Типы и форматы операндов

Машинные команды оперируют данными, которые в этом случае принято называть ***операндами***.

Базовые типы операндов:

- адреса;
- числа;
- символы;
- логические данные.

ВМ обеспечивает обработку и более сложных информационных единиц: графических изображений, аудио-, видео- и анимационной информации. Такая информация является производной от базовых типов данных и хранится в виде файлов на внешних запоминающих устройствах.

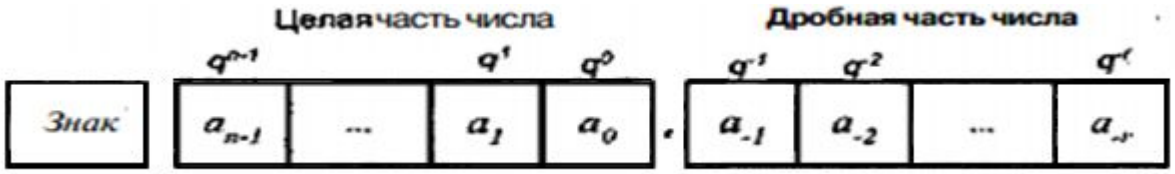
Числовая информация

В ЭВМ применяют две формы представления чисел: ***с фиксированной запятой*** (***точкой***) и ***с плавающей запятой*** (***точкой***).

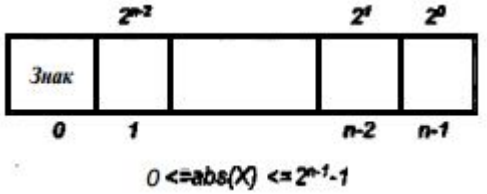
Эти формы называют также соответственно ***естественной*** и ***полулогарифмической***.

Числа в форме с фиксированной запятой

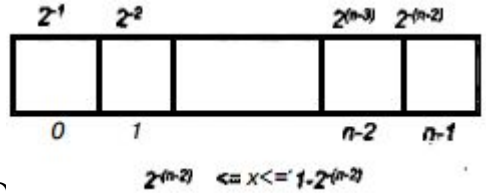
При представлении чисел с фиксированной запятой положение запятой фиксируется в определенном месте относительно разрядов числа.

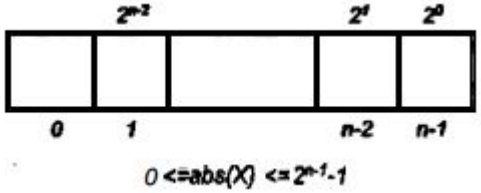


Обычно подразумевается, что запятая находится или перед старшим разрядом, или после младшего. В первом случае могут быть представлены только числа, которые по модулю меньше 1, во втором – только целые числа.



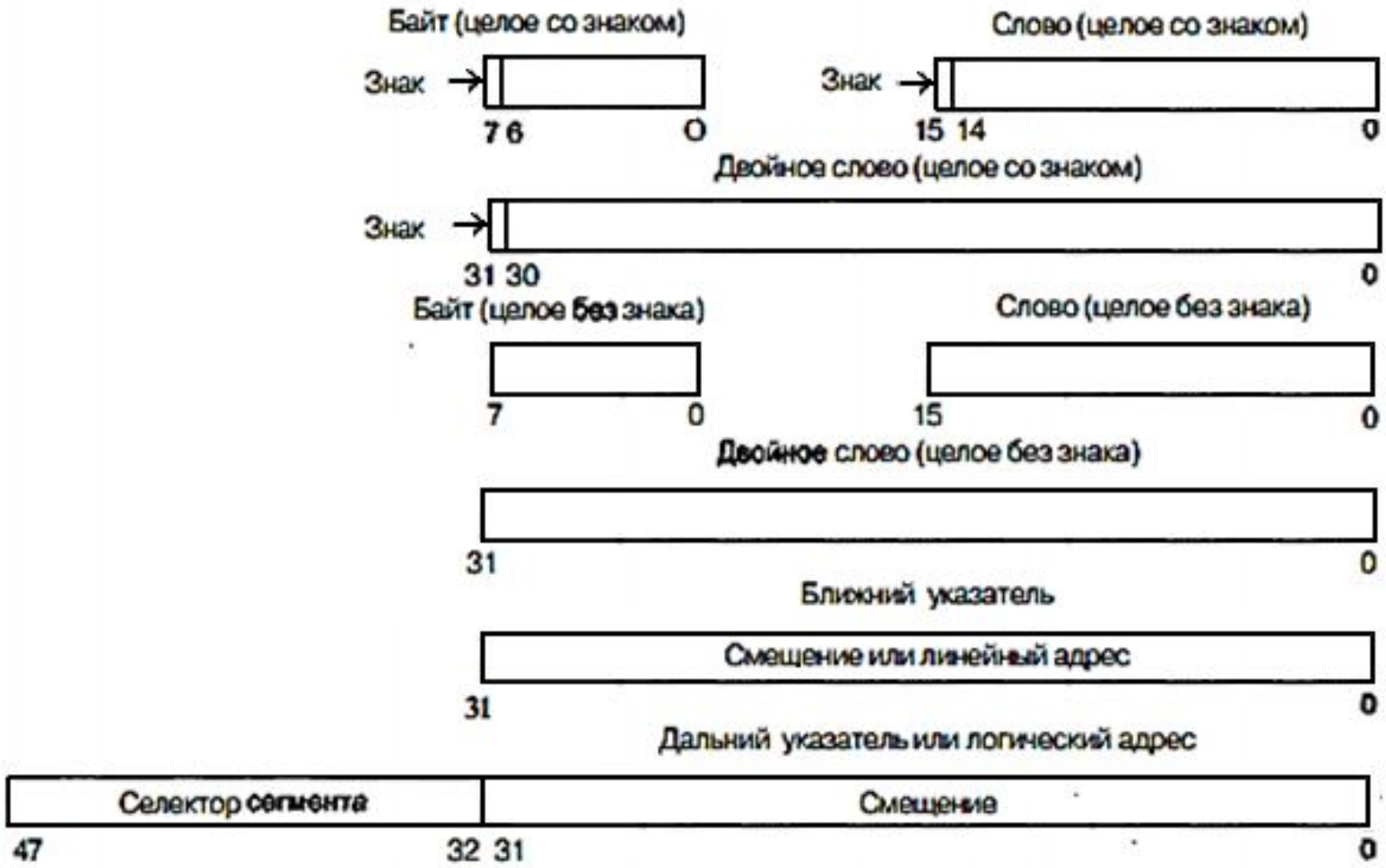
Используют два варианта представления целых чисел: со знаком и без знака. В последнем случае все разряды разрядной сетки служат для представления модуля числа.





