

Представление чисел в памяти

Никита Гаевой (Б09, Б10)

Иван Казменко (Б01)

Владислав Макаров (Б02, Б03)

Семён Петров (Б05, Б06)

Санкт-Петербургский Государственный Университет

Четверг, 13 октября 2022 года

Содержание

- 1 **Представление целых чисел**
 - Системы счисления
 - Целочисленные типы данных
 - Отрицательные числа
 - Битовые операции
 - Работа с отдельными битами
- 2 **Представление вещественных чисел**
 - Как хранить вещественное число?
 - Вещественные типы данных
 - Числа с плавающей точкой
 - Специальные значения
- 3 **Примеры**

Содержание

- 1 **Представление целых чисел**
 - Системы счисления
 - Целочисленные типы данных
 - Отрицательные числа
 - Битовые операции
 - Работа с отдельными битами
- 2 **Представление вещественных чисел**
 - Как хранить вещественное число?
 - Вещественные типы данных
 - Числа с плавающей точкой
 - Специальные значения
- 3 **Примеры**

Системы счисления

Постановка задачи:

требуется записывать числа и производить операции с ними.

Критерии качества:

- Наглядность.
- Краткость.
- Удобство арифметических действий.

Системы счисления

Постановка задачи:

требуется записывать числа и производить операции с ними.

Критерии качества:

- Наглядность.
- Краткость.
- Удобство арифметических действий.

Системы счисления

Постановка задачи:

требуется записывать числа и производить операции с ними.

Критерии качества:

- Наглядность: для маленьких чисел.
- Краткость: для очень маленьких чисел.
- Удобство арифметических действий: для маленьких чисел.

Пример 1 — унарная система счисления.

Число записывается палочками, стоящими подряд: |, ||, |||, ||||,

...

Системы счисления

Постановка задачи:

требуется записывать числа и производить операции с ними.

Критерии качества:

- Наглядность: до нескольких тысяч, нужна привычка.
- Краткость: до нескольких тысяч.
- Удобство арифметических действий: сложные правила.

Пример 2 — римские числа.

Вводятся специальные символы для обозначения больших количеств: $5 = V$, $10 = X$, $50 = L$, $100 = C$, $500 = D$, $1000 = M$.

Позиции символов также имеют значение: например,

$VI = V + I = 6$, но $IV = V - I = 4$.

Системы счисления

Постановка задачи:

требуется записывать числа и производить операции с ними.

Критерии качества:

- Наглядность: для не очень больших чисел, нужна привычка.
- Краткость: для не очень больших чисел.
- Удобство арифметических действий: легко складывать и вычитать, с таблицей умножения можно производить умножение и деление в столбик.

Пример 3 — позиционные системы счисления: десятичная. Значение имеют и символ (цифра), и позиция (степень основания): $153_{10} = 3 \cdot 1 + 5 \cdot 10 + 1 \cdot 100$.

Системы счисления

Постановка задачи:

требуется записывать числа и производить операции с ними.

Критерии качества:

- Наглядность: для не очень больших чисел, нужна привычка.
- Краткость: для не очень больших чисел.
- Удобство арифметических действий: легко складывать и вычитать, таблица умножения простая, а значит, действия легко реализуются на уровне микросхемы.

Пример 4 — позиционные системы счисления: двоичная. Значение имеют и символ (цифра), и позиция (степень основания): $100101_2 = 1 + 4 + 32 = 37$.

Целочисленные типы данных

Рассмотрим числа, в двоичной записи которых не больше k цифр. Отведём место ровно под k цифр (битов).

Пример — типы языка GNU C++ для архитектуры x86.

Целочисленные типы данных

Рассмотрим числа, в двоичной записи которых не больше k цифр. Отведём место ровно под k цифр (битов).

Пример — типы языка GNU C++ для архитектуры x86.

Тип	Байты	Биты	Минимум	Максимум
unsigned char	1	8	0	255
unsigned short	2	16	0	65 535
unsigned long	4	32	0	$2^{32} - 1$
unsigned long long	8	64	0	$2^{64} - 1$

Целочисленные типы данных

Рассмотрим числа, в двоичной записи которых не больше k цифр. Отведём место ровно под k цифр (битов).

Пример — типы языка GNU C++ для архитектуры x86.

Тип	Байты	Биты	Минимум	Максимум
unsigned char	1	8	0	255
unsigned short	2	16	0	65 535
unsigned long	4	32	0	$2^{32} - 1$
unsigned long long	8	64	0	$2^{64} - 1$

Адресовать память обычно можно с точностью до байта.

В каком порядке идут байты в целом числе?

- Big-endian: $1000 = 11\ 1110\ 1000_2$, код [0000 0011] [1110 1000].
Удобно для человеческого восприятия.
- Little-endian: $1000 = 11\ 1110\ 1000_2$, код [1110 1000] [0000 0011].
Если число помещается в меньший тип, адрес тот же.

Целочисленные типы данных

Рассмотрим числа, в двоичной записи которых не больше k цифр. Отведём место ровно под k цифр (битов).

Пример — типы языка GNU C++ для архитектуры x86.

Тип	Байты	Биты	Минимум	Максимум
unsigned char	1	8	0	255
unsigned short	2	16	0	65 535
unsigned long	4	32	0	$2^{32} - 1$
unsigned long long	8	64	0	$2^{64} - 1$
signed char	1	8	-128	127
signed short	2	16	-32 768	32 767
signed long	4	32	-2^{31}	$2^{31} - 1$
signed long long	8	64	-2^{63}	$2^{63} - 1$

Для отрицательных чисел уменьшим диапазон на один бит. Этот бит мы используем для хранения знака.

Отрицательные числа

Если просто хранить знак, то:

- У нуля будет два различных представления ($+0$ и -0).
- При сложении и вычитании придётся разбирать случаи.

Отрицательные числа

Двоичный дополнительный код — менее нагляден, но проще для механических вычислений.

Код	Без знака	Со знаком
0000 0000	0	0
0000 0001	1	+1
0000 0010	2	+2
...	...	...
0111 1110	126	+126
0111 1111	127	+127
1000 0000	128	-128
1000 0001	129	-127
1000 0010	130	-126
...	...	...
1111 1110	254	-2
1111 1111	255	-1

Отрицательные числа

Двоичный дополнительный код — менее нагляден, но проще для механических вычислений.

Код	Без знака	Со знаком	Разность
0000 0000	0	0	0
0000 0001	1	+1	0
0000 0010	2	+2	0
...	...	...	...
0111 1110	126	+126	0
0111 1111	127	+127	0
1000 0000	128	-128	256
1000 0001	129	-127	256
1000 0010	130	-126	256
...	...	...	...
1111 1110	254	-2	256
1111 1111	255	-1	256

Отрицательные числа

Двоичный дополнительный код — менее нагляден, но проще для механических вычислений.

- ❶ Интерпретация: арифметика по модулю 2^k .
Хранится остаток числа по модулю 2^k . Можно интерпретировать его или как число без знака, или как число со знаком.

Пример: $1001\,0101_2 = 1 + 4 + 16 + 128 = 149$.

- Число без знака: какое число от 0 до 255 имеет остаток 149 от деления на $2^8 = 256$? Это число 149.
- Число со знаком: какое число от -128 до $+127$ имеет остаток 149 от деления на $2^8 = 256$? Это число -107 .

