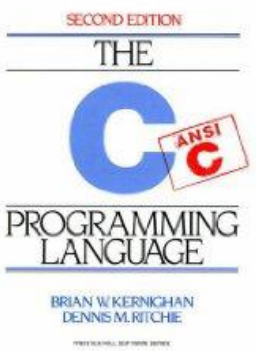
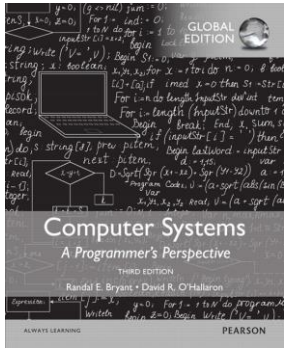




Alocação dinâmica de memória

Bib: The C Programming Language (cap. 8.7)
Bib: Computer Systems: A Programmer's Perspective (cap. 9.9)

Programação em Sistemas Computacionais

João Pedro Patriarca (jpatri@cc.isel.ipl.pt, joao.patriarca@isel.pt), Gabinete F.0.23 do edifício F

ISEL, ADEETC, LEIC

Agenda

- Introdução
  - Motivação, exemplo, características e API da biblioteca standard do C
- Exemplo de uma implementação
  - Interface programática e modelo de dados
  - Processo de alocação
  - Processo de libertação
  - Caso de utilização

Agenda

- Introdução
  - Motivação, exemplo, características e API da biblioteca standard do C
- Exemplo de uma implementação
  - Interface programática e modelo de dados
  - Processo de alocação
  - Processo de libertação
  - Caso de utilização

Motivação

- Aloca o espaço em memória estritamente necessário
- Aloca apenas quando precisa
- Liberta quando não precisa mais

Exemplos

- Estruturas de dados dinâmicas: listas, árvores binárias, ...
  - A capacidade da coleção adapta-se à medida das necessidades, portanto não precisa considerar, à partida, uma capacidade máxima
- Representação de objetos de tipos compostos, cujo número é variável
  - Por exemplo, criação de um conjunto de objetos com base no processamento de dados com origem do *standard input*, ou ficheiro
- Exemplos de exercícios
  - Coletânea de exercícios mantida pelo prof. Ezequiel

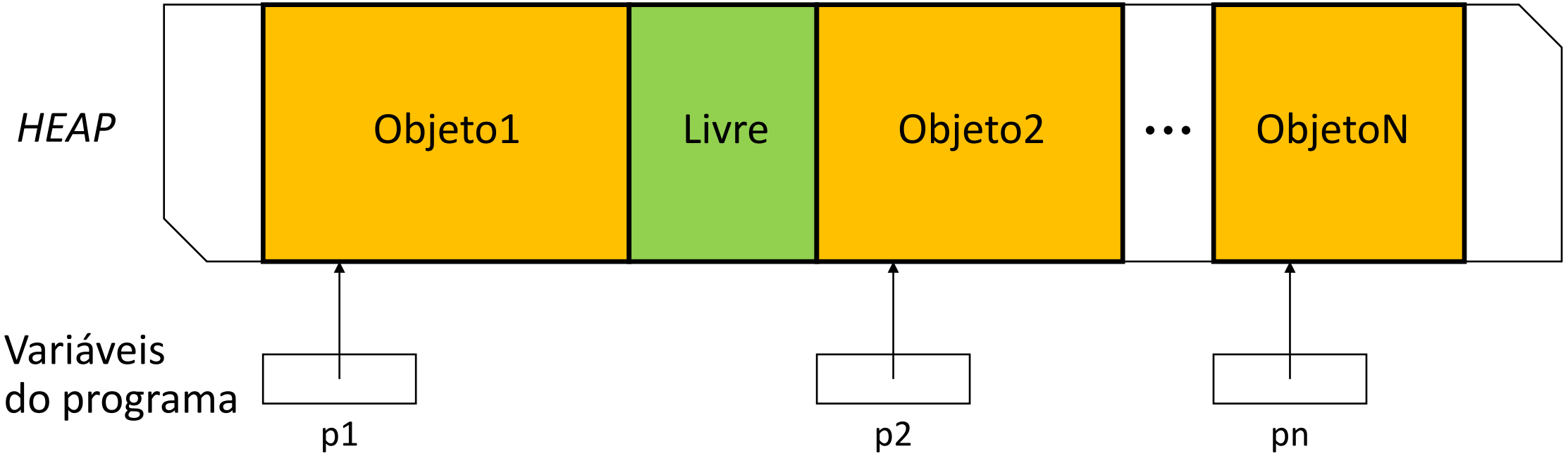
Comparação entre tipos de alocação

Tipo de alocação	Tempo de vida	Região em memória
Dinâmica	Dependente do utilizador (alocação e libertação explícita*)	*Heap*
Automática	Execução da função (alocação e libertação automática)	*Stack*
Estática	Execução do programa	Secções `.data` e `.bss`

* Na alocação dinâmica, se se perder a referência do espaço alocado não mais será possível aceder-lhe ou libertá-lo

Região para alocação dinâmica

- Conjunto de nós alocados ou livres de uma região de memória denominada por *Heap*
- Para arquiteturas de 64 bits, o endereço retornado para cada bloco é sempre múltiplo de 16 bytes; para arquiteturas de 32 bits, o endereço é múltiplo de 8 bytes