Особенностью представления целых чисел со знаком в форме с фиксированной запятой в современных ЭВМ является использование дополнительного кода для отрицательных чисел.

Целочисленные форматы микропроцессоров фирмы Intel



Целые числа применяются также для работы с адресами. На рисунке это 32-разрядный формат ближнего и 48-разрядный формат дальнего указателей

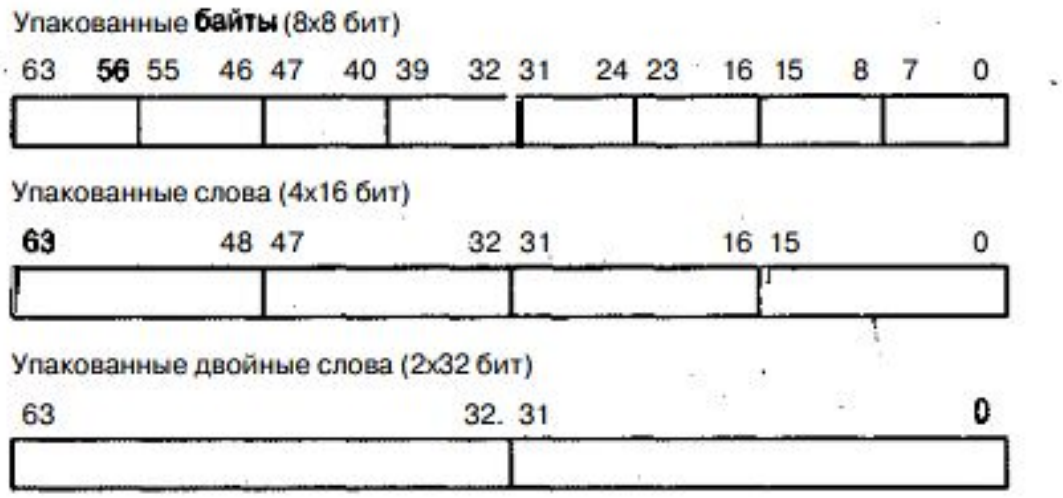
Упакованные целые числа

Формат предполагает упаковку в пределах достаточно длинного слова (обычно 64-разрядного) нескольких небольших целых чисел, а соответствующие команды обрабатывают все эти числа параллельно.

Неиспользованные разряды заполняются нулями.

В микропроцессорах фирмы Intel, начиная с Pentium MMX, присутствуют специальные команды для обработки мультимедийной информации (MMX-команды), оперирующие целыми числами, упакованными в квадрослова (64-разрядные слова).

Идентичные форматы упакованных данных применяются также в другой технологии обработки мультимедийной информации, предложенной фирмой AMD (технология 3DNow



Форматы упакованных целых чисел в технологиях MMX и 3DNow!

