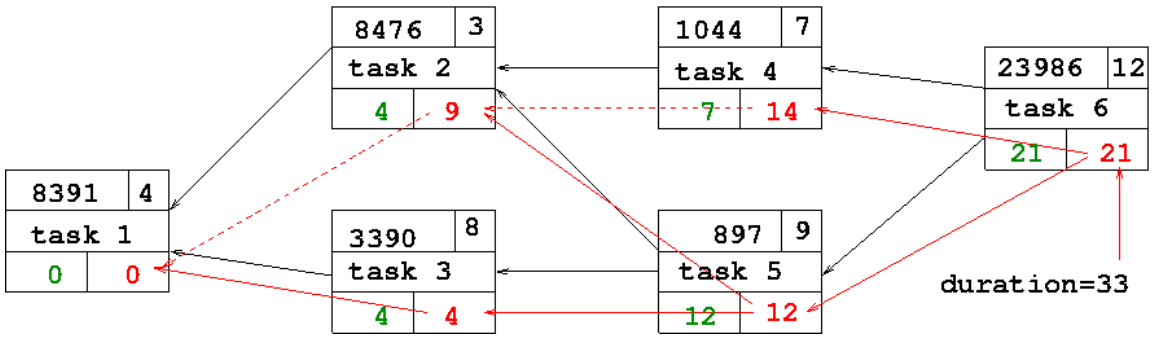
Exemplo: Considere as 6 tarefas abaixo, onde uma seta de *a* para *b* significa que a tarefa *a* é dependente da tarefa *b*.



O cálculo do *early start* começa nas *tarefas origem* (sem precedentes, `task 1`) e caminha na direcção das *tarefas finais* (sem dependentes, `task 6`). O *early start* de uma tarefa é o maior valor (duração$_i$ + *early-start*$_i$) entre todas as dependências *i* da tarefa.
Notar que os ponteiros a preto dirigem-se das *finais* para as *origens*.



O cálculo do *late start* começa nas tarefas *finais* e caminha para as tarefas *origem* subtraindo a sua duração ao menor tempo dos seus sucessores.



`exit`: abandona a aplicação (nargs = 0)
`exit`

Output: Não imprime output.

4. Dados de Saída

O programa deverá escrever no standard output as respostas a certos comandos apresentados no standard input. As respostas são igualmente linhas de texto formatadas conforme definido anteriormente neste enunciado. Tenha em atenção o número de espaços entre elementos do seu output, assim como os espaços no final de cada linha. Procure respeitar escrupulosamente as indicações dadas.

5. Exemplos (Input/Output)

Exemplo 1 (./proj2)

Dados de Entrada:	**Dados de Saída:**

`add 8391 "task 1" 4`
`add 8476 "task 2" 3 8391`
`add 3390 "task 3" 8 8391`
`add 1044 "task 4" 7 8476`
`add 897 "task 5" 9 8476 3390`
`add 23986 "task 6" 12 1044 897`
`duration`
`exit`
	`8391 "task 1" 4`
	`8476 "task 2" 3 8391`
	`3390 "task 3" 8 8391`
	`1044 "task 4" 7 8476`
	`897 "task 5" 9 8476 3390`
	`23986 "task 6" 12 1044 897`

Exemplo 2 (./proj2)

Dados de Entrada:	**Dados de Saída:**

`add 8391 "task 1" 4`
`add 8476 "task 2" 3 8391`
`add 3390 "task 3" 8 8391`
`add 1044 "task 4" 7 8476`
`add 897 "task 5" 9 8476 3390`
`add 23986 "task 6" 12 1044 897`
`duration 8`
`depend 8476`
`exit`
	`3390 "task 3" 8 8391`
	`897 "task 5" 9 8476 3390`
	`23986 "task 6" 12 1044 897`
	`8476: 1044 897`

Exemplo 3 (./proj2)

Dados de Entrada:

```
duration
add 8391 "task 1" 4
add 8476 "task 2" 3 8391
add 3390 "task 3" 8 8391
add 1044 "task 4" 7 8476
add 897 "task 5" 9 8476 3390
add 23986 "task 6" 12 1044 897
remove 23986
remove 1044
duration
exit
```

