

# SCENT OF C++

---

Проблемы C. Переход к C++. Механизмы объединения и обобщения.  
Демонстрация основных возможностей языка и библиотеки

К. Владимиров, Intel, 2021  
mail-to: [konstantin.vladimirov@gmail.com](mailto:konstantin.vladimirov@gmail.com)

# Как зовут преподавателя?

- Владимиров Константин Игоревич
- Телефон: +7-903-842-27-55
- Email: konstantin.vladimirov@gmail.com
- [Слайды на sourceforge \(cpp-lects-rus\)](#)
- [Короткие примеры к слайдам на github](#)
- Основная коммуникация через email и discord

## ➤ Немного о кэшах

- ❑ Реализация на С и её проблемы

- ❑ Реализация на С++

- ❑ О домашних заданиях и этом курсе

# Проблема из реального мира

- Вы пишете программу, которая оперирует миллионами страниц разного размера, различающихся уникальным номером

```
struct page {  
    int index;    // page index: 1, 2, ... n  
    int sz;       // page size  
    char *data;   // page data  
};
```

- Единственный способ получить страницу с номером n это получить её по сети довольно медленной функцией

```
void slow_get_page(int n, struct page *p);
```

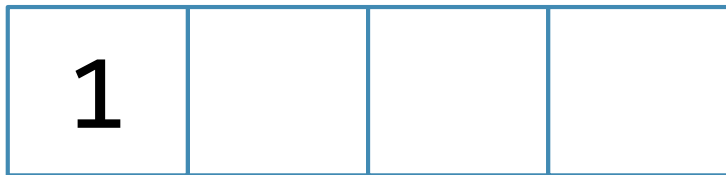
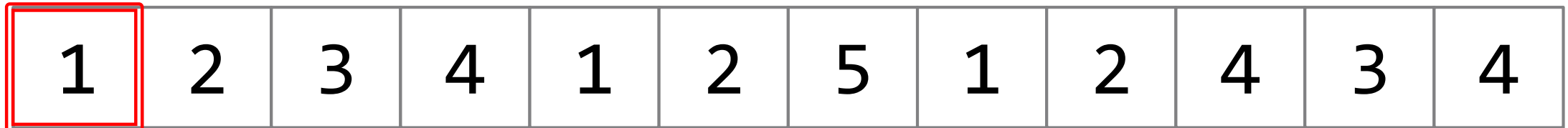
- Локально у вас есть место всего на несколько тысяч страниц. **Что делать?**

# Решение: кэш

- Если у нас есть немного места, его хотелось бы использовать
- Мы хотим сохранять некоторые страницы, раз уж мы не можем сохранить все
- Конечно мы хотели бы сохранять те страницы, которые чаще используем
- Небольшая область памяти называется кэш, туда можно поместить страницу или оттуда можно вытеснить страницу
- Например у нас есть место на 4 страницы и к нам поступают запросы:  
1, 2, 3, 4, 1, 2, 5, 1, 2, 4, 3, 4
- Как будет изменяться кэш? Какую **стратегию** кэширования тут можно выбрать?

# Стратегия LRU (least recently used)

- Если запрошенный элемент найден, он перемещается вперёд
- Если нет, он помещается вперёд а последний вытесняется



# Стратегия LRU (least recently used)

- Если запрошенный элемент найден, он перемещается вперёд
- Если нет, он помещается вперёд а последний вытесняется

1	2	3	4	1	2	5	1	2	4	3	4
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

2	1		
---	---	--	--

# Стратегия LRU (least recently used)

- Если запрошенный элемент найден, он перемещается вперёд
- Если нет, он помещается вперёд а последний вытесняется

1	2	3	4	1	2	5	1	2	4	3	4
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

3	2	1	
---	---	---	--



# Стратегия LRU (least recently used)

- Если запрошенный элемент найден, он перемещается вперёд
- Если нет, он помещается вперёд а последний вытесняется

1	2	3	4	1	2	5	1	2	4	3	4
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

4	3	2	1
---	---	---	---

# Стратегия LRU (least recently used)

- Если запрошенный элемент найден, он перемещается вперёд
- Если нет, он помещается вперёд а последний вытесняется

1	2	3	4	1	2	5	1	2	4	3	4
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

1	4	3	2
---	---	---	---

# Стратегия LRU (least recently used)

- Если запрошенный элемент найден, он перемещается вперёд
- Если нет, он помещается вперёд а последний вытесняется

1	2	3	4	1	2	5	1	2	4	3	4
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

2	1	4	3
---	---	---	---

# Стратегия LRU (least recently used)

- Если запрошенный элемент найден, он перемещается вперёд
- Если нет, он помещается вперёд а последний вытесняется

1	2	3	4	1	2	5	1	2	4	3	4
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

5	2	1	4
---	---	---	---

# Стратегия LRU (least recently used)

- Если запрошенный элемент найден, он перемещается вперёд
- Если нет, он помещается вперёд а последний вытесняется

1	2	3	4	1	2	5	1	2	4	3	4
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

1	5	2	4
---	---	---	---

# Стратегия LRU (least recently used)

- Если запрошенный элемент найден, он перемещается вперёд
- Если нет, он помещается вперёд а последний вытесняется

1	2	3	4	1	2	5	1	2	4	3	4
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

2	1	5	4
---	---	---	---

# Стратегия LRU (least recently used)

- Если запрошенный элемент найден, он перемещается вперёд
- Если нет, он помещается вперёд а последний вытесняется