Interface programática da biblioteca standard do C

```c
#include <stdlib.h>

// malloc() allocates size bytes and returns a pointer to the allocated
// memory. The memory is not initialized. If size is 0 or there is no
// memory to allocate, then malloc() returns NULL...
void *malloc(size_t size);
// free() frees the memory space pointed to by ptr. If free(ptr) has
// already been called before or ptr have not been returned by a previous
// call to allocator functions, undefined behavior occurs. If ptr is NULL,
// no operation is performed.
void free(void *ptr);
// calloc() allocates memory for nmemb elements of size bytes each and
// returns a pointer to the allocated memory. The memory is set to zero...
void *calloc(size_t nmemb, size_t size);
// realloc() changes the size of the memory block pointed to by ptr to
// size bytes...
void *realloc(void *ptr, size_t size);
```

Agenda

- Introdução
  - Motivação, exemplo, características e API da biblioteca standard do C
- Exemplo de uma implementação
  - Interface programática e modelo de dados
  - Processo de alocação
  - Processo de libertação
  - Caso de utilização

Interface programática (1 de 2)

```
#ifndef _DYN_ALLOC_H
#define _DYN_ALLOC_H

void   init_heap(void);          // Inicia a infra estrutura
void * xmalloc(size_t size);     // Aloca size bytes
void   xfree(void * ptr);        // Liberta o espaço alocado

#endif/*_DYN_ALLOC_H*/
```

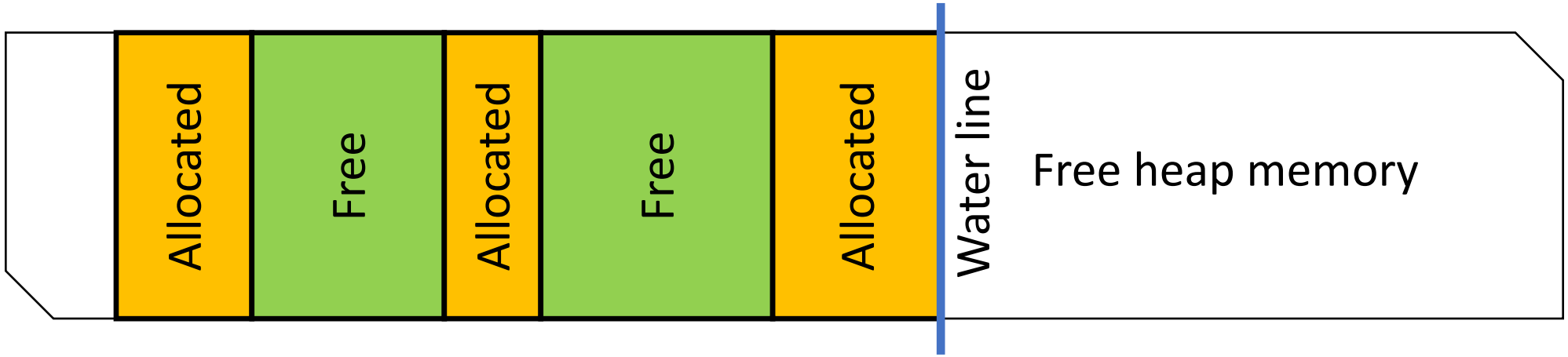
Interface programática (2 de 2)

```
#ifndef _DYN_DBG_H
#define _DYN_DBG_H
/*****************************************************************
 * Algoritmos para apresentar o estado do heap:
 * 1. print_free_list: percorre a lista de blocos livres apresentando
 *                     o estado de cada nó.
 * 2. print_implicit_list: percorre lista implícita com todos os blocos
 *                         livres e ocupados.
 * 3. print_heap_state: apresenta o estado do heap.
 *****************************************************************/
void print_free_list(void);
void print_implicit_list(void);
void print_heap_state(void);
void print_all(void);

#endif/*_DYN_DBG_H*/
```

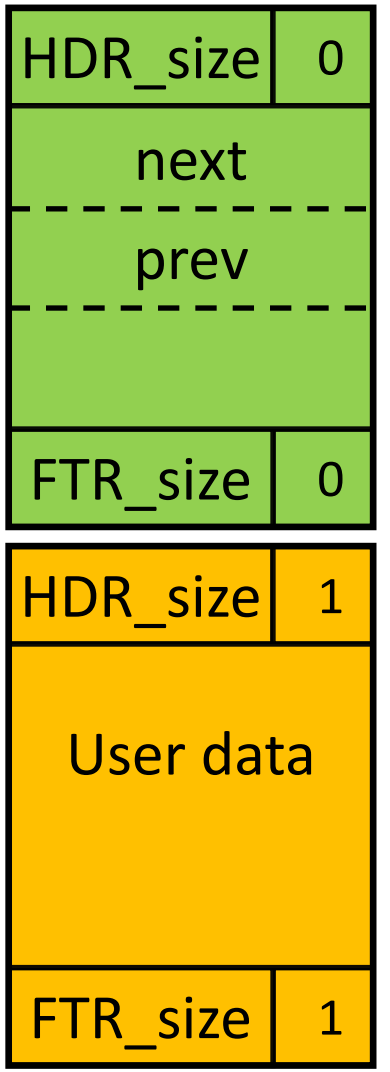
Gestão do *Heap*

- Noção de linha de água
  - Reduz o número de blocos na lista de blocos livres
  - No processo de alocação, solicita um novo bloco da região livre caso não exista um bloco que satisfaça a dimensão na lista de blocos livres
  - Na libertação, devolve o bloco libertado à região livre caso esteja junto à linha de água



Caracterização de um bloco livre e de um bloco alocado

- Todos os blocos (livres e alocados) são constituídos por um cabeçalho e por um rodapé
  - Contêm a dimensão do bloco e se está livre (0) ou alocado (1)
  - Formam uma lista implícita duplamente ligada
- Um bloco livre contém dois ponteiros para o manter numa lista duplamente ligada apenas de blocos livres
  - A dimensão mínima de um bloco tem de suportar o cabeçalho, rodapé e dois ponteiros
- A dimensão total do bloco alocado depende da dimensão solicitada na alocação
  - A dimensão do bloco é múltipla de 16 bytes para arquiteturas de 64 bits, tal como o ponteiro para o primeiro byte de *User data*



