

УКАЗАТЕЛИ И ССЫЛКИ

Genesis снова. Немного вычислительной геометрии. Инкапсуляция

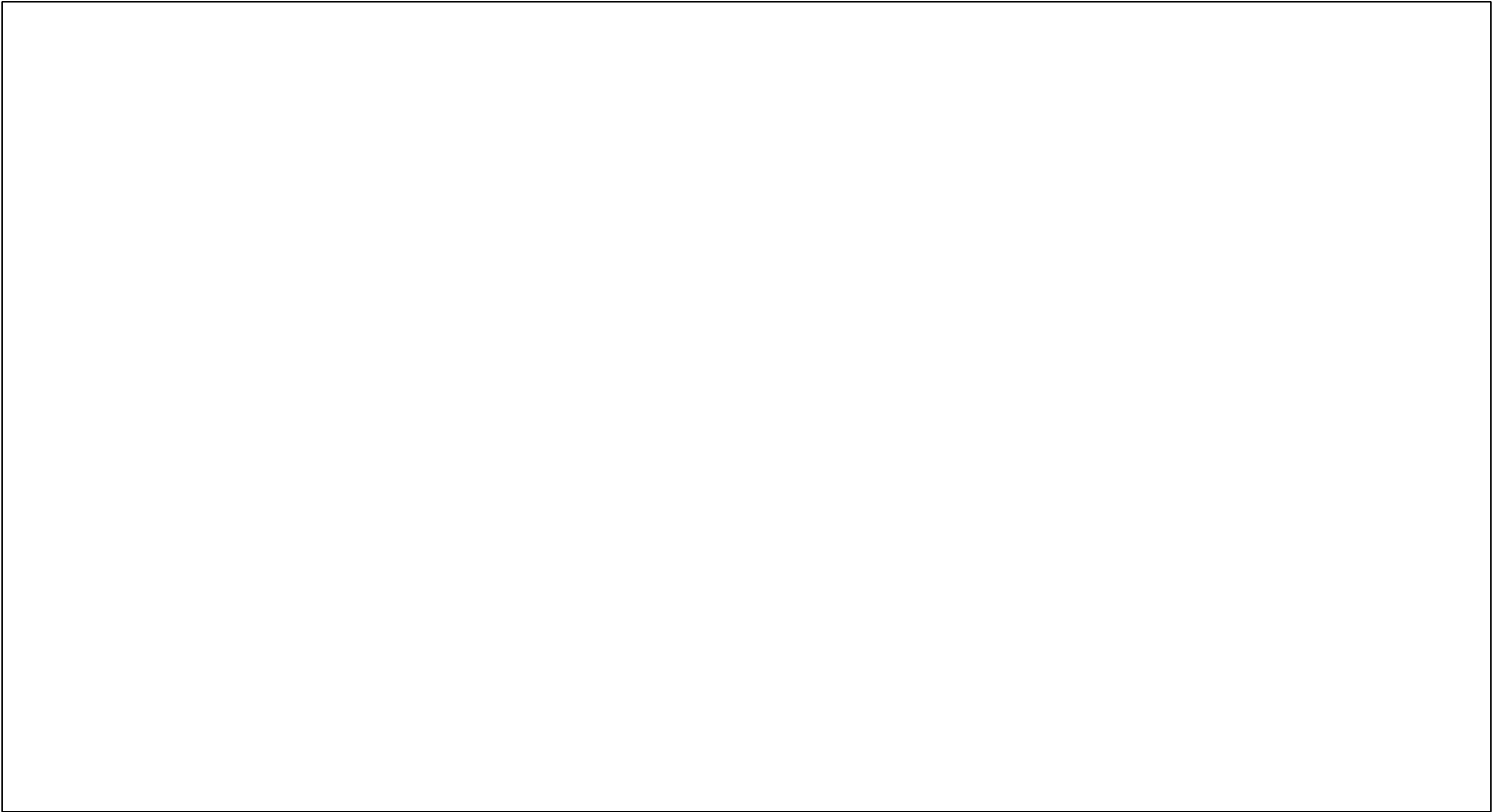
К. Владимиров, Intel, 2020
mail-to: konstantin.vladimirov@gmail.com