1	2	3	4	1	2	5	1	2	4	3	4
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

4	2	1	5
---	---	---	---

# Стратегия LRU (least recently used)

- Если запрошенный элемент найден, он перемещается вперёд
- Если нет, он помещается вперёд а последний вытесняется





# Стратегия LRU (least recently used)

- Если запрошенный элемент найден, он перемещается вперёд
- Если нет, он помещается вперёд а последний вытесняется

1	2	3	4	1	2	5	1	2	4	3	4
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

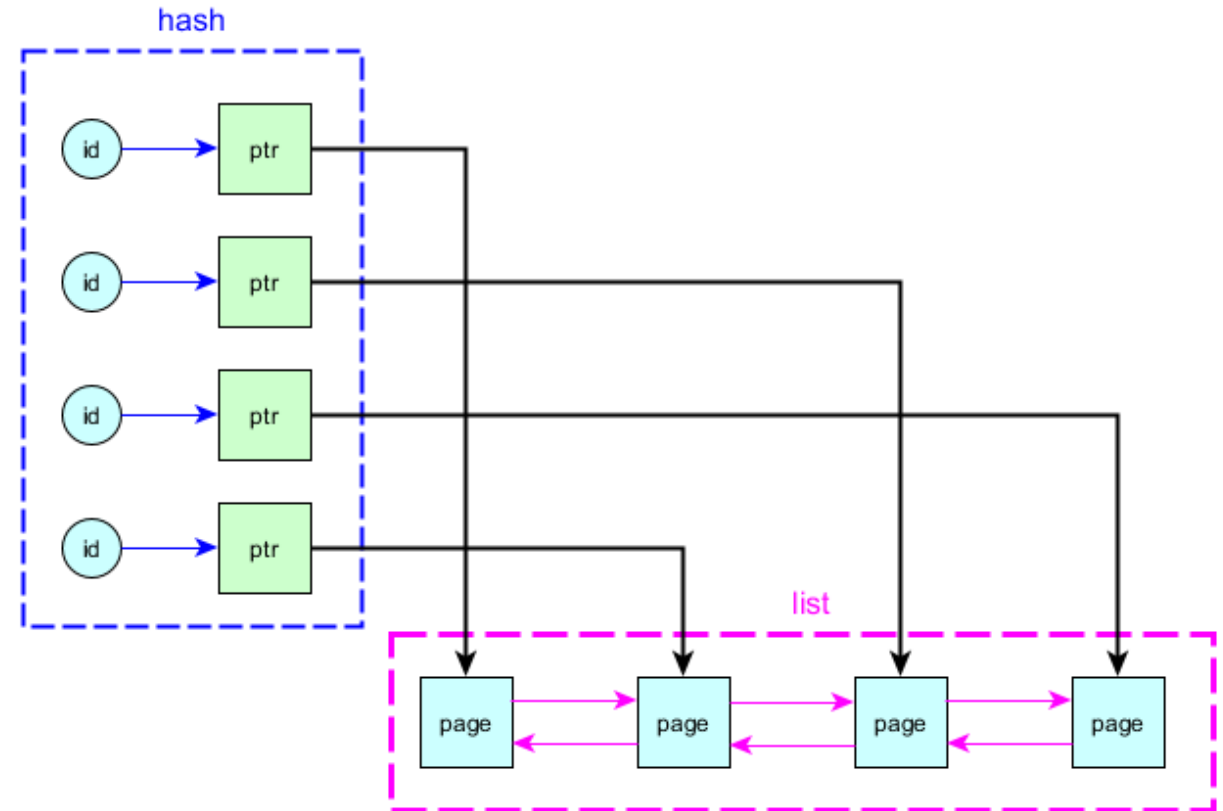
4	3	2	1
---	---	---	---

# Обсуждение

- Какие структуры данных нам понадобятся чтобы сделать LRU cache?

