

# Аналоговые и цифровые вычислительные системы

Луцив Дмитрий Вадимович

Кафедра системного программирования СПбГУ



- 1 Аналоговые и цифровые устройства
- 2 Аналоговые устройства
- 3 Цифровые устройства
- 4 Модуляция и передача аналоговых сигналов
- 5 Передача цифровых сигналов

# Аналоговые и цифровые устройства

ГОСТ 17657-79 [↗](#) :

**Аналоговый сигнал** — сигнал данных, у которого каждый из представляющих параметров описывается функцией *времени* и *непрерывным множеством* возможных значений

**Цифровой сигнал** — сигнал данных, у которого каждый из представляющих параметров описывается функцией *дискретного времени* и *конечным* множеством возможных значений

ГОСТ 17657-79 [↗](#) :

**Аналоговый сигнал** — сигнал данных, у которого каждый из представляющих параметров описывается функцией *времени* и *непрерывным множеством* возможных значений

**Цифровой сигнал** — сигнал данных, у которого каждый из представляющих параметров описывается функцией *дискретного времени* и *конечным* множеством возможных значений

Почему аналоговый?

- Для измерения требует сопоставления с эталоном

# Аналоговые устройства

**Аналоговое устройство** — устройство, представляющее данные в виде аналоговых сигналов

**Аналоговое устройство** — устройство, представляющее данные в виде аналоговых сигналов

По материалам из Большой Советской Энциклопедии

- Др. Греция — **пантограф** ↗
- Около 1600 г. — логарифмическая линейка
- Около 1800 г. — сложные **номограммы** ↗, например, для навигации — позволяют вычислять функции от многих переменных (температура смесей, площади стандартных фигур)
- В 1814 (Дж. Герман) — планиметр, ранее — курвиметры. **Просты в изготовлении** ↗
- 
- 1940-е годы — операционные усилители, сначала на лампах, потом на полупроводниках.
- 1970-е постепенный спад



## Язык природы

- Логарифмические рецепторные кривые:  $\ln'_x x = \frac{1}{x}$ , чем больше абсолютное значение, тем ниже точность (подробнее на курсе по алгоритмам и структурам данных)
- Компактность решения конкретной задачи
- «Непрерывное» представление информации

- Неуниверсальность
- Субъективность
- Проблемы преобразования:
  - коэффициенты нелинейности трактов (ряд Тейлора)
  - промежутки монотонности

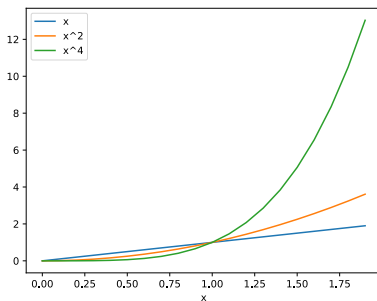
Пусть:

$$y = f(x) = c_{f0} + c_{f1}x + c_{f2}x^2 + R_f(x),$$

$$z = g(y) = c_{g0} + c_{g1}y + c_{g2}y^2 + R_g(y)$$

Тогда:

$$z = (g \cdot f)(x) = c_{g0} + \dots c_{f2}c_{g2}x^4 + \dots$$



# Цифровые устройства

**Цифровое устройство** — устройство, представляющее данные в виде цифровых сигналов

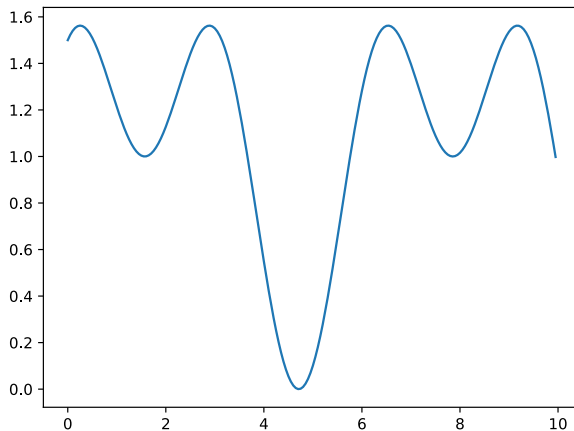
- По началу (иногда — до сих пор) громоздкое оборудование
- Символы вместо естественных значений

- Универсальность
- С конца 50-х — программируемость (Фортран, Кобол, Алгол, Лисп)
- Модульность, откуда:
  - легкая сопрягаемость
  - легко проектировать

# Модуляция и передача аналоговых сигналов



$$f(x) := \frac{\sin(x) + \cos(2x) + 2}{2}$$



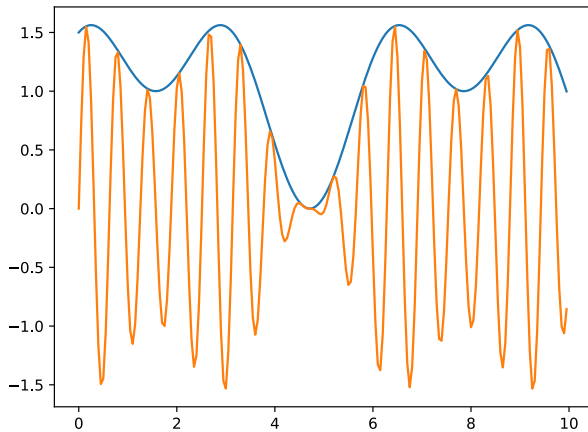
Не любой сигнал можно передать в исходном виде. Например, радиопередача на частотах, типичных для голоса, технически сложна. Низкочастотный сигнал передают при помощи высокочастотной радиопередачи