➤ Genesis: имена и объекты

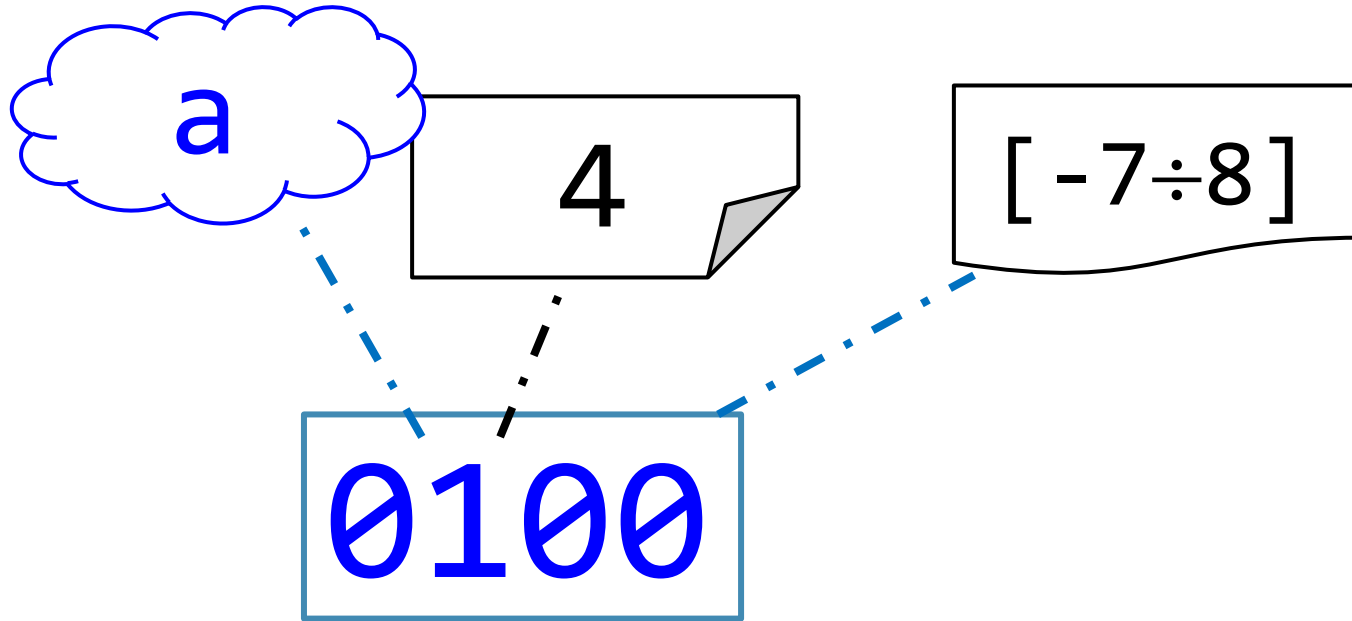
□ Вычислительная геометрия

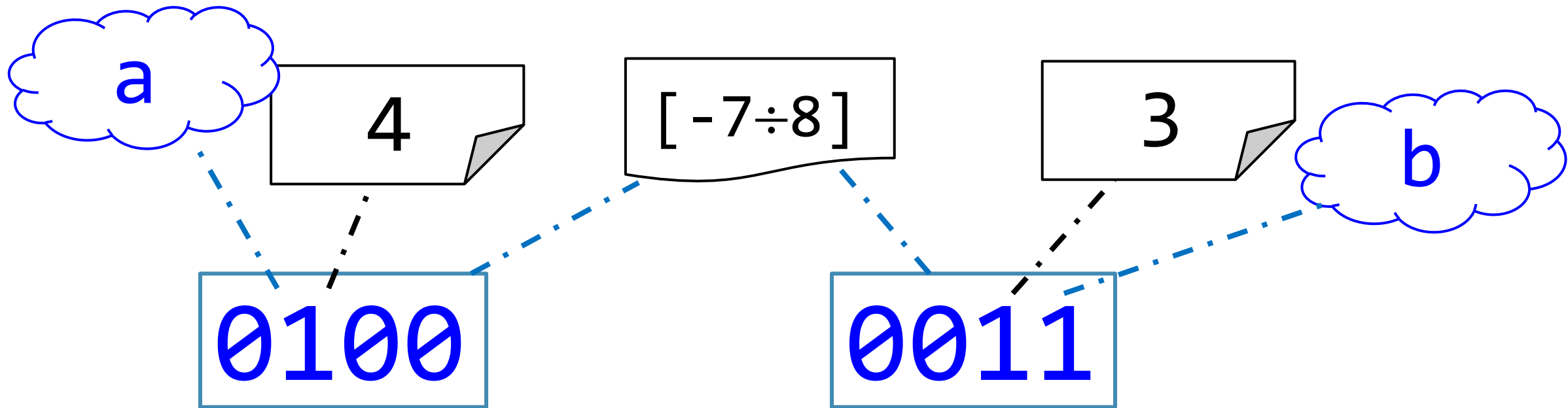
□ Инкапсуляция

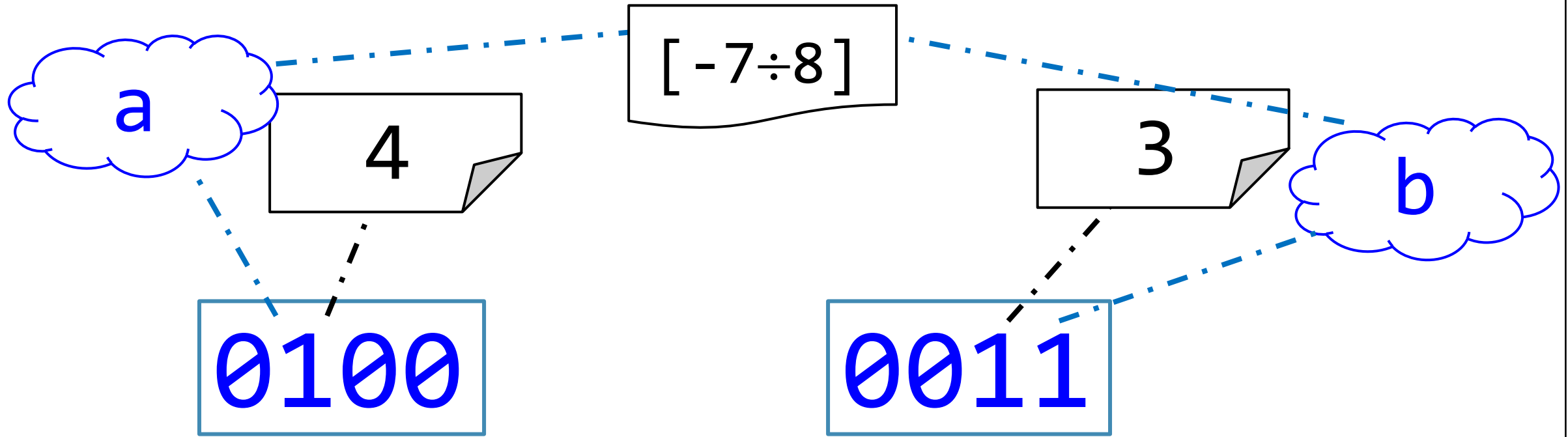
□ Область видимости и время жизни



0100





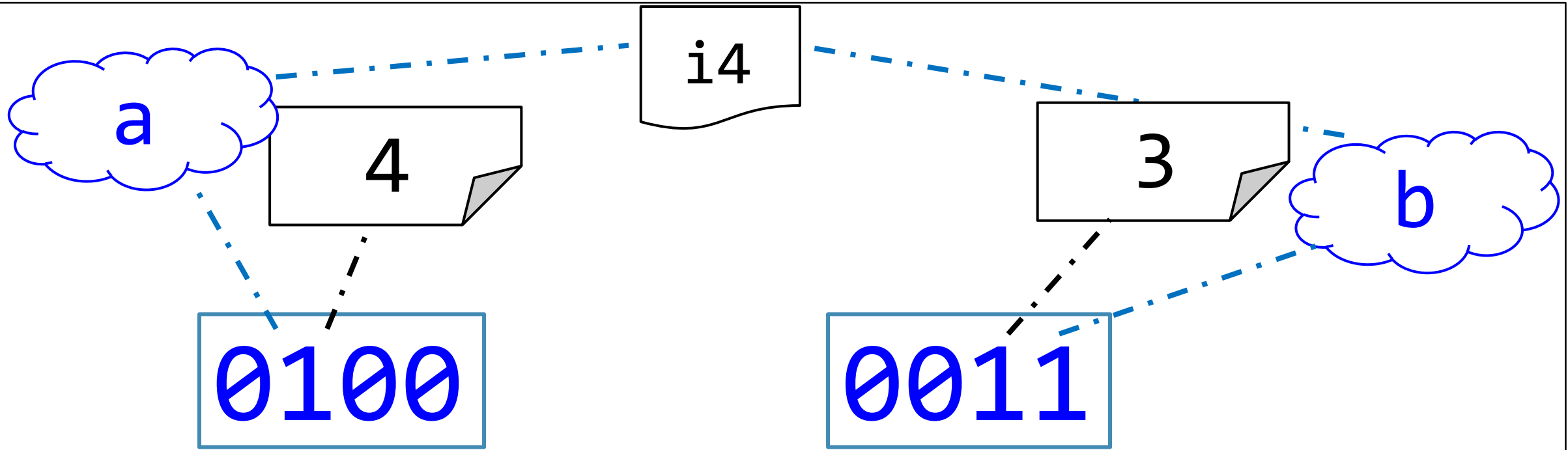


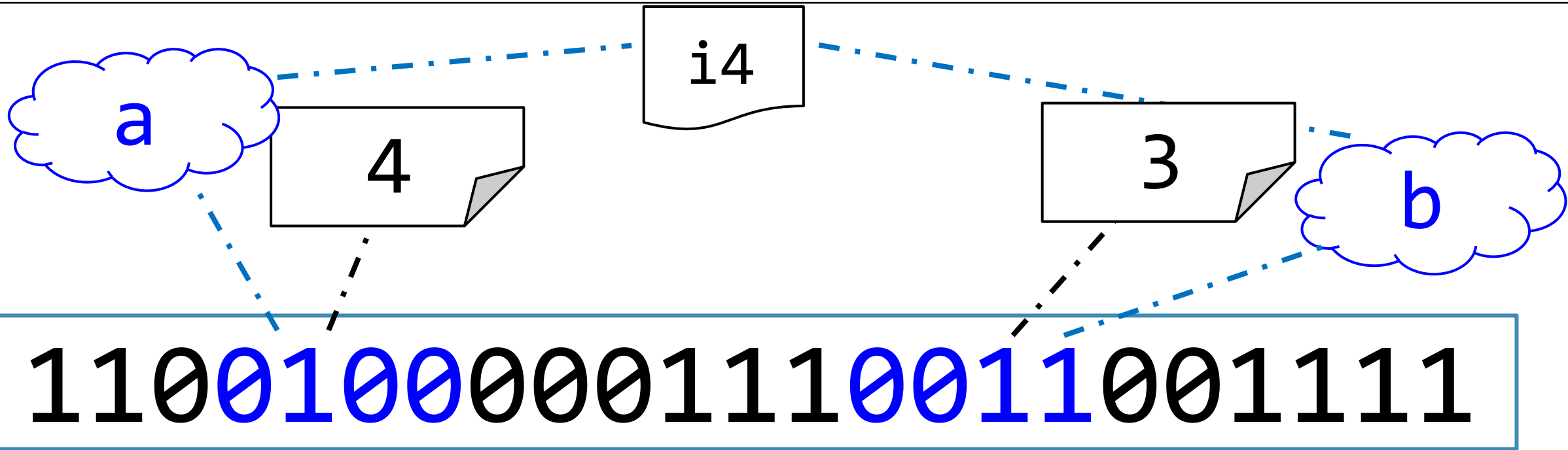
Обсуждение

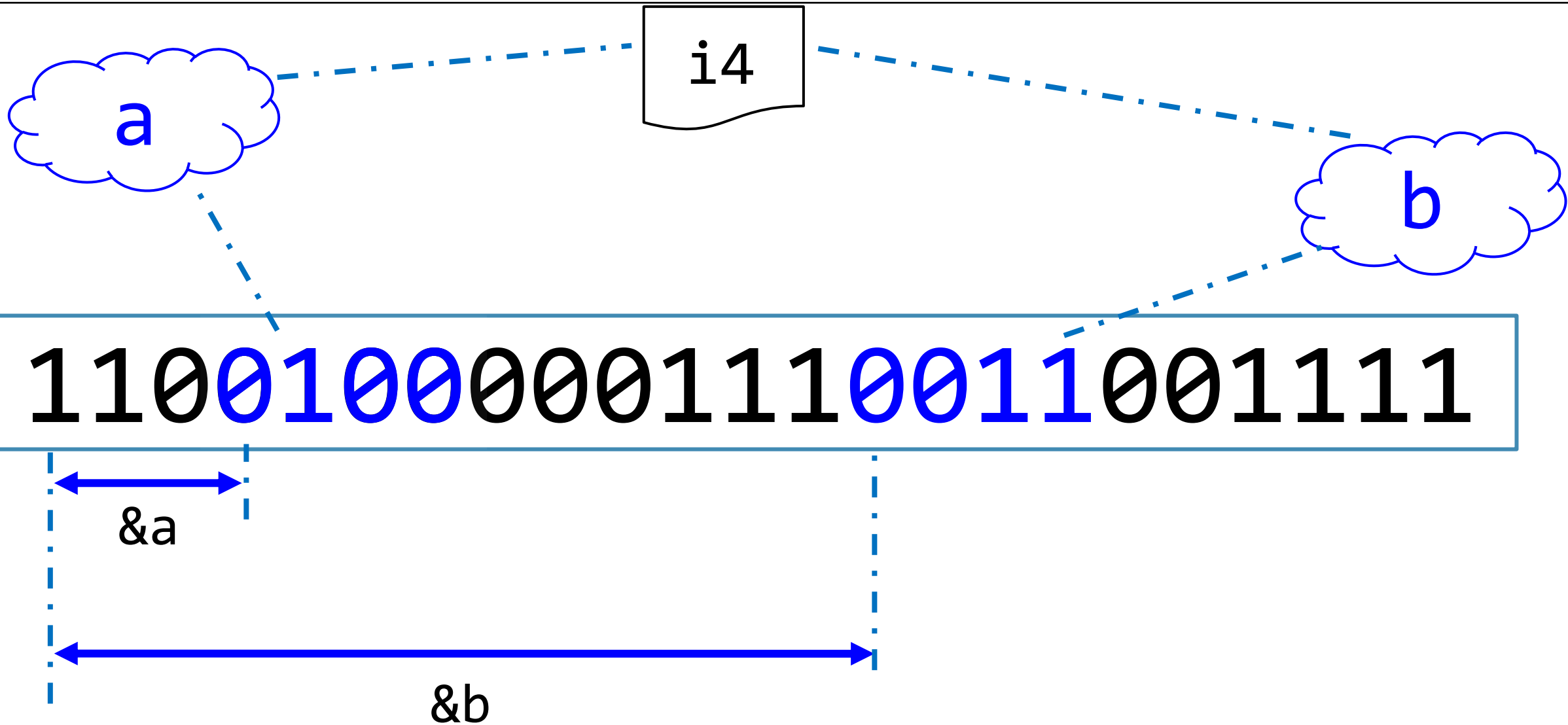
- Что такое тип?