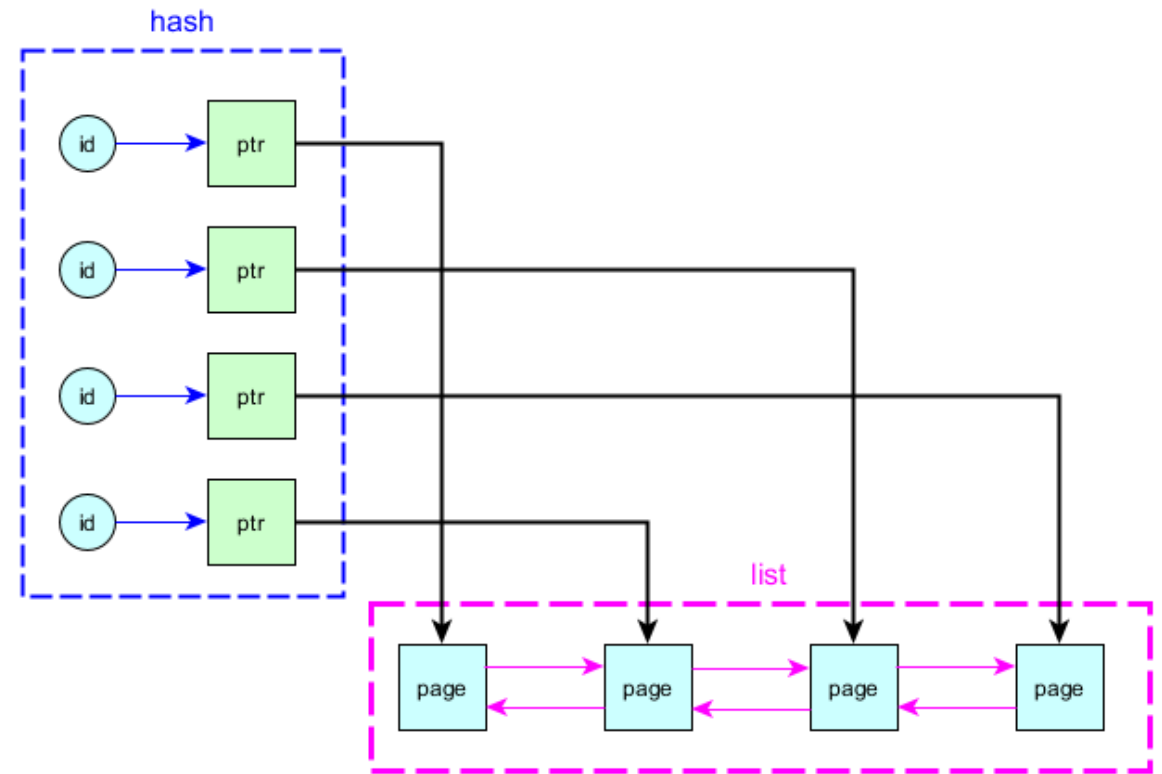
# Обсуждение

- Какие структуры данных нам понадобятся чтобы сделать LRU cache?
- Двусвязный список для собственно кэша
- Хеш-таблица для того, чтобы быстро определять кэширован ли элемент



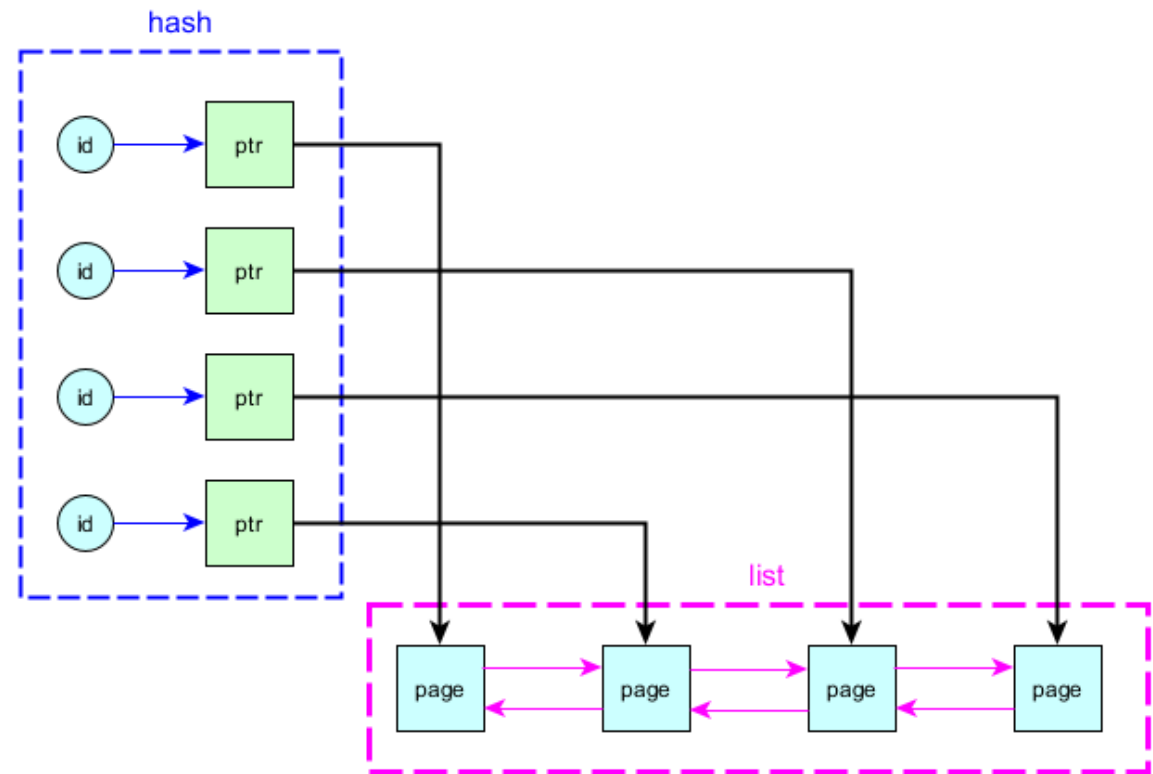
# Алгоритм LRU – текстовое описание

1. По запросу на очередную страницу, проверить кэширована ли она. Если да, перейти к пункту 3. Если запросов нет, завершить работу
2. Использовать медленный способ получить страницу. Удалить из списка и стереть из хеш-таблицы последнюю страницу в списке. Добавить в голову списка и в хеш таблицу новую страницу и перейти к пункту 4
3. Переместить узел соответствующий кэшированной странице в голову списка
4. Обработать страницу в голове списка и вернуться к пункту 1



# Алгоритм LRU – псевдокод

```
next_page = get_page_number()
while next_page != NO_PAGE do
  page_node = is_cached(next_page)
  if page_node != nil
    list_move(page_node, list_top)
  else
    list_delete(list_bottom)
    page_node = slow_get_page()
    list_add(page_node, list_top)
  end if
  process_page(page_node)
  next_page = get_page_number()
end while
```



# Обсуждение

- Вам больше нравится текст или псевдокод?

