Ponteiros

Os tipos básicos são representados em memória por grupos de células de memória.

Um ponteiro é um grupo de células capaz de guardar um endereço de memória.

Na arquitetura X86-64 um ponteiro tem a dimensão de 8 bytes.

O **operador &** aplica-se a uma variável e serve para obter o ponteiro para essa variável (que é o seu endereço de memória).

```
char c;
char * p = &c;
```

O **operador *** aplica-se a um ponteiro e acede ao valor apontado (conteúdo de). Operador desreferenciação.

Sendo **p** um ponteiro para inteiro, ***p** representa um inteiro e pode aparecer no lugar de um inteiro.

& - ponteiro para

* - conteúdo de

Ponteiros como argumento de funções

A linguagem C só tem passagem de parâmetros por valor.

O tipo ponteiro permite passar, como valor de um parâmetro, a referência de uma variável (endereço).

Através desse ponteiro pode-se aceder ao conteúdo da variável, simulando-se assim uma passagem por referência.

```
void swap(int *pa, int *pb) {
      int aux = *pa;
      *pa = *pb;
      *pb = aux;
}

int a = 22, b = 33;
int main() {
      swap(&a, &b);
}
```

```
void swap(int pa, int pb) {
      int aux = pa;
      pa = pb;
      pb = aux;
}

int a = 22, b = 33;
int main() {
      swap(a, b);
}
```

Ponteiros e arrays

```
int a[10], *p;
```

O identificador do array – **a** é equivalente ao ponteiro para a primeira posição - **&a[0]**

p = **a** é equivalente a **p** = **&a[0]**

As operações sobre *arrays* com operador indexação podem ser escritas com notação de ponteiros.

	acesso a conteúdo	ponteiros para posições do *array*
operador indexação	`a[0]  a[1]  a[i]`	`&a[0] &a[1] &a[i]`
notação de ponteiro	`*a  *(a + 1) *(a + i)`	`a  a + 1  a + i`

a não é uma variável, é um valor constante do tipo ponteiro. Não é possível **a**++ ou **a** = **p**.

Exemplo

Ordenar um *array* de inteiros

```
void sort(int array[], size_t size) {
      for (size_t i = 0; i < size - 1; ++i)
            for (size_t j = 0; j < size - i - 1; ++j)
                  if (array[j] > array[j + 1])
                        swap(&array[j], &array[j + 1]);
}
void print(int array[], size_t size) {
      putchar('\n');
      for (size_t i = 0; i < size; ++i)
            printf("%d ", array[i]);
      putchar('\n');
}

int array[] = {1, 2, 20, 4, 5, 30, 10, 34, 22};

int main() {
      print(array, ARRAY_SIZE(array));
      sort(array, ARRAY_SIZE(array));
      print(array, ARRAY_SIZE(array));
}
```

Programação alternativa usando notação de ponteiro. (A utilização de ponteiros pode, eventualmente, ser melhor).

```
void sort(int *array, size_t size) {
      for (size_t i = 0; i < size - 1; ++i)
            for (int *p = array; p < array + size - i - 1; ++p) {
                  if (*p > *(p + 1))
                        swap(p, p + 1);
            }
}
```

A cópia de *arrays* não pode ser feita assim:

```
int values[] =  {34, 40, 36, 36, 37, 33, 33, 32};
int buffer[100];
buffer = values;
```

`buffer` e **`values`**, sem o operador indexação, equivalem aos ponteiros para a primeira posição dos *arrays*.

A cópia tem que ser feita elemento a elemento.

Ponteiros para caracteres

`char message[] = "texto para teste";`	*array* de carateres
`char * pmessage = "texto para teste";`	ponteiro para array de caracteres com atributo de constante

`message[i]` dá acesso ao mesmo caracter que **`pmessage[i]`**

String

Na linguagem C, *string* é equivalente a um *array* de caracteres terminados por 0.

A biblioteca da linguagem normaliza funções para manipulação de *strings*.

Array como argumento de funções

Quando se passa um *array* como argumento de função efetivamente está-se a passar o ponteiro para a primeira posição. Internamente à função, o parâmetro é suportado numa variável local do tipo ponteiro.