Dados de Saída:

```
8391 "task 1" 4
8476 "task 2" 3 8391
3390 "task 3" 8 8391
897 "task 5" 9 8476 3390
```

Exemplo 4 (./proj2)

Dados de Entrada:

```
add 8391 "task 1" 4
add 8476 "task 2" 3 8391
add 3390 "task 3" 8 8391
add 1044 "task 4" 7 8476
add 897 "task 5" 9 8476 3390
add 23986 "task 6" 12 1044 897
path
duration
exit
```

Dados de Saída:

```
8391 "task 1" 4 [0 CRITICAL]
3390 "task 3" 8 [4 CRITICAL] 8391
897 "task 5" 9 [12 CRITICAL] 8476 3390
23986 "task 6" 12 [21 CRITICAL] 1044 897
project duration = 33
8391 "task 1" 4 [0 CRITICAL]
8476 "task 2" 3 [4 9] 8391
3390 "task 3" 8 [4 CRITICAL] 8391
1044 "task 4" 7 [7 14] 8476
897 "task 5" 9 [12 CRITICAL] 8476 3390
23986 "task 6" 12 [21 CRITICAL] 1044 897
```

6. Compilação do Programa

O compilador a utilizar é o `gcc` com as seguintes opções de compilação: `-Wall –ansi -pedantic`. Para compilar o programa deverá executar o seguinte comando:

```
$ gcc -Wall -ansi –pedantic -o proj2 *.c
```

o qual deve ter como resultado a geração do ficheiro executável `proj2`, caso não haja erros de compilação. A execução deste comando não deverá escrever qualquer resultado no terminal. Caso a execução deste comando escreva algum resultado no terminal, considera-se que o programa não compilou com sucesso. Por exemplo, durante a compilação do programa, o compilador não deve escrever mensagens de aviso (warnings).

7. Execução do Programa

O programa deve ser executado da forma seguinte:

```
$ ./proj2 < test01.in > test01.myout
```

Posteriormente poderá comparar o seu output com o output previsto usando o comando **diff**

```
$ diff test01.out test01.myout
```

7.1. Testes Auxiliares

Para testar o seu programa poderá executar os passos indicados acima ou usar os scripts **run.sh** e **run_all.sh** distribuídos no ficheiro **exemplos-p2.zip**.

Se quiserem executar apenas o **test01.in** deverão executar

```
$ ./run.sh <vosso_ficheiro_c> test01.in
```

Para executarem todos os testes deverão executar

```
$ ./run_all.sh <vosso_ficheiro_c>
```

Estes scripts compilam o ficheiro indicado e comparam o resultado obtido com o resultado esperado. Se apenas indicar o tempo de execução é porque o comando **diff** não encontrou nenhuma diferença. Caso indique mais informação, então é porque o resultado obtido e o resultado esperado diferem. Para obter a informação detalhada das diferenças poderá remover a opção **-q** da linha 11 do ficheiro **run.sh**.

8. Entrega do Projecto

A entrega do projecto deverá respeitar o procedimento seguinte:

- Na página da disciplina aceda ao sistema para entrega de projectos. O sistema será activado uma semana antes da data limite de entrega. Instruções acerca da forma de acesso ao sistema serão oportunamente fornecidas.

- Efectue o upload de um ficheiro arquivo com extensão `.zip` que inclua todos os ficheiros fonte que constituem o programa. Se o seu código tiver apenas um ficheiro o zip conterá apenas esse ficheiro. Se o seu código estiver estruturado em vários ficheiros (`.c` e `.h`) não se esqueça de os juntar também ao pacote.

- Para criar um ficheiro arquivo com a extensão `.zip` deve executar o seguinte comando na directoria onde se encontram os ficheiros com extensão `.c` e `.h` (se for o caso), criados durante o desenvolvimento do projecto:
  `$ zip proj2.zip *.c *.h`

- Como resultado do processo de upload será informado se a resolução entregue apresenta a resposta esperada num conjunto de casos de teste.

- O sistema **não permite submissões com menos de 10 minutos de intervalo** para o mesmo utilizador. **Tenha especial atenção a este facto na altura da submissão final.** Exemplos de casos de teste serão oportunamente fornecidos.