- ❑ Немного о кэшах

- Реализация на С и её проблемы

- ❑ Реализация на С++

- ❑ О домашних заданиях и этом курсе

# Скетч: LRU на языке C

- Вы все можете потренироваться на Problem LC\*
- Но это нелёгкая проблема. На языке C вам нужно как минимум:
  - Написать свой двусвязный список
  - Написать к нему тесты
  - Написать свою хеш-таблицу
  - Написать к ней тесты
  - Написать уровень абстракции LRU кэша
  - Написать к нему тесты
- Это три модуля и три заголовочных файла, не считая тестов и в общем работа на троих на сутки



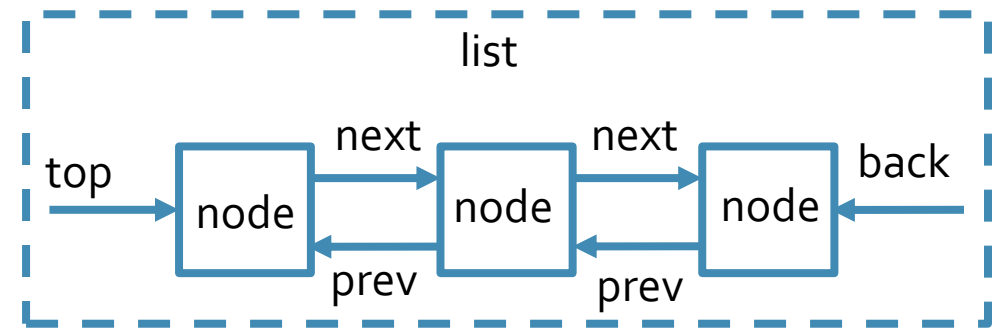
# LRU на языке C: двусвязный список

// скрытая реализация

```
struct list_node_t {  
    struct list_node_t *next;  
    struct list_node_t *prev;  
    struct page_t *data;  
};
```

```
struct list_t {  
    struct list_node_t *top;  
    struct list_node_t *back;  
};
```

- Какие интерфейсные функции нам могут понадобиться?



# LRU на языке C: двусвязный список

// интерфейс в заголовочном файле

```
struct list_t *list_create();
```

```
int list_size(const struct list_t *lst);
```

```
struct page_t *list_back(struct list_t *lst);
```

```
void list_pop_back(struct list_t *lst);
```

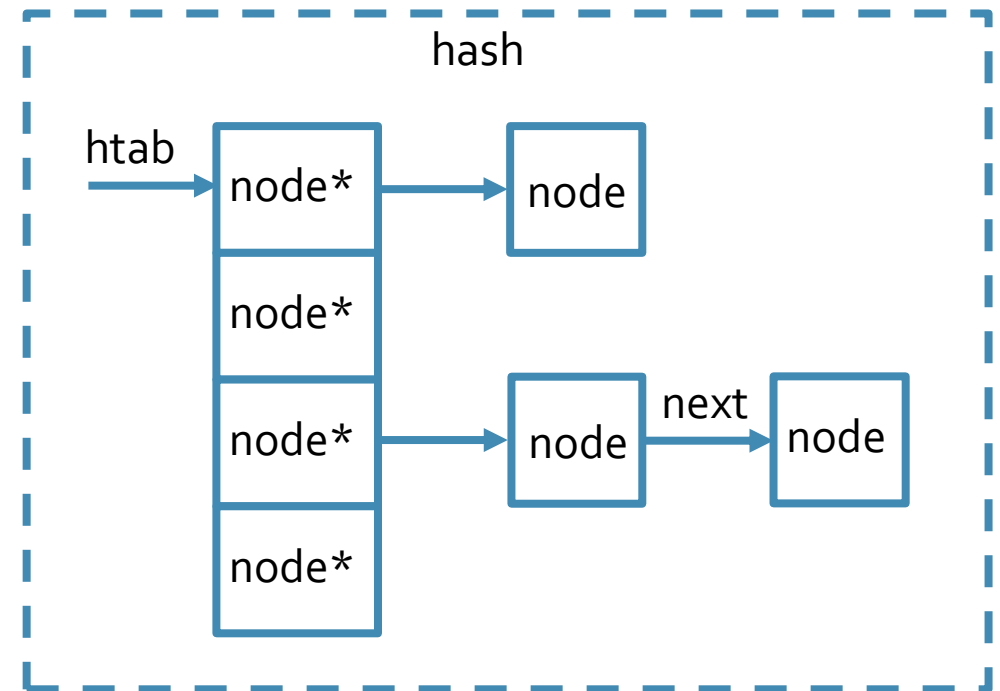
```
void list_push_front(struct list_t *lst, struct page_t *q);
```

```
void list_move_upfront(struct list_t *lst, struct list_node_t *p);
```

```
void list_free(struct list_t *lst);
```

# LRU на языке C: хеш-таблица

```
struct hashmap_entry_t {  
    int key;  
    list_node_t *node;  
};  
  
struct hashmap_node_t {  
    struct hashmap_node_t *next;  
    struct hashmap_entry_t entry;  
};  
  
struct hash_t {  
    struct hashmap_node_t **htab;  
    int len;  
};
```