- Достаточно ли для типа задать диапазон значений, например $[-7 \div 8]$?

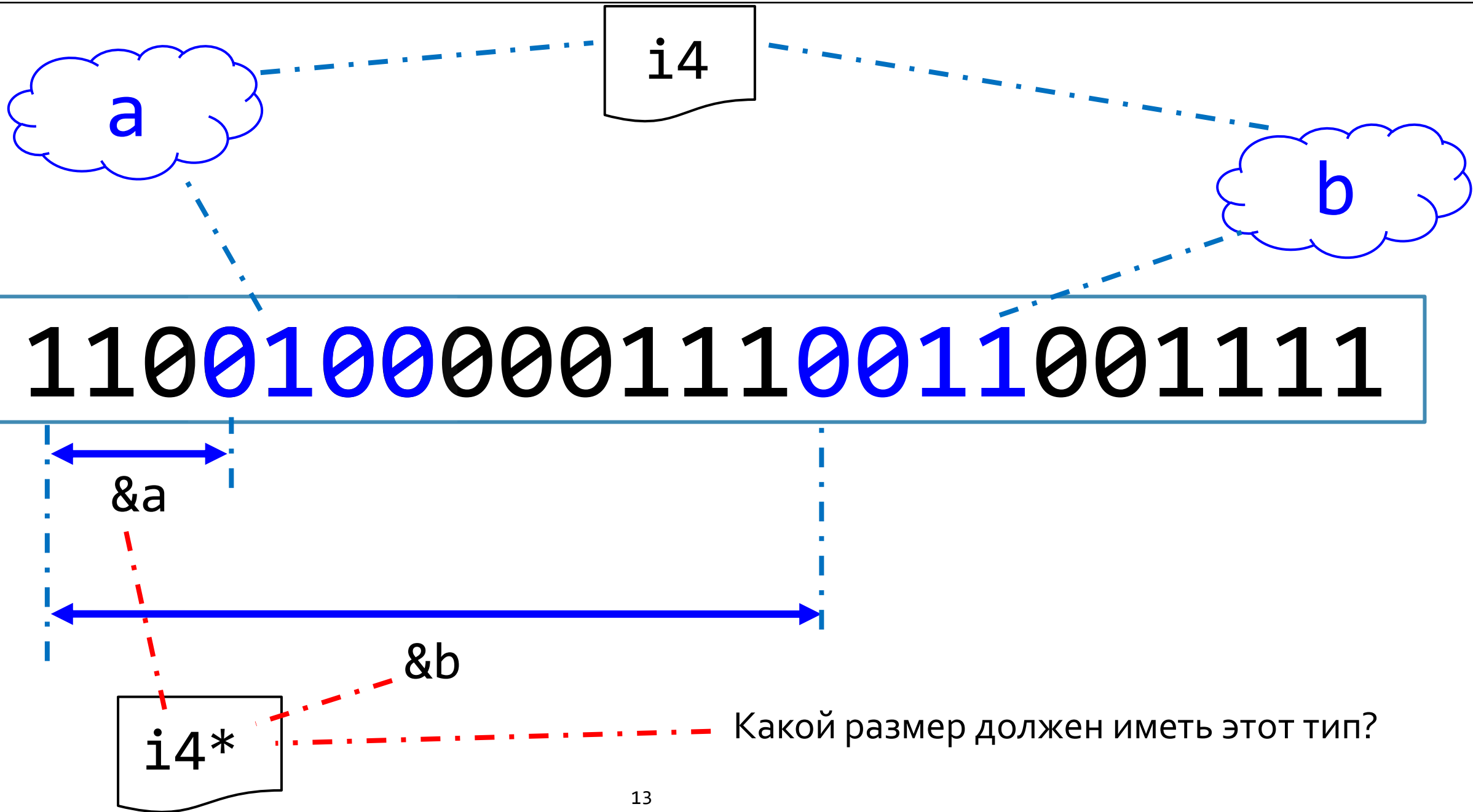
Типы: value types & object types

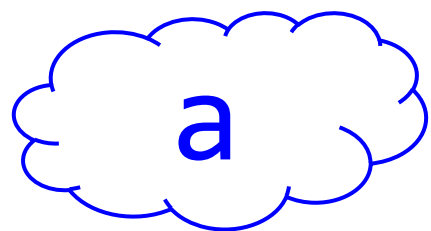
- Что такое тип?
- value type: диапазон значений объекта
- object type: совокупность операций над объектом
 - Например $5 / 2$ даст 2 для типа int но 2.5 для типа double
 - $0 - 1$ даст -1 для char, но 255 для unsigned char
- Назовём целочисленный арифметический тип `i4`