Отрицательные числа

Двоичный дополнительный код — менее нагляден, но проще для механических вычислений.

- ② Интерпретация: вычитание 2^k .

Если число получается больше максимально возможного (то есть $2^{k-1} - 1$), отнимем от него 2^k .

Пример: $10010101_2 = 1 + 4 + 16 + 128 = 149$.

$149 > 127$, значит, значение равно $149 - 256 = -107$.

Отрицательные числа

Двоичный дополнительный код — менее нагляден, но проще для механических вычислений.

- ③ Интерпретация: отрицательное основание для старшего бита.

Обычно бит с номером i домножается на 2^i . А теперь старший бит (с номером $k - 1$) домножается не на 2^{k-1} , а на -2^{k-1} .

Пример: $1001\,0101_2 = 1 + 4 + 16 + 128 = 149$.

Код $1001\,0101$ даёт $1 + 4 + 16 - 128 = -107$.

Отрицательные числа

Двоичный дополнительный код — менее нагляден, но проще для механических вычислений.

- ❶ Интерпретация: механический способ.

Чтобы получить из кода отрицательного числа его модуль, инвертируем все биты, а затем прибавим единицу.

Пример: $1001\,0101_2 = 1 + 4 + 16 + 128 = 149$.

$$\begin{aligned}\text{Инверсия } 1001\,0101_2 + 1 &= \\ 0110\,1010_2 + 1 &= \\ 0110\,1011_2 &= \\ 1 + 2 + 8 + 32 + 64 &= \\ 107\end{aligned}$$

Отрицательные числа

Двоичный дополнительный код — менее нагляден, но проще для механических вычислений.

Сложение и умножение делаются в столбик.

$$\begin{array}{rcl} & 1001\,0101_2 & (= -107) \\ + & 0110\,1111_2 & (= +111) \\ = & 1\,0000\,0100_2 & (\text{оставим последние } k \text{ цифр результата}) \\ \rightarrow & 0000\,0100_2 & (= +4) \end{array}$$

Отрицательные числа

Двоичный дополнительный код — менее нагляден, но проще для механических вычислений.

Сложение и умножение делаются в столбик.

$$\begin{array}{rcl} & 1111\ 1011_2 & (= -5) \\ \times & 0000\ 0111_2 & (= +7) \\ = & 1111\ 1011_2 & \\ + & 1\ 1111\ 0110_2 & \\ + & 11\ 1110\ 1100_2 & \\ = & 110\ 1101\ 1101_2 & \text{(оставим последние } k \text{ цифр результата)} \\ \rightarrow & 1101\ 1101_2 & (= -35) \end{array}$$

Битовые операции

Представление целых чисел даёт возможность легко выполнять некоторые действия.

- 1 Инвертирование всех битов.
- 2 Побитовая операция AND.
- 3 Побитовая операция OR.
- 4 Побитовая операция XOR.
- 5 Побитовый сдвиг влево.
- 6 Логический сдвиг вправо.
- 7 Арифметический сдвиг вправо.

Битовые операции

Представление целых чисел даёт возможность легко выполнять некоторые действия.

- 1 Инвертирование всех битов.

$$a = 1001\ 0011,$$

$$\sim a = 0110\ 1100.$$

A	$\sim A$
0	1
1	0

Битовые операции

Представление целых чисел даёт возможность легко выполнять некоторые действия.

② Побитовая операция AND.

$$a = 1001\ 0011,$$

$$b = 1100\ 1010,$$

$$a \ \& \ b = 1000\ 0010.$$

A	B	A & B
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Битовые операции

Представление целых чисел даёт возможность легко выполнять некоторые действия.

③ Побитовая операция OR.

$$a = 1001\ 0011,$$

$$b = 1100\ 1010,$$

$$a \mid b = 1101\ 1011.$$

A	B	A B
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

Битовые операции

Представление целых чисел даёт возможность легко выполнять некоторые действия.

❶ Побитовая операция XOR.

$$a = 1001\ 0011,$$

$$b = 1100\ 1010,$$

$$a \wedge b = 0101\ 1001.$$

A	B	$A \wedge B$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Битовые операции

Представление целых чисел даёт возможность легко выполнять некоторые действия.

- 5 Побитовый сдвиг влево.

$$a = 1001\ 0011,$$

$$b = 3,$$

$$a \ll b = 1001\ 1000.$$

Все биты сдвигаются влево b раз.

Старший бит пропадает.

Младший бит становится нулём.

Битовые операции

Представление целых чисел даёт возможность легко выполнять некоторые действия.

⑥ Логический сдвиг вправо.

$$a = 1001\ 0011,$$

$$b = 2,$$

$$a \ggg b = 0010\ 0100.$$

Все биты сдвигаются вправо b раз.

Младший бит пропадает.

Старший бит становится нулём.

Битовые операции

Представление целых чисел даёт возможность легко выполнять некоторые действия.

- 7 Арифметический сдвиг вправо.

$$a = 1001\ 0011,$$

$$b = 2,$$

$$a \gg b = 1110\ 0100.$$

Все биты сдвигаются вправо b раз.

Младший бит пропадает.

Старший (знаковый) бит не меняется.

Работа с отдельными битами

Биты нумеруются с нуля, начиная с младшего.

Номер бита равен степени двойки, на которую домножается этот бит.

номера битов: 7654 3210

$a = 1001\ 0011$

Операции с отдельными битами:

- 1 Как получить значение бита с номером k :
 $\text{get}(a, k): (a \gg k) \& 1$
- 2 Как установить бит с номером k в единицу:
 $\text{set1}(a, k): a \leftarrow a \mid (1 \ll k)$
- 3 Как установить бит с номером k в ноль:
 $\text{set0}(a, k): a \leftarrow a \& \sim(1 \ll k)$
- 4 Как установить бит с номером k в значение v :
 $\text{set}(a, k, v): a \leftarrow (a \& \sim(1 \ll k)) \mid (v \ll k)$

Работа с отдельными битами

Биты нумеруются с нуля, начиная с младшего.

Номер бита равен степени двойки, на которую домножается этот бит.

номера битов:	76543210		$a \gg k = 0001\,0010$
	$a = 1001\,0011$	$k = 3$	значение = 0000 0000

Операции с отдельными битами:

- 1 Как получить значение бита с номером k :
`get (a, k): (a >> k) & 1`
- 2 Как установить бит с номером k в единицу:
`set1 (a, k): a ← a | (1 << k)`
- 3 Как установить бит с номером k в ноль:
`set0 (a, k): a ← a & ~(1 << k)`
- 4 Как установить бит с номером k в значение v :
`set (a, k, v): a ← (a & ~(1 << k)) | (v << k)`

Работа с отдельными битами

Биты нумеруются с нуля, начиная с младшего.

Номер бита равен степени двойки, на которую домножается этот бит.

номера битов:	7654 3210		$1 \ll k = 0000\ 1000$
	$a = 1001\ 0011$	$k = 3$	$a \leftarrow 1001\ 1011$

Операции с отдельными битами:

- ❶ Как получить значение бита с номером k :
`get (a, k): (a >> k) & 1`
- ❷ Как установить бит с номером k в единицу:
`set1 (a, k): a ← a | (1 << k)`
- ❸ Как установить бит с номером k в ноль:
`set0 (a, k): a ← a & ~(1 << k)`
- ❹ Как установить бит с номером k в значение v :
`set (a, k, v): a ← (a & ~(1 << k)) | (v << k)`

Работа с отдельными битами

Биты нумеруются с нуля, начиная с младшего.