`void to_upper(char str[])` é equivalente a **`void to_upper(char *str)`**

`to_upper("uma string constante");`	*string* constante
`to_upper(array);`	*array* de caracteres - **`char array[10]`**
`to_upper(ptr);`	variável do tipo ponteiro - **`char *ptr`**

Aritmética de ponteiros

Princípio básico: se **`p`** é um ponteiro para um elemento de um array então **`p + 1`** é o ponteiro para o elemento seguinte.

Admitindo que a unidade de endereçamento da arquitetura de processador é o *byte*.

Se o tipo **char** ocupar um *byte* em memória **`p + 1`** incrementa o endereço de uma unidade.

Se o tipo **float** ocupar quatro *bytes* em memória **`p + 1`** incrementa o endereço de quatro unidades.

`p++`	pós-incrementa **`p`** do número de *bytes* igual à dimensão de um elemento.
`++*p`	pré-incrementa o valor apontado por **`p`**.
`*++p`	pré-incrementa o ponteiro e depois desreferencía-o acedendo ao valor apontado.
`*p++`	desreferencía o ponteiro acedendo ao elemento apontado e depois incrementa o ponteiro.
`p + n`	aponta para o elemento **`n`** posições à frente do elemento apontado por **`p`**. Se **`n`** tiver o valor 4, **`p`** será aumentado de **`4 * sizeof(*p)`** *bytes*.
`p - q`	representa o número de elementos entre os ponteiros **`p`** e **`q`**.

Não é possível realizar outras operações sobre ponteiros. Por exemplo, não é possível somar dois ponteiros.

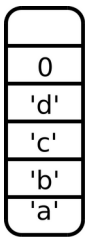
Ponteiro tipo void

Um ponteiro para **void** não pode ser desreferenciado, somado ou subtraído, porque o elemento

apontado é indefinido.

Por omissão, o compilador gcc trata o ponteiro para void como ponteiro para char para efeito de aritmética de ponteiros (não está segundo a norma).

Uma variável do tipo ponteiro para void pode receber ponteiros de qualquer tipo. Assim como afetar ponteiros de qualquer tipo.



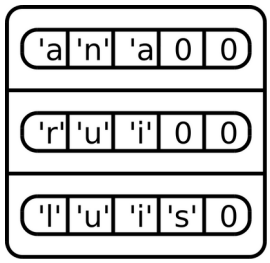
Array bidimensional

```
char a[6] = "abcd";
```

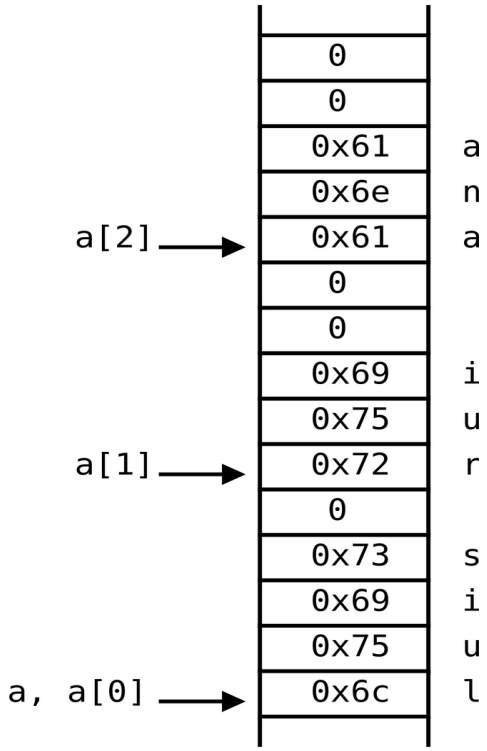
a é um *array*; os elementos do *array* são caracteres

```
char a[][5] = {"luis", "rui", "ana"};
```

a é um *array*; os elementos do *array* são *arrays* de caracteres



Visualização em memória



Exemplo

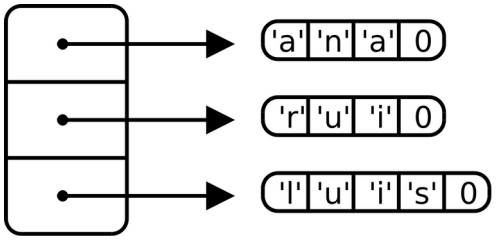
Ordenar uma sequência de nomes de pessoas, representados num *array* bidimensional de caracteres.

