

Threads



FEUP

MIEIC
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Objectivos

No final desta aula, os estudantes deverão ser capazes de:

- escrever programas que usem um ou múltiplos *threads* (*multithreaded*)
- passar dados (entrada/saída) entre *threads*
- identificar os problemas que se colocam na manipulação de dados comuns e na passagem de dados entre *threads* e resolver esses problemas
- usar um mecanismo básico de sincronização entre *threads* (`pthread_join()`)



FEUP

MIEIC
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Threads

- A *Pthreads API* está definida na norma ANSI / IEEE POSIX 1003.1 (1995)
- As funções desta *API* (mais de 60) podem ser divididas em 3 grupos:
- **GESTÃO DE THREADS**
 - Permitem criar e terminar *threads*, esperar pela sua terminação, etc.
Incluem funções para ler/alterar os atributos dos *threads*
(de escalonamento e outros, ex: se é possível esperar que um *thread* termine).
- **MUTEXES**
 - Permitem proteger uma secção crítica .
Incluem funções para criar, destruir, trancar (*lock*) e destrancar (*unlock*) *mutexes* e alterar os seus atributos.
- **CONDITION VARIABLES (VARIÁVEIS DE CONDIÇÃO)** (ver cap. sobre sincronização)
 - Permitem bloquear um *thread* até que se verifique uma certa condição e entrar protegido numa secção crítica.
São usadas em conjunto com um *mutex* associado.



As principais funções destes 2 últimos grupos serão analisadas no capítulo sobre sincronização.

MIEIC
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Compilação e execução

- Todos os programas que usem chamadas Posix relacionadas com *threads*, devem incluir a seguinte linha de controlo:

```
# include <pthread.h>
```
- Para compilar, por exemplo o programa `prog1.c`, dar o comando:

```
gcc prog1.c -o prog1 -D_REENTRANT -lpthread -Wall
```

 - `-D_REENTRANT` - para incluir a versão reentrante das bibliotecas de sistema
(<http://pauillac.inria.fr/~xleroy/linuxthreads/faq.html>; em alguns compiladores pode não ser necess.)
 - `-lpthread` - para "*linkar*" com a biblioteca Posix de *threads* (`libpthread`)
(`-pthread` ou `-pthreads` em alguns compiladores)
- Valor de retorno das chamadas relacionadas com *threads*:

```
Retorno:  
0 se OK  
ou um valor positivo (Exxx, definido em errno.h) se erro
```



NOTA: há algumas chamadas que não retornam a quem as invoca (ex: `pthread_exit()`)

MIEIC
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Criação de *threads*

```
int pthread_create ( pthread_t *tid, const pthread_attr_t *attr,
void * (*func)(void *), void *arg );
```

função de início do *thread*

```
void *func (void *arg) {
/* CÓDIGO DO THREAD */ ... }
```

tid

- apontador para a identificação do *thread*, retornada pela chamada
- a *tid* é usada noutras chamadas da *API* de *threads*

attr

- usado para especificar os atributos do *thread* a criar, ex: política de escalonamento, tamanho da *stack*, ...; ver chamadas *pthread_attr_xxx*
- NULL = usar atributos por defeito; é a situação mais frequente

func

- função que o *thread* executará quando for criado
- esta função só admite 1 argumento, que lhe é passado através do parâmetro *arg*

arg

- apontador para o(s) argumento(s) do *thread*; pode ser NULL
- **NOTA:** para passar vários argumentos é necessário compactá-los numa estrutura de dados



FEUP

MIEIC

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Terminação de *threads*

Formas de um *thread* terminar:

- O *thread* retorna normalmente (na função inicial é executada a instrução *return* ou atinge-se a *"}"* final)
- O *thread* invoca *pthread_exit()*
- O *thread* é cancelado por outro *thread*, através de *pthread_cancel()*
- O processo a que o *thread* pertence termina
- O processo a que o *thread* pertence substitui o seu código devido a uma chamada *execxx()*

Notas:

- Se *main()* terminar porque executou *exit()*, *_exit()*, *return* ou atingiu a última instrução os *threads* por si criados também terminarão automaticamente.
- No entanto, se *main()* terminar com a chamada *pthread_exit()* os outros *threads* continuarão em execução; as variáveis globais não serão destruídas e os ficheiros abertos não serão fechados.
- Um *thread* pode esperar que outros *threads* terminem usando a chamada *pthread_join()*.