Processo de alocação

1. Procura na lista de blocos livres por um bloco com dimensão que satisfaça o espaço solicitado
   - Devolve **`NULL`**, se não existir qualquer bloco livre que satisfaça a dimensão solicitada
2. Retira o bloco da lista e fragmenta-o caso a dimensão do bloco sobrante seja igual ou superior à dimensão mínima de um bloco
   - O bloco sobrante é adicionado à lista de blocos livres

   ✓ Otimiza a utilização do recurso memória

   ✗ A fragmentação reduz a dimensão de blocos livres
3. Marca o bloco como alocado e devolve um ponteiro para o primeiro byte útil do bloco (primeiro byte após o cabeçalho)

Processo de libertação

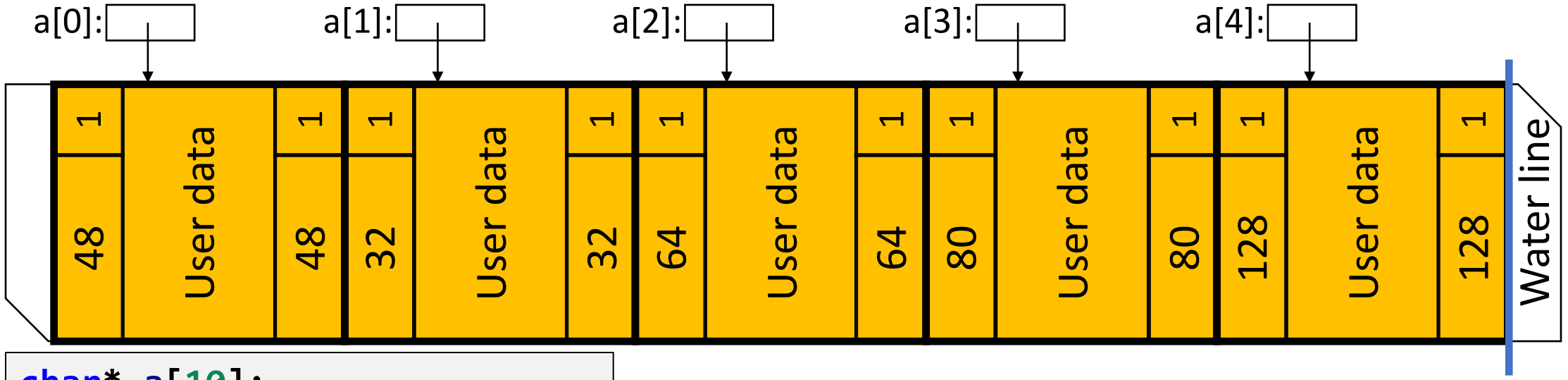
1. Marca o bloco como livre

2. Verifica se os blocos vizinhos em memória estão livres
   - Em caso afirmativo, remove o bloco livre adjacente da lista de blocos livres e junta-o com o bloco a libertar formando um novo bloco

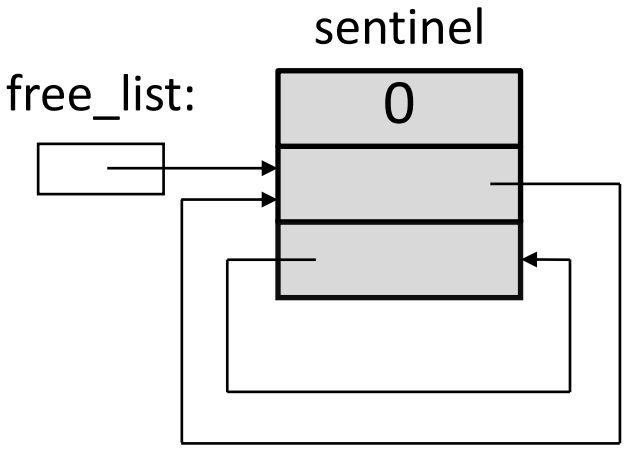
   ✓Previne a fragmentação de memória

3. O bloco é adicionado à lista de blocos livres

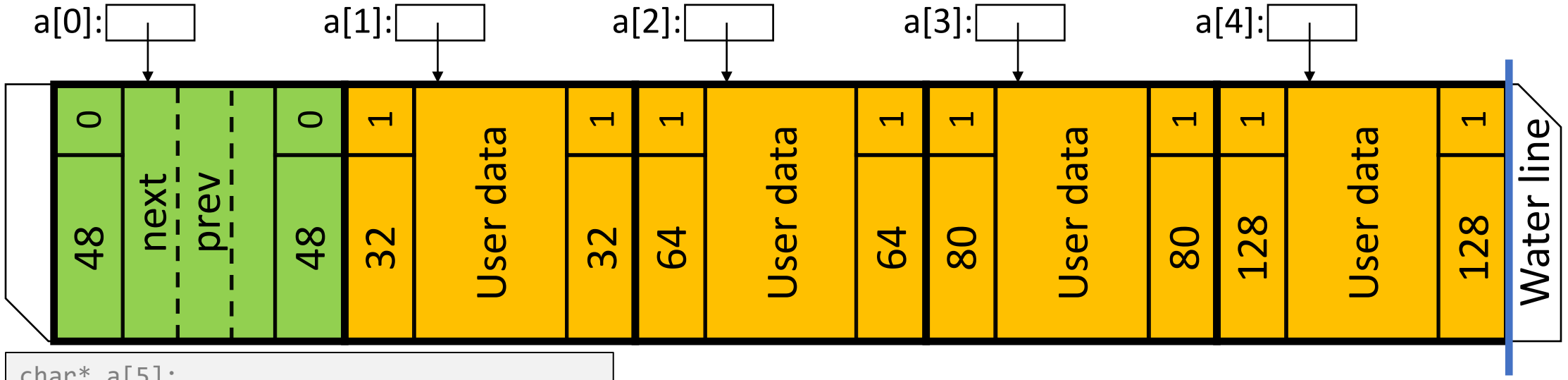
Caso de utilização (1 de 8)



