Лекция 6: Рекусивные структуры данных и динамическая память в языке Си

Д. А. Караваев

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Факультет РТС, Кафедра РОС

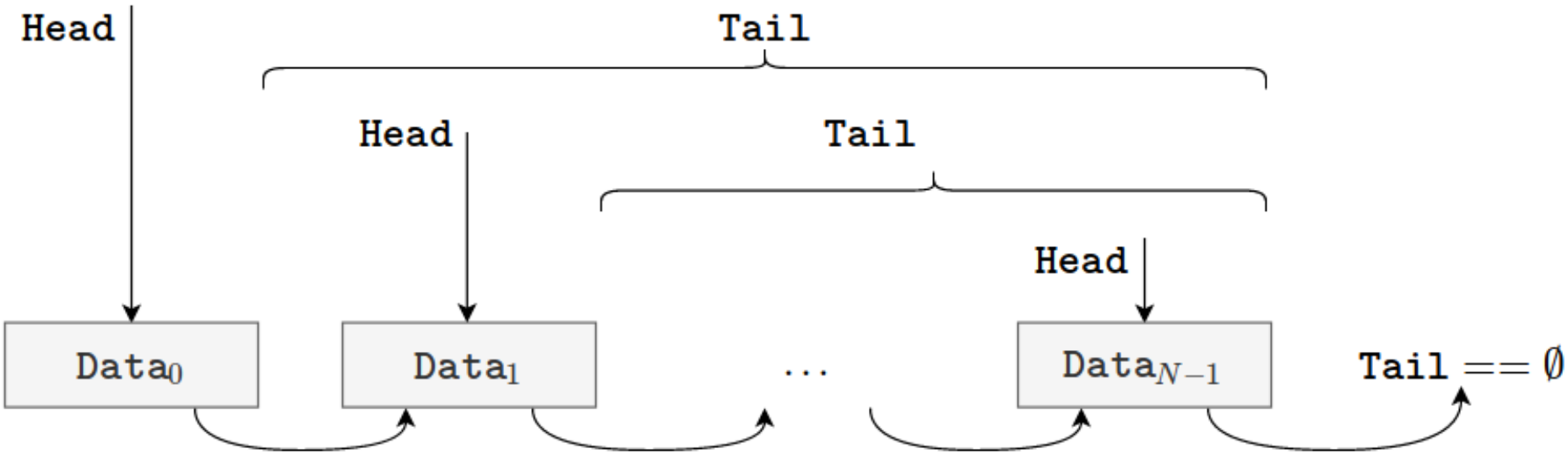
Факультатив «Программирование в ЦОС»

Осень 2019

25.11.2019 Санкт-Петербург

Связные списки

Простейшим примером *рекурсивной* структуры данных является **однонаправленный связный список**, который состоит из *головы* и *хвоста*, который также является связным списком, либо отсутствует.



Реализация в язык Си

Односвязный список можно реализовать через структуру, в которой содержится *указатель* на хвост.

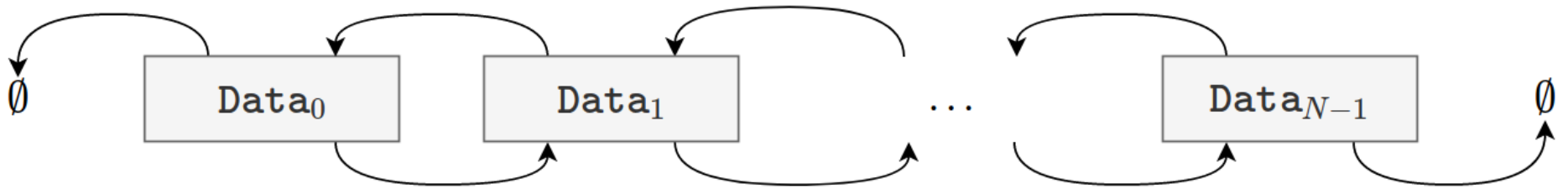
```c
/* Определение списка: */
typedef struct list_impl
{
    int data; /* Содержимое головы. */
    struct list_impl* tail; /* Хвост. */
} list_impl_t;
/* Создание головы: */
list_impl_t head = {.data = 100, .tail = NULL}; /* Нулевой указатель! */
/* Создание хвоста: */
list_impl_t tail = {.data = 200, .tail = NULL};
/* Добавление хвоста: */
head.tail = &tail;
```

Инкапсуляция работы со списком

```
/* Управляющая структура с головой списка (данные): */
typedef struct
{
    list_impl_t* head; /* Голова списка. */
    size_t       size; /* Число элементов в списке. */
} list_t;
/* Методы: */
/* Добавить элемент в конец списка: */
void list_emplace_back(list_t* list, int data);
/* Подсчитать число элементов в списке с данным значением: */
size_t list_count(const list_t* list, int data);
/* Узнать значение по номеру: */
int list_at(const list_t* list, size_t index);
/* Удалить элемент из списка по номеру: */
void list_delete(list_t* list, size_t index);
```