FEUP

MIEIC

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Terminação de *threads*

```
void pthread_exit (void *status);
```

Não retorna a quem fez a chamada.

status

- valor de retorno, especificando o estado de terminação do *thread*
- NULL, quando não se pretende retornar nada

NOTAS:

- se a função inicial do *thread* terminar com `return ptr`, o valor de `status` será o apontado por `ptr` (ver exemplo adiante)
- o apontador `status` não deve apontar para um objecto que seja local ao *thread* pois esse objecto deixará de existir quando o *thread* terminar
- `pthread_exit()` não fecha os ficheiros que estiverem abertos



FEUP

MIEIC
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Esperando pela terminação *threads*

```
int pthread_join (pthread_t tid, void **status);
```

- O *thread* que invocar esta função bloqueia até que o *thread* especificado por `tid` termine

tid

- *thread* pelo qual se quer esperar
(= valor obtido ao invocar `pthread_create()`)

status

- apontador para apontador para o valor de retorno do *thread*

→ Os *threads* podem ser *joinable* (por defeito) ou *detached*.

É impossível esperar por um *detached thread*.

Quando um *joinable thread* termina a sua *ID* e *status* são mantidos pelo S.O. até que outro *thread* invoque `pthread_join()`.

→ **NOTA:** Não há forma de esperar por qualquer um dos *threads* como acontecia no caso dos processos com as chamadas `wait()` e `waitpid(-1, ...)`



FEUP

MIEIC
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Outras chamadas

Um *detached thread* (*thread* separado) é um *thread* pelo qual não é possível esperar.

Quando termina, todos os recursos que lhe estão associados são libertados.

Usando `pthread_detach()` é possível transformar um *joinable thread* em *detached*.

```
int pthread_detach (pthread_t tid);
```

Esta função é frequentemente invocada pelo *thread* que quer passar de *joinable* a *detached*,

o que pode ser conseguido executando `pthread_detach(pthread_self())`

```
pthread_t pthread_self (void);
```

Retorna: *thread ID* do *thread* que fez a chamada

Para criar um *thread* no estado *detached* ao invocar `pthread_create()` é necessário preencher devidamente o atributo `attr` desta chamada.



FEUP

MIEIC
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Exemplo - criação e terminação

NOTA:
nos exemplos que se seguem não são feitos testes de erro nas chamadas
para melhorar a legibilidade dos programas

```
#include <stdio.h>
#include <pthread.h>
#include <unistd.h>

int global;

void *thr_func(void *arg);

int main(void)
{
    pthread_t tid;

    printf("Hello from main thread\n");
    pthread_create(&tid, NULL, thr_func, NULL);
    pthread_exit(NULL);
}

void *thr_func(void *arg)
{
    sleep(3);
    printf("Hello from auxiliar thread\n");
    return NULL;
}
```

NÃO FAZER ISTO NOS
TRABALHOS PRÁTICOS

NOTA:
desta forma, o *thread* auxiliar
pode continuar a executar
mesmo depois de `main()` terminar



FEUP

MIEIC
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Exemplo - criação de múltiplos *threads*

```
...
void * thrfunc(void * arg)
{
    int i;

    fprintf(stderr, "Starting thread %s\n", (char *) arg);
    for (i = 0; i < 10000; i++) write(1, (char *) arg, 1);
    return NULL;
}

int main()
{
    ...
    int retcode;
    pthread_t ta, tb;
    void * retval;

    retcode = pthread_create(&ta, NULL, thrfunc, "A");
    retcode = pthread_create(&tb, NULL, thrfunc, "B");
    ...
    retcode = pthread_join(ta, &retval);
    retcode = pthread_join(tb, &retval);
    ...
    return 0;
}
```