Десятичные числа

В основу представления десятичных данных положен принцип кодирования каждой десятичной цифры эквивалентным двоичным числом из четырех битов (***тетрадой***), то есть так называемым двоично-десятичным кодом (*BCD – Binary Coded Decimal*).

Используются два формата представления десятичных чисел (все числа рассматриваются как целые):

1. ***зонный*** (***распакованный***);

Байт		Байт			Байт		Байт	
Цифра	Зона	Цифра	Зона	. . .	Цифра	Зона	Знак	Зона

2. ***уплотненный*** (***упакованный***).

Байт		Байт			Байт		Байт	
Цифра	Цифра	Цифра	Цифра	. . .	Цифра	Цифра	Цифра	Знак

В обоих форматах каждая десятичная цифра представляется двоичной тетрадой, то есть заменяется двоично-десятичным кодом. Из оставшихся четырехразрядных двоичных комбинаций две служат для кодирования знаков «+» и «–».

Например, в ВМ семейства IBM 360/370/390 для знака «плюс» выбран код 11002= C16, а для знака «минус» – код 11012= D16.

Зонный формат применяется в операциях ввода/вывода. При выполнении операций сложения и вычитания над десятичными числами обычно используется упакованный формат и в нем же получается результат (умножение и деление возможно только в зонном формате)

Существует большое разнообразие десятичных двоично-кодированных систем ($A_{16}^{10} = 2{,}9 \cdot 10^{10}$ вариантов). Это многообразие вытекает из избыточности двоичного кода, при котором из 16 возможных комбинаций в каждом разряде используется по прямому информационному назначению лишь 10.

Наиболее широкое применение находят системы кодирования 8421 и 8421+3 (код Штибитца).

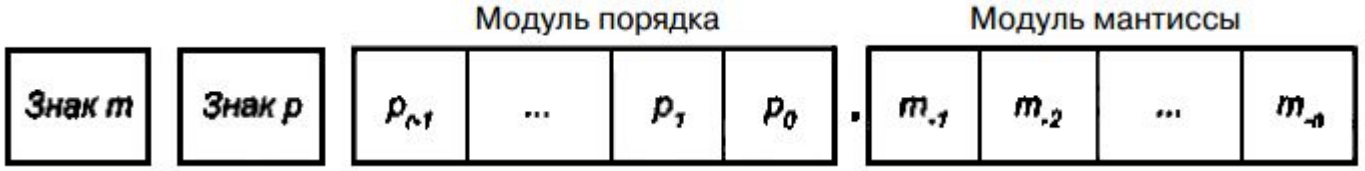
8421		8421+3	
0000 – 0 0001 – 1 0010 – 2 0011 – 3 0100 – 4 0101 – 5 0110 – 6 0111 – 7 1000 – 8 1001 – 9	неудобна тем, что при выполнении операции вычитания нет прямого перехода от цифры каждого разряда к дополнительному коду обладает свойством аддитивности, поскольку результаты операции сложения над числами в десятичной системе и над их изображением в системе 8421 – совпадают.	0000 – 0 0001 – 1 0010 – 2 0011 – 3 0100 – 4 0101 – 5 0110 – 6 0111 – 7 1000 – 8 1001 – 9	обладает свойством самодополнения – дополнение до 9 можно получить, применяя операцию поразрядного инвертирования кода

Числа в форме с плавающей запятой

Представление чисел с плавающей запятой (ПЗ) известно также под названиями нормальной или полулогарифмической формы.

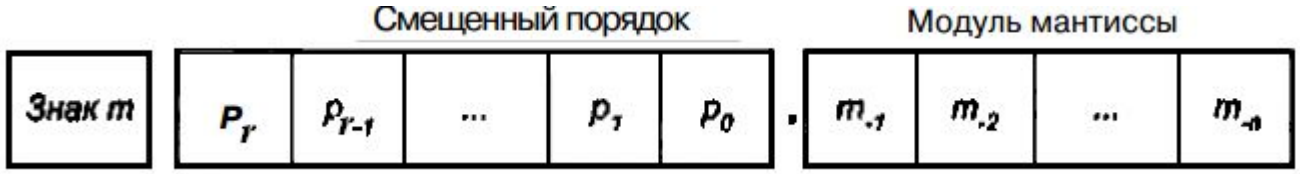
$$R = \pm\, m \cdot q^{\pm p}$$

где m –мантисса числа R, p – порядок числа, q – основание системы счисления.



Диапазон и точность представления чисел с ПЗ зависят от числа разрядов, отводимых под порядок и мантиссу, а также от основания используемой системы счисления, которое может быть отличным от 2. Например, в универсальных ВМ (мэйнфреймах) фирмы IBM используется база 16 .