Двунаправленный связный список

```c
typedef struct list_impl
{
    int data; /* Содержимое головы. */
    struct list_impl* succ; /* Последующий элемент. */
    struct list_impl* pred; /* Предыдущий элемент. */
} list_impl_t;
/* Создание списка: */
list_impl_t first = {.data = 100, .succ = NULL, .pred = NULL};
list_impl_t second = {.data = 200, .succ = NULL, .pred = &first};
first.succ = &second;
```



Замечания по поводу работы со списками

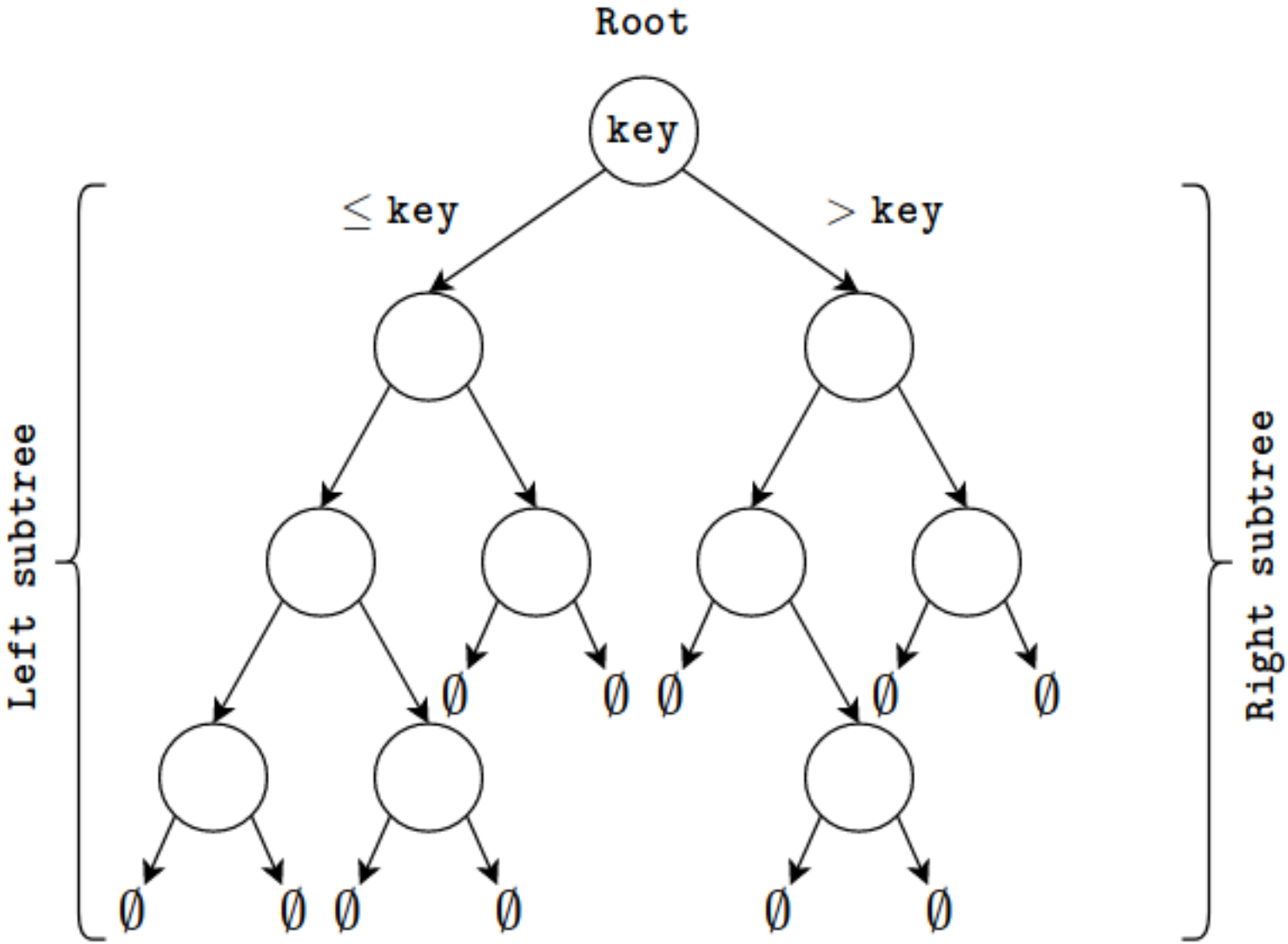
1. **Алгоритмическая сложность**: Большинство операций в списках имеют $O(N)$ или $\Theta(N)$ временную сложность;
2. **Реализация стека и очереди**: Списки удобно использовать для реализации стека (или очереди), так как число элементов неограничено;
3. **Операции с двунаправленным списком**: Можно определить большое множество полезных операций с двунаправленным списком, которые можно реализовать быстрее (с точки зрения алгоритмической сложности) чем для однонаправленного списка;
4. **Хранение "тяжелых" структур**: Списки удобны для хранения структур (пользовательских типов) с большим количеством полей, к которым нет необходимости применять индексацию.