- Data limite de entrega do projecto: **18 de Maio de 2018 (23h59m)**. Até à data limite poderá efectuar o número de submissões que desejar, sendo utilizada para efeitos de avaliação a última submissão efectuada. Deverá portanto verificar cuidadosamente que a última submissão corresponde à versão do projecto que pretende que seja avaliada. Não existirão excepções a esta regra.

9. Avaliação do Projecto

a. Componentes da Avaliação

Na avaliação do projecto serão consideradas as seguintes componentes:

1. A primeira componente avalia o desempenho da funcionalidade do programa realizado. Esta componente é avaliada entre 0 e 16 valores.

2. A segunda componente avalia a qualidade do código entregue, nomeadamente os seguintes aspectos: comentários, indentação, estruturação, modularidade e divisão em ficheiros, abstracção de dados, entre outros. Esta componente poderá variar entre -4 valores e +4 valores relativamente à classificação calculada no item anterior.
   Nesta componente será também utilizado o sistema `valgrind` de forma a detectar fugas de memória ("memory leaks") ou outras incorrecções no código, que serão penalizadas. Aconselha-se por isso que os alunos utilizem este sistema para fazer debugging do código e corrigir eventuais incorrecções, antes da submissão do projecto. Para utilizar o `valgrind`,[2] comece por compilar o seu código com o `gcc` mas com a flag adicional `-g`:

   ```
   $ gcc -g -Wall -ansi -pedantic -o proj2 *.c
   ```

   Esta flag adiciona informação para debugging que será posteriormente utilizada pelo `valgrind`. Depois disso, basta escrever

   ```
   $valgrind --tool=memcheck --leak-check=yes ./proj2 < test01.in
   ```

   Neste exemplo, estaria a usar o `test01.in` como input. Deverá estar particularmente atento/a a mensagens como

   `Invalid read` e `Invalid write`

[2] http://www.cprogramming.com/debugging/valgrind.html

que indicam está a tentar ler ou escrever fora da área de memória reservada por si. O `valgrind` também detecta a utilização de variáveis não inicializadas dentro expressões condicionais. Nesse caso receberá a mensagem

`Conditional jump or move depends on uninitialised value(s).`

Por fim, o `valgrind` oferece a preciosa informação sobre a quantidade de memória alocada e libertada na heap, indicando quando essas duas quantidades não são iguais. Nesse caso terá memory leaks. Aqui fica um exemplo de output do `valgrind` quando tudo corre bem:

```
HEAP SUMMARY:
in use at exit: 0 bytes in 0 blocks
total heap usage: 1,024,038 allocs, 1,024,038 frees, 28,682,096 bytes allocated
All heap blocks were freed -- no leaks
```

b. Atribuição Automática da Classificação

- A classificação da primeira componente da avaliação do projecto é obtida através da execução *automática* de um conjunto de testes num computador com o sistema operativo GNU/Linux. Torna-se portanto essencial que o código compile correctamente e que respeite o formato de entrada e saída dos dados descrito anteriormente. Projectos que não obedeçam ao formato indicado no enunciado serão penalizados na avaliação automática, podendo, no limite, ter 0 (zero) valores se falharem todos os testes. Os testes considerados para efeitos de avaliação poderão incluir (ou não) os disponibilizados na página da disciplina, além de um conjunto de testes adicionais. A execução de cada programa em cada teste é limitada na quantidade de memória que pode utilizar, até um máximo de 64 Mb, e no tempo total disponível para execução, sendo o tempo limite distinto para cada teste.

- Note-se que o facto de um projecto passar com sucesso o conjunto de testes disponibilizado na página da disciplina não implica que esse projecto esteja totalmente correcto. Apenas indica que passou alguns testes com sucesso, mas este conjunto de testes não é exaustivo. É da responsabilidade dos alunos garantir que o código produzido está correcto.

- Em caso algum será disponibilizado qualquer tipo de informação sobre os casos de teste utilizados pelo sistema de avaliação automática. A totalidade de ficheiros de teste usados na avaliação do projecto serão disponibilizados na página da disciplina após a data de entrega.