# LRU на языке C: хеш-таблица

```
// создаёт пустой хеш с заданным количеством бакетов  
struct hash_t *htable_create(int len);
```

```
// ищет узел по ключу  
list_node_t *htable_find(struct hash_t *h, int key);
```

```
// вставляет пару ключ+значение в хеш  
void htable_insert(struct hash_t *h, int key, struct page_t *data);
```

```
// стирает пару ключ+значение из хеша по ключу  
void htable_erase(struct hash_t *h, int key);
```

```
// освобождает хеш и всю использованную память  
void htable_free(struct hash_t *h);
```

# LRU на языке C: собственно КЭШ

```
struct cache_t *cache_create(int cache_size);
void cache_free(struct cache_t *c);

typedef struct page_t * (*slow_get_page_t)();

// поискать или вставить страницу возвращает true если hit
bool cache_lookup_update(
    struct cache_t *c, int key, slow_get_page_t slow);

// скрытая реализация
struct cache_t {
    int sz;
    struct hash_t hash; struct list_t lst;
};
```

# LRU на языке C: собственно КЭШ

```
bool cache_lookup_update(struct cache_t *c, int key, slow_get_page_t slow) {
    struct list_node_t *pnode = htable_find(c->hash, key);

    if (pnode == nullptr) { // not found
        struct hashmap_entry_t newent;
        if (list_size(c->lst) == c->sz) { // cleanup least recently used
            int backid = list_back(c->lst)->id;
            htable_erase(c->hash, backid);
            list_pop_back(c->lst);
        }
        struct page_t *page = slow(); // falling back to slow approach
        list_push_front(c->lst, page);
        newent.key = key; newent.node = list_begin(&c->lst);
        htable_insert(&c->hash, newent);
        return false;
    }
    list_move_upfront(&c->lst, pnode);
    return true;
}
```

# Программа-драйвер для Problem LC

```
cache = cache_create(cache_size);
for (int i = 0; i < num_queries; ++i) {
    int id;
    res = scanf("%d", &id);

    if (cache_lookup_update(cache, id, slow_get_page))
        hits += 1;
}
cache_free(&cache);
```

# Обсуждение

- Хороша ли получившаяся программа?



# Обсуждение

- Хороша ли получившаяся программа?
- Нет, она довольно плоха
- Она слишком сложна и явно недостаточно оттестирована
- В ней есть тяжёлые и неприятные части (например хеш-таблица довольно наивная и скорее всего не потянет серьёзные испытания на прочность)
- В ней приходится постоянно следить за памятью, например простой способ организовать утечку это забыть вызвать одну функцию
- Ну и наконец... а что если нам также надо кешировать **другой тип страниц?**

# Обсуждение

- Язык С является мощным и совершенным инструментом
- Но по своей природе он **слишком низкоуровневый**
- Он исключительно хорош, чтобы писать код в пределах нескольких функций
- Но он практически непригоден, чтобы строить надёжные переиспользуемые абстракции
- Он для этого непригоден до такой степени, что у него даже нет нормальных структур данных в стандартной библиотеке. Каждая большая программа на С реализует свой динамический массив (часто не один)

- ❑ Немного о кэшах

- ❑ Реализация на С и её проблемы

- Реализация на С++

- ❑ О домашних заданиях и этом курсе

# C++: inception

- *Bjarne Stroustrup* разработал C++ в 1983 году во время работы в AT&T Bell Labs для облегчения работы над крупномасштабными задачами
- Изначально C++ компилировался в язык C и первый компилятор назывался Cfront
- До сих пор общее подмножество C и C++ это почти весь C
- Прежде, чем написать LRU cache на C++ нам потребуется ввести несколько новых концепций

# Объединение данных и методов

- Одной из главных особенностей C++ является объединение данных и методов их обработки

```
struct Point { double x, y; };
```

```
struct Triangle { struct Point pts[3]; }; // C way
```

```
double square(const struct Triangle *pt) {  
    double sq = pt->pts[0].x * (pt->pts[1].y - pt->pts[2].y) +  
                pt->pts[1].x * (pt->pts[2].y - pt->pts[0].y) +  
                pt->pts[2].x * (pt->pts[0].y - pt->pts[1].y);  
    return abs(sq) / 2.0;  
}
```

# Объединение данных и методов

- Одной из главных особенностей C++ является объединение данных и методов их обработки

```
struct Point { double x, y; };  
  
struct Triangle { // C++ way  
    struct Point pts[3];  
  
    double square() {  
        double sq = pts[0].x * (pts[1].y - pts[2].y) +  
                     pts[1].x * (pts[2].y - pts[0].y) +  
                     pts[2].x * (pts[0].y - pts[1].y);  
        return abs(sq) / 2.0;  
    }  
};
```

# Объединение данных и методов

- Не обязательно определять функцию внутри

```
struct Triangle {  
    Point pts[3];  
    double square() const; // const так как мы не меняем полей класса  
};  
  
double Triangle::square() const {  
    double sq = pts[0].x * (pts[1].y - pts[2].y) +  
                pts[1].x * (pts[2].y - pts[0].y) +  
                pts[2].x * (pts[0].y - pts[1].y);  
    return abs(sq) / 2.0;  
}
```

# Объединение данных и методов

- Использование получившегося кода

```
Triangle t; // объект типа Triangle
```

```
t.pts[0] = Point {1.0, 1.0}; // запись поля
```

```
t.pts[1] = Point {3.0, 3.0};
```

```
t.pts[2] = Point {1.0, 2.0};
```

```
double a = t.square(); // вызов метода
```

Таким образом с методами занесёнными внутрь структуры, мы работаем так же как и с полями через точку либо через стрелочку.