В большинстве вычислительных машин для упрощения операций над порядками последние приводят к целым положительным числам, применяя так называемый ***смещенный порядок***. Для этого к истинному порядку добавляется целое положительное число – ***смещение (.*** Обычно смещение выбирается равным половине представимого диапазона порядков**.**

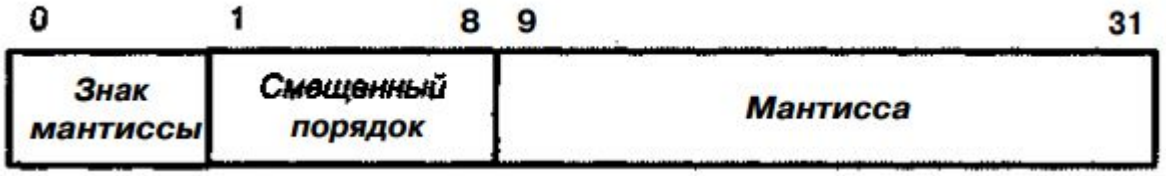


Для устранения неоднозначности смещенные порядки называют ***характеристиками***.

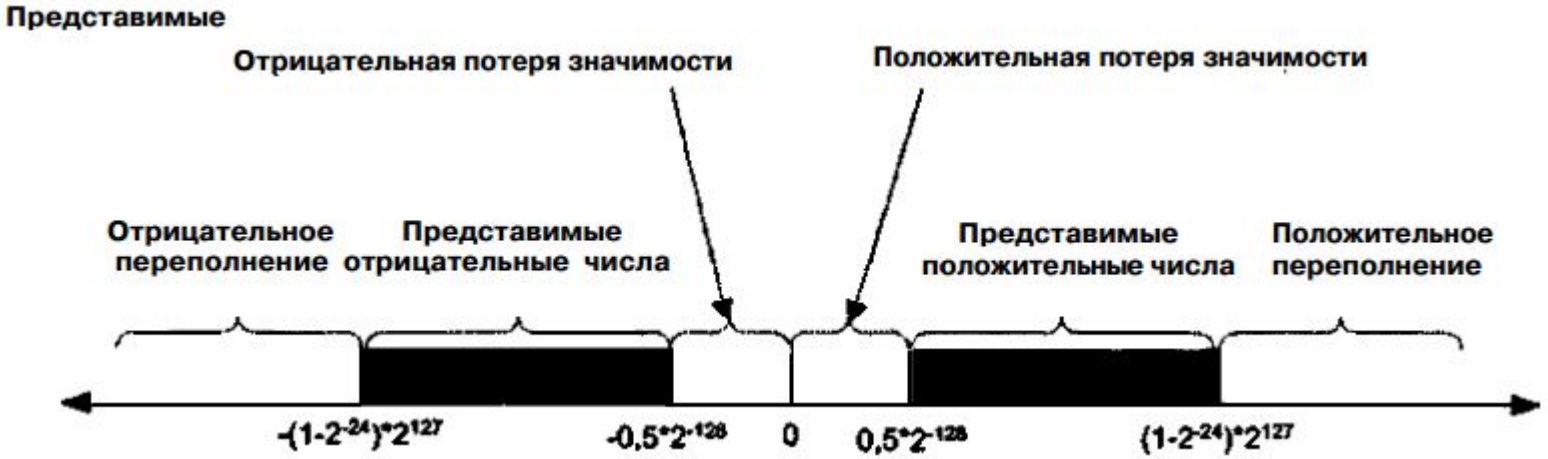
В числах с ПЗ обычно используют нормализованное представление числа в форме с плавающей точкой, то есть мантисса должна быть по модулю меньше единицы и первая значащая цифра мантиссы должна отличаться от нуля ($1/q \leq |m| < 1$). Полученная таким образом мантисса называется ***нормализованной.***

Если для записи числа с ПЗ используется база 2 ($q = 2$), то часто применяют способ повышения точности представления мантиссы, называемый ***приемом скрытой единицы*** (в нормализованной мантиссе старшая цифра всегда равна единице, следовательно, эта цифра может не записываться, а подразумеваться). Такая запись числа с ПЗ не учитывает нулевого значения. Для этой цели используется специальная кодовая комбинация.