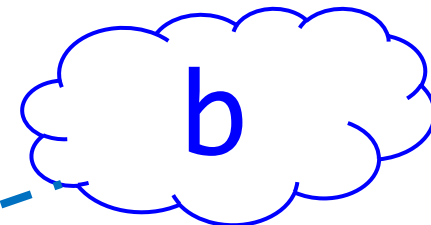








i4* [0÷22]



11001000001110011001111



&a



points-to



&b

Нулевые указатели

- Если указатель это просто расстояние, может быть и нулевое расстояние?
- Нулевой указатель это специальный "маркер ничего". По нему ничего не лежит
- Не надо путать 0, NULL и nullptr

`if (!p) { smth(); } // сработает во всех трёх случаях`

- В языке C++ наш выбор nullptr

Индексация указателей

- Изначально указатели всегда были указателями внутрь массивов, поэтому поддерживается синтаксис

$p[2] == *(p + 2)$

- Поскольку сложение коммутативно, $2[p]$ тоже работает
- Все ли понимают сколько байт будет добавлено к p при сложении с целым?

i4*

i4

pb

pb[0]

pb[1]

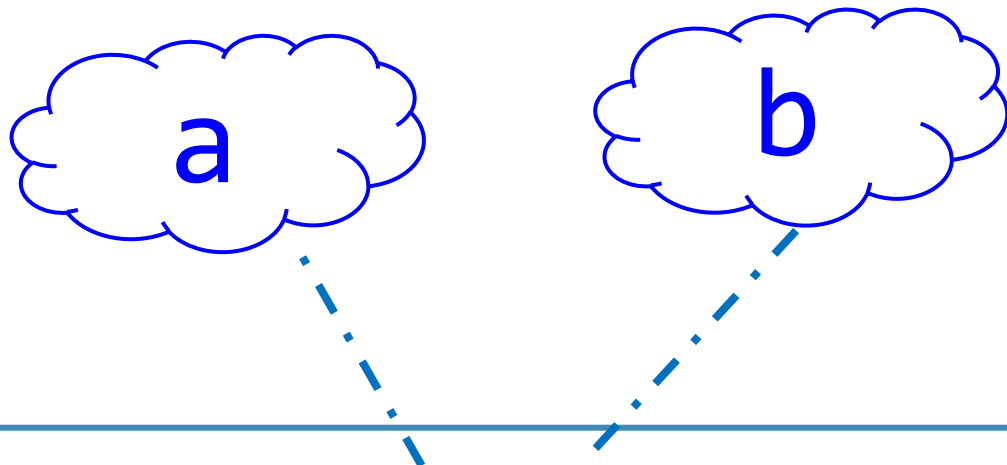
1100100000111001100111

pb

pb+4

Ссылки (lvalue references)

- И если бы речь шла о языке C, то это было бы всё. Но в C++ есть уникальная возможность: два имени у одного объекта



1100100001110011001111

Синтаксис ссылок

- Базовый синтаксис lvalue ссылок это одинарный **амперсанд**

```
int x;  
int &y = x; // теперь у это просто ещё одно имя для x
```

- Не путайте его с **разыменованием!**

```
int x[2] = {10, 20};  
int &xref = x[0];  
int *xptr = &x[0];  
xref += 1;  
xptr += 1;  
  
assert(xref == 11);  
assert(*xptr == 20);
```

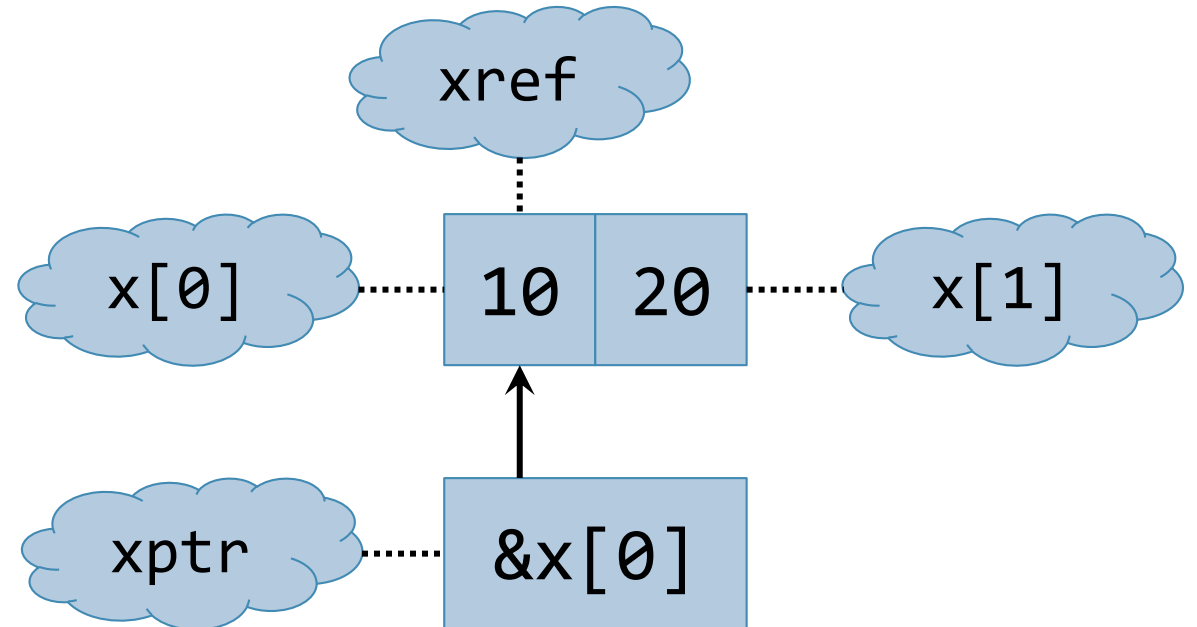
Синтаксис ссылок

- Базовый синтаксис lvalue ссылок это одинарный **амперсанд**

```
int x;  
int &y = x; // теперь у это просто ещё одно имя для x
```

- Не путайте его с **разыменованием!**

```
int x[2] = {10, 20};  
int &xref = x[0];  
int *xptr = &x[0];  
xref += 1;  
xptr += 1;  
  
assert(xref == 11);  
assert(*xptr == 20);
```