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

void swap(char a[], char b[]) {
      size_t i;
```

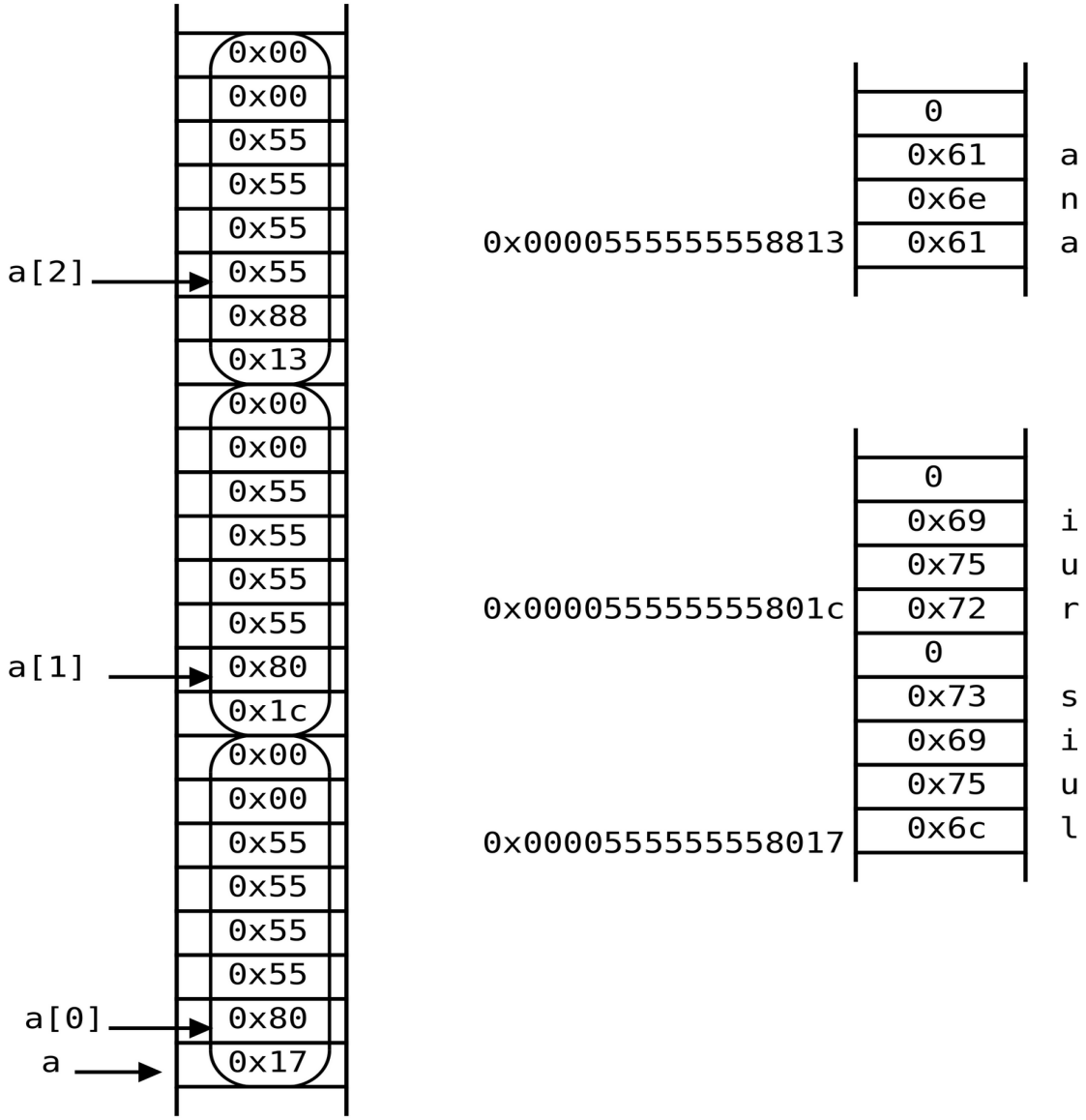
```
	for (i = 0; a[i] != 0 && b[i] != 0; ++i) {
		char tmp = a[i];
		a[i] = b[i];
		b[i] = tmp;
	}
	if (a[i] == 0) {
		for (; b[i] != 0 ; ++i)
			a[i] = b[i];
		a[i] = 0;
	}
	else {
		for (; a[i] != 0 ; ++i)
			b[i] = a[i];
		b[i] = 0;
	}
}