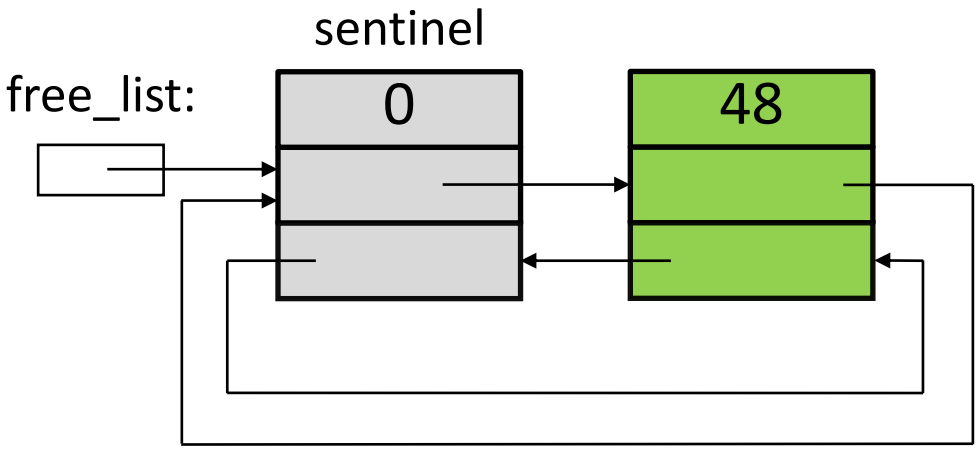

```
char* a[10];
a[0] = (char*)xmalloc(32);
a[1] = (char*)xmalloc(2);
a[2] = (char*)xmalloc(33);
a[3] = (char*)xmalloc(50);
a[4] = (char*)xmalloc(100);
```



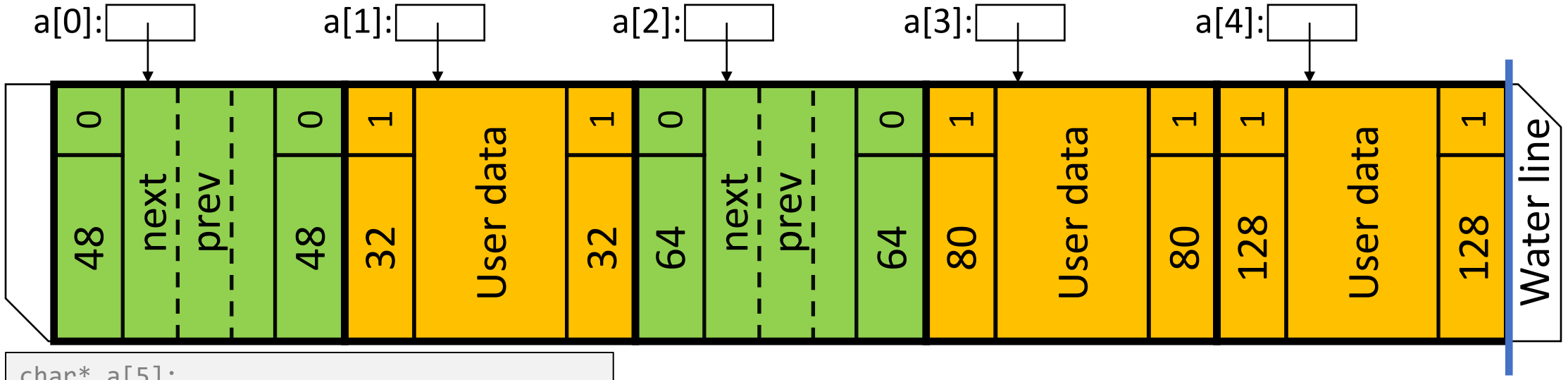
Caso de utilização (2 de 8)



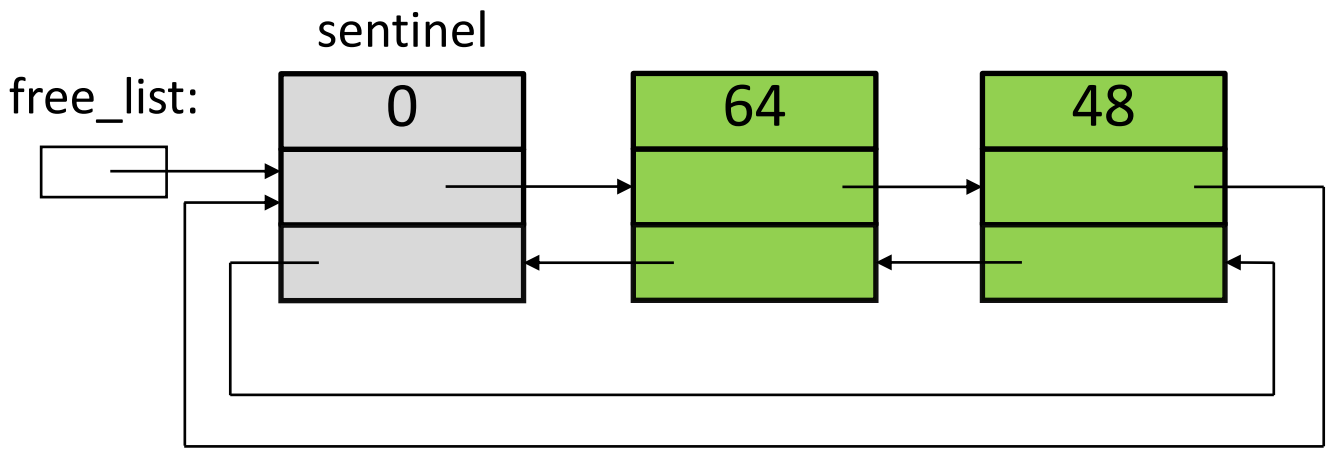

```
char* a[5];
a[0] = (char*)xmalloc(32);
a[1] = (char*)xmalloc(2);
a[2] = (char*)xmalloc(33);
a[3] = (char*)xmalloc(50);
a[4] = (char*)xmalloc(100);
xfree(a[0]);
```