Номер бита равен степени двойки, на которую домножается этот бит.

номера битов: 76543210

$a = 1001\ 0011$

$k = 3$

$\sim(1 \ll k) = 1111\ 0111$

$a \leftarrow 1001\ 0011$

Операции с отдельными битами:

- 1 Как получить значение бита с номером k :

`get (a, k): (a >> k) & 1`

- 2 Как установить бит с номером k в единицу:

`set1 (a, k): a ← a | (1 << k)`

- 3 Как установить бит с номером k в ноль:

`set0 (a, k): a ← a &  $\sim(1 \ll k)$`

- 4 Как установить бит с номером k в значение v :

`set (a, k, v): a ← (a &  $\sim(1 \ll k)$ ) | (v << k)`

Работа с отдельными битами

Биты нумеруются с нуля, начиная с младшего.

Номер бита равен степени двойки, на которую домножается этот бит.

$$\begin{array}{lll}
 \text{номера битов:} & 76543210 & v \ll k = 0000v000 \\
 & a = 10010011 & k = 3 \\
 & & a \leftarrow 1001v011
 \end{array}$$

Операции с отдельными битами:

- ❶ Как получить значение бита с номером k :
 $\text{get}(a, k): (a \gg k) \& 1$
- ❷ Как установить бит с номером k в единицу:
 $\text{set1}(a, k): a \leftarrow a \mid (1 \ll k)$
- ❸ Как установить бит с номером k в ноль:
 $\text{set0}(a, k): a \leftarrow a \& \sim(1 \ll k)$
- ❹ Как установить бит с номером k в значение v :
 $\text{set}(a, k, v): a \leftarrow (a \& \sim(1 \ll k)) \mid (v \ll k)$

Работа с отдельными битами

Биты нумеруются с нуля, начиная с младшего.

Номер бита равен степени двойки, на которую домножается этот бит.

номера битов: 76543210

$a = 1001\,0011$

Операции с отдельными битами:

- ❶ Как получить значение бита с номером k :
 $\text{get}(a, k): (a \gg k) \& 1$
- ❷ Как установить бит с номером k в единицу:
 $\text{set1}(a, k): a \leftarrow a \mid (1 \ll k)$
- ❸ Как установить бит с номером k в ноль:
 $\text{set0}(a, k): a \leftarrow a \& \sim(1 \ll k)$
- ❹ Как установить бит с номером k в значение v :
 $\text{set}(a, k, v): a \leftarrow (a \& \sim(1 \ll k)) \mid (v \ll k)$

Содержание

- 1 **Представление целых чисел**
 - Системы счисления
 - Целочисленные типы данных
 - Отрицательные числа
 - Битовые операции
 - Работа с отдельными битами
- 2 **Представление вещественных чисел**
 - Как хранить вещественное число?
 - Вещественные типы данных
 - Числа с плавающей точкой
 - Специальные значения
- 3 **Примеры**

Как хранить вещественное число?

Постановка задачи: требуется хранить вещественные числа и производить с ними вычисления.

Критерии качества:

- Диапазон значений.
- Удобство хранения.
- Удобство арифметических действий.

Как хранить вещественное число?

Постановка задачи: требуется хранить вещественные числа и производить с ними вычисления.

Критерии качества:

- Диапазон значений.
- Удобство хранения.
- Удобство арифметических действий.

Как хранить вещественное число?

Постановка задачи: требуется хранить вещественные числа и производить с ними вычисления.

Критерии качества:

- Диапазон значений: рациональные числа с небольшими числителем и знаменателем.
- Удобство хранения: да.
- Удобство арифметических действий: приведение к общему знаменателю: числитель и знаменатель быстро растут.

Способ 1 — рациональные числа.

Число представляется в виде $\frac{P}{Q}$, где P и Q — целые: $\frac{0}{1}, \frac{5}{3}, \frac{-6}{11}, \dots$

Где применяется: точное решение некоторых математических задач.

Как хранить вещественное число?

Постановка задачи: требуется хранить вещественные числа и производить с ними вычисления.

Критерии качества:

- Диапазон значений: почти любое число хранится приближённо.
- Удобство хранения: да.
- Удобство арифметических действий: как с целыми.

Способ 2 — числа с фиксированной точкой.

Отдельно хранятся целая часть и дробная часть.

Например, $X = A.B = A + \frac{1}{65536}B$, где $0 \leq A, B < 65536$.

Можно считать, что хранятся целые числа, но их значения при использовании следует делить на 65536.

Где применяется: Metafont и Metapost, графические библиотеки, Java BigDecimal.

Как хранить вещественное число?

Постановка задачи: требуется хранить вещественные числа и производить с ними вычисления.

Критерии качества:

- Диапазон значений: почти любое число хранится приближённо, можно хранить очень большие и очень маленькие по модулю числа.
- Удобство хранения: да.
- Удобство арифметических действий: почти как с целыми.

Способ 3 — числа с плавающей точкой.

Хранятся первые несколько двоичных знаков числа, а также степень двойки (небольшое положительное или отрицательное число), на которую нужно домножить.

Например, $X = 1.00101_2 \cdot 2^{100}$, $Y = -1 = -1.00000_2 \cdot 2^0$.

Та же конструкция с десятичными числами: $X = 1.23456 \cdot 10^{100}$, $Y = -1 = -1.00000 \cdot 10^0$.

Вещественные типы данных

Отведём место ровно под k первых двоичных цифр, ещё p битов на степень двойки и ещё один бит на знак числа.

Пример — типы языка GNU C++ для архитектуры x86.

Вещественные типы данных

Отведём место ровно под k первых двоичных цифр, ещё p битов на степень двойки и ещё один бит на знак числа.

Пример — типы языка GNU C++ для архитектуры x86.

Тип	Байты	s	p	k	Минимум	Максимум
float	4	1	8	23	$\pm 1.5 \cdot 10^{-45}$	$\pm 3.4 \cdot 10^{+38}$
double	8	1	11	52	$\pm 5.0 \cdot 10^{-324}$	$\pm 1.7 \cdot 10^{+308}$
long double	10	1	15	64	$\pm 3.4 \cdot 10^{-4932}$	$\pm 1.1 \cdot 10^{+4932}$

Числа с плавающей точкой

Представление числа:

$$X = (-1)^S \times 1.M \times 2^{E-E_0}$$

Значение $E_0 = 2^{p-1} - 1$.

Мы будем рассматривать примеры для типа `float` ($E_0 = 127$).

Числа с плавающей точкой

Представление числа:

$$X = (-1)^S \times 1.M \times 2^{E-E_0}$$

Значение $E_0 = 2^{p-1} - 1$.

Мы будем рассматривать примеры для типа `float` ($E_0 = 127$).

