Modularité

François Trahay

CSC4103 – Programmation système

2021–2022

1 Objectifs de la séance

- Savoir modulariser un programme
- Savoir définir une chaîne de compilation
- Maîtriser les options de compilations courantes

2 Modularité en C vs. Java

Beaucoup de concepts sont les même qu'en Java

- **Interface** d'un module: partie publique accessible d'autres modules
  - prototype des fonctions
  - définition des constantes et types
- **Implémentation** d'un module: partie privée
  - définition et initialisation des variables
  - implémentation des fonctions
- **Bibliothèque** (en anglais: *library*) : regroupe un ensemble de modules
  - Equivalent des *packages* java

2.1 Module en C

Deux fichiers par module. Par exemple, pour le module `mem_alloc`:

- Interface: fichier `mem_alloc.h` (fichier d'*entête* / *header*)
  - défini les constantes/types
  - déclare les prototypes des fonctions "publiques" (*ie.* accessible par les autres modules)
- Implémentation: fichier `mem_alloc.c`
  - utilise `mem_alloc.h` : `#include "mem_alloc.h"`
  - utilise les constantes/types de `mem_alloc.h`
  - déclare/initialise les variables
  - implémente les fonctions
- Utiliser le module `mem_alloc` (depuis le module `main`)
  - utilise `mem_alloc.h` : `#include "mem_alloc.h"`
  - utilise les constantes/types de `mem_alloc.h`
  - appelle les fonctions du module `mem_alloc`

2.2 Exemple: le module `mem_alloc`

mem_alloc.h

```c
/* mem_alloc.h */
#include <stdlib.h>
#include <stdint.h>
#define DEFAULT_SIZE 16

typedef int64_t mem_page_t;
struct mem_alloc_t {
  /* [...] */
};

/* Initialize the allocator */
void mem_init();

/* Allocate size consecutive bytes */
int mem_allocate(size_t size);

/* Free an allocated buffer */
void mem_free(int addr, size_t size);
```

mem_alloc.c

```c
/* mem_alloc.c */
#include "mem_alloc.h"
struct mem_alloc_t m;
void mem_init() {  /* ... */  }
int mem_allocate(size_t size) {
  /* ... */
}
void mem_free(int addr, size_t size) {
  /* ... */
}
```

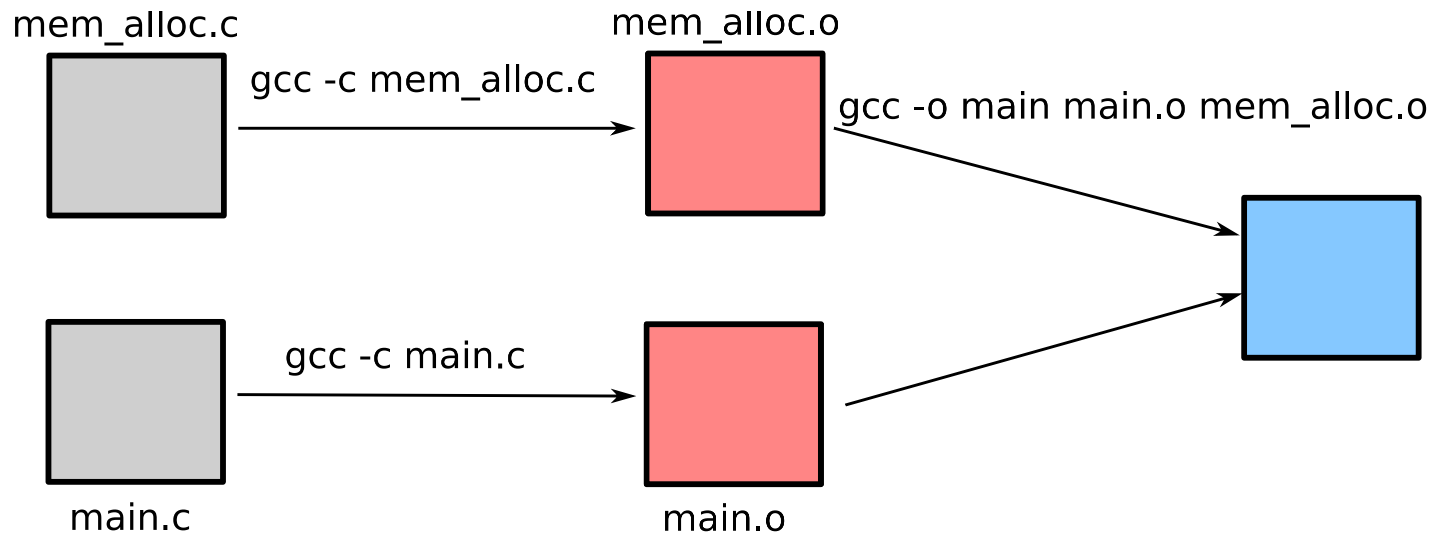
main.c

```c
#include "mem_alloc.h"
int main(int argc, char**argv) {
  mem_init();
  /* ... */
}
```

3 Compilation de modules

Compilation en trois phases:

- Le **preprocesseur** prépare le code source pour la compilation
- Le **compilateur** transforme des instructions C en instructions "binaires"
- L'**éditeur de liens** regroupe des fichiers objets et crée un `exécutable`



3.1 Préprocesseur

Le **préprocesseur** transforme le code source pour le compilateur

- génère du code source
- interprète un ensemble de directives commençant par #
  - `#define N 12` substitue `N` par 12 dans le fichier
  - `#if <cond> ... #else ... #endif` permet la compilation conditionnelle
  - `#ifdef <var> ... #else ... #endif` (ou l'inverse: `#ifndef`) permet de ne compiler que si `var` est défini (avec `#define`)
  - `#include "fichier.h"` inclue (récursivement) le fichier `"fichier.h"`
- résultat visible avec : `gcc -E mem_alloc.c`

3.2 Compilateur

Compilation : transformation des instructions C en instructions “binaires”

- appliquée à chaque module
- `gcc -c mem_alloc.c`
- génère le **fichier objet** `mem_alloc.o`
- génère des instructions “binaires” dépendantes du processeur

3.3 Éditeur de liens

Édition de liens : regroupement des fichiers

- **objets** pour créer un **exécutable**
- `gcc -o executable mem_alloc.o module2.o [...]  moduleN.o`

3.4 Fichiers ELF

- Les fichiers objets et exécutables sont sous le format **ELF** (*Executable and Linkable Format*)
- Ensemble de sections regroupant les symboles d'un même type:
  - `.text` contient les fonctions de l'objet
  - `.data` et `.bss` contiennent les données initialisées (`.data`) ou pas (`.bss`)
  - `.symtab` contient la *table des symboles*
- Lors de l'édition de liens ou du chargement en mémoire, les sections de tous les objets sont fusionnés

3.5 Portée des variables locales

Une variable déclarée dans une fonction peut être

- **locale** : la variable est allouée à l'entrée de la fonction et désallouée à sa sortie
  - exemple: `int var;` ou `int var2 = 17;`
- **statique** : la variable est allouée à l'initialisation du programme.
  - Sa valeur est conservée d'un appel de la fonction à l'autre.
  - utilisation du mot-clé `static`
  - exemple: `static int var = 0;`

3.6 Portée des variables globales

Une variable déclarée dans le fichier `fic.c` en dehors d'une fonction peut être:

- **globale** : la variable est allouée au chargement du programme et désallouée à sa terminaison
  - exemple: `int var;` ou `int var2 = 17;`
  - la variable est utilisable depuis d'autres objets
- **extern** : la variable est seulement déclarée
  - équivalent du prototype d'une fonction: la déclaration indique le type de la variable, mais celle ci est allouée (ie. déclarée globale) ailleurs
  - utilisation du mot-clé `extern`
  - exemple: `extern int var;`
- **statique** : il s'agit d'une variable globale accessible seulement depuis `fic.c`
  - utilisation du mot-clé `static`
  - exemple: `static int var = 0;`

4 Bibliothèque

- Regroupement de fichiers objets au sein d'une bibliothèque
  - Équivalent d'un *package* Java
  - Accès à tout un ensemble de modules
- Utilisation
  - dans le code source: `#include "mem_alloc.h"`, puis utilisation des fonctions
  - lors de l'édition de lien: ajouter l'option `-l`, par exemple: `-lmemory`
    - Utilise la bibliothèque `libmemory.so` ou `libmemory.a`

4.1 Création d'une bibliothèque

2 types de bibliothèques

- **Bibliothèque statique** : `libmemory.a`
  - Intégration des objets de la bibliothèque au moment de l'édition de liens
  - Création: `ar rcs libmemory.a mem_alloc.o mem_plip.o mem_plop.o [...]`
- **Bibliothèque dynamique** : `libmemory.so`
  - Intégration des objets de la bibliothèque à l'exécution
  - Lors de l'édition de liens: une référence vers la bibliothèque est intégrée à l'exécutable
  - Création: `gcc -shared -o libmemory.so mem_alloc.o mem_plip.o mem_plop.o [...]`
    - les objets doivent être créés avec l'option `-fPIC`:
    - `gcc -c mem_alloc.c -fPIC`

4.2 Organisation

Organisation classique d'un projet:

- src/
  - module1/
    - module1.c
    - module1.h
    - module1_plop.c
  - module2/
    - module2.c
    - module2.h
    - module2_plip.c
  - etc.
- doc/
  - manual.tex
- etc.

Besoin d'utiliser des `flags`:

- `-Idir` indique où chercher des fichiers `.h`

```
gcc -c main.c -I../memory/
```

- `-Ldir` indique à l'éditeur de lien où trouver des bibliothèques

```
gcc -o executable main.o \
  -L../memory/ -lmem_alloc
```

À l'exécution:

- la variable `LD_LIBRARY_PATH` contient les répertoires où chercher les fichiers `.so`

```
export LD_LIBRARY_PATH=.:../memory
```

5 Makefile

- Arbre des dépendances
  - “Pour créer `executable`, j’ai besoin de `mem_alloc.o` et `main.o`”
- Action
  - “Pour créer `executable`, il faut lancer la commande `gcc -o executable mem_alloc.o main.o`”
- Syntaxe: dans un fichier `Makefile`, ensemble de règles sur deux lignes:
  - `cible : dependance1 dependance2 ... dependanceN`
  - `<TAB>commande`
- Pour lancer la compilation: commande `make`
  - Parcourt l’arbre de dépendance et détecte les cibles à regénérer
  - Exécute les commandes pour chaque cible