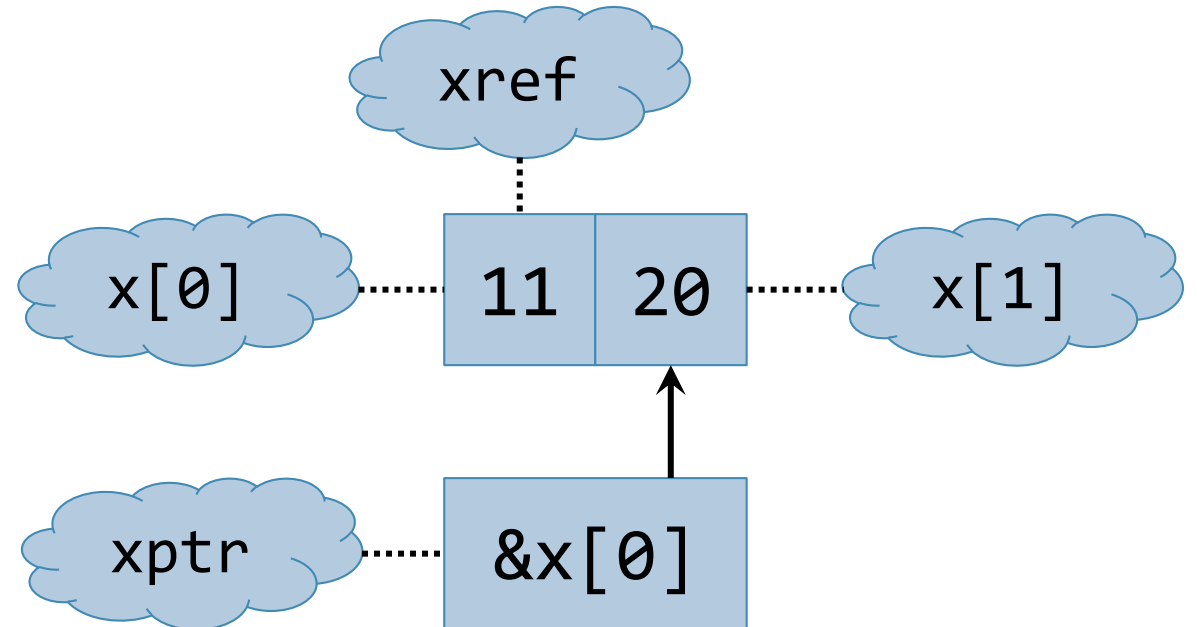
Синтаксис ссылок

- Базовый синтаксис lvalue ссылок это одинарный **амперсанд**

```
int x;  
int &y = x; // теперь у это просто ещё одно имя для x
```

- Не путайте его с **разыменованием!**

```
int x[2] = {10, 20};  
int &xref = x[0];  
int *xptr = &x[0];  
xref += 1;  
xptr += 1;  
  
assert(xref == 11);  
assert(*xptr == 20);
```



Правила для ссылок

- Единожды связанную ссылку нельзя перевязать

```
int x, y;
```

```
int &xref = x; // теперь нет возможности связать имя xref с переменной y  
xref = y; // то же, что x = y
```

- Ссылки прозрачны для операций, включая взятие адреса

```
int *xptr = &xref; // то же самое, что &x
```

- Сами ссылки не имеют адреса. Нельзя сделать указатель на ссылку

```
int &*xrefptr = &xref; // ошибка
```

```
int *& xptrref = xptr; // ок, ссылка на указатель
```

Константность для ссылок

- Все ли помнят правила константности для указателей?

`const char *s1; //?`

`char const *s2; //?`

`char * const s3; //?`

`char const * const s4; //?`

Константность для ссылок

- Все ли помнят правила константности для указателей?

`const char *s1; // указатель на константные данные (west-const)`

`char const *s2; // указатель на константные данные (east-const)`

`char * const s3; // константный указатель на (изменяемые) данные`

`char const * const s4; // константный указатель на константные данные`

- Правила для ссылок гораздо проще

`char &r1 = r; // неконстантная ссылка (изменяема)`

`const char &r2 = r1; // константная ссылка (не изменяема)`

Использование ссылок

- Представим некую функцию, которой нужно читать два тяжёлых объекта
- Эта сигнатура плоха (все ли понимают чем?)

```
int foo(Heavy fst, Heavier snd) { // fst.x
```

- Эта сигнатура куда лучше но придётся разыменовывать указатели

```
int foo(const Heavy *fst, const Heavier *snd) { // fst->x
```

- Эта сигнатура использует указатели неявно

```
int foo(const Heavy &fst, const Heavier &snd) { // fst.x
```

Использование ссылок

- Синонимы внутри больших объектов

```
void mytype::change_internal(some_big_obj &obj) {  
    int &internal = obj.somewhere[5].guts.internal;  
    // код, активно изменяющий internal  
}
```

- Здесь разница заметнее. Указатель был бы ячейкой памяти. Ссылка это просто имя
- Кроме того указатель всегда может быть изменён

```
int *internal = &obj.somewhere[5].guts.internal;  
internal += 5; // не имеет смысла тут, но всегда возможно!
```

Немного священных войн

- Многие считают, что ссылка это плохой синтаксис out-аргумента так как она не видна при вызове

```
void foo(int &);  
void bar(int *);
```

```
int x;
```

```
foo(x); // не очевидно, что x это out-param  
bar(&x);
```

- Что вы думаете?

Немного священных войн

- Многие считают, что ссылка это плохой синтаксис out-аргумента так как она не видна при вызове

```
void foo(int &);  
void bar(int *); // не очевидно, что это не массив
```

```
int x;
```

```
foo(x); // не очевидно, что x это out-param  
bar(&x);
```

- Что вы думаете?
- Я лично думаю, что out-параметры плохи сами по себе. Указатели не делают вещи лучше.

Немного священных войн

- Дополнительный аргумент это состояние внутри функции

```
void foo(int &x) {  
    // очевидно, что x содержит int  
}
```

```
void bar(int *x) {  
    // не очевидно, x не nullptr  
}
```

- Более ограниченный интерфейс ссылок часто позволяет сократить рантайм-проверки

Обсуждение

- Как вы думаете, почему `this` это указатель а не ссылка?

□ Имена и объекты

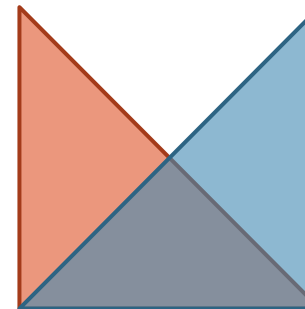
➤ Вычислительная геометрия

□ Инкапсуляция

□ Область видимости и время жизни

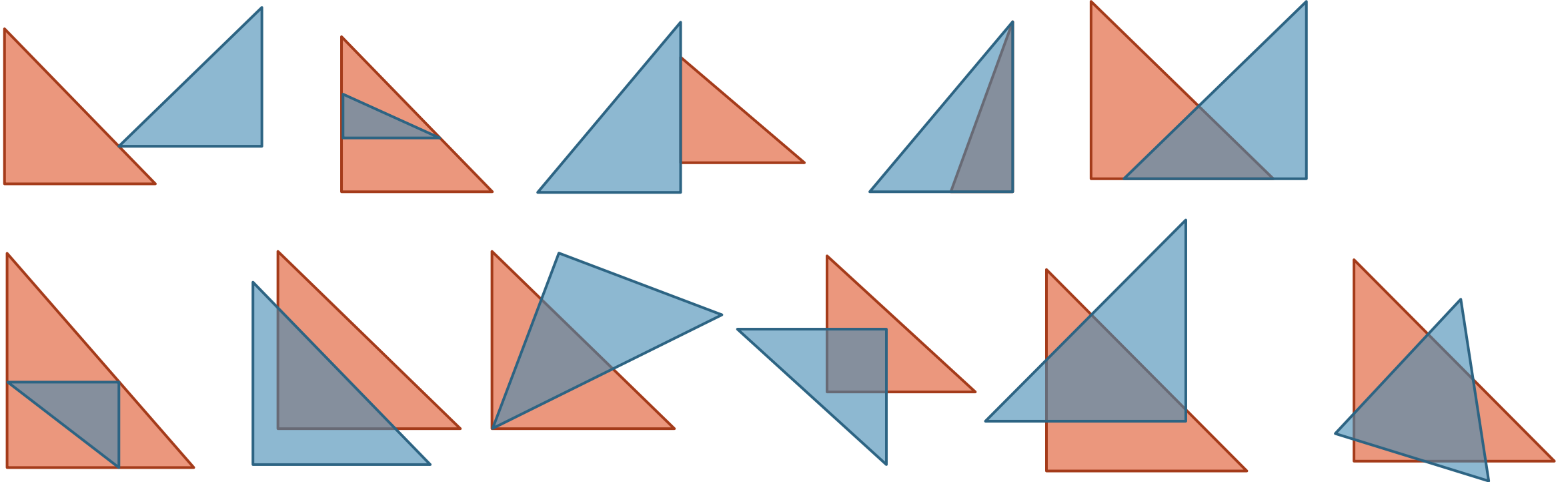
Я просто хочу пересечь треугольники

- Со стандартного ввода приходят два набора точек представляющих плоские треугольники. Задача: на стандартный вывод вывести площадь пересечения
- Ввод: 0 0 0 1 1 0 0 0 0 1 1 1 0
- Вывод: 0.25
- Это сложная задача или простая?
- Как бы вы её решали?