Типичный 32-битовый формат числа с ПЗ



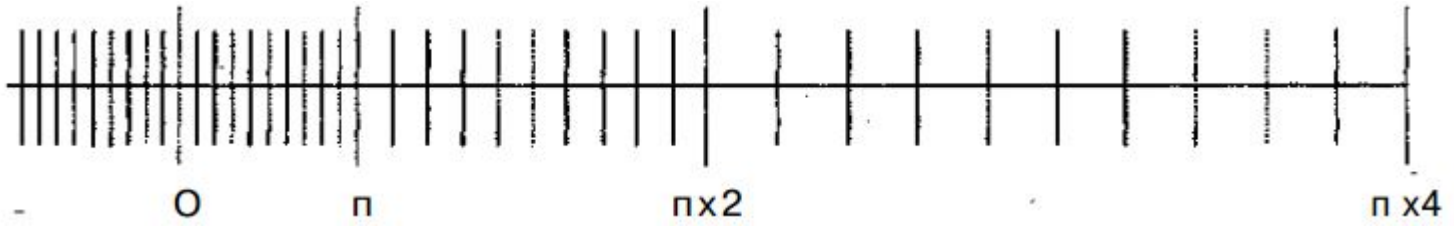
Числа с плавающей запятой, представимые в 32-битовых форматах



Переполнение – ситуация, когда в результате арифметической операции получается значение большее, чем можно представить максимальным порядком.

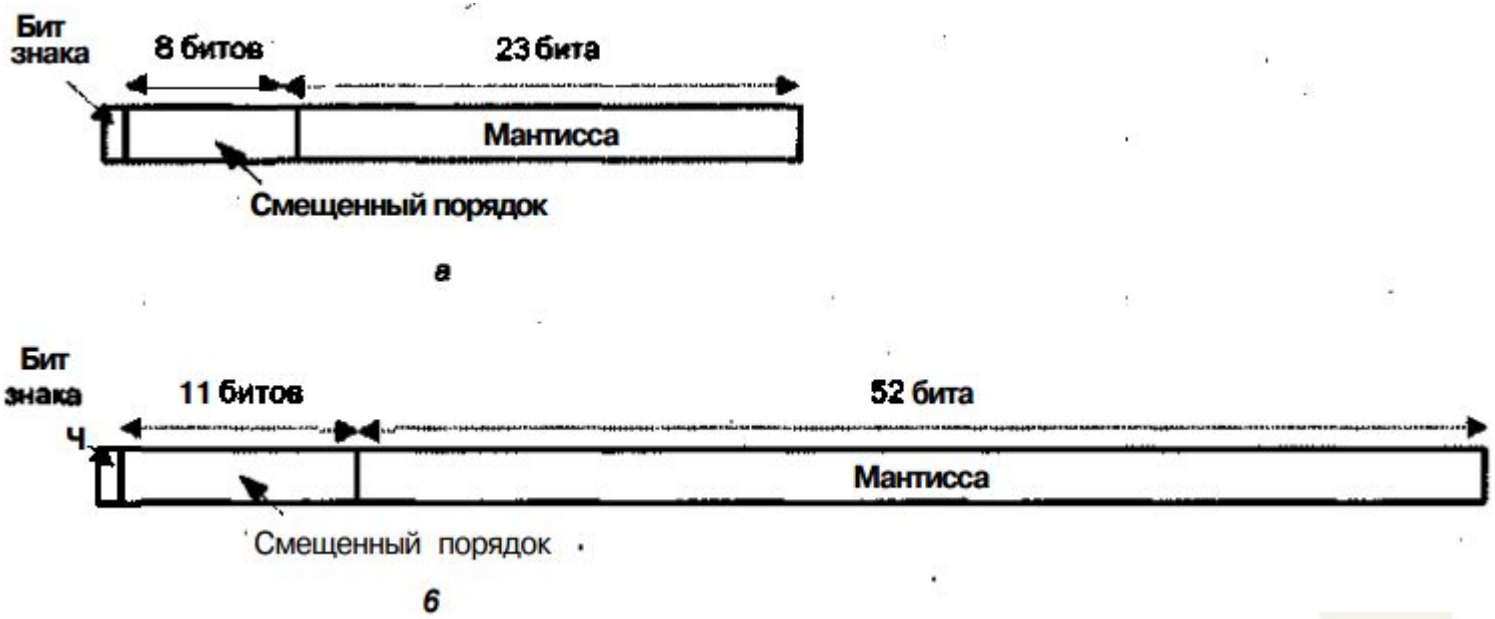
Потеря значимости – ситуация, когда результат представляет собой слишком маленькое дробное значение.

Числа в форме с ПЗ размещены на числовой оси неравномерно. Возможные значения в начале числовой оси расположены плотнее, а по мере движения вправо – все реже.



Стандарт IEEE754

Основные форматы IEEE754: а – одинарный; б – двойной



В дополнение, стандарт предусматривает два расширенных формата, одинарный и двойной, фактический вид которых зависит от конкретной реализации. Расширенные форматы предусматривают дополнительные биты для порядка (увеличенный диапазон) и мантиссы (повышенная точность).