# Обсуждение: this

- Хорошо спроектированная структура данных на С часто также берёт "указатель на себя" первым параметром
- Делая его неявным, мы как бы говорим "сделай для себя"

```
double square(const struct Triangle *pt) {  
    double sq = pt->pts[0].x * (pt->pts[1].y - pt->pts[2].y) +  
                pt->pts[1].x * (pt->pts[2].y - pt->pts[0].y) +  
                pt->pts[2].x * (pt->pts[0].y - pt->pts[1].y);  
    return abs(sq) / 2.0;  
}
```

# Обсуждение: this

- Хорошо спроектированная структура данных на C часто также берёт "указатель на себя" первым параметром
- Делая его неявным, мы как бы говорим "сделай для себя"

```
double Triangle::square() const {  
    double sq = this->pts[0].x * (this->pts[1].y - this->pts[2].y) +  
                this->pts[1].x * (this->pts[2].y - this->pts[0].y) +  
                this->pts[2].x * (this->pts[0].y - this->pts[1].y);  
    return abs(sq) / 2.0;  
}
```

- Указывать явный this иногда необходимо. Но здесь это сделано без необходимости и это дурной тон

# Обсуждение: this

- Хорошо спроектированная структура данных на C часто также берёт "указатель на себя" первым параметром
- Делая его неявным, мы как бы говорим "сделай для себя"

```
double Triangle::square() const {  
    double sq = pts[0].x * (pts[1].y - pts[2].y) +  
                pts[1].x * (pts[2].y - pts[0].y) +  
                pts[2].x * (pts[0].y - pts[1].y);  
    return abs(sq) / 2.0;  
}
```

- Здесь мы не пишем this, но подразумеваем его

```
Triangle t; t.square(); // this == &t
```

# Обобщение данных и методов

- Ещё одна важная концепция это обобщение через механизм шаблонов
- Конкретный тип: точка из двух целых координат

```
struct Point_int { int x, y; };
```

```
Point_int p;
```

- Обобщённый тип: точка из двух **любых** координат

```
template <typename T> struct Point { T x, y; };
```

```
Point<int> pi;
```

```
Point<double> pd;
```

# Обобщение данных и методов

- Тот же треугольник можно обобщить на любые типы точек

```
template <typename T> struct Point { T x, y; };  
template <typename U> struct Triangle {  
    Point<U> pts[3]; // U будет подставлено как T в Point  
  
    // почему я изменил интерфейс на double_square?  
    U double_square() {  
        U sq = pts[0].x * (pts[1].y - pts[2].y) +  
               pts[1].x * (pts[2].y - pts[0].y) +  
               pts[2].x * (pts[0].y - pts[1].y);  
        return (sq > 0) ? sq : -sq; // почему больше не abs?  
    }  
};
```

# Обсуждение

- С одной стороны обобщение создаёт возможности

```
Triangle<double> t;  
Triangle<float> tf;
```

- С другой стороны оно создаёт проблемы
- Это очень часто ходит рука об руку

# Обобщение функций

- Пожалуй единственным способом написать на С максимум двух чисел является макрос

```
#define MAX(x, y) (((x) > (y)) ? (x) : (y))
```

- Перечислите все проблемы в этом макросе

# Обобщение функций

- Пожалуй единственным способом написать на С максимум двух чисел является макрос

```
#define MAX(x, y) (((x) > (y)) ? (x) : (y))
```

- Перечислите все проблемы в этом макросе
- На С++ шаблон функции лишён этих проблем

```
template <typename T> T max(T x, T y) {  
    return (x > y) ? x : y;  
}
```



# Обобщение вместо void\*

- Стандартная функция из библиотеки C

```
void qsort (void* base, size_t num, size_t size,  
           int (*compar)(const void*,const void*));
```

- Что можно с ней сделать используя шаблоны?

# Обобщение вместо void\*

- Первая итерация

```
template <typename T, typename Comp>  
void qsortpp (T* base, size_t num, Comp compare);
```

- Вместо передачи указателя и длины, можно передавать два указателя на начало и конец интервала

# Обобщение вместо void\*

- Вторая итерация

```
template <typename T, typename Comp>  
void qsortpp (T* start, T* fin, Comp compare);
```

- Вместо указателей можно использовать указателе-подобные объекты, так называемые итераторы и получить

```
template <typename It, typename Comp = std::less>  
void sort (It start, It fin, Comp compare);
```

# Обсуждение

- Что будет работать быстрее?

```
qsort(narr, nelts, sizeof(int), intless);
```

или

```
std::sort(narr, narr + nelts);
```

- Давайте поставим эксперимент и попробуем истраковать результат

# Стандартная библиотека

- С++ имеет массу стандартных обобщённых **контейнеров** и обобщённых **алгоритмов** над ними
- Например `list` это стандартный двусвязный список
- Работа с ним не сложнее, чем с самописным треугольником

```
Triangle<double> t; // создать треугольник
```

```
t.pts = {{1, 0}, {2, 1}, {3, 2}}; // задать точки
```

```
double sq = t.double_square() / 2; // вычислить площадь
```