На что похоже решение?

- Первый вопрос в таких обманчиво-простых задачах это: а как вообще может выглядеть решение?



Выделим предметную область

- Нам понадобятся:
 - Структуры для двумерной точки, отрезка, треугольника, полигона
 - Важный инсайт: координаты лучше сразу закладывать FP
 - Это будут **типы** в нашей программе
- Выделим операции над **объектами** этих типов
 - Пересечение отрезков, взаимоположение точки и отрезка, построение полигона как выпуклой оболочки множества точек, вычисление площади полигона, вероятно что-то ещё
 - Это будут **методы** классов
- На этапе проектирования алгоритмы менее важны. Хорошо спроектированная программа легко переживает смену алгоритмов

Скетч: структура для точки

```
struct point_t {  
    float x = NAN, y = NAN;  
  
    void print() const;  
    bool valid() const;  
    bool equal(const point_t &rhs) const;  
};
```

- Такая точка может быть сконструирована по умолчанию (в невалидном состоянии)
- Метод `equal` должен проверять `std::abs(x - rhs.x) < flt_tolerance`

Скетч: структура для линии

```
// line_t -- line in form of  $ax + by + c = 0$ 
```

```
struct line_t {  
    float a = -1.0f, b = 1.0f, c = 0.0f;  
  
    void print() const;  
    bool valid() const;  
    line_t(const point_t &p1, const point_t &p2);  
};
```

- Такая линия может быть и сконструирована по умолчанию и собрана из двух точек
- Конструктор из двух точек уже не слишком тривиален. Как бы вы его написали?

Скетч: конструктор для линии

```
line_t(const point_t &p1, const point_t &p2) {  
    float angle = std::atan((p2.y - p1.y) / (p2.x - p1.x));  
    float sin_angle = std::sin(angle);  
    float cos_angle = std::sqrt(1.0 - sin_angle * sin_angle);  
    point_t normal_vect{-sin_angle, cos_angle};  
    a = normal_vect.x;  
    b = normal_vect.y;  
    c = -(p1.x * normal_vect.x + p1.y * normal_vect.y);  
}
```

- Один из вариантов реализации конструктора. Может быть можно лучше?
- Как бы вы его протестировали?

Идея unit-тестов

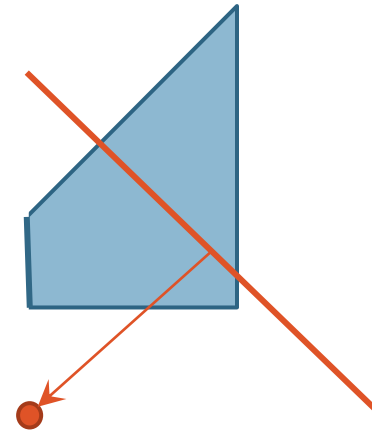
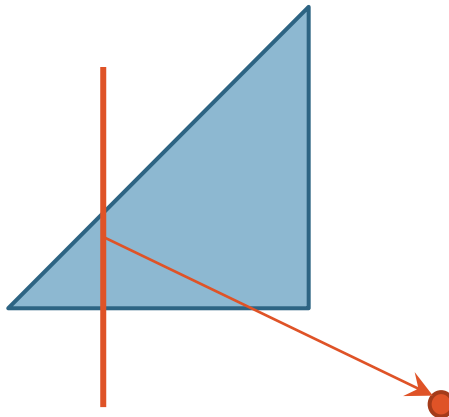
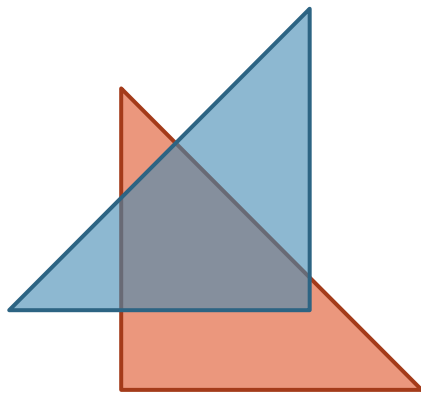
- Тесты на конкретные интерфейсы классов в терминах этих интерфейсов

```
point_t p1{0, 0}, p2{1, 1};  
line_t l1{p1, p2};  
check(std::abs(l1.a - l1.b) < flt_tolerance);  
check(std::abs(l1.c) < flt_tolerance);
```

- Существует масса систем, облегчающих юнит-тестирование
 - Catch
 - Boost.Test
 - Google Test
- Попробуйте сами протестировать с их помощью выложенный код

Идея общего алгоритма

- Предположим что все вершины составляющие полигон отсортированы по кругу относительно его центра, **n_{th} side constructed by n_{th} and $(n + 1)_{th}$ vertices**
- Тогда достаточно пересечь полигон каждой стороной другого полигона, каждый раз **for n_{th} side leave half-space with $(n + 2)_{th}$ point (wrap around)**



Обсуждение

- В принципе в опубликованном классе полигона есть существенная проблема
- Ничто не мешает пользователю создать полигон не удовлетворяющий условию из пункта (1)
- Попытка пересечь его с другим полигоном (даже с корректным) вероятно даст самые причудливые результаты
- Что делать? Можно ввести принудительную сортировку вершин по кругу перед каждым пересечением, но это довольно дорогой шаг

- Имена и объекты

- Вычислительная геометрия

- Инкапсуляция

- Область видимости и время жизни

Case study: список

- Когда мы проектировали хэши на C, побочным эффектом был свой собственный список
- Давайте ещё разок напишем его на C++

```
template <typename T> struct list_t {  
    struct node_t {  
        node_t *next_, *prev_;  
        T data_;  
    };  
    node_t *top_, *back_;  
};
```

- Можем ли мы написать для него метод length?

Case study: список

```
template <typename T>
size_t list_t::length() const {
    size_t len = 0;
    node_t *cur = top_;

    while(cur != nullptr) {
        len += 1;
        cur = cur->next_;
    }

    return len;
};
```

- Что не так с этим методом?

Case study: список

```
template <typename T>
size_t list_t::length() const {
    size_t len = 0;
    node_t *cur = top_;

    while(cur != nullptr) { // а с чего мы взяли, что нет петли?
        len += 1;
        cur = cur->next_;
    }

    return len;
};
```