Пример 1: число

$$1 = (-1)^0 \times 1.0000 \dots 00 \times 2^{127-127}.$$

```

see  eeee  emmm  mmmm  mmmm  mmmm  mmmm  mmmm
| [--  ---- ] [--  ----  ----  ----  ----  ---- ]
0011  1111  1000  0000  0000  0000  0000  0000

```

Числа с плавающей точкой

Представление числа:

$$X = (-1)^S \times 1.M \times 2^{E-E_0}$$

Значение $E_0 = 2^{p-1} - 1$.

Мы будем рассматривать примеры для типа `float` ($E_0 = 127$).

Пример 1: число

$$1 = (-1)^0 \times 1.0000 \dots 00 \times 2^{127-127}.$$

```

see  eeee  emmm  mmmm  mmmm  mmmm  mmmm  mmmm
| [--  ---- ] [--  ----  ----  ----  ----  ---- ]
0011  1111  1000  0000  0000  0000  0000  0000

```

Числа с плавающей точкой

Представление числа:

$$X = (-1)^S \times 1.M \times 2^{E-E_0}$$

Значение $E_0 = 2^{p-1} - 1$.

Мы будем рассматривать примеры для типа `float` ($E_0 = 127$).

Пример 1: число

$$1 = (-1)^0 \times 1.0000 \dots 00 \times 2^{127-127}.$$

```

see  eeee  emmm  mmmm  mmmm  mmmm  mmmm  mmmm
| [--  ---- ] [--  ----  ----  ----  ----  ---- ]
0011  1111  1000  0000  0000  0000  0000  0000

```

Числа с плавающей точкой

Представление числа:

$$X = (-1)^S \times 1.M \times 2^{E-E_0}$$

Значение $E_0 = 2^{p-1} - 1$.

Мы будем рассматривать примеры для типа `float` ($E_0 = 127$).

Пример 1: число

$$1 = (-1)^0 \times 1.\text{0000} \dots \text{00} \times 2^{127-127}.$$

```

see  eeee  emmm  mmmm  mmmm  mmmm  mmmm  mmmm
| [--  ---- ] [--  ----  ----  ----  ----  ---- ]
0011  1111  1000  0000  0000  0000  0000  0000

```

Числа с плавающей точкой

Представление числа:

$$X = (-1)^S \times 1.M \times 2^{E-E_0}$$

Значение $E_0 = 2^{p-1} - 1$.

Мы будем рассматривать примеры для типа `float` ($E_0 = 127$).

Пример 2: число

$$-5.5 = (-1)^1 \times 1.0110\dots 00 \times 2^{129-127}.$$

```

see  eeee  emmm  mmmm  mmmm  mmmm  mmmm  mmmm
| [--  ----  ] [--  ----  ----  ----  ----  ----  ]
1100  0000  1011  0000  0000  0000  0000  0000

```

Числа с плавающей точкой

Представление числа:

$$X = (-1)^S \times 1.M \times 2^{E-E_0}$$

Значение $E_0 = 2^{p-1} - 1$.

Мы будем рассматривать примеры для типа `float` ($E_0 = 127$).

Пример 2: число

$$-5.5 = (-1)^1 \times 1.0110\dots 00 \times 2^{129-127}.$$

```

see  eeee  emmm  mmmm  mmmm  mmmm  mmmm  mmmm
| [--  ---- ] [--  ----  ----  ----  ----  ---- ]
1100  0000  1011  0000  0000  0000  0000  0000

```

Числа с плавающей точкой

Представление числа:

$$X = (-1)^S \times 1.M \times 2^{E-E_0}$$

Значение $E_0 = 2^{p-1} - 1$.

Мы будем рассматривать примеры для типа `float` ($E_0 = 127$).

Пример 2: число

$$-5.5 = (-1)^1 \times 1.0110\dots 00 \times 2^{129-127}.$$

```

see  eeee  emmm  mmmm  mmmm  mmmm  mmmm  mmmm
| [--  ---- ] [--  ----  ----  ----  ----  ---- ]
1 100  0000  1011  0000  0000  0000  0000  0000

```

Числа с плавающей точкой

Представление числа:

$$X = (-1)^S \times 1.M \times 2^{E-E_0}$$

Значение $E_0 = 2^{p-1} - 1$.

Мы будем рассматривать примеры для типа `float` ($E_0 = 127$).

Пример 2: число

$$-5.5 = (-1)^1 \times 1.0110\dots 00 \times 2^{129-127}.$$

```

see  eeee  emmm  mmmm  mmmm  mmmm  mmmm  mmmm
| [--  ---- ] [--  ----  ----  ----  ----  ---- ]
1100  0000  1011  0000  0000  0000  0000  0000

```

Числа с плавающей точкой

Представление числа:

$$X = (-1)^S \times 1.M \times 2^{E-E_0}$$

Значение $E_0 = 2^{p-1} - 1$.

Мы будем рассматривать примеры для типа `float` ($E_0 = 127$).

Пример 3: число

$$\frac{1}{5} = (-1)^0 \times 1.1001100110011001100110011 \dots \times 2^{124-127}.$$

```

see  eeee  emmm  mmmm  mmmm  mmmm  mmmm  mmmm
| [--  ---- ] [--  ----  ----  ----  ----  ---- ]
0011  1110  0100  1100  1100  1100  1100  1101

```

Числа с плавающей точкой

Представление числа:

$$X = (-1)^S \times 1.M \times 2^{E-E_0}$$

Значение $E_0 = 2^{p-1} - 1$.

Мы будем рассматривать примеры для типа `float` ($E_0 = 127$).

Пример 3: число

$$\frac{1}{5} = (-1)^0 \times 1.1001100110011001100110011 \dots \times 2^{124-127}.$$

```

see eeee emmm mmmm mmmm mmmm mmmm mmmm
| [-- ---- ] [-- ---- ---- ---- ---- ---- ]
0011 1110 0100 1100 1100 1100 1100 1101

```

Числа с плавающей точкой

Представление числа:

$$X = (-1)^S \times 1.M \times 2^{E-E_0}$$

Значение $E_0 = 2^{p-1} - 1$.

Мы будем рассматривать примеры для типа `float` ($E_0 = 127$).

Пример 3: число

$$\frac{1}{5} = (-1)^0 \times 1.1001100110011001100110011\dots \times 2^{124-127}.$$

```

see  eeee  emmm  mmmm  mmmm  mmmm  mmmm  mmmm
| [ --  ---- ] [ --  ----  ----  ----  ----  ---- ]
0011  1110  0100  1100  1100  1100  1100  1101

```

Числа с плавающей точкой

Представление числа:

$$X = (-1)^S \times 1.M \times 2^{E-E_0}$$

Значение $E_0 = 2^{p-1} - 1$.

Мы будем рассматривать примеры для типа `float` ($E_0 = 127$).