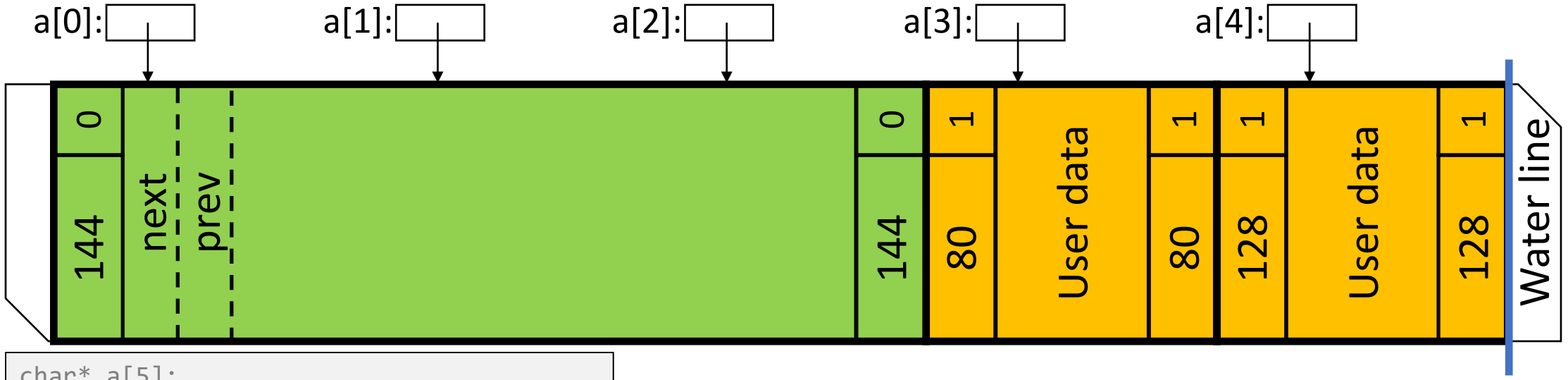
Caso de utilização (3 de 8)



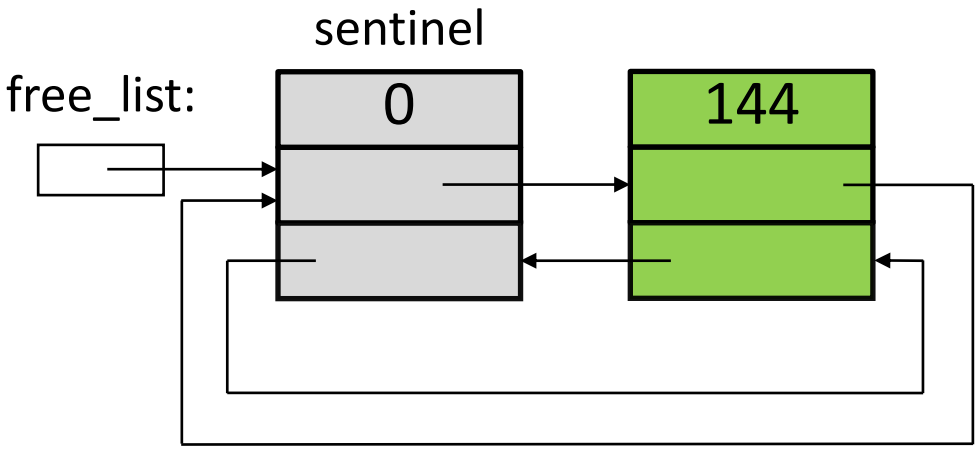

```
char* a[5];
a[0] = (char*)xmalloc(32);
a[1] = (char*)xmalloc(2);
a[2] = (char*)xmalloc(33);
a[3] = (char*)xmalloc(50);
a[4] = (char*)xmalloc(100);
xfree(a[0]);
xfree(a[2]);
```



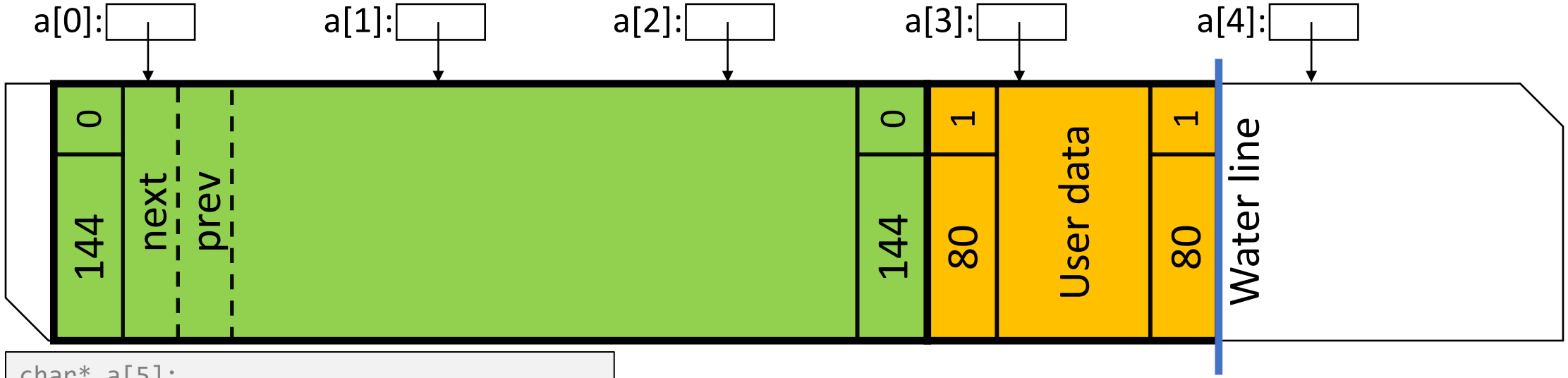
Caso de utilização (4 de 8)



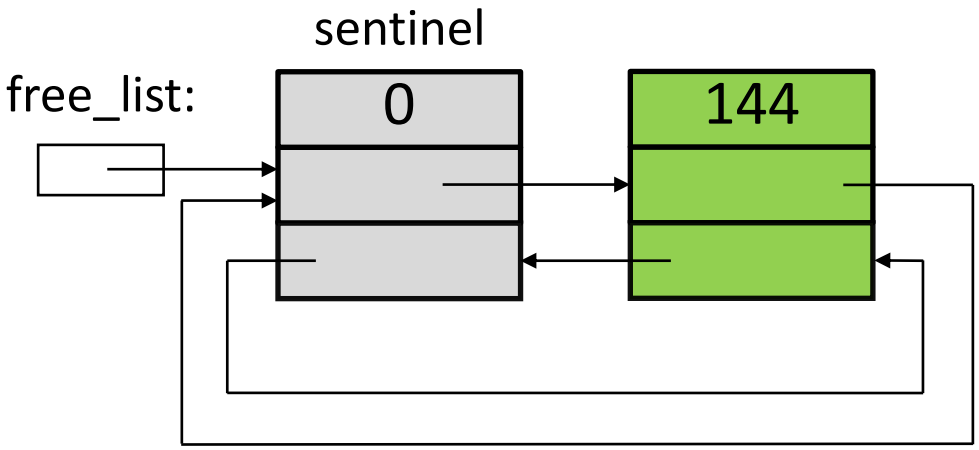

```
char* a[5];
a[0] = (char*)xmalloc(32);
a[1] = (char*)xmalloc(2);
a[2] = (char*)xmalloc(33);
a[3] = (char*)xmalloc(50);
a[4] = (char*)xmalloc(100);
xfree(a[0]);
xfree(a[2]);
xfree(a[1]);
```



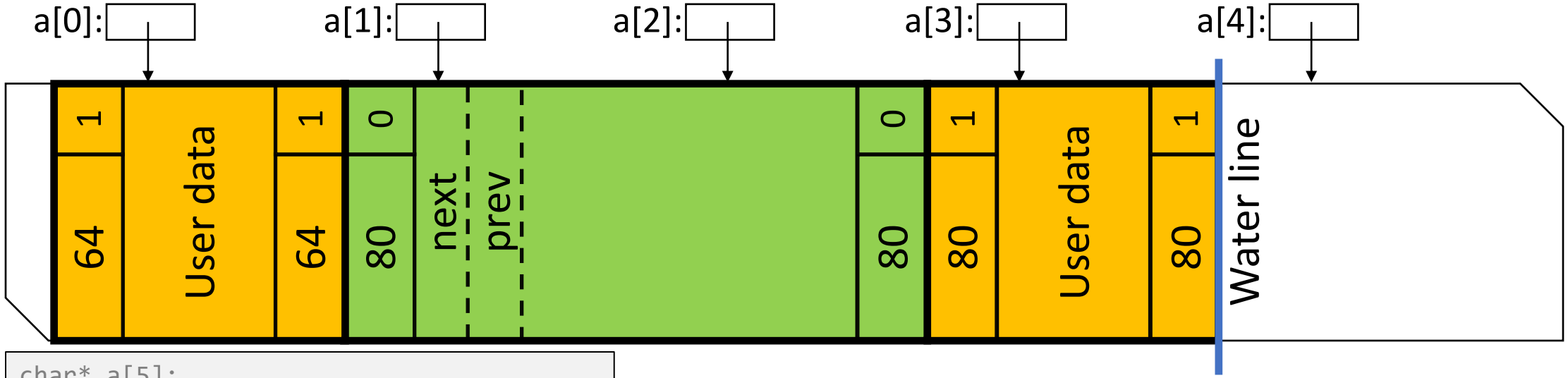
Caso de utilização (5 de 8)