Параметры форматов стандарта IEEE754

Параметр	Формат			
	Одинарный	Одинарный расширенный	Двойной	Двойной расширенный
Ширина слова, бит	32	>43	64	>79
Ширина порядка, бит	8	>11	11	>15
Смещение порядка	127	Не определено	1023	Не определено
Максимальный порядок	127	>1023	1023	16383
Минимальный порядок	-126	<-1022	-1022	<-16382
Диапазон чисел	10^{-38} .. 10^{38}	Не определен	10^{-308} .. 10^{308}	Не определен
Длина мантиссы, бит	23	>31	52	>63
Количество порядков	254	Не определено	2046	Не определено
Количество мантисс	223	Не определено	252	Не определено
Количество значений	$1,98x2^{31}$	Не определено	$1,99x2^{63}$	Не определено

Особые значения чисел с плавающей точкой в IEEE 754

Ноль (со знаком)

Число считается нулём, если все его биты, кроме знакового, равны нулю. При этом в зависимости от значения бита знака ноль может быть быть как положительным, так и отрицательным.

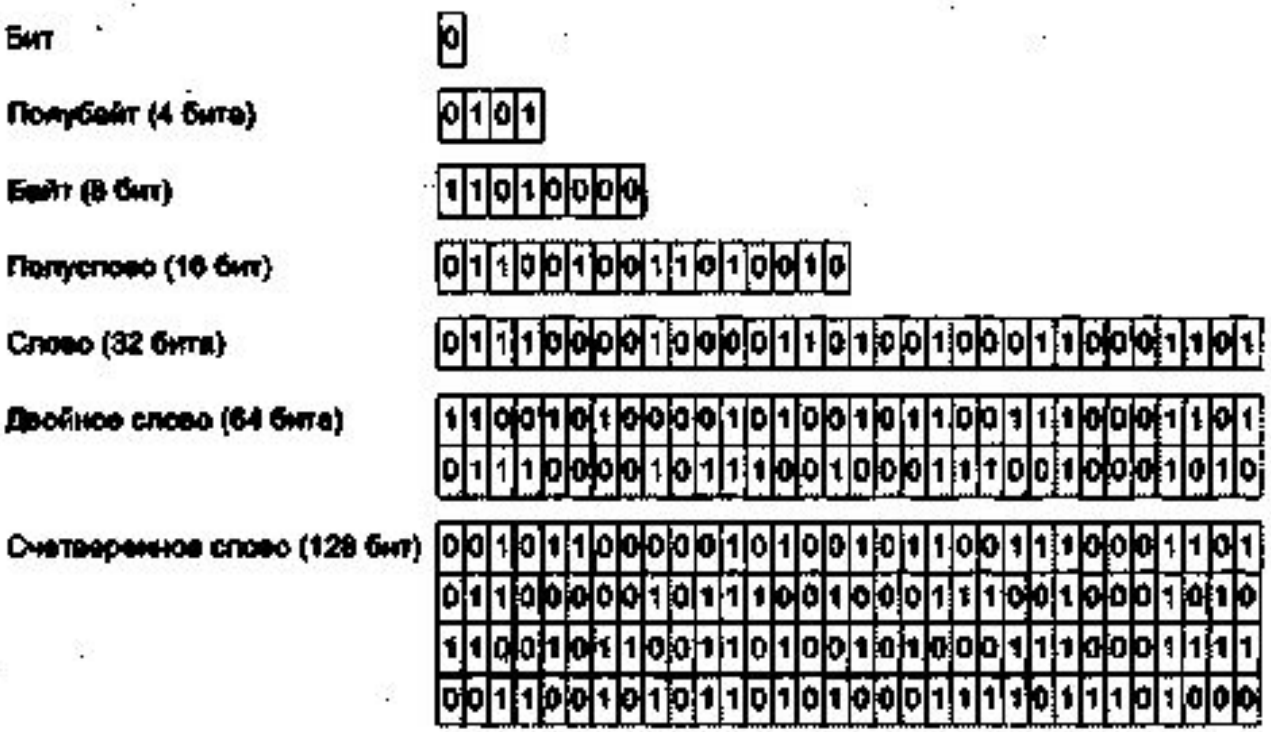
Неопределенность (*NaN*)

NaN – это аббревиатура от фразы "*not a number*". *NaN* является результатом арифметических операций, если во время их выполнения произошла ошибка. *NaN* представлен как число, в котором все двоичные разряды порядка – единицы, а мантисса не нулевая.

