

# Цифрова обработка на сигнали

Летен семестър 2023/2024

проф. Тодор **Ганчев**





# **ЦОС: Консултации**

**проф. Тодор Ганчев**  
**зала 104 ТВ**

**[tganchev@tu-varna.bg](mailto:tganchev@tu-varna.bg)**

# ЦОС: Оценяване – Текуща оценка

Точки от лекции (Точки<sub>тест.лекции</sub> до 50 точки):

→ Тест №1 в **7 седмица** (до 25 точки)

→ Тест №2 в **14 седмица** (до 25 точки)

Точки от лаб. упр. (Точки<sub>лаб.упр.</sub> до 50 точки):

→ Протоколи

→ Активно участие в лабораторните упражнения

→ Тестове

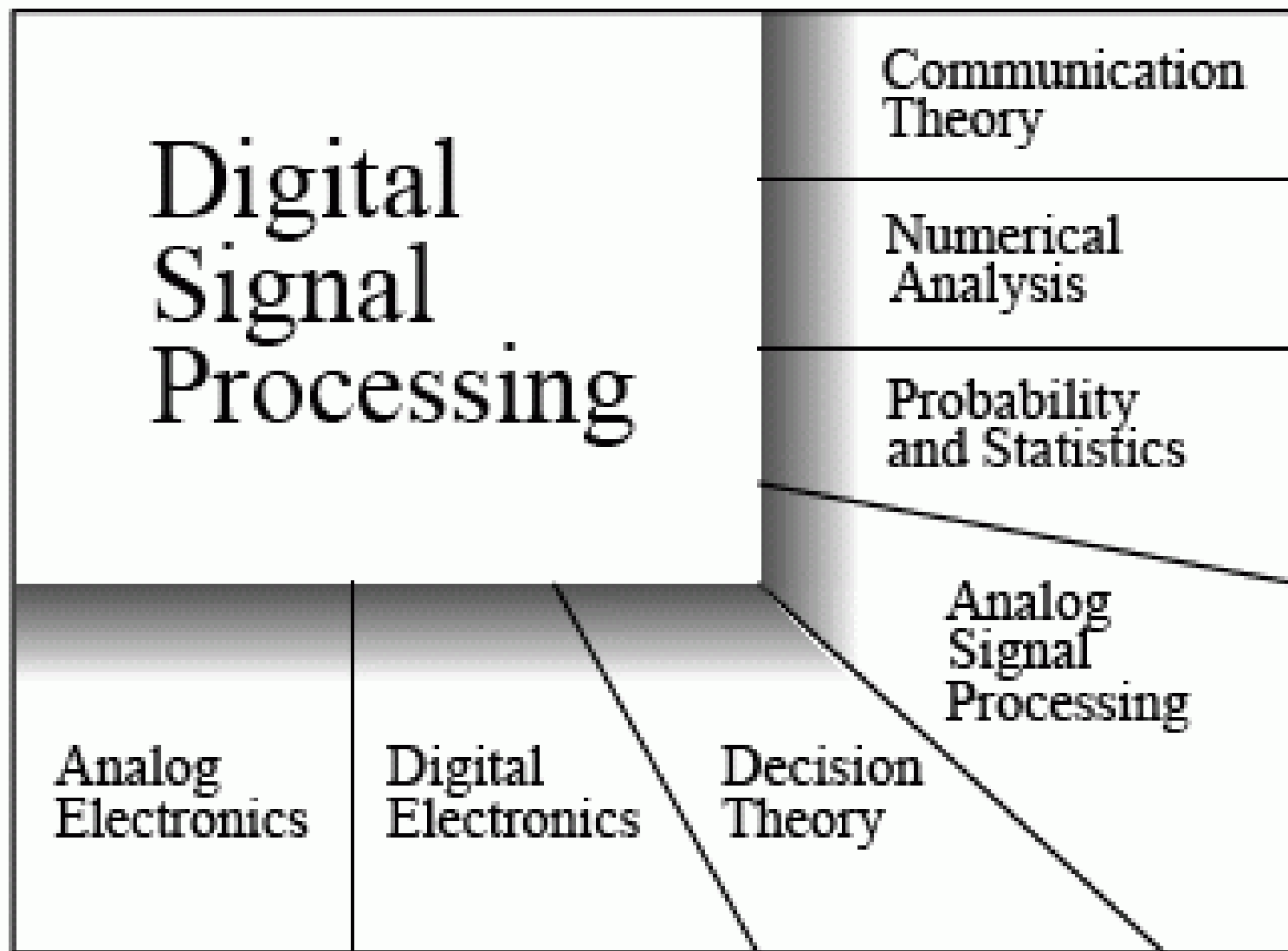
$$0 \leq \text{Точки}_{\text{лаб.упр.}} , \text{Точки}_{\text{тест.лекции}} \leq 50,$$

$$\text{Краен\_брой\_точки} = \text{Точки}_{\text{лаб.упр.}} + \text{Точки}_{\text{тест.лекции}}$$



Краен\_брой\_точки > [50...100] точки

# ЦОС: Обхват на дисциплината



# ЦОС: Защо е важна дисциплината?

Дисциплината „Цифрова обработка на сигналите“ осигурява базови знания за

- „Основи на киберсигурността“,
- „Основи на изкуствения интелект“,
- „Въведение в машинното обучение“,
- „Избрани методи за машинно обучение“,
- „Обработка на естествен език“,
- „Извличане на информация от големи данни“ и др.,
- Изготвяне на ДР (Дипломното проектиране)
- **Професионалната реализация на всеки инженер!**