Пример 3: число

$$\frac{1}{5} = (-1)^0 \times 1.\textcolor{red}{1001100110011001100110011}\textcolor{blue}{1}\dots \times 2^{124-127}.$$

```

see  eeee  emmm  mmmm  mmmm  mmmm  mmmm  mmmm
| [--  ---- ] [--  ----  ----  ----  ----  ---- ]
0011  1110  0100 1100 1100 1100 1100 1100 1101

```

Числа с плавающей точкой

Как получается двоичная дробь для $\frac{1}{5} = 0.0011\dots?$

$$\bullet \frac{1}{5} = 0 \cdot 1 + \frac{2}{5} \cdot \frac{1}{2}$$

$$\bullet \frac{2}{5} \cdot \frac{1}{2} = 0 \cdot \frac{1}{2} + \frac{4}{5} \cdot \frac{1}{4}$$

$$\bullet \frac{4}{5} \cdot \frac{1}{4} = 0 \cdot \frac{1}{4} + \frac{8}{5} \cdot \frac{1}{8}$$

$$\bullet \frac{8}{5} \cdot \frac{1}{8} = 1 \cdot \frac{1}{8} + \frac{3}{5} \cdot \frac{1}{8} = 1 \cdot \frac{1}{8} + \frac{6}{5} \cdot \frac{1}{16}$$

$$\bullet \frac{6}{5} \cdot \frac{1}{16} = 1 \cdot \frac{1}{16} + \frac{1}{5} \cdot \frac{1}{16} = 1 \cdot \frac{1}{16} + \frac{2}{5} \cdot \frac{1}{32}$$

$$\bullet \dots$$

Специальные значения

Кроме чисел, в типе с плавающей точкой могут храниться специальные значения.

Знак	Экспонента	Мантисса	Значение
0	00...00	00...00	+0
0	00...00	00...01 ... 11...11	$+0.m \times 2^{-e_0+1}$
0	00...01 ... 11...10	XX...XX	$+1.m \times 2^{e-e_0}$
0	11...11	00...00	$+\infty$
0	11...11	00...01 ... 01...11	SNaN
0	11...11	10...00 ... 11...11	QNaN
1	00...00	00...00	-0
1	00...00	00...01 ... 11...11	$-0.m \times 2^{-e_0+1}$
1	00...01 ... 11...10	XX...XX	$-1.m \times 2^{e-e_0}$
1	11...11	00...00	$-\infty$
1	11...11	00...01 ... 01...11	SNaN
1	11...11	10...00 ... 11...11	QNaN

Специальные значения

Кроме чисел, в типе с плавающей точкой могут храниться специальные значения.

Знак	Экспонента	Мантисса	Значение
0	00...00	00...00	+0
0	00...00	00...01 ... 11...11	$+0.m \times 2^{-e_0+1}$
0	00...01 ... 11...10	XX...XX	$+1.m \times 2^{e-e_0}$
0	11...11	00...00	$+\infty$
0	11...11	00...01 ... 01...11	SNaN
0	11...11	10...00 ... 11...11	QNaN
1	00...00	00...00	-0
1	00...00	00...01 ... 11...11	$-0.m \times 2^{-e_0+1}$
1	00...01 ... 11...10	XX...XX	$-1.m \times 2^{e-e_0}$
1	11...11	00...00	$-\infty$
1	11...11	00...01 ... 01...11	SNaN
1	11...11	10...00 ... 11...11	QNaN

Содержание

- 1 Представление целых чисел
 - Системы счисления
 - Целочисленные типы данных
 - Отрицательные числа
 - Битовые операции
 - Работа с отдельными битами
- 2 Представление вещественных чисел
 - Как хранить вещественное число?
 - Вещественные типы данных
 - Числа с плавающей точкой
 - Специальные значения
- 3 Примеры

Сложение short, пример 1

Сложение short, пример 1: что выведет программа?

```
1  #include <stdio.h>
2  int main () {
3      volatile short a;
4      for (a = 0; a >= 0; a++)
5          ;
6      printf ("%d\n", a);
7      return 0;
8  }
```

Сложение short, пример 1

Сложение short, пример 1: -32768.

```
1  #include <stdio.h>
2  int main () {
3      volatile short a;
4      for (a = 0; a >= 0; a++)
5          ;
6      printf ("%d\n", a);
7      return 0;
8  }
```

Переполнение: $32767 + 1 = -32768$.

Вообще это неопределённое поведение (undefined behavior).

Сложение short, пример 2

Сложение short, пример 2: что выведет программа?

```
1  #include <stdio.h>
2  int main () {
3      volatile unsigned short a;
4      for (a = 0; a >= 0; a++)
5          ;
6      printf ("%d\n", a);
7      return 0;
8  }
```

Сложение short, пример 2

Сложение short, пример 2: *(вечный цикл)*.

```
1  #include <stdio.h>
2  int main () {
3      volatile unsigned short a;
4      for (a = 0; a >= 0; a++)
5          ;
6      printf ("%d\n", a);
7      return 0;
8  }
```

Все числа типа unsigned short неотрицательные.
Переполнение unsigned-типов определено однозначно.

Сложение short, пример 3

Сложение short, пример 3: что выведет программа?

```
1  #include <stdio.h>
2  #include <stdlib.h>
3  int main () {
4      volatile short a, b, c, d;
5      srand (0);
6      while (1) {
7          a = rand ();
8          b = rand ();
9          c = a + 5;
10         d = b + 5;
11         if ((a <= b) != (c <= d))
12             break;
13     }
14     printf ("%d %d %d %d\n", a, b, c, d);
15     return 0;
16 }
```

Сложение short, пример 3

Сложение short, пример 3: 10731 32766 10736 -32765.

```
1  #include <stdio.h>
2  #include <stdlib.h>
3  int main () {
4      volatile short a, b, c, d;
5      srand (0);
6      while (1) {
7          a = rand ();
8          b = rand ();
9          c = a + 5;
10         d = b + 5;
11         if ((a <= b) != (c <= d))
12             break;
13     }
14     printf ("%d %d %d %d\n", a, b, c, d);
15     return 0;
16 }
```

Одна из сумм переполнилась, а другая нет.

Вообще это неопределённое поведение (undefined behavior).

Сложение short, пример 4

Сложение short, пример 4: что выведет программа?

```
1  #include <stdio.h>
2  #include <stdlib.h>
3  int main () {
4      volatile unsigned short a, b, c, d;
5      srand (0);
6      while (1) {
7          a = rand () * 2;
8          b = rand () * 2;
9          c = a + 5;
10         d = b + 5;
11         if ((a <= b) != (c <= d))
12             break;
13     }
14     printf ("%d %d %d %d\n", a, b, c, d);
15     return 0;
16 }
```

Сложение short, пример 4

Сложение short, пример 4: 21462 65532 21467 1.

```
1  #include <stdio.h>
2  #include <stdlib.h>
3  int main () {
4      volatile unsigned short a, b, c, d;
5      srand (0);
6      while (1) {
7          a = rand () * 2;
8          b = rand () * 2;
9          c = a + 5;
10         d = b + 5;
11         if ((a <= b) != (c <= d))
12             break;
13     }
14     printf ("%d %d %d %d\n", a, b, c, d);
15     return 0;
16 }
```

Одна из сумм переполнилась, а другая нет.

Переполнение unsigned-типов определено однозначно.

Вывод байтов из int, пример

Вывод байтов из int, пример: что выведет программа?

```
1  #include <stdio.h>
2  union share {
3      int as_int;
4      unsigned char as_arr [4];
5  };
6  int main () {
7      volatile share s;
8      s.as_int = 12345;
9      for (int i = 3; i >= 0; i--)
10         printf ("%02X ", s.as_arr[i]);
11     return 0;
12 }
```

Вывод байтов из int, пример

Вывод байтов из int, пример: 00 00 30 39 .

```
1  #include <stdio.h>
2  union share {
3      int as_int;
4      unsigned char as_arr [4];
5  };
6  int main () {
7      volatile share s;
8      s.as_int = 12345;
9      for (int i = 3; i >= 0; i--)
10         printf ("%02X ", s.as_arr[i]);
11     return 0;
12 }
```

Выведутся отдельные байты из int, начиная со старшего.