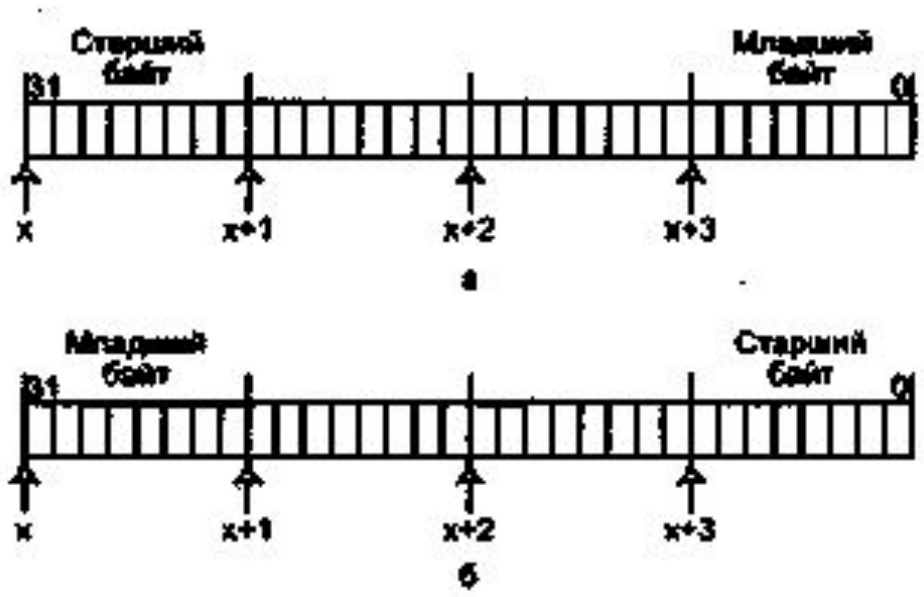
Бесконечности

Число с плавающей запятой считается равным бесконечности, если все двоичные разряды его порядка – единицы, а мантисса равна нулю. Знак бесконечности определяется знаковым битом числа

Разрядность основных форматов числовых данных



Размещение числовых данных в памяти



big endian (IBM, Motorola)

little endian (DEC, Intel)

В настоящее время в большинстве машин предусматривается использование обоих вариантов, причем выбор может быть произведен программным путем за счет соответствующей установки регистра конфигурации.

Помимо порядка размещения байтов, существенным бывает и выбор адреса, с которого может начинаться запись числа. Связано это с физической реализацией полупроводниковых запоминающих устройств, где обычно предусматривается возможность считывания (записи) четырех байтов подряд. Данная операция выполняется быстрее, если адрес первого байта отвечает условию A mod S = 0 (S = 2, 4, 8, 16). Числа, размещенные в памяти в соответствии с этим правилом, называются ***выравненными***.

Размещение 32-разрядного слова без соблюдения правила выравнивания

Большинство компиляторов генерируют код, в котором предусмотрено выравнивание чисел в памяти.

Символьная информация

Каждому символу ставится в соответствие определенная двоичная комбинация. Совокупность возможных символов и назначенных им двоичных кодов образует ***таблицу кодировки***.

Требования к кодировкам:

1. Веса кодов цифр возрастают по мере увеличения цифры, причем подряд;
2. Веса букв увеличиваются в алфавитном порядке (не обязательно подряд).

Наиболее известные 8-разрядные таблицы кодировок:

1. расширенный двоично-кодированный код EBCDIC (Extended Binary Coded, Decimal Interchange Code) – внутренни1 кода в универсальных ВМ фирмы IBM, известен также под названием ДКОИ (двоичный код для обработки информации);
2. американский стандартный код для обмена информацией ASCII (American Standard Code for Information Interchange) – ASCII—7-разрядный, восьмая позиция отводится для записи бита четности.
3. Latin 1 (стандарт ISO 8859-1) – европейская модификация ASCII, использующая все 8 разрядов для кодирования (коды 128-255 отводятся для представления специфических букв алфавитов западно-европейских языков, символов псевдографики, некоторых букв греческого алфавита, а также ряда математических и финансовых символов).

Варианты стандарта ISO 8859

Стандарт	Характеристика
ISO 8859-1	Западно-европейские языки
ISO 8859:2	Языки стран центральной и восточной Европы
ISO 8859-3	Языки стран южной Европы, мальтийский и эсперанто
ISO 8859-4	Языки стран северной Европы
ISO 8859-5	Языки славянских стран с символами кириллицы
, ISO 8859-6	Арабский язык
ISO 8859-7	Современный греческий язык
ISO 8859-8	Языки иврит и идиш
ISO 8859-9	Турецкий язык
ISO 8859-10	Языки стран северной Европы (лапландский, исландский)'
ISO 8859-11	Тайский язык
ISO 8859-13	Языки балтийских стран
ISO 8859-14	Кельтский язык
ISO 8859-15	Комбинированная таблица для европейских языков
ISO 8859-16	Содержит специфические символы ряда языков: албанского, хорватского, английского, финского, французского, немецкого, венгерского, ирландского, итальянского, польского, румынского и словенского

Кодовые страницы OEM (Original Equipment Manufacturer)

Идентификатор	Страны кодовой страницы
CP437	США, страны западной Европы и Латинской Америки
CP708	Арабские страны
CP737	Греция
CP775 .	Латвия, Литва, Эстония
CP852	Страны восточной Европы
CP853	Турция
CP855	Страны с кириллической письменностью
CP860	Португалия
CP862	Израиль
CP865	Дания, Норвегия
CP866	Россия
CP932	Япония
CP936	Китай
CP437	США, страны западной Европы и Латинской Америки
CP708	Арабские страны

Кодировки стандарта UNICODE)

Юникод (Unicode) – промышленный стандарт обеспечивающий цифровое представление символов всех письменностей мира, и специальных символов.