Дерево бинарного поиска

Другим примером рекурсивной структуры данных служит **дерево**, которое состоит из **корня** (родителя), в котором хранится значение (*ключ*) и у которого может быть несколько **поддеревьев** (потомков). Деревья, у которых нет поддеревьев, называются **листьям**.

Если у дерева может быть не более двух поддеревьев, и *для каждого родительского ключа ключи большее него храняться в правом поддереве, а меньше в левом*, то таком дерево называется **деревом бинарного поиска**. Все значения в дереве *уникальны*.

Иллюстрация дерева бинарного поиска



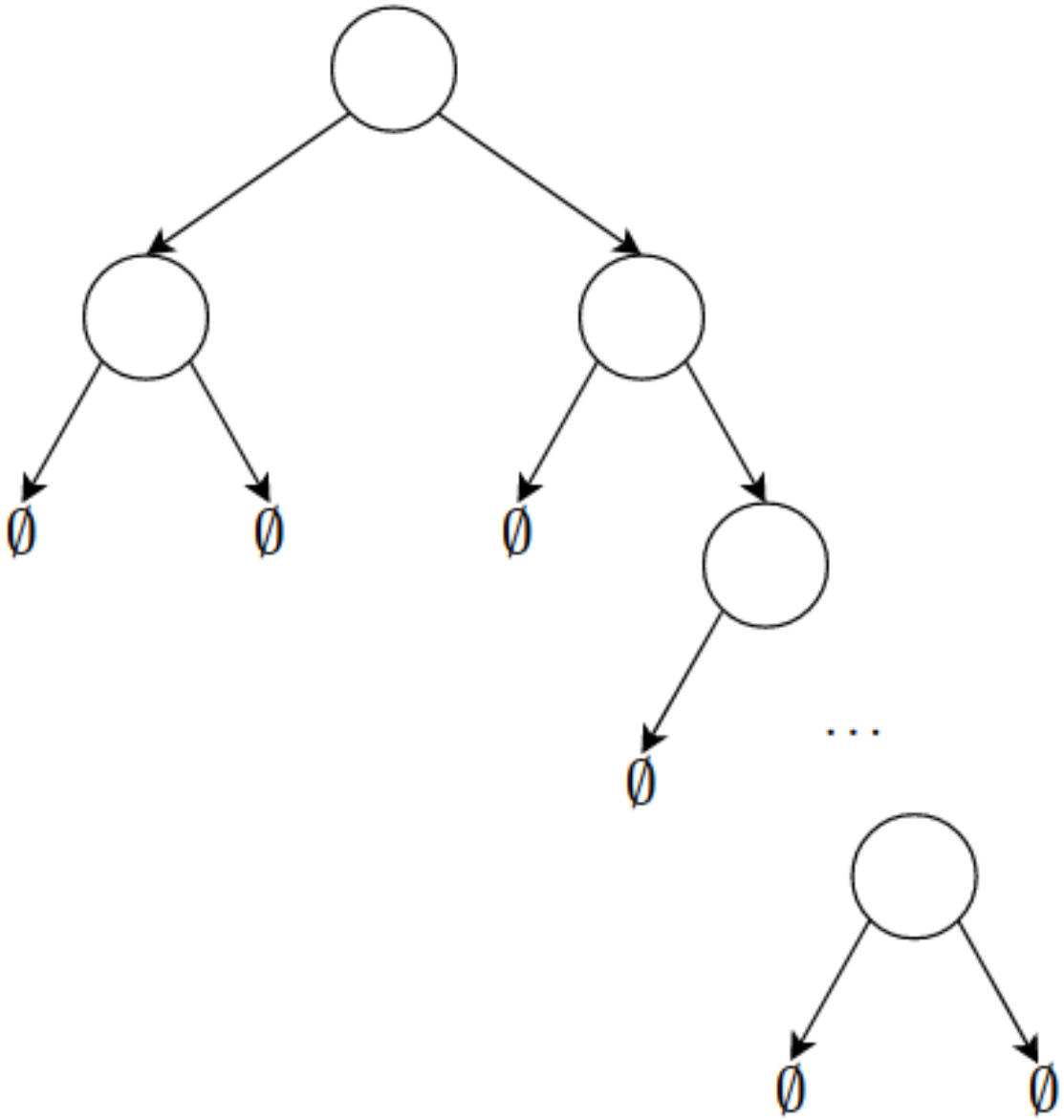
Представление дерева бинарного поиска в языке Си

```c
typedef struct bstree_node
{
    int key; /* Ключ. */
    struct bstree_node* left; /* Левое поддерево. */
    struct bstree_node* rigth; /* Правое поддерево. */
} bstree_node_t;
/* Управляющая структура с корнем дерева: */
typedef
{
    bstree_node_t* root; /* Корень дерева. */
    size_t size; /* Размер дерева. */
} bstree_t;
void bstree_emplace(bstree_t* tree, int key); /* Добавить элемент. */
int bstree_find(const bstree_t* tree, int key); /* Найти элемент. */
void bstree_delete(bstree_t* tree, int key); /* Удалить элемент. */
```