Вывод байтов из float, пример

Вывод байтов из float, пример: что выведет программа?

```
1  #include <stdio.h>
2  union share {
3      float as_float;
4      unsigned char as_arr [4];
5  };
6  int main () {
7      volatile share s;
8      s.as_float = 1.0 / 5.0;
9      for (int i = 3; i >= 0; i--)
10         printf ("%02X ", s.as_arr[i]);
11     return 0;
12 }
```

Вывод байтов из float, пример

Вывод байтов из float, пример: 3E 4C CC CD .

```
1  #include <stdio.h>
2  union share {
3      float as_float;
4      unsigned char as_arr [4];
5  };
6  int main () {
7      volatile share s;
8      s.as_float = 1.0 / 5.0;
9      for (int i = 3; i >= 0; i--)
10         printf ("%02X ", s.as_arr[i]);
11     return 0;
12 }
```

Выведутся отдельные байты из float, начиная со старшего.

Сложение float, пример 1

Сложение float, пример 1: что выведет программа?

```
1  #include <stdio.h>
2  int main () {
3      volatile float a, b;
4      a = 0;
5      while (1) {
6          b = a + 1;
7          if (a == b)
8              break;
9          a = b;
10     }
11     printf ("%f\n", a);
12     return 0;
13 }
```

Сложение float, пример 1

Сложение float, пример 1: 16777216.000000.

```
1  #include <stdio.h>
2  int main () {
3      volatile float a, b;
4      a = 0;
5      while (1) {
6          b = a + 1;
7          if (a == b)
8              break;
9          a = b;
10     }
11     printf ("%f\n", a);
12     return 0;
13 }
```

Программа выведет число $16777216.000000 = 2^{24}$.

Сложение float, пример 2

Сложение float, пример 2: что выведет программа?

```
1  #include <stdio.h>
2  int main () {
3      volatile float a, b;
4      a = 1E10;
5      b = 1E10 + 1000;
6      while (a < b)
7          a = a + 1;
8      printf ("%f\n", a);
9      return 0;
10 }
```

Сложение float, пример 2

Сложение float, пример 2: *(вечный цикл)*.

```
1  #include <stdio.h>
2  int main () {
3      volatile float a, b;
4      a = 1E10;
5      b = 1E10 + 1000;
6      while (a < b)
7          a = a + 1;
8      printf ("%f\n", a);
9      return 0;
10 }
```

Это вечный цикл: увеличение a на единицу фактически не происходит.

Сложение float, пример 3

Сложение float, пример 3: что выведет программа?

```
1  #include <stdio.h>
2  int main () {
3      volatile float a, b;
4      a = 1E10;
5      b = 1E10 + 10;
6      while (a < b)
7          a = a + 1;
8      printf ("%f\n", a);
9      return 0;
10 }
```

Сложение float, пример 3

Сложение float, пример 3: 10000000000.000000.

```
1  #include <stdio.h>
2  int main () {
3      volatile float a, b;
4      a = 1E10;
5      b = 1E10 + 10;
6      while (a < b)
7          a = a + 1;
8      printf ("%f\n", a);
9      return 0;
10 }
```

Этот цикл не выполнится ни разу, так как $a = b$.
Будет выведено число 10000000000.000000.

Сложение float, пример 4

Сложение float, пример 4: что выведет программа?

```
1  #include <stdio.h>
2  int main () {
3      volatile float a;
4      a = 1;
5      a += 1E10;
6      a -= 1E10;
7      printf ("%f\n", a);
8      return 0;
9  }
```

Сложение float, пример 4

Сложение float, пример 4: 0.000000.

```
1  #include <stdio.h>
2  int main () {
3      volatile float a;
4      a = 1;
5      a += 1E10;
6      a -= 1E10;
7      printf ("%f\n", a);
8      return 0;
9  }
```

После сложения на хранение единицы не хватит разрядов.
Будет выведено число 0.000000.

Сложение float, пример 5

Сложение float, пример 5: что выведет программа?

```
1  #include <stdio.h>
2  int main () {
3      volatile float a;
4      a = 1000;
5      a += 1E10;
6      a -= 1E10;
7      printf ("%f\n", a);
8      return 0;
9  }
```

Сложение float, пример 5

Сложение float, пример 5: 1024.000000.

```
1  #include <stdio.h>
2  int main () {
3      volatile float a;
4      a = 1000;
5      a += 1E10;
6      a -= 1E10;
7      printf ("%f\n", a);
8      return 0;
9  }
```

После сложения не все разряды тысячи удастся сохранить.
Будет выведено число 1024.000000.

Сложение float, пример 6

Сложение float, пример 6: что выведет программа?

```
1  #include <stdio.h>
2  int main () {
3      volatile float a, b;
4      a = 16777216;
5      b = 1;
6      a += b;
7      printf ("%f\n", a);
8      return 0;
9  }
```

Сложение float, пример 6

Сложение float, пример 6: 16777216.000000.

```

1  #include <stdio.h>
2  int main () {
3      volatile float a, b;
4      a = 16777216;
5      b = 1;
6      a += b;
7      printf ("%f\n", a);
8      return 0;
9  }
```

		987654321098765432109876543210
		=====
$2^{\{23\}}$	=	1000000000000000000000000000
$2^{\{23\}} + 1$	=	1000000000000000000000000001
		=====
		987654321098765432109876543210

Сложение float, пример 6

Сложение float, пример 6: 16777216.000000.

```

1  #include <stdio.h>
2  int main () {
3      volatile float a, b;
4      a = 16777216;
5      b = 1;
6      a += b;
7      printf ("%f\n", a);
8      return 0;
9  }
```

		987654321098765432109876543210
		=====
$2^{\{24\}}$	=	1000000000000000000000000000
$2^{\{24\}} + 1$	=	1000000000000000000000000001
		=====
		987654321098765432109876543210

Сложение float, пример 7

Сложение float, пример 7: что выведет программа?

```
1  #include <stdio.h>
2  int main () {
3      volatile float a, b;
4      a = 16777218;
5      b = 1;
6      a += b;
7      printf ("%f\n", a);
8      return 0;
9  }
```

Сложение float, пример 7

Сложение float, пример 7: 16777220.000000.

```

1  #include <stdio.h>
2  int main () {
3      volatile float a, b;
4      a = 16777218;
5      b = 1;
6      a += b;
7      printf ("%f\n", a);
8      return 0;
9  }
```

```

                                987654321098765432109876543210
                                =====
2^{24} + 2 =                   1000000000000000000000000010
2^{24} + 3 =                   1000000000000000000000000011
2^{24} + 4 =                   1000000000000000000000000100
                                =====
                                987654321098765432109876543210
```

Сложение float, пример 8

Сложение float, пример 8: что выведет программа?

```
1  #include <stdio.h>
2  int main () {
3      volatile float a, b;
4      a = 33554432;
5      b = 2;
6      a = a + b;
7      printf ("%f\n", a);
8      return 0;
9  }
```