Не любой сигнал можно передать в исходном виде. Например, радиопередача на частотах, типичных для голоса, технически сложна. Низкочастотный сигнал передают при помощи высокочастотной радиопередачи

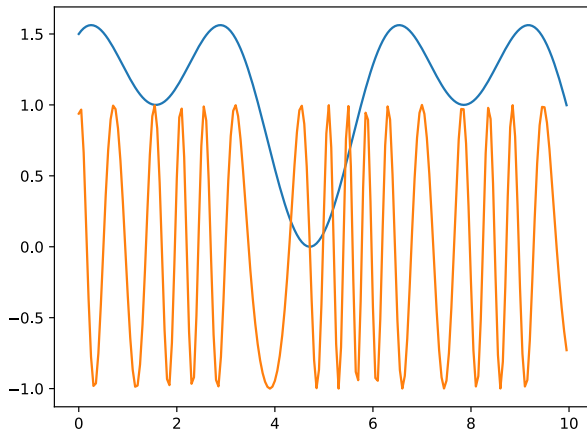
**Несущая** — периодическая функция, искажение которой используется для передачи сигнала

**Модуляция** — способ искажения несущей для передачи сигнала

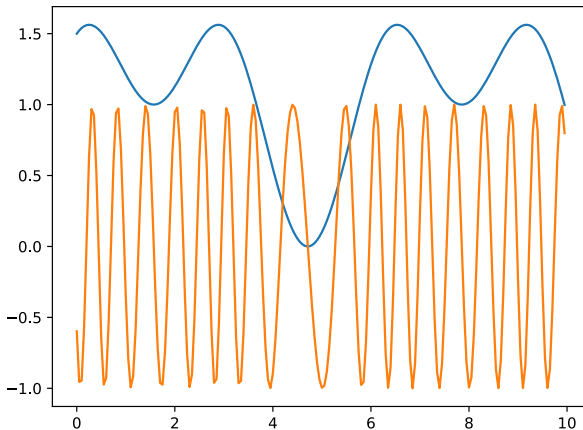
$$s(x) = f(x) \sin(10x)$$



$$s(x) = \sin(10x + 5f(x))$$



$$s(x) = \sin \left( 5x + 5 \left( \int_x f(x) dx \right) \right)$$



Если мы передаём при помощи несущего сигнала периодическую функцию, максимальная частота в спектре которой —  $P$ , то несущая должна иметь частоту  $F$ , такую, что

$$F \geq 2P$$

Без доказательства

# Передача цифровых сигналов



Число  $N$  в системе счисления с основанием  $b$  записывается приблизительно

$$\log_b N$$

цифрами.

Число  $N$  в системе счисления с основанием  $b$  записывается приблизительно

$$\log_b N$$

цифрами.

$M$  — емкость символьного пространства. Передаём  $x$  бит. В символах это будет  $\log_M(2^x)$ .

Передаём 1 символ.

$$1 = \log_M(2^x) = \frac{\log_2(2^x)}{\log_2 M} = \frac{x}{\log_2 M}$$

$$x = \log_2 M$$

$P$  бод — скорость передачи данных. За раз передаём 1 из  $M$  уровней. Тогда:

$$V = P \log_2 M$$

Мощность алфавита

$$M \leq 1 + S/N,$$

где  $S$  — мощность сигнала,  $N$  — мощность шума

Без доказательства

Мощность алфавита

$$M \leq 1 + S/N,$$

где  $S$  — мощность сигнала,  $N$  — мощность шума

Без доказательства

Таким образом,

$$V \leq P \log_2(1 + S/N).$$

Так как  $F \geq 2P$ , т.е.  $P \leq \frac{1}{2}F$

Получаем, что скорость передачи данных (бит в секунду)

$$V \leq \frac{1}{2}F \log_2(1 + S/N).$$

## Упражнения

- Строго обоснуйте работу планиметра (докажите, что он вычисляет площадь)
- Попробуйте привести примеры «из жизни», иллюстрирующие ту же закономерность, которая формулируется в теореме Котельникова

## Вопросы

- Что такое аналоговые сигнал и устройство?
- Что такое цифровые сигнал и устройство?
- Что такое несущая? Что такое модуляция?
- Опишите известные вам виды модуляции
- Сформулируйте теорему Котельникова, объясните её смысл
- Сформулируйте теорему Шеннона
- Сформулируйте теорему Котельникова применительно к цифровым данным

# Вопросы



[EDU.DLUCIV.NAME](#) ↗