Замечания к дереву бинарного поиска

1. **Алгоритмическая сложность**: Если дерево заполнено равномерно, то алгоритмическая сложность всех операций пропорциональна его высоте $O(h) = O(\log N)$, где N - число элементов в дереве.
2. **Разбалансировка**: Явление, при котором основная "масса" элементов дерева сосредоточена вдоль одного края (ветви). Таким образом, дерево *вырождается* в однонаправленный список и преимущество в скорости поиска элементов теряется. Для борьбы с этим явлением используют более сложные реализации бинарных деревьев (красно-черные и AVL деревья).
3. **Ассоциативный контейнер**: Деревья часто используются для реализации *ассоциативного контейнера (словарь)*, в котором тип индекса (*ключа*) может быть любым упорядоченным типом (например, строкой).

Иллюстрация разбалансировки



Реализации вставки в односвязный список

```
void list_emplace_back(list_t* list, int data)
{
    list_emplace_back_impl(list->head, data);
    list->size += 1;
}
void list_emplace_back_impl(list_impl_t* head, int data)
{
    if (head->tail == NULL)
    {
        list_impl_t tail = {.data = data, .tail = NULL};
        head->tail = &tail; /* Ошибка. tail - локальная переменная! */
        return;
    }
    list_emplace_back_impl(head->tail, data);
}
```

Динамическая память

Определение: Память, выделяемая операционной системой (ОС) для **всего** приложения, в которой можно размещать данные заданного размера (*возможно неизвестного на этапе написания программы!*).

```
/* Считываем размер данных с терминала: */
size_t N;
scanf("%lu", &N);
/* Для выделения участка память в динамической памяти (куче от англ. heap)
 * используется функция malloc: */
/* Получаем указатель на первый элемент! */
int* array = (int*)malloc(sizeof(int) * N);
/* Инициализация и обработка ... */
/* После работы выделенный блок памяти должен быть освобожден! */
free(array);
/* При помощи malloc можно создать экземпляр любого типа в куче. */
```

Замечания по поводу динамической памяти

1. **Динимические массивы**: возможность создания массивов различной длины, которая может меняться по ходу исполнения программы;
2. **Скорость работы**: выделение дианамической памяти требует значительного времени по сравнению с созданием переменных в (программном) стеке и зависит от ОС;
3. **Утечки памяти**: проблема, при которой уже неиспользуемая память не была освобождена, что может приводить к **очень серьёзным** проблемам;
4. **Фрагментация памяти**: при частом размещении/удалении переменных в куче возникает проблема фрагментации памяти;
5. **Иерархия памяти**: на некоторых вычислительных устройствах существуют различные типы куч (по скорости доступа и объёму).

Реализации вставки в односвязный список (+ динамическая память)

```
void list_emplace_back_impl(list_impl_t* head, int data)
{
    if (head->tail == NULL)
    {
        list_impl_t* tail = (list_impl_t*)malloc(sizeof(list_impl_t));
        tail->data = data;
        tail->tail = NULL:
        head->tail = tail;
        return;
    }
    list_emplace_back_impl(head->tail, data);
}
/* NB: В момент удаления элемента должна быть вызвана free! */
```

Задание

Реализовать:

1. Функции (методы) вставки, удаления, поиска для односвязного списка;
2. Функции (методы) вставки, удаления, поиска для дерева бинарного поиска;

Домашнее задание:

1. Реализовать аналогичные методы для двунаправленного списка;
2. Реализовать стек и/или очередь с использованием связного списка;
3. * Реализовать красно-черное дерево и функции к нему.

Проект: Решение задачи необходмо поместить в файл `source/main.c` в проекте `Tree`.

Спасибо за внимание!