Сложение float, пример 8

Сложение float, пример 8: 33554432.000000.

```

1  #include <stdio.h>
2  int main () {
3      volatile float a, b;
4      a = 33554432;
5      b = 2;
6      a = a + b;
7      printf ("%f\n", a);
8      return 0;
9  }
```

		987654321098765432109876543210
		=====
$2^{\{25\}}$	=	10000000000000000000000000000
$2^{\{25\}} + 2$	=	10000000000000000000000000010
		=====
		987654321098765432109876543210

Сложение float, пример 9

Сложение float, пример 9: что выведет программа?

```
1  #include <stdio.h>
2  int main () {
3      volatile float a, b;
4      a = 33554432;
5      b = 3;
6      a = a + b;
7      printf ("%f\n", a);
8      return 0;
9  }
```

Сложение float, пример 9

Сложение float, пример 9: 33554436.000000.

```

1  #include <stdio.h>
2  int main () {
3      volatile float a, b;
4      a = 33554432;
5      b = 3;
6      a = a + b;
7      printf ("%f\n", a);
8      return 0;
9  }
```

		987654321098765432109876543210
		=====
$2^{\{25\}}$	=	10000000000000000000000000000
$2^{\{25\}} + 3$	=	100000000000000000000000000011
$2^{\{25\}} + 4$	=	100000000000000000000000000100
		=====
		987654321098765432109876543210

Цикл по float, пример

Цикл по float, пример: что выведет программа?

```
1  #include <stdio.h>
2  int main () {
3      volatile float a;
4      for (a = 0.0; a != 1.0; a += 0.1)
5          ;
6      printf ("%f\n", a);
7      return 0;
8  }
```

Цикл по float, пример

Цикл по float, пример: *(вечный цикл)*.

```
1  #include <stdio.h>
2  int main () {
3      volatile float a;
4      for (a = 0.0; a != 1.0; a += 0.1)
5          ;
6      printf ("%f\n", a);
7      return 0;
8  }
```

Число 0.1 не хранится точно.

Сумма десяти таких чисел не оказалась в точности равна 1.0.

Вычитание float, пример 1

Вычитание float, пример 1: что выведет программа?

```
1  #include <stdio.h>
2  #include <math.h>
3  int main () {
4      volatile float a, b, c, s, t;
5      a = 1.0 / 5.0;
6      b = 1.0 / 15.0;
7      c = b; c += b; c += b;
8      t = a - c;
9      s = sqrt (t);
10     printf ("%0.9f %0.9f %0.9f\n%0.9f %0.9f\n", a, b, c, t, s);
11     return 0;
12 }
```

Вычитание float, пример 1

Вычитание float, пример 1: *(не получилось посчитать).*

```

1  #include <stdio.h>
2  #include <math.h>
3  int main () {
4      volatile float a, b, c, s, t;
5      a = 1.0 / 5.0;
6      b = 1.0 / 15.0;
7      c = b; c += b; c += b;
8      t = a - c;
9      s = sqrt (t);
10     printf ("%9f %9f %9f\n%9f %9f\n", a, b, c, t, s);
11     return 0;
12 }

```

0.200000003 0.066666670 0.200000018
 -0.000000015 -1.#IND00000

Вычитание float, пример 1

Вычитание float, пример 1: *(не получилось посчитать).*

```

1  #include <stdio.h>
2  #include <math.h>
3  int main () {
4      volatile float a, b, c, s, t;
5      a = 1.0 / 5.0;
6      b = 1.0 / 15.0;
7      c = b; c += b; c += b;
8      t = a - c;
9      s = sqrt (t);
10     printf ("%0.9f %0.9f %0.9f\n%0.9f %0.9f\n", a, b, c, t, s);
11     return 0;
12 }

```

0.200000003 0.066666670 0.200000018
 -0.000000015 -1.#IND00000

Числа $\frac{1}{5}$ и $\frac{1}{15}$ не хранятся точно.

Разность оказалась отрицательной.

Корень вычислить не удалось.

Вычитание float, пример 2

Вычитание float, пример 2: что выведет программа?

```
1  #include <stdio.h>
2  #include <math.h>
3  int main () {
4      volatile float a, b, c, s, t;
5      a = 1.0 / 5.0;
6      b = 1.0 / 25.0;
7      c = b; c += b; c += b; c += b; c += b;
8      t = a - c;
9      s = sqrt (t);
10     printf ("%0.9f %0.9f %0.9f\n%0.9f %0.9f\n", a, b, c, t, s);
11     return 0;
12 }
```

Вычитание float, пример 2

Вычитание float, пример 2: *(ошибка в четвёртом знаке).*

```
1  #include <stdio.h>
2  #include <math.h>
3  int main () {
4      volatile float a, b, c, s, t;
5      a = 1.0 / 5.0;
6      b = 1.0 / 25.0;
7      c = b; c += b; c += b; c += b; c += b;
8      t = a - c;
9      s = sqrt (t);
10     printf ("%0.9f %0.9f %0.9f\n%0.9f %0.9f\n", a, b, c, t, s);
11     return 0;
12 }
```

0.200000003 0.039999999 0.199999988
0.000000015 0.000122070

Вычитание float, пример 2

Вычитание float, пример 2: *(ошибка в четвёртом знаке).*

```

1  #include <stdio.h>
2  #include <math.h>
3  int main () {
4      volatile float a, b, c, s, t;
5      a = 1.0 / 5.0;
6      b = 1.0 / 25.0;
7      c = b; c += b; c += b; c += b; c += b;
8      t = a - c;
9      s = sqrt (t);
10     printf ("%0.9f %0.9f %0.9f\n%0.9f %0.9f\n", a, b, c, t, s);
11     return 0;
12 }

```

0.200000003 0.039999999 0.199999988
 0.000000015 0.000122070

Числа $\frac{1}{5}$ и $\frac{1}{25}$ не хранятся точно.

В разности ошибка в восьмом знаке после десятичной точки.
 А в корне — уже в четвёртом знаке.

Вычитание float, пример 3

Вычитание float, пример 3: что выведет программа?

```
1  #include <stdio.h>
2  #include <math.h>
3  int main () {
4      volatile float a, b, c, p, s, x1, x2, x3, y1, y2, y3;
5      x1 = 0.0; y1 = 0.0;
6      x2 = 2.0; y2 = 3.0;
7      x3 = 3.0; y3 = 5.0;
8      a = hypot (y2 - y1, x2 - x1);
9      b = hypot (y3 - y2, x3 - x2);
10     c = hypot (y1 - y3, x1 - x3);
11     p = (a + b + c) * 0.5;
12     s = p * (p - a) * (p - b) * (p - c);
13     s = sqrt (s);
14     printf ("%0.9f %0.9f %0.9f %0.9f\n%0.9f\n", a, b, c, p, s);
15     return 0;
16 }
```