void sort(char array[][100], int size) {
	for (size_t i = 0; i < size - 1; ++i)
		for (size_t j = 0; j < size - i - 1; ++j)
			if (strcmp(array[j], array[j + 1]) > 0)
				swap(array[j], array[j + 1]);
}

void print(char array[][100], size_t size) {
	putchar('\n');
	for (size_t i = 0; i < size; ++i)
		printf("%s\n", array[i]);
}

char names[][100] = {
	"antonio manuel",
	"joaquim antunes",
	"manuel francisco",
	"luis alfredo"
};

int main() {
	int i;
	print(names, ARRAY_SIZE(names));
	sort(names, ARRAY_SIZE(names));
	print(names, ARRAY_SIZE(names));
}
```

Array de ponteiros

```
char *a[] = {"luis", "rui", "ana"};
```



Visualização em memória



Exemplo

Ordenar uma sequência de nomes, representada como um *array* de ponteiros para *strings*.

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

void swap(char **a, char **b) {
      char *aux = *a;
      *a = *b;
      *b = aux;
}

void sort(char *array[], int size) {
      for (size_t i = 0; i < size - 1; ++i)
            for (size_t j = 0; j < size - i - 1; ++j)
                  if (strcmp(array[j], array[j + 1]) > 0)
```

```
                        swap(&array[j], &array[j + 1]);
}

void print(char *array[], size_t size) {
      putchar('\n');
      for (size_t i = 0; i < size; ++i)
            printf("%s\n", array[i]);
}

char *nomes[] = {
      "antonio manuel",
      "joaquim antunes",
      "manuel francisco",
      "luis alfredo"
};

int main() {
      print(names, ARRAY_SIZE(names));
      sort(names, ARRAY_SIZE(names));
      print(names, ARRAY_SIZE(names));
}
```

Argumentos na linha de comando.

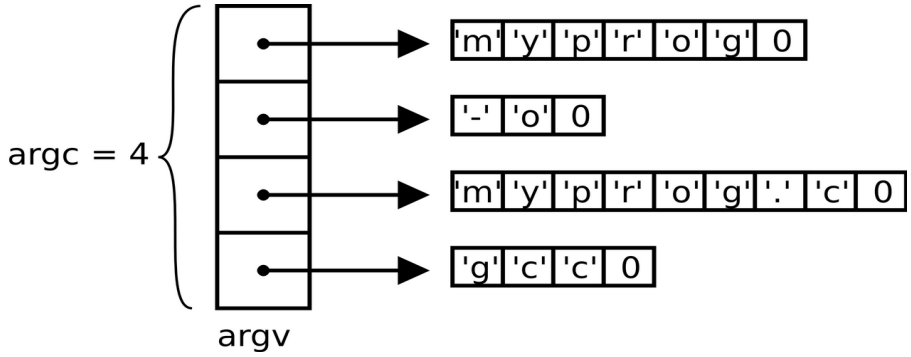
As palavras escritas na linha de comando são enviadas como argumentos para o programa.
São passadas como argumento da função **`main`**, na forma de um *array* de ponteiros para caracteres, apontando cada ponteiro para o início de cada palavra.

```
int main(int argc, char *argv[]);
```

Por exemplo, na invocação do comando:

```
$ gcc myprog.c -o myprog
```

o programa gcc vai receber os seguintes argumentos:



Exercícios

1. Fazer um programa que imprima os argumentos na consola.
2. Fazer uma função para separar as palavras numa linha de texto.
   ```
   size_t string_split(char *text_line, char *words[], size_t words_size);
   ```
3. Fazer um programa para listar as últimas **`n`** linhas do texto de entrada.
   ```
   $ tail -n
   ```

Structs

O tipo ***struct*** agrega variáveis de tipos diferentes.