- Он может иметь недетерминированное время работы

Case study: список

```
list_t<int> l;
```

```
// тут как-то заполняем
```

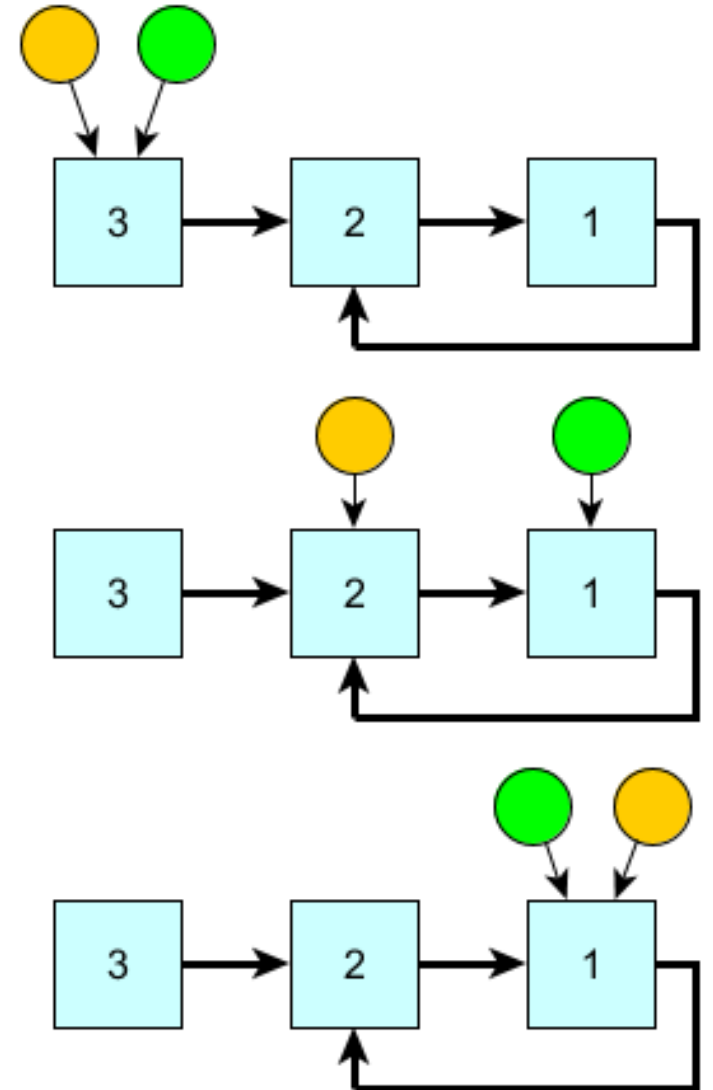
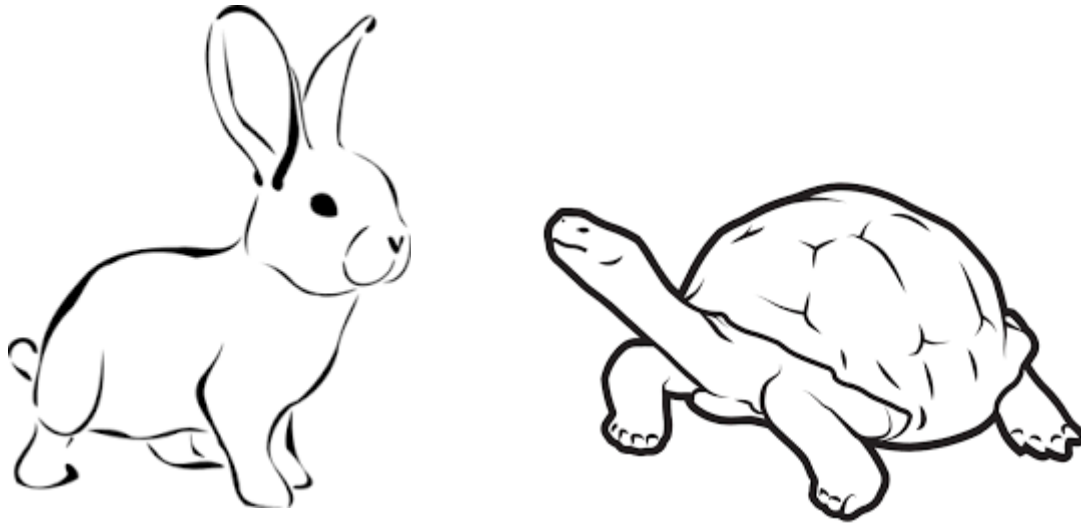
```
l.top_->next_ = l.top_; // oops
```

```
size_t len = l.length();
```

- Можем ли мы проверить, что в списке нет петли?

Алгоритм Флойда

- Начинают два указателя: заяц и черепаха
- Заяц за каждый ход продвигается вперёд на два элемента, а черепаха на один
- Если они встретились, значит петля есть



Case study: список

- Ok, допустим алгоритм Флойда работает для определения длины
- Но что если мы хотим теперь написать метод reverse?
- Надо ли в начале reverse **опять** вызывать алгоритм Флойда, проверяя нет ли петли и удваивая общее время работы?

Обсуждение

- У нас уже две очень похожие ситуации
- Методы для полигона закладываются на то, что вершины отсортированы по кругу
- Методы для списка закладываются на то, что он не содержит петли
- Интуитивно "то на что рассчитывают методы конкретного типа" это нечто довольно важное

Инварианты

- **Предусловиями** эффективного метода reverse является тот факт, что список является корректным двусвязным списком, начинается нулём, завершается нулём, не сломан нигде внутри
- Проверять всё это каждый раз просто не хочется
- Утверждение, которое должно быть верно всё время жизни объекта некоего типа называется **инвариантом** этого типа
- Все методы списка существенно упростятся, если он сможет **сохранять** корректность, отсутствие петель и ноль-терминированность как свои инварианты
- Что для этого нужно?

Инварианты

- Все методы списка существенно упростятся, если он сможет сохранять корректность, отсутствие петель и ноль-терминированность как свои инварианты
- Что для этого нужно?
- Есть методы типа, которые пишем мы как разработчики типа. **Сохранять инварианты в методах** – обязанность разработчика и он обычно с ней справляется
- Но есть внешние функции, работающие с объектами этого типа. И вот они как раз являются источником проблем
- Есть ли у нас языковые средства, чтобы **запретить всем, кроме методов класса, работать с его состоянием?**

Инкапсуляция в языке C

- Мы можем использовать механизмы области видимости. Например сделать тип непрозрачным (opaque)

```
struct list_t;
```

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

```
int list_length(struct list_t *list);
```

- Теперь пользователь не имеет доступа к состоянию list и может работать только с указателем на объект только методами этого типа
- Что не так с **ЭТИМ** подходом?

Инкапсуляция в языке C

- Мы можем использовать механизмы области видимости. Например сделать тип непрозрачным (opaque)

```
struct list_t;
```

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

```
int list_length(struct list_t *list);
```

- Теперь пользователь не имеет доступа к состоянию list и может работать только с указателем на объект только методами этого типа
- Что не так с **ЭТИМ** подходом?
- Сложно выделить такой объект на стеке. Проблемы с инлайном. Уродливо.

Инкапсуляция в языке C++

- В языке C++ для **инкапсуляции** (скрытия состояния объекта) используется специальный механизм, позволяющий сохранить видимость состояния

```
template <typename T> struct list_t {  
private:  
    struct node_t;  
    node_t *top_, *back_;  
  
public:  
    int length() const;  
};
```

- В структуре по умолчанию все поля public

Инкапсуляция в языке C++

- В языке C++ для **инкапсуляции** (скрытия состояния объекта) используется специальный механизм, позволяющий сохранить видимость состояния

```
template <typename T> class list_t {  
    struct node_t;  
    node_t *top_, *back_;  
  
public:  
    int length() const;  
};
```

- В структуре по умолчанию все поля public
- Новое ключевое слово class определяет по умолчанию закрытые поля

Обсуждение: инварианты и линейность

- У нас есть линейная модель памяти
- Разве это не значит, что просто приведя указатель объект к `char*` мы можем нарушить все инварианты?