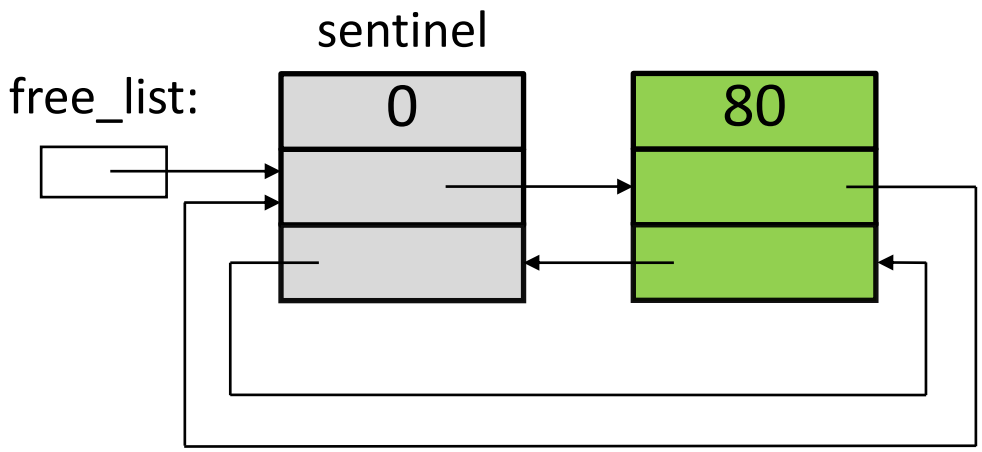

```
char* a[5];
a[0] = (char*)xmalloc(32);
a[1] = (char*)xmalloc(2);
a[2] = (char*)xmalloc(33);
a[3] = (char*)xmalloc(50);
a[4] = (char*)xmalloc(100);
xfree(a[0]);
xfree(a[2]);
xfree(a[1]);
xfree(a[4]);
```



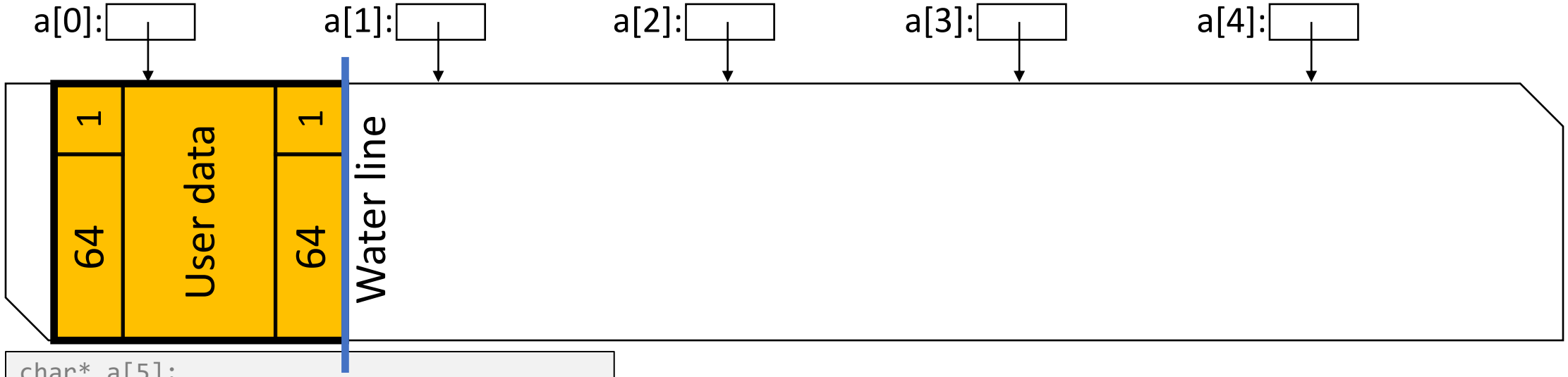
Caso de utilização (6 de 8)



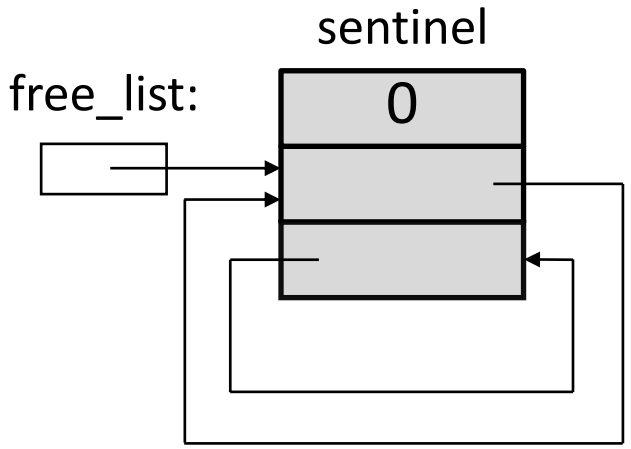

```
char* a[5];
a[0] = (char*)xmalloc(32);
a[1] = (char*)xmalloc(2);
a[2] = (char*)xmalloc(33);
a[3] = (char*)xmalloc(50);
a[4] = (char*)xmalloc(100);
xfree(a[0]);
xfree(a[2]);
xfree(a[1]);
xfree(a[4]);
a[0] = (char*)xmalloc(45);
```



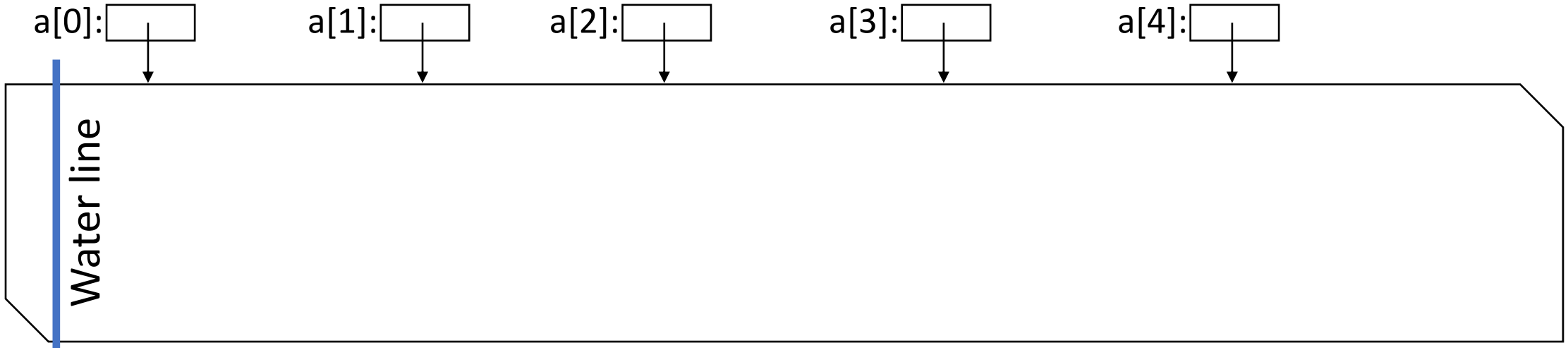
Caso de utilização (7 de 8)