Предложен в 1991 году некоммерческой организацией «Консорциум Юникода» (Unicode Consortium, Unicode Inc.).

Стандарт состоит из двух основных разделов: универсальный набор символов (англ. UCS, universal character set) и семейство кодировок (англ. UTF, Unicode transformation format). Универсальный набор символов задаёт однозначное соответствие символов кодам – элементам кодового пространства, представляющим неотрицательные целые числа. Семейство кодировок определяет машинное представление последовательности кодов UCS.

В «естественном» варианте кодировки Unicode, известном как UCS-2, каждый символ описывается двумя последовательными байтами m и n, так что номеру символа соответствует численное значение $256 \times m + n$. Наряду с UCS-2 в рамках Unicode существуют еще несколько вариантов кодировки Unicode (UTF, Unicode Transformation Formats), основные из которых UTF-8 и UTF-7.

Стандарт Unicode обратно совместим с кодировкой ASCII, однако если в ASCII для представления схожих по виду символов (минус, тире, знак переноса) применялся общий код, в Unicode каждый из этих символов имеет уникальную кодировку.

В кодировке UTF-8 коды символов меньшие, чем 128, представляются одним байтом. Все остальные коды формируются по более сложным правилам. В зависимости от символа его код может занимать от двух до шести байтов, причем старший бит каждого байта всегда имеет единичное значение.

Схема формирования кодов UTF-8

Число байтов	Двоичное представление	Число свободных битов
1	0xxxxxxx	7
2	110xxxxx 10xxxxxx	1 11(5 + 6)
3	110xxxxx 10xxxxxx 10xxxxxx	16(4 + 6x2)
4	11110xxx 10xxxxxx 10xxxxxx 10xxxxxx	21(3 + 6x3) .
5	111110xx 10xxxxxx 10xxxxxx 10xxxxxx 10xxxxxx	26(2 + 6x4)
6	1111110x 10xxxxxx 10xxxxxx 10xxxxxx 10xxxxxx 10xxxxxx	31(1+6x5)

Схема формирования кодов UTF-8

В UTF-7 код символа также может занимать один или более байтов, однако в каждом из байтов значение не.превышает 127 (старший бит байта содержит ноль). Многие символы кодируются одним байтом, и их кодировка совпадает с ASCII, однако некоторые коды зарезервированы для использования в качестве преамбулы, характеризующей последующие байты многобайтового кода.

Блоки символов в стандарте Unicode

Коды	Символы
0-8191	Алфавиты – английский, европейские, фонетический, кириллица, армянский, иврит, арабский, эфиопский, бенгали, деванагари, гур, гуджарати, ория, телугу, тамильский, каннада, малайский, сингальский, грузинский, тибетский, тайский, лаосский, кхмерский, монгольский
8192-12287	Знаки пунктуации, математические операторы, технические ' символы, орнаменты и т. п.
12288-16383	Фонетические символы китайского, корейского и японского языков
16384-59391	Китайские, корейские, японские идеографы. Единый набор символов каллиграфии хань
59392-65024	Блок для частного использования
65025-65536	Блок обеспечения совместимости с программным обеспечением

Логические данные

Элементом логических данных является логическая (булева) переменная, которая может принимать лишь два значения: «истина» или «ложь». Кодирование логического значения принято осуществлять битом информации: единицей кодируют истинное значение, нулем — ложное. Как правило, в ВМ оперируют наборами логических переменных длиной в машинное слово. Обрабатываются такие слова с помощью команд логических операций (И, ИЛИ, НЕ и т. д.), при этом все биты обрабатываются одинаково, но независимо друг от друга, то есть никаких переносов между разрядами не возникает

Строки

Строка – непрерывная последовательность битов, байтов, слов или двойных слов.

Битовая строка может начинаться в любой позиции байта и размещается в пределах слова.

Байтовая строка может состоять из байтов, слов или двойных слов.

Если байты байтовой строки представляют собой коды символов, то говорят о текстовой строке. Для указания конца строки в последний байт заносится код-ограничитель – обычно это нули во всех разрядах байта (***нуль-терминальная строка***). Иногда вместо ограничителя длину строки указывают числом, расположенным в первом байте строки.