Неконсистентное состояние

- У нас есть линейная модель памяти
- Разве это не значит, что просто приведя указатель объект к `char*` мы можем нарушить все инварианты?
- Да можем. Иногда мы это можем сделать и проще, далее в курсе будут примеры как именно
- Идея в том, что мы **не хотим** этого делать
- Объект у которого нарушены инварианты это объект в **неконсистентном состоянии** операции над ним опасны и непредсказуемы
- Никакой программист, будучи в своём уме, не приведёт свой или чужой объект в неконсистентное состояние по доброй воле

Обсуждение: ссылки

- Ссылки тоже сохраняют инварианты

```
int foo(const int *p) { int t = *p; delete p; return t; }
```

```
int bar(const int &p) { return p; }
```

```
foo(nullptr); // это невозможно проделать с bar
```

```
double d = 1.0;
```

```
int *q = *reinterpret_cast<int **>(&d);
```

```
foo(q); // это невозможно проделать с bar
```

- Инвариант const int reference: правильное **и не вам принадлежащее** целое число под ней. Именно поэтому побитовое представление ссылки **скрыто**

Важное замечание

- Инкапсуляция это свойство типа а не его объектов

```
template <typename T> class list_t {  
    node_t<T> *top_, *back_;  
  
public:  
    void concat_with(list_t<T> other) {  
        for (auto cur = other.top_; // всё нормально, мы можем  
            cur != other.back_;      // работать не только с this  
            cur = cur->next_)         // а с любым объектом list_t<T>  
            push(cur->data_);  
    }  
};
```

Важное замечание

- Но при этом разные шаблонные параметры делают разные типы

```
template <typename T> class list_t {  
    node_t<T> *top_, *back_;  
  
public:  
    template <typename U>  
    void concat_with(list_t<U> other) {  
        for (node_t<U> *cur = other.top_; // нарушение инкапсуляции  
            cur != other.back_;  
            cur = cur->next_)  
            push(cur->data_);  
    }  
};
```

Конструкторы и деструкторы

- Инкапсуляция делает критически важными конструкторы
- Теперь состояние объектов просто нельзя установить извне

```
template <typename T> class list_t {  
    node_t<T> *top_ = nullptr, *back_ = nullptr;  
public:  
    list_t(size_t initial_len); // ctor  
    ~list_t(); // dtor
```

- Но в случае со списком, его нельзя и очистить извне. Поэтому важными становятся также деструкторы. Синтаксис показан на слайде

Обсуждение

- Увы, старые добрые `malloc` и `free` ничего не знают о конструкторах и деструкторах
- Созданный с их помощью в динамической памяти объект не будет корректно инициализирован и будет создан в **невалидном состоянии**
- Что делать?

Аллокация динамической памяти

- В языке C++ аллокация делается через `new` и `delete`. Они вызывают конструкторы и деструкторы создаваемых объектов
- Важно запомнить парность операторов

```
int *t = new Widget;    // выделяем скалярный объект  
delete t;               // освобождаем скалярный объект
```

```
int *p = new Widget[5]; // выделяем массив  
delete [] p;            // освобождаем массив
```

- Вы не должны пытаться освободить через `delete` выделенное через `new[]` и наоборот
- Вы не должны смешивать `new/delete` с механизмом `malloc/free`

Обсуждение

- Что вы думаете о ссылке на выделенную память?

```
int *p = new int[5];
```

```
int &x = p[3];
```

Обсуждение

- Что вы думаете о ссылке на выделенную память?

```
int *p = new int[5];
```

```
int &x = p[3];
```

- Вроде всё хорошо если бы не червячок сомнения. А что будет после delete?

- Имена и объекты

- Вычислительная геометрия

- Инкапсуляция

- Область видимости и время жизни

Область видимости

- У любой переменной есть область видимости (scope): совокупность всех **мест** в программе, откуда к ней можно обратиться

```
int a = 2;

void foo() {
    int b = a + 3; // ok, we are in scope of a

    if (b > 5) {
        int c = (a + b) / 2; // ok we are in scope of a and b
    }

    b += c; // compilation fail
}
```

Время жизни

- У любой переменной есть время жизни (lifetime): совокупность всех **моментов времени** в программе, когда её состояние **валидно**

```
int a = 2;

void foo() {
    int b = a + 3;

    if (b > 5) {
        int c = (a + b) / 2;
    } // c scope end; c lifetime end;

    b += c; // runtime fail, даже если бы это удалось сделать
} // b scope end; b lifetime end;
```

Провисшие указатели

- Указатель, ссылающийся на переменную с истекшим временем жизни называется провисшим (dangling)

```
int a = 2;

void foo() {
    int b = a + 3; int *pc;

    if (b > 5) {
        int c = (a + b) / 2; pc = &c;
    } // c scope end; c lifetime end; pc dangles

    b += *pc; // runtime fail в лучшем случае
} // b scope end; b lifetime end;
```

Провисшие ссылки

- Сделать висячую ссылку чуть сложнее, чем указатель, но можно
- Классика: ссылка внутрь удалённой памяти

```
int *p = new int[5];
```

```
int &x = p[3];
```

```
delete [] p; // x dangles
```

- Сама по себе провисшая ссылка ничего не значит. Проблемы будут только если по ней куда-то обратятся

```
x += 1; // BOOM
```

Провисшие ссылки

- Сделать висячую ссылку чуть сложнее, чем указатель, но можно
- Ещё классика: вернуть ссылку на временное значение

```
int &foo() {  
    int x = 42;  
    return x;  
}
```

```
int x = foo(); // BOOM
```

- Компиляторы довольно плохи в диагностике провисших ссылок и указателей

Продление жизни

- Константные (и только они) lvalue ссылки продлевают жизнь временных объектов

```
const int &lx = 0;  
int x = lx; // ok
```

```
int foo();
```

```
const int &ly = 42 + foo();  
int y = ly; // ok
```

- Но не стоит соблазняться. Ссылка связывается со значением, а не со ссылкой, так что константная ссылка тоже может провиснуть при возврате из функции

Жизнь временных объектов

- Временный объект живёт до конца полного выражения

```
struct S {  
    int x;  
    const int &y;  
};
```

```
S x{1, 2}; // ok, lifetime extended
```

```
S *p = new S{1, 2}; // fail, reference dangle
```

- На первой строчке у нас не временный, а постоянный объект
- На второй будет висячая ссылка потому что временный объект продлевший жизнь константе закончился в конце выражения

Иногда временный объект не создаётся

- Неконстантные левые ссылки не создают временных объектов и просто отказываются связываться с литералами

```
int foo(int &x);
```

```
foo(1); // ошибка компиляции
```

- И даже проще

```
int &x = 1; // ошибка компиляции
```

- И это одна из лучших новостей в этой части лекции
- Попробуйте догадаться отчего так сделано

Ссылки и cdecl

- Прочитайте определения

```
char *(*(&c)[10])(int *&p);
```

```
void (*bar(int x, void (*func)(int&))) (int&);
```

- Ссылки отлично ложатся в схему cdecl
- Все ли помнят как мы боролись с милыми особенностями cdecl в языке C?

Борьба против cdecl: typedef

- Рассмотрим запутанное объявление

```
void (*bar(int x, void (*func)(int&))) (int&);
```

- Используем typedef

```
typedef void (*ptr_to_fref) (int&);
```

```
ptr_to_fref bar(int x, ptr_to_fref func);
```

- Стало куда лучше но увы, typedef не позволяет создавать шаблонные алиасы

Альтернатива typedef: using

- Рассмотрим запутанное объявление

```
void (*bar(int x, void (*func)(int&))) (int&);
```

- Используем typedef

```
typedef void (*ptr_to_fref) (int&);
```

```
ptr_to_fref bar(int x, ptr_to_fref func);
```

- Используем using

```
using ptr_to_fref = void (*) (int&);
```

```
ptr_to_fref bar(int x, ptr_to_fref func);
```

Альтернатива typedef: using

- Техника using позволяет создавать не только синонимы типов

```
using ptr_to_fref = void (*) (int&);
```

- Можно даже создавать параметризованные синонимы

```
template <typename T>  
using ptr_to_fref = void (*) (T&);
```

- В будущем параметризованные синонимы типов нам неоднократно пригодятся

Домашняя работа

- Со стандартного ввода приходит число $0 < N < 1000000$, а потом N наборов точек, представляющих трёхмерные треугольники. Задача: вывести номера всех треугольников, которые пересекаются с каким-либо другим
- Можно воспользоваться $[GCT]$ если вам не хватает базы в таких вопросах
- Как вы будете тестировать ваш алгоритм?

Литература

- [CC11] ISO/IEC 14882 – "Information technology – Programming languages – C++", 2011
- [BS] Bjarne Stroustrup – The C++ Programming Language (4th Edition), 2013
- [*Linden*] Peter van der Linden – Expert C Programming: Deep C Secrets, 1994
- [*GCT*] Eberly, Schneider – Geometric Tools for Computer Graphics, 2002
- [*GS*] Gilbert Strang – Introduction to Linear Algebra, Fifth Edition, 2016