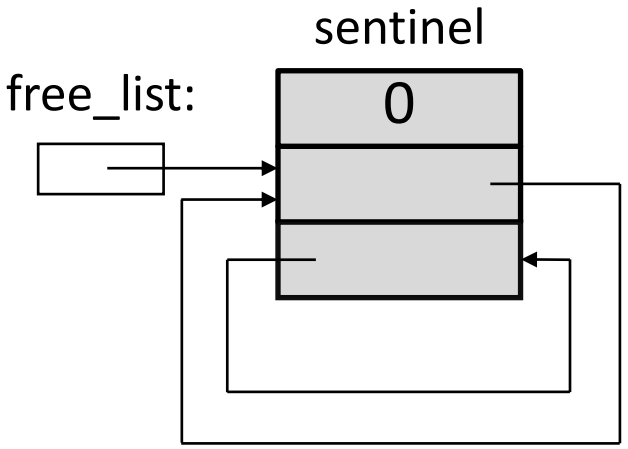

```
char* a[5];
a[0] = (char*)xmalloc(32);
a[1] = (char*)xmalloc(2);
a[2] = (char*)xmalloc(33);
a[3] = (char*)xmalloc(50);
a[4] = (char*)xmalloc(100);
xfree(a[0]);
xfree(a[2]);
xfree(a[1]);
xfree(a[4]);
a[0] = (char*)xmalloc(45);
xfree(a[3]);
```



Caso de utilização (8 de 8)




```
char* a[5];
a[0] = (char*)xmalloc(32);
a[1] = (char*)xmalloc(2);
a[2] = (char*)xmalloc(33);
a[3] = (char*)xmalloc(50);
a[4] = (char*)xmalloc(100);
xfree(a[0]);
xfree(a[2]);
xfree(a[1]);
xfree(a[4]);
a[0] = (char*)xmalloc(45);
xfree(a[3]);
xfree(a[0]);
```



Exercício 1

O tipo **dblock_node_t** é usado para definir listas simplesmente ligadas de blocos de dados com dimensão variável, armazenados em instâncias do tipo **dblock_t**. A função **split_dblock** divide o bloco de dados passado com o argumento **dblock** em blocos com dimensão **size**, retornando-os numa lista ligada que respeita a ordem dos dados no bloco original; o último bloco da lista ficará com a dimensão que restar. A função **split_dblock** deverá libertar toda memória utilizada no argumento **dblock**. A função **join_blocks** cria um bloco único com a concatenação de todos os blocos de dados que constam na lista passada com o argumento **dblist** e liberta toda a memória utilizada pelo argumento **dblist**. Implemente as duas funções em linguagem C.

Nota: Para efeitos da libertação da memória considere: (1) as instâncias do tipo **dblock_t** usam a memória com o critério definido pela função **join_dblocks**, e; (2) a lista de instâncias de **dblock_node_t** usa a memória com os critérios definidos na função **split_dblock**.

```
typedef struct dblock { size_t length; unsigned char *raw_data; } dblock_t;

typedef struct dblock_node { struct dblock_node *next; dblock_t dblock; }
dblock_node_t;

dblock_node_t *split_dblock(dblock_t *dblock, size_t size);

dblock_t *join_dblocks(dblock_node_t *dblist);
```

Exercício 2

Considere que se pretende converter uma lista de cartões bancários organizada em lista ligada para uma organização em *array* de ponteiros. O tipo **`Card`** contém os dados de um cartão: número, estado e respetivo titular. O tipo **`node_card_t`** é um tipo auxiliar usado para construir listas simplesmente ligadas de cartões; o campo **`next`** indica o elemento seguinte e o campo **`card`** aponta para uma instância de **`Card`** com os dados do cartão. O tipo **`array_card_t`** armazena um *array* de ponteiros para os dados dos cartões, acompanhado da respetiva dimensão (**`ncard`**).

Programe em linguagem C as funções **`list_to_array`**, que converte uma lista simplesmente ligada de cartões num *array* de cartões e **`array_to_list`** que realiza a operação contrária. Durante o processo de conversão, a memória utilizada pelas estruturas de dados originais deve ser libertada.

Nota: Quando se pretende usar estruturas com um campo do tipo *array* com dimensão variável, o compilador de C permite declarar o *array* sem se especificar a dimensão, desde que o *array* seja o último campo da estrutura. Este campo do tipo *array* pode ser referido normalmente no código, contudo não é tido em consideração na determinação de **`sizeof`** da estrutura.

```
typedef struct card {
  unsigned long number: 50;
  unsigned long state: 3;
  unsigned long hlen: 8;
  char holder[];
} card_t;
```

```
typedef struct node_card {
  struct node_card *next;
  struct card *card;
} node_card_t;

typedef struct array_card {
  unsigned int ncard;
  struct card *array[];
} array_card_t;
```

```
array_card_t *list_to_array(
    node_card_t *list
);

node_card_t *array_to_list(
    array_card_t *array
);
```