# Стандартная библиотека

- C++ имеет массу стандартных обобщённых **контейнеров** и обобщённых **алгоритмов** над ними
- Например `std::list` это стандартный двусвязный список
- Работа с ним не сложнее, чем с самописным треугольником

```
std::list<int> lst; // создать список
```

```
lst.push_back(2); // добавить несколько узлов
```

```
lst.push_back(1);
```

```
lst.push_front(1); // {1, 2, 1}
```

```
lst.remove_if(1); // удалить все единицы
```

# Скетч: LRU на языке C++

- Снова можно потренироваться на Problem LC, там есть вариант для C++
- Теперь всё упрощается
  - Можно взять `list` в качестве двусвязного списка
  - Можно взять `unordered_map` в качестве хеш-таблицы
  - Написать уровень абстракции LRU кэша
  - Написать к нему тесты
- Это один модуль (и один заголовочный файл) и работы здесь одному человеку часа на два, если с тестами

# Скетч: LRU на языке C++

```
template <typename T, typename KeyT = int>
struct cache_t {
    size_t sz_;
    std::list<T> cache_;

    using ListIt = typename std::list<T>::iterator;
    std::unordered_map<KeyT, ListIt> hash_;

    bool full() const;

    template <typename F>
    bool lookup_update(KeyT key, F slow_get_page);
};
```



# Скетч: LRU на языке C++

```
bool lookup_update(KeyT key, F slow_get_page) {
    auto hit = hash_.find(key);

    if (hit == hash_.end()) { // not found
        if (full()) {
            hash_.erase(cache_.back().id); // cleanup least recently used
            cache_.pop_back();
        }
        cache_.push_front(slow_get_page(key)); // fallback to slow method
        hash_[key] = cache_.begin();
        return false;
    }

    auto eltit = hit->second;
    if (eltit != cache_.begin())
        cache_.splice(cache_.begin(), cache_, eltit, std::next(eltit));
    return true;
}
```

# Как быть с присвоением размера?

```
cache_t<page_t> c; // создали кеш
std::cin >> m >> n;
c.SZ_ = m; // только тут присвоили размер
for (int i = 0; i < n; ++i) {
    page_t p;
    std::cin >> p.id;
    assert(std::cin.good());
    if (c.lookup_update(&p, slow_get_page)) hits += 1;
}
std::cout << hits << "\n";
```

# Обсуждение

- Получившаяся программа всё ещё плоха с точки зрения C++
  - Структура кэша не **инкапсулирует** контекст и не создаёт законченной абстракции
  - Мы не написали **конструктор**, а вместо этого присваиваем sz напрямую
- Но она уже гораздо лучше: короче, яснее, надёжней и вы можете использовать этот кеш чтобы кешировать в принципе любые данные
- К тому же в неё легко вносить изменения и оптимизации. Скажем добавить контроль размера кэша как поле в класс а не вычислять каждый раз размер списка

# Идея конструктора

- Этот участок кода очень подозрительный

```
cache_t<page_t> c;  
std::cin >> m >> n; // scanf("%d%d", &m, &n);  
c.SZ_ = m;
```

- Хочется сделать параметр размера обязательным при создании кэша

# Идея конструктора

- Напишем простой конструктор

```
template <typename T, typename KeyT = int>
struct cache_t {
    size_t sz_;
    // .....
    cache_t(size_t sz) : sz_(sz) {} // ctor
```

- Теперь попытка создать кэш без параметра это ошибка

```
cache_t<page_t> c; // FAIL
```

# Идея конструктора

- Напишем простой конструктор

```
template <typename T, typename KeyT = int>
struct cache_t {
    size_t sz_;
    // .....
    cache_t(size_t sz) : sz_(sz) {} // ctor
```

- Мы создаём кэш **после** того как у нас есть вся информация

```
std::cin >> m >> n;
cache_t<page_t> c{m}; // creating with ctor
```

# Обсуждение

- Хорошо написанный тип обладает тем, что называется **семантикой значения**.
- Грубо говоря, он "ведёт себя как int".
  - Его контекст скрыт внутри, изменение других объектов его не затрагивает
  - Константные операции над ним делают всё, что можно сделать
- Конструкторы это первый шаг к тому, чтобы сделать ваши типы (такие как "кеш" или "треугольник") такими же естественными как int и float.