Вычитание float, пример 3

Вычитание float, пример 3: *(ошибка в пятом знаке).*

```
1  #include <stdio.h>
2  #include <math.h>
3  int main () {
4      volatile float a, b, c, p, s, x1, x2, x3, y1, y2, y3;
5      x1 = 0.0; y1 = 0.0;
6      x2 = 2.0; y2 = 3.0;
7      x3 = 3.0; y3 = 5.0;
8      a = hypot (y2 - y1, x2 - x1);
9      b = hypot (y3 - y2, x3 - x2);
10     c = hypot (y1 - y3, x1 - x3);
11     p = (a + b + c) * 0.5;
12     s = p * (p - a) * (p - b) * (p - c);
13     s = sqrt (s);
14     printf ("%0.9f %0.9f %0.9f %0.9f\n%0.9f\n", a, b, c, p, s);
15     return 0;
16 }
```

3.605551243 2.236068010 5.830951691 5.836285591
0.500010371

Вычитание float, пример 3

Вычитание float, пример 3: *(ошибка в пятом знаке).*

```

1  #include <stdio.h>
2  #include <math.h>
3  int main () {
4      volatile float a, b, c, p, s, x1, x2, x3, y1, y2, y3;
5      x1 = 0.0; y1 = 0.0;
6      x2 = 2.0; y2 = 3.0;
7      x3 = 3.0; y3 = 5.0;
8      a = hypot (y2 - y1, x2 - x1);
9      b = hypot (y3 - y2, x3 - x2);
10     c = hypot (y1 - y3, x1 - x3);
11     p = (a + b + c) * 0.5;
12     s = p * (p - a) * (p - b) * (p - c);
13     s = sqrt (s);
14     printf ("%0.9f %0.9f %0.9f %0.9f\n%0.9f\n", a, b, c, p, s);
15     return 0;
16 }

```

3.605551243 2.236068010 5.830951691 5.836285591
0.500010371

Полупериметр близок к длине большей стороны.
Ошибка в пятом знаке.

Вычитание float, пример 4

Вычитание float, пример 4: что выведет программа?

```
1  #include <stdio.h>
2  #include <math.h>
3  int main () {
4      volatile float a, b, c, p, s, x1, x2, x3, y1, y2, y3;
5      x1 = 0.0; y1 = 0.0;
6      x2 = 21.0; y2 = 34.0;
7      x3 = 34.0; y3 = 55.0;
8      a = hypot (y2 - y1, x2 - x1);
9      b = hypot (y3 - y2, x3 - x2);
10     c = hypot (y1 - y3, x1 - x3);
11     p = (a + b + c) * 0.5;
12     s = p * (p - a) * (p - b) * (p - c);
13     s = sqrt (s);
14     printf ("%0.9f %0.9f %0.9f %0.9f\n%0.9f\n", a, b, c, p, s);
15     return 0;
16 }
```

Вычитание float, пример 4

Вычитание float, пример 4: *(ошибка в первом знаке).*

```
1  #include <stdio.h>
2  #include <math.h>
3  int main () {
4      volatile float a, b, c, p, s, x1, x2, x3, y1, y2, y3;
5      x1 = 0.0; y1 = 0.0;
6      x2 = 21.0; y2 = 34.0;
7      x3 = 34.0; y3 = 55.0;
8      a = hypot (y2 - y1, x2 - x1);
9      b = hypot (y3 - y2, x3 - x2);
10     c = hypot (y1 - y3, x1 - x3);
11     p = (a + b + c) * 0.5;
12     s = p * (p - a) * (p - b) * (p - c);
13     s = sqrt (s);
14     printf ("%0.9f %0.9f %0.9f %0.9f\n%0.9f\n", a, b, c, p, s);
15     return 0;
16 }
```

```
39.962482452 24.698177338 64.660652161 64.660659790
0.697788477
```

Вычитание float, пример 4

Вычитание float, пример 4: *(ошибка в первом знаке).*

```

1  #include <stdio.h>
2  #include <math.h>
3  int main () {
4      volatile float a, b, c, p, s, x1, x2, x3, y1, y2, y3;
5      x1 = 0.0; y1 = 0.0;
6      x2 = 21.0; y2 = 34.0;
7      x3 = 34.0; y3 = 55.0;
8      a = hypot (y2 - y1, x2 - x1);
9      b = hypot (y3 - y2, x3 - x2);
10     c = hypot (y1 - y3, x1 - x3);
11     p = (a + b + c) * 0.5;
12     s = p * (p - a) * (p - b) * (p - c);
13     s = sqrt (s);
14     printf ("%0.9f %0.9f %0.9f %0.9f\n%0.9f\n", a, b, c, p, s);
15     return 0;
16 }
```

```

39.962482452 24.698177338 64.660652161 64.660659790
0.697788477
```

Полупериметр близок к длине большей стороны.
 Ошибка в первом знаке.

Вычитание float, пример 5

Вычитание float, пример 5: что выведет программа?

```
1  #include <stdio.h>
2  #include <math.h>
3  int main () {
4      volatile float a, b, c, p, s, x1, x2, x3, y1, y2, y3;
5      x1 = 0.0; y1 = 0.0;
6      x2 = 34.0; y2 = 55.0;
7      x3 = 55.0; y3 = 89.0;
8      a = hypot (y2 - y1, x2 - x1);
9      b = hypot (y3 - y2, x3 - x2);
10     c = hypot (y1 - y3, x1 - x3);
11     p = (a + b + c) * 0.5;
12     s = p * (p - a) * (p - b) * (p - c);
13     s = sqrt (s);
14     printf ("%0.9f %0.9f %0.9f %0.9f\n%0.9f\n", a, b, c, p, s);
15     return 0;
16 }
```

Вычитание float, пример 5

Вычитание float, пример 5: *(числа получились равными).*

```
1  #include <stdio.h>
2  #include <math.h>
3  int main () {
4      volatile float a, b, c, p, s, x1, x2, x3, y1, y2, y3;
5      x1 = 0.0; y1 = 0.0;
6      x2 = 34.0; y2 = 55.0;
7      x3 = 55.0; y3 = 89.0;
8      a = hypot (y2 - y1, x2 - x1);
9      b = hypot (y3 - y2, x3 - x2);
10     c = hypot (y1 - y3, x1 - x3);
11     p = (a + b + c) * 0.5;
12     s = p * (p - a) * (p - b) * (p - c);
13     s = sqrt (s);
14     printf ("%0.9f %0.9f %0.9f %0.9f\n%0.9f\n", a, b, c, p, s);
15     return 0;
16 }
```

```
64.660652161 39.962482452 104.623130798 104.623130798
0.000000000
```

Вычитание float, пример 5

Вычитание float, пример 5: *(числа получились равными).*

```

1  #include <stdio.h>
2  #include <math.h>
3  int main () {
4      volatile float a, b, c, p, s, x1, x2, x3, y1, y2, y3;
5      x1 = 0.0; y1 = 0.0;
6      x2 = 34.0; y2 = 55.0;
7      x3 = 55.0; y3 = 89.0;
8      a = hypot (y2 - y1, x2 - x1);
9      b = hypot (y3 - y2, x3 - x2);
10     c = hypot (y1 - y3, x1 - x3);
11     p = (a + b + c) * 0.5;
12     s = p * (p - a) * (p - b) * (p - c);
13     s = sqrt (s);
14     printf ("% .9f % .9f % .9f % .9f\n% .9f\n", a, b, c, p, s);
15     return 0;
16 }
```

```

64.660652161 39.962482452 104.623130798 104.623130798
0.000000000
```

Полупериметр близок к длине большей стороны.
Настолько, что они получились равными.

Вопросы?

Вопросы?