SAÍDA:

```
Starting thread A
AAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAA
AAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAA
AAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAA
...
AAStarting thread B
BBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBB
BBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBB
...
BBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBB
BBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBB
AAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAA
AAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAA
AAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAA
...
AAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAA
AAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAA
AAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAA
BBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBB
BBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBB
BBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBB
...
BBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBB
AAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAA
AAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAA
...
AAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAA
AAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAA
AAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAA
BBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBB
BBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBB
...
...
BBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBB
BBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBB
BBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBB
```



FEUP

MIEIC
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Exemplo - passagem de valores usando variáveis globais

```
#include <stdio.h>
#include <pthread.h>

int global;

void *thr_func(void *arg);

int main(void)
{
    pthread_t tid;

    global = 20;
    printf("Main thread: %d\n", global);
    pthread_create(&tid, NULL, thr_func, NULL);
    pthread_exit(NULL);
}

void *thr_func(void *arg)
{
    printf("Aux thread: %d\n", global);
    return NULL;
}
```



FEUP

MIEIC
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Exemplo - passagem de valores usando variáveis globais

```

#include <stdio.h>
#include <pthread.h>

int global;

void *thr_func(void *arg);

int main(void)
{
    pthread_t tid;

    global = 10;
    printf("Main thread: %d\n", global);
    pthread_create(&tid, NULL, thr_func, NULL);
    pthread_join(tid, NULL);
    printf("Main thread: %d\n", global);
    return 0;
}

void *thr_func(void *arg)
{
    global++;
    printf("Aux thread: %d\n", global);
    return NULL;
}

```

o *thread* principal esperou que o *thread* auxiliar terminasse

o programa pode terminar sem problema



FEUP

MIEIC
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Exemplo - passagem / retorno de valores em argumentos

```

#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <pthread.h>

void *thr_func(void *arg);

int main(void)
{
    pthread_t tid;
    int k = 10;
    void *r;

    pthread_create(&tid, NULL, thr_func, &k);
    pthread_join(tid, &r);
    printf("Main thread: %d\n", *(int *)r);
    free(r);
    return 0;
}

void *thr_func(void *arg)
{
    void *ret;
    int value;

    value = *(int *) arg;
    printf("Aux thread: %d\n", value);
    value++;
    ret = malloc(sizeof(int));
    *(int *)ret = value;
    return ret;
}

```

NOTAR



FEUP

MIEIC
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Exemplo - passagem de argumentos

```
#include <pthread.h>
#include <stdio.h>
#define NUM_THREADS 5

void *PrintHello(void *threadnum)
{
    printf("Thread %d: Hello World!\n",
        *(int *)threadnum);
    pthread_exit(NULL);
}

int main()
{
    pthread_t tid[NUM_THREADS];
    int t;
    for(t=0; t<NUM_THREADS; t++){
        printf("Creating thread %d\n", t);
        pthread_create(&tid[t], NULL, PrintHello, &t);
    }
    ...
}
```

PASSAGEM INCORRECTA DE ARGUMENTOS:

Porquê ?



FEUP

MIEIC
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Exemplo - passagem de argumentos

```
#include <pthread.h>
#include <stdio.h>
#define NUM_THREADS 5

void *PrintHello(void *threadnum)
{
    printf("Thread %d: Hello World!\n",
        *(int *)threadnum);
    pthread_exit(NULL);
}

int main()
{
    pthread_t tid[NUM_THREADS];
    int t;
    for(t=0; t<NUM_THREADS; t++){
        printf("Creating thread %d\n", t);
        pthread_create(&tid[t], NULL, PrintHello, &t);
    }
    ...
}
```

```
...
int thrarg[NUM_THREADS];
for(t=0; t < NUM_THREADS; t++)
{
    thrarg[t] = t;
    printf("Creating thread %d\n", t);
    pthread_create(&threads[t], NULL,
        PrintHello,
        &thrarg[t]);
}
...