- ❑ Немного о кэшах

- ❑ Реализация на С и её проблемы

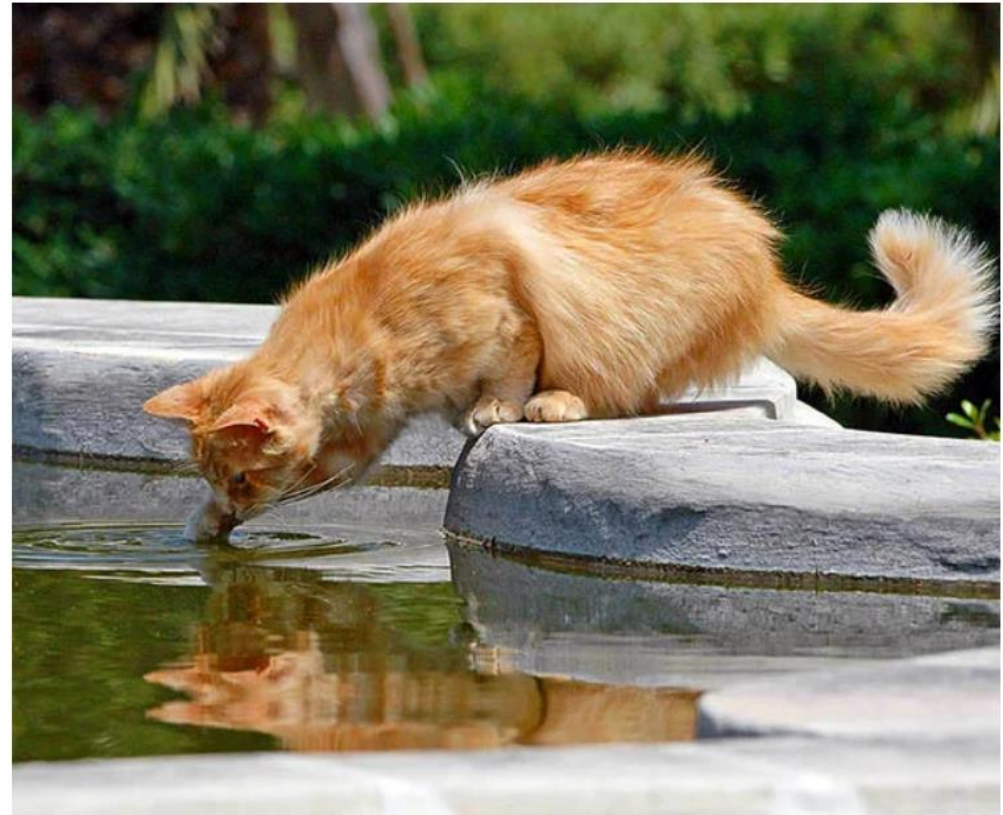
- ❑ Реализация на С++

- О домашних заданиях и этом курсе



# Мы только потрогали воду лапкой

- Язык C++ богат возможностями
- Если вы просто знаете C, то многим вы можете начинать пользоваться прямо сейчас
- Но увы, язык C++ сложен и коварен
- Использовать его, не обладая глубоким пониманием происходящего часто бывает неприятно



# C++ за 21 день?

- Надо осознавать, что мы находимся в начале **долгого** пути и настраиваться на марафонскую дистанцию
- Я надеюсь, на втором курсе мы успеем разобрать
  - Базовое объектно-ориентированное программирование
  - Простые шаблоны классов и функций
  - Основные механизмы стандартной библиотеки
  - Много интересных алгоритмов и структур данных
- Последний пункт особенно важен. Наверное можно механически выучить язык не научившись программированию на этом языке. Но это бессмысленно.

# О домашних работах

- Домашние задания (кроме первого, разминочного) больше внутри, чем кажутся снаружи. Каждое домашнее задание имеет до девяти уровней с экспоненциально растущей сложностью
- Уровни со второго и выше не публикуются, они высылаются вам, если ваш первый уровень прошёл проверку и ревью
- Всего нам предстоит восемь домашних работ, что даёт  $1 + 7 * 9 = 64$  задания. Реально их у меня около 120, так что ваш второй уровень третьего задания может не совпадать со вторым уровнем вашего соседа по комнате
- Обычное количество заданий, решаемых за год талантливым студентом – около десяти. Вы можете сделать больше, собираясь командами (члены команды делают одинаковые задания и делают их вместе).

# Как преуспеть в домашних работах

- Организация кода
  - Убедитесь, что вы умеете работать с системой контроля версий, что ваши программы разбиты на переиспользуемые модули, что модули логично названы
- Система сборки
  - Лучше всего если вы освоите make, но любая другая система тоже подойдёт. Проверьте сборку под Windows и под Linux.
- Тестирование и обработка ошибок ввода
  - Не бойтесь писать и даже генерировать end-to-end тесты: вход, выход
- Качество кода
  - Убедитесь, что ваши методы достаточно короткие, что их имена логичны, что на не модифицирующих методах не забыт const

# Идеальное кэширование

- Представим, что мы заранее знаем будущее
- Тогда оптимальная стратегия состоит в следующем:
  - для каждой следующей страницы посмотреть в будущем когда она встретится
  - выкинуть из кэша ту, которая встретится **позже прочих**
- Реализуя разные алгоритмы тестирования кэшей логично сравнивать их с идеальным кэшированием
- Попробуйте найти такой паттерн доступа на котором выбранный вами алгоритм наиболее близок к оптимальному и наиболее далёк от него

# Домашняя работа HWC – кэши

- Выберите любой алгоритм кэширования из перечисленных ниже
  - **ARC** (adaptive replacement cache)
  - **2Q** (алгоритм двух очередей, дальнейшее развитие LRU)
  - **LFU** (вытеснение наименее часто используемого)
  - **LIRS** (low-inference recency set)
- Входные и выходные данные
  - На stdin размер кеша и кол-во элементов, потом сами элементы (целыми числами)
  - На stdout количество попаданий
  - Пример. Вход: 2 6 1 2 1 2 1 2, выход: 4
- Обязательно добавьте сравнение с идеальным кэшированием

# Литература

- [CXX20] ISO/IEC 14882 – "Information technology – Programming languages – C++", 2020
- [SB] Bjarne Stroustrup, The C++ Programming Language (4th Edition), 2013
- [C11] ISO/IEC 9899 – "Information technology – Programming languages – C", 2011
- [K&R] Brian W. Kernighan, Dennis Ritchie – The C programming language, 1988
- [LS] Stanley Lippman, The C++ Primer (5th Edition), 2012