Declaração do tipo:

```
struct pessoa {
	char nome[100];
	int idade;
	int peso;
	float altura;
};
```

Definição de variável do tipo *struct*:

```
struct pessoa utente;
```

Para simplificar a escrita pode-se usar:

```
typedef struct pessoa Pessoa;
```

e escrever **`Pessoa`** em vez de **`struct pessoa`**.

```
Pessoa eu;
```

Acesso a membro (<nome da *struct*>.<membro>):

```
eu.idade;
```

As *struct* podem-se copiar com o operador afetação:

```
Pessoa a, b;
a = b;
```

A passagem de *struct* como argumento de função é feita por valor.

```
int imc(struct pessoa p) {
	return p.peso / (p.altura * p.altura);
}
```

Retorno de *struct* como valor de uma função.

```
struct pessoa pessoa_nova(char n[], int i, int p, int a) {
	struct pessoa temp;
	strcpy(temp.nome, n);
	temp.idade = i;
	temp.peso = p;
	temp.altura = a;
	return temp;
}
```

Inicialização na definição

```
struct pessoa pessoa = {"António", 53, 80, 1.76};
struct pessoa pessoa = {
	.nome = "António",
	.altura = 1.76
```

```
};
```

Ponteiros e *structs*

Se for necessário passar uma estrutura muito grande para uma função, deve-se considerar a passagem por ponteiro.

```
int imc(struct pessoa *p) {
	return (*p).peso / ((*p).altura * (*p).altura);
}
```

A linguagem C dispões de um operador alternativo para aceder ao membro de uma *struct* baseado em ponteiro: **`->`**

```
	return p->peso / (p->altura * p->altura);
```

Os operadores **`.`** e **`->`** em conjunto com **`()`** e **`[]`** são os mais prioritários.

```
struct pessoa {
	char nome[100];
	int idade;
	int peso;
	int altura;
} *p;
```

`++p->idade` - incrementa o membro **`idade`**.

`(p++)->idade` – incrementa **`p`** depois de aceder a **`idade`**. Só faz sentido num *array* de pessoas.

`*p->nome` – dá acesso ao primeiro caracter de **`nome`**.

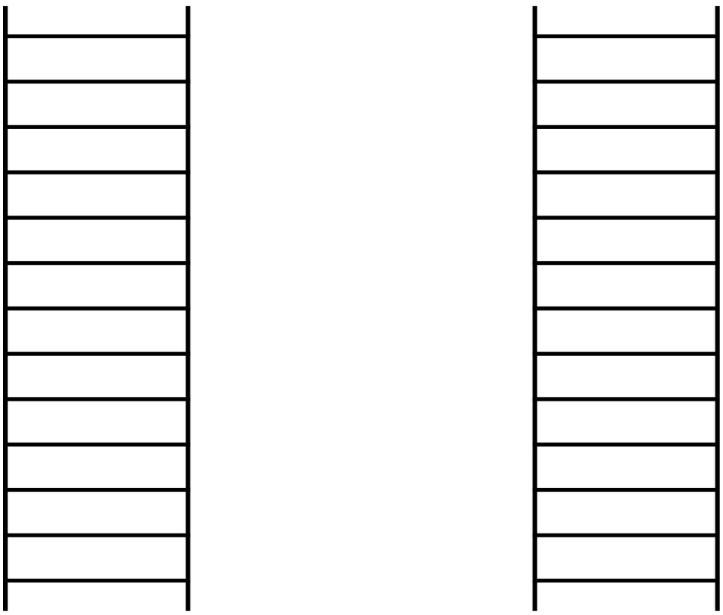
`*p++->nome` – incrementa **`p`** depois de aceder ao primeiro caracter de **`nome`**.

`(*p->nome)++` - incrementa o código do primeiro caracter de **`nome`**.

Alojamento de *struct* em memória

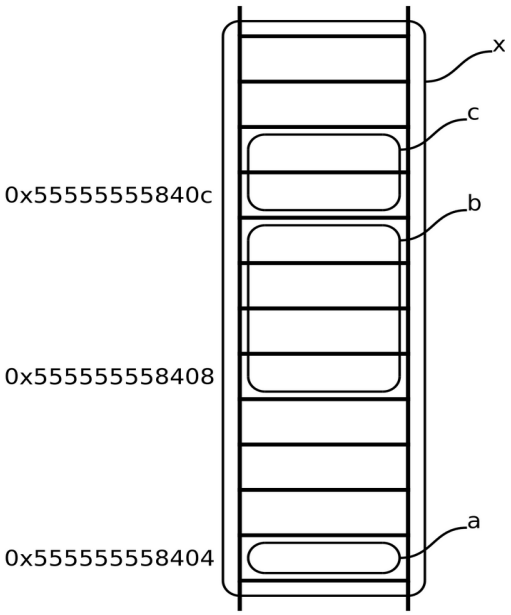
Consideremos a seguinte definição da variável **`x`**:

```
struct y {
      char a;
      int b;
      short c;
} x;
```



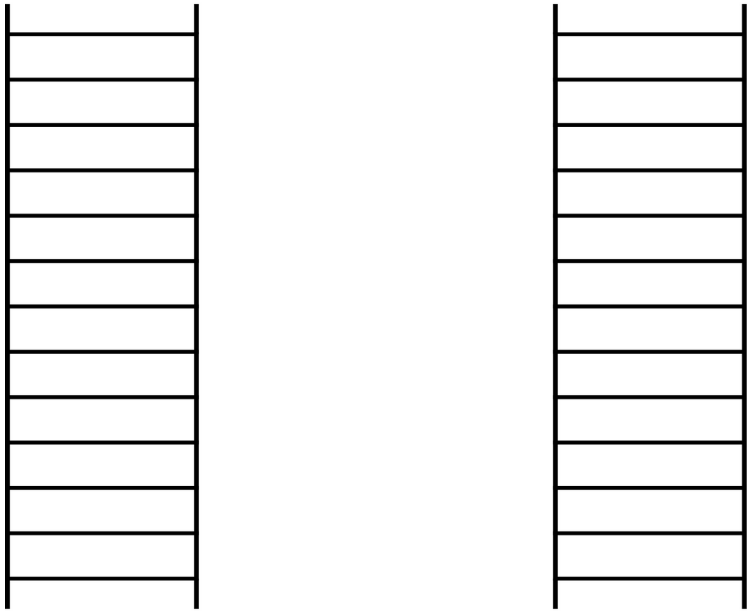
- Os membros de uma *struct* são dispostos em memória seguindo as regras de alinhamento do tipo a que pertencem, mesmo que para isso seja necessário inutilizar posições de memória entre campos consecutivos.
- O endereço de início da *struct* é alinhado no maior alinhamento necessário a um dos seus campos.
- A dimensão de uma *struct* é múltipla do seu alinhamento.

Num processador a 32 ou 64 bits, com compilador GNU, para alinhar o campo **`b`**, é necessário avançar três posições de memória. A dimensão total desta *struct* é de 12 *bytes*.



A dimensão de uma *struct* depende da ordem e do tipo dos campos. Consideremos a definição alternativa da variável **x**:

```
struct y {
      char a;
      short c;
      int b;
} x;
```



Na arquitetura Intel é possível alojar variáveis desalinhadas. Um acesso desalinhado consome duas operações de acesso à memória. Um acesso alinhado consome apenas uma operação de acesso à memória

Na arquitetura ARM, por definição, acessos desalinhados são interditos. A implementação *hardware* não contempla essa operação. Em algumas implementações, se isso acontecer, o processador interrompe o programa, noutras o resultado é indefinido.

Exercícios

1. Desenhar a ocupação de memória para um *array* de duas *struct* do tipo **`struct y`**.
2. Tente desenhar a ocupação de memória para um *array* de duas *struct* do tipo **`struct y`**, colocando o campo **`a`** da *struct* da primeira posição num endereço ímpar e mantendo o critério de alinhamento para todos os campos.
3. Procure uma definição alternativa para **`struct y`** de modo a ocupar menos espaço de memória.

Arrays de *structs* e de ponteiros para *struct*

Exemplo

Realizar um programa para contar as palavras de um texto e imprimir as dez mais frequentes. Registar a informação de cada palavra numa *struct* com dois campos, um *array* de caracteres para armazenar a palavra e um campo do tipo inteiro para acumular a contagem. Implementar a coleção de palavras num *array* dessas *structs*.

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>
#include <ctype.h>
```

```
#define  WORD_MAX_SIZE  30

#define  WORDS_MAX      40000


typedef struct {
      char word[WORD_MAX_SIZE];
      int counter;
} Word;

Word words[WORDS_MAX];
int words_counter;

void word_insert(char *word) {
      int i;
      for (i = 0; i < words_counter; ++i) {
            if (strcmp(words[i].word, word) == 0) {
                  words[i].counter++;
                  break;
            }
      }
      if (i == words_counter) {
            strcpy(words[words_counter++].word, word);
            words[i].counter = 1;
      }
}

void sort(Word words[], size_t n) {
      int i, j;
      for (i = 0; i < n - 1; ++i)
            for (j = 0; j < n - i - 1; ++j)
                  if (words[j].counter < words[j + 1].counter) {
                        Word tmp = words[j];
                        words[j] = words[j + 1];
                        words[j + 1] = tmp;
                  }
}

void word_print(int n) ;

int word_read(char buffer[], size_t size);

int main() {
      char word_buffer[ WORD_MAX_SIZE];

      while (word_read(word_buffer, sizeof word_buffer) != EOF)
            word_insert(word_buffer);

      sort(words, words_counter);

      word_print(10);
}

void word_print(int n) {
      for (int i = 0; i < n; ++i)
            printf("%s - %d\n", words[i].word, words[i].counter);
}
```

```
int word_read(char buffer[], size_t size) {
      char c = getchar();
      while (isspace(c) && c != EOF)
            c = getchar();
      if (c == EOF)
            return EOF;
      int i = 0;
      while ( ! isspace(c) && c != EOF && i < size - 1) {
            buffer[i++] = c;
            c = getchar();
      }
      buffer[i] = 0;
      return i;
}
```

Exercício

Realizar uma versão do programa anterior em que a coleção de palavras é suportada num *array* de ponteiros para *struct.*
Utilizar instrumentação de medida de tempo de execução em ambas as versões e comparar o desempenho.

Structs com campos baseados em bits

Justificação:

- casos em que se pretenda reduzir a memória ocupada;
- acesso a bits de forma simplificada.

Exemplo 1

Representar uma data de forma compactada.

```
struct date {
      short day: 5;
      short month: 4;
      short year: 7;
};

struct date date_pack(int year, int month, int day) {
      struct date tmp = {year – 2000, month, day };
      return tmp;
}
```

`sizeof (struct date)` é igual a dois, o mesmo que `sizeof (short)`

Exemplo 2

Acesso a registo de periférico mapeado no espaço de memória

```
struct register_status {
      char counter_enable:1;
      char counter_reset: 1;
};

struct register_status *status = 0xe0008004;

status->counter_enable = 1;
```

Como a unidade mínima de acesso à memória é a palavra de memória – *byte*, para afetar um número de bits inferior é necessário ler, alterar os bits desejados e voltar a escrever. Resultando em dois acessos à memória, um de leitura e um de escrita.

Apesar da aparentemente vantagem em relação à utilização de operadores lógicos bit-a-bit, nem sempre é conveniente a sua utilização:

1. Se, no acesso a um registo de periférico, este for só de escrita a operação de leitura é inútil.
2. Se o operação de leitura sobre um registo de periférico provocar a alteração de estado do periférico, ela é certamente indesejada.

Union

Uma ***union*** é uma variável que pode armazenar, em tempos diferentes, valores de diferentes tipo e tamanhos.

Através de uma *union* é possível encarar um dado conteúdo de memória na perspectiva de diferentes tipos.

Exemplo:

```
struct symbol {
	char *name;
	int flags;
	union {
		int value_int;
		float value_float;
		char *value_string;
	};
};
```

Avaliação de desempenho

Medida de tempo

```
#include <time.h>

unsigned int get_time() {
      struct timespec ts;
      clock_gettime(CLOCK_MONOTONIC, &ts);
      return ts.tv_sec * 1000 + (ts.tv_nsec / 1000000);
}

unsigned initial = get_time();

unsigned elapsed = get_time() - initial;
```