```

PASSAGEM CORRECTA DE ARGUMENTOS:

PASSAGEM INCORRECTA DE ARGUMENTOS:

o ciclo que cria os *threads* modifica
o conteúdo do endereço passado como argumento
possivelmente antes de o *thread* criado conseguir aceder-lhe



FEUP

MIEIC
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Exemplo - passagem de argumentos

```
...
int main(void) {
    int thrarg[NUM_THREADS];

    for(t=0; t < NUM_THREADS; t++)
    {
        thrarg[t] = t;
        printf("Creating thread %d\n", t);
        pthread_create(&threads[t], NULL,
                      PrintHello,
                      &thrarg[t]);
    }
    ...
}
```

**PASSAGEM CORRECTA
DE ARGUMENTOS**

```
...
int main(void) {
    int *thrarg[NUM_THREADS];
    ...

    for(t=0; t < NUM_THREADS; t++)
    {
        thrarg[t] = (int *) malloc(sizeof(int));
        *thrarg[t] = t;
        printf("Creating thread %d\n", t);
        pthread_create(&threads[t], NULL,
                      PrintHello,
                      thrarg[t]);
    }
    ...
}
```

SOLUÇÃO ALTERNATIVA

Quando se justifica que o espaço
p/os argum.s seja reservado no "heap" ?
Haveria alguma alternativa ?



FEUP

MIEIC
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Exemplo - criação e terminação

```
#include <stdio.h>
#include <pthread.h>
#include <unistd.h>

int global=0;

void *thr_func(void *arg)
{
    while (global++ < 20) {
        printf("t%d - %d\n",*(int *)arg,global); sleep(1);
    }
    return NULL;
}

int main(void)
{
    pthread_t tid;
    int t1=1, t2=2;

    printf("Hello from main thread\n");
    pthread_create(&tid, NULL, thr_func, (void *)&t1);
    pthread_create(&tid, NULL, thr_func, (void *)&t2);
    pthread_exit(NULL);
}
```

SAÍDA:

```
Hello from main thread
t1 - 1
t2 - 2
t2 - 3
t1 - 4
t1 - 5
t2 - 6
t2 - 7
t1 - 8
t1 - 9
t2 - 10
t2 - 11
t1 - 12
t1 - 13
t2 - 14
t2 - 15
t1 - 16
t1 - 17
t2 - 18
t2 - 19
t1 - 20
```

Haverá aqui algum "perigo" na utilização da variável global?



FEUP

MIEIC
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Exemplo - passagem de argumentos múltiplos

```
...
struct thread_data {
    int  thread_num;
    int  value;
    char *message; };

struct thread_data thr_data_array[NUM_THREADS];

void *PrintHello(void *thread_arg)
{
    struct thread_data *my_data;
    ...
    my_data = (struct thread_data *) thread_arg;
    tasknum = my_data->thread_num;
    value = my_data->value;
    hello_msg = my_data->message;
    ...
}

int main()
{
    ...
    thread_data_array[t].thread_num = t;
    thread_data_array[t].value = x;
    thread_data_array[t].message = messages[t];
    pthread_create(&threads[t], NULL, PrintHello, (void *) &thr_data_array[t]);
    ...
}
```



FEUP

MIEIC
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto**Notas finais**

-
- As funções invocadas num *thread* têm de ser thread-safe.
 - As funções thread-unsafe podem ser classificadas em 4 classes:
 - » Classe 1 - não protegem variáveis partilhadas
 - » Classe 2 - baseiam-se na persistência de estado entre invocações
 - » Classe 3 - retornam um apontador para uma variável estática
 - » Classe 4 - invocam funções *thread-unsafe*
 - Uma função diz-se reentrante se e só se não aceder a variáveis partilhadas quando invocada por várias *threads*;
as funções reentrantes são um sub-conjunto das funções *thread-safe*
 - A maior parte das chamadas de sistema em Unix são *thread-safe* com poucas exceções
 - » ex: `asctime`, `ctime`, `gethostbyaddr`, `gethostbyname`,
`inet_ntoa`, `localtime`, `rand`
Destas, todas pertencem à Classe 3 (acima) com excepção de `rand` que pertence a Classe 2.
Para estas funções existe normalmente uma função reentrante com o mesmo nome acrescido de `_r` (ex: `ctime_r`).



FEUP

MIEIC
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto