Pratique du C
Introduction aux pointeurs

Licence Informatique — Université Lille 1
Pour toutes remarques : Alexandre.Sedoglavic@univ-lille1.fr

Semestre 4 — 2017-2018

Pratique du C
Introduction aux pointeurs
Les pointeurs : notions de base
Les opérateurs liés aux pointeurs
Arithmétique sur les pointeurs
Pointeurs et passage de paramètres par adresse
Pointeurs et tableaux
Pointeurs de structures et d'union

Notion de pointeurs :

- la mémoire physique est vue comme une suite finie d'octets ;
- un pointeur est une variable contenant l'adresse d'une autre variable ;
  `int i = 43 ; int *p_i ; p_i = &i ;`
- une valeur de type pointeur est une adresse mémoire ;
- un pointeur est donc un espace mémoire pouvant contenir une adresse :

label	. . .		i				p_i			
adresse	0	. . .	x	x+1	x+2	x+3	x+4	x+5	x+6	x+7
octet	. . .		43				x			

Pratique du C
Introduction aux pointeurs
Les pointeurs : notions de base
Les opérateurs liés aux pointeurs
Arithmétique sur les pointeurs
Pointeurs et passage de paramètres par adresse
Pointeurs et tableaux
Pointeurs de structures et d'union

Déclaration d'un pointeur

- pointeur : caractérisé par le type de la variable pointée ;
- déclaration : *type_pointé* ∗*identificateur_pointeur* ; ;
- *type_pointé* : peut être d'un type quelconque ;
- la classe d'allocation de la variable pointée peut être tout sauf *register* i.e. la variable pointée peut être externe, statique, automatique (voir cours correspondant) ;
- exemples :

```
int foo ;                        .data
int *p_foo ;                      .globl foo   .size foo,4
                           foo:   .long   44
short int bar   ;                 .globl p_foo .size p_foo,4
short int *p_bar ;         p_foo: .long   foo
                                  .globl bar   .size bar,2
foo=44 ; p_foo=&foo;       bar:   .value  44
bar=44 ; p_bar=&bar;              .globl p_bar .size p_bar,4
                           p_bar: .long   bar
```


Pratique du C
Introduction aux pointeurs
Les pointeurs : notions de base
Les opérateurs liés aux pointeurs
Arithmétique sur les pointeurs
Pointeurs et passage de paramètres par adresse
Pointeurs et tableaux
Pointeurs de structures et d'union

L'opérateur &

Cet opérateur retourne l'adresse d'un objet : opérateur "adresse de"

- il est unaire & : adresse mémoire d'un objet ;
- il ne s'applique qu'à des objets en mémoire : variables, éléments de tableaux, fonctions ;
- Exemple : `int i, *p; p = &i;`

On utilise une constante dénommée "pointeur nul" :

```
#define NULL 0
```

et définie dans stddef.h (qui est inclus par le biais de stdio.h). C'est la convention pour une adresse invalide (lorsqu'un pointeur n'est pas initialisé par exemple).

Pratique du C
Introduction aux pointeurs
Les pointeurs : notions de base
Les opérateurs liés aux pointeurs
Arithmétique sur les pointeurs
Pointeurs et passage de paramètres par adresse
Pointeurs et tableaux
Pointeurs de structures et d'union

L'opérateur ∗

Il s'agit du déréférencement ou encore de l'opérateur d'indirection.

- c'est un opérateur unaire ∗ qui retourne la valeur de l'objet pointé ;
- il s'applique à un pointeur de manière préfixée ;
- l'expression de retour est de même type que la valeur pointée ;
- il peut aussi apparaître en partie gauche d'affectation (*lvalue*) ;
- Exemple :
  int i,j, ∗p = &i ;
  ∗p = 4 ; j = ∗p + 1 ;

Pratique du C
Introduction aux pointeurs
Les pointeurs : notions de base
Les opérateurs liés aux pointeurs
Arithmétique sur les pointeurs
Pointeurs et passage de paramètres par adresse
Pointeurs et tableaux
Pointeurs de structures et d'union

Exemple de déréférencement et d'utilisation d'un pointeur :

```
/* avec les d\'efinitions      .text
   introduites dans les        .globl main
   transparents pr\'ec\'edents .type   main,@function
*/                             main:
                                     ......
                               movl    p_bar, %eax
int                            movswl  (%eax),%eax
main                           addl    %eax, %eax
(void)                         movw    %ax, bar
{                              movl    p_foo, %edx
   bar = *p_bar * 2 ;          movl    p_foo, %eax
   *p_foo += 4 ;               movl    (%eax), %eax
   return 0 ;                  addl    $4, %eax
}                              movl    %eax, (%edx)
                                  ......
```

Attention

Les instructions :

```
int foo ;
int *p_foo = &foo ;
```

ne sont pas équivalentes aux instructions :

```
int foo ;
int *p_foo ;
*p_foo = &foo ;
```

Il ne faut savoir sur quoi pointent vos pointeurs ; les instructions :

```
int *ptr  ;
*ptr = 0 ;
```

provoqueront probablement une erreur de segmentation car `ptr` n'est pas initialisé (on ne sait pas sur quoi il pointe).

Pointeur de type void

Pointeur vers le type `void` :

- pointeur vers un type *quelconque* ;
- le déréférencement ne s'y applique pas ;
- utiliser l'opérateur de conversion explicite de type.

Exemple :

```
int foo ;

void * p_qlcq = &foo  ;

int
main
(void)
{
        foo =  * (int *) p_qlcq ;
        /*  "foo = *p_qlcq ; " est impossible */
        return 0 ;
}
```


Affectation à un pointeur

Les pointeurs peuvent s'utiliser en valeur gauche (affectation) à condition que :

- les pointeurs soient de même type i.e. même type d'objet pointé ;
- on affecte l'adresse d'une variable du type pointé ;
- l'expression de retour est un pointeur sur le type pointé.

Il est possible d'affecter une constante pointeur `NULL`.

```
int  a, *p_a =&a ;
char b, *p_b =&b ;
char c, *p_c =&c ;

   *p_a = *p_b ; /* conversion implicite */
   p_b  = p_c  ; /*   valide             */
/* p_a  = p_b  ;     invalide            */
```


Addition d'un pointeur et d'un entier :

- si `p` est un pointeur vers des objets de type `T` ;
- et `n` est un entier ;
- alors `p + n` est une expression
  - de type pointeur vers des objets de type `T`,
  - et de valeur l'adresse du `n`*ième* objet suivant celui pointé par `p` ;
- l'addition prend en compte la taille de l'objet.

```
int foo = 20 ;             .data
int *p_foo = &foo ;        .globl foo    .size   foo,4
                     foo:  .long   20
int                        .globl p_foo .size   p_foo,4
main               p_foo:  .long   foo
(void)                     .text
{                          .globl main
  p_foo += 3 ;      main:   ........
  return 0 ;                addl    $12, p_foo
}                          ........
```


Spécificité du type void * — Soustraction

On ne peut faire de l'arithmétique de pointeurs de type void.

Soustraction d'un pointeur et d'un entier (identique à l'addition) :

- la valeur étant l'adresse du `n`*ième* objet précédent celui pointé par `p`.

Différence de pointeurs :

- si `p` et `q` sont des pointeurs de même type ;
- alors `p - q` est une expression :
  - de type entier,
  - dont la valeur est le nombre d'objets situés entre `p` et `q` inclus.

Autres opérations

Comparaison de pointeurs :

- si `p` et `q` sont des pointeurs de même type ;
- tous les opérateurs de comparaison sont utilisables ;
- `p == q` : même objet pointé (adresse identique) ;
- `p < q` : `p` pointe un objet précédent celui pointé par `q` ;
- comparaison à `NULL` possible.

Calcul sur les pointeurs cohérent :

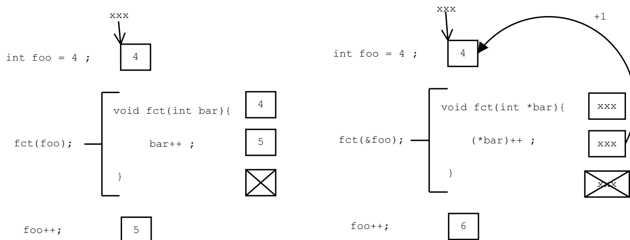
- prend en compte la taille des objets pointés ;
- `char *p; p=p+1;` : fait "avancer" `p` de 1 octet ;
- `int *p; p=p+1;` : fait "avancer" `p` de 4 octets ;
- arithmétique basée sur la taille des objets pointés (`sizeof`).

Tout autre calcul sur les pointeurs est *illicite*.

Lors de l'appel de fonction, le passage de paramètres est par valeur :

donc, pas d'effet de bord possible sur le paramètre dans l'appelante.

Les pointeurs permettent un effet latéral : c'est le passage par adresse.



Dans un langage "classique" : après la déclaration d'un tableau `t` :

- `t` est une variable ;
- `t` est de type tableau de *quelque chose* ;
- `t` désigne le tableau en son entier.

En C :

- `t` **n'est pas** une variable ;
- `t` **n'est pas** de type tableau de *quelque chose* ;
- `t` **ne désigne pas** le tableau en son entier.

Ainsi, si on a `int t[10];` :

- `t` est une **constante** ;
- `t` est du type **pointeur vers** `int` ;
- valeur de `t` : adresse du premier élément du tableau ;

Si `t` est un tableau, alors `t` ≡ `&t[0]`.

Pointeurs et tableaux partagent abusivement des opérateurs

Il y a équivalence de notation :

Si `t` est un tableau, `t[i]` ≡ `*(t + i)`

- un opérateur d'indexation est inutile dans le langage ;
- mais l'indexation est tout de même applicable à des variables de type pointeur ;

```
int tab[2] = { 1, 2 } ;                  .data
                                  tab:   .long    1,2
int *p = tab ;                      p:   .long    tab
                                         .text
int                              main:  .....
main                                     movl     tab, %eax
(void)                                   movl     %eax, tab+4
{                                        movl     p, %edx
 *(tab+1) = *tab ;                       addl     $4, %edx
  p[1] = p[0] ;                          movl     p, %eax
  return 0 ;                             movl     (%eax), %eax
}                                        movl     %eax, (%edx)
```


Passage de tableaux en paramètre

En conséquence des similitudes entre pointeurs et tableaux :

- un paramètre tableau est l'adresse du premier élément ;
- c'est une *variable* locale à la fonction : donc copie de l'adresse ! ! ! !
  Le passage de paramètre est systématiquement par adresse i.e. le tableau est modifié ! ! !
- deux syntaxes sont possibles :
  - par pointeur :

```
void inc_tab(int *tableau, int size) {
  register int i;
  for (i = 0; i < size; i = i + 1;)
    *(tableau + i) = *(tableau + i) + 1;
}
```

  - par tableau :

```
void inc_tab(int tableau[], int size) {
  register int i;
  for (i = 0; i < size; i = i + 1;)
    tableau[i] = tableau[i] + 1;
}
```


Pointeur et tableau multidimensionel (I)

```
                                            .globl tab .data
char tab[3][4] = {"123","456","789"} ; tab:     .string "123"
char *foo=NULL;                              .string "456"
char bar=0 ;                                 .string "789"
int main(void){                              .globl foo
        foo = *(tab+1) ;                foo:     .long 0
        bar = *(*(tab+2)) ;             .globl bar
        bar = foo[2] ;                  bar:     .byte 0
        return 0 ;                           .text
}                                       .globl main
                                        main:  .........
/* la syntaxe des pointeurs                movl $tab+4, foo
   s'applique aux tableaux                 movb tab+8, %al
   et celles des tableaux                  movb %al, bar
   aux pointeurs bien qu'il ne             movl foo, %eax
   s'agissent  pas exactement              addl $2, %eax
   des m\^emes types d'objet */            movb (%eax), %al
                                           movb %al, bar
                                             ...........
```


Pointeur et tableau multidimensionel (II)

Les pointeurs permettent un codage des tableaux multidimensionnels par un "arbre" :

```
#include <stdio.h>
char tab[3][4] = {"123","456","789"} ;

char *foo[3] = {NULL,NULL,NULL} ; /* ce sera char **foo ; */
                                  /* lorsque nous saurons faire */
int                               /* de l'allocation dynamique  */
main                              /* (prochain cours).          */
(void)
{
     foo[0] = tab[0] ;
     foo[1] = tab[1] ;
     foo[2] = tab[2] ;
     return (int) foo[1][1] ;
}
```

Pointeurs et types composés

Pointeur sur une structure : usage de l'opérateur de sélection ->

En utilisant un exemple du cours précédent :

```
struct adresse {
  int num;
  char rue[40];
  long int code;
  char ville[20];
};

struct adresse var, *ptr = &var;

ptr->num=39; (*ptr).code = 59000 ;
ptr->rue[0]=N ; (*ptr).rue[1] = i;
```

accès : *(*pointeur_union).membre* ou *pointeur_union->membre*

Pratique du C
Introduction aux pointeurs

Les pointeurs : notions de base
Les opérateurs liés aux pointeurs
Arithmétique sur les pointeurs
Pointeurs et passage de paramètres par adresse
Pointeurs et tableaux
Pointeurs de structures et d'union

On peut maintenant jouer avec les pointeurs. . .

```
enum bool_m {FALSE,TRUE} ;

enum bool_m *p_bool_v, bool_v ;

int
main
(void)
{
       bool_v    = TRUE    ;
       p_bool_v = &bool_v ;
       return *p_bool_v   ;
}
```

tout en ayant une idée claire de ce qui se passe en mémoire.
(au besoin, gdb peut nous aider).

V46 (01-10-2010) www.fil.univ-lille1.fr/~sedoglav/C/Cours05.pdf