# ЦОС: Основни теми

**Сигнали и системи, основни понятия**

**Дискретни във времето сигнали и системи**

**Ред и преобразуване на Фурие за дискретни системи**

**Теорема на дискретизацията**

**Z-преобразуване, Z-предавателна функция на цифрова система**

**Структура на ДЛИВ системи**

**Проектиране на цифрови системи**

**Спектрален и корелационен анализ на сигнали**

**Ефекти на ограничената разрядност при представяне на числата**

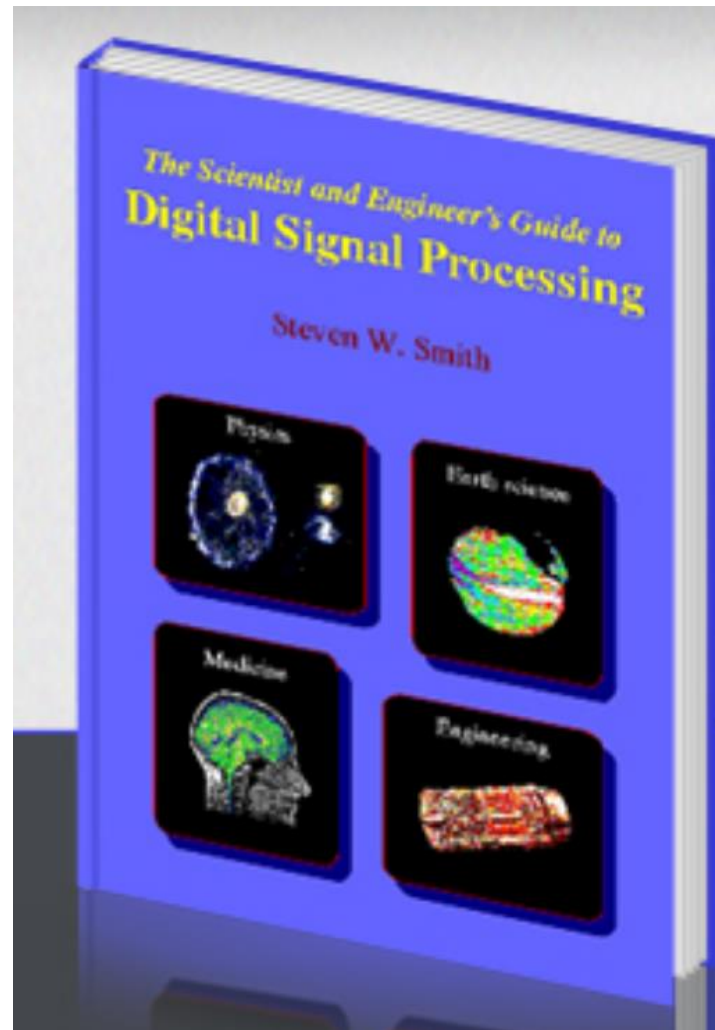
**Процесори за цифрова обработка на сигнали**

**Приложения**

# ЦОС: Препоръчвана литература (1/3)

Steven W. Smith,  
„Digital Signal Processing:  
A Practical Guide for Engineers and  
Scientists“,  
California Technical Publishing, San  
Diego, California, USA, 2002

<https://www.dspguide.com/editions.htm>





## ЦОС: Препоръчвана литература (2/3)

Препоръчват се❖ и следните книги по ЦОС:

- Боянов Б., «Цифрова обработка на сигнали», Бряг Принт, Варна, 2005.
- Колев Й., «Цифрова обработка на сигнали», Технически Университет – Варна, 2011
- Islam Md. A., «Digital Signal Processing with Python: A Practical Approach: Hands-on tutorials on Python for DSP», Independently published, 2023
- P. Prandoni, M. Vetterli, «Signal Processing for Communications», EPFL Press, 2008.
- A.V. Oppenheim, R.W. Schaffer, «Discrete-time signal processing», Prentice-Hall, 1999
- Steven W. Smith, «The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing», 1998. [www.DSPguide.com](http://www.DSPguide.com)

❖ *Всяка книга посветена на Цифрова обработка на сигнали би била полезна при подготовката ви по дисциплината, но е препоръчително да консултирате се с мен преди да използвате други източници*





## ЦОС: Препоръчвана литература (3/3)

- Kelly A. «Introduction to Digital Signal Processing Using Python», Independently published, 2022.
- Sundararajan D. «Digital Signal Processing: An introduction», Springer Nature Switzerland AG, 2021.
- Charbit M. «Digital Signal Processing with Python Programming», Wiley, 2017
- Monteiro T. «Signal Processing and Systems in Programming – Guide for Beginners», Sept. 2023.
- K. Deergha Rao, M.N.S. Swamy, «Digital Signal Processing: Theory and Practice», First edition, USA, Springer, 2018.
- Lyons R, Fugal D. «The Essential Guide to Digital Signal Processing», First Edition, Pearson, May 2014.
- Stein J. «Digital Signal Processing: A Computer Science Perspective», Wiley, October 2000
- Mertins A., «Signal Analysis, Wavelets, Filter banks, Time-Frequency Transforms and Applications», John Willey & Sons Ltd, Chichester, England, 1999.
- Allen R.L., D.W. Mills, «Signal Analysis: Time, Frequency, Scale, and Structure», Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc, 2004.

# Цифрова обработка на сигнали

*Тема 1: Основни понятия. Общност  
и аналогия при описание на  
сигналите и системите*



# План на Тема 1

- Сигнали и системи, основни понятия
- Сравнение на аналоговите и цифрови системи за обработка на информация
- Приложения на ЦОС

# Класификация на сигналите



# Дефиниция на периодичен сигнал

$$x(t) = x(t + T), \quad t \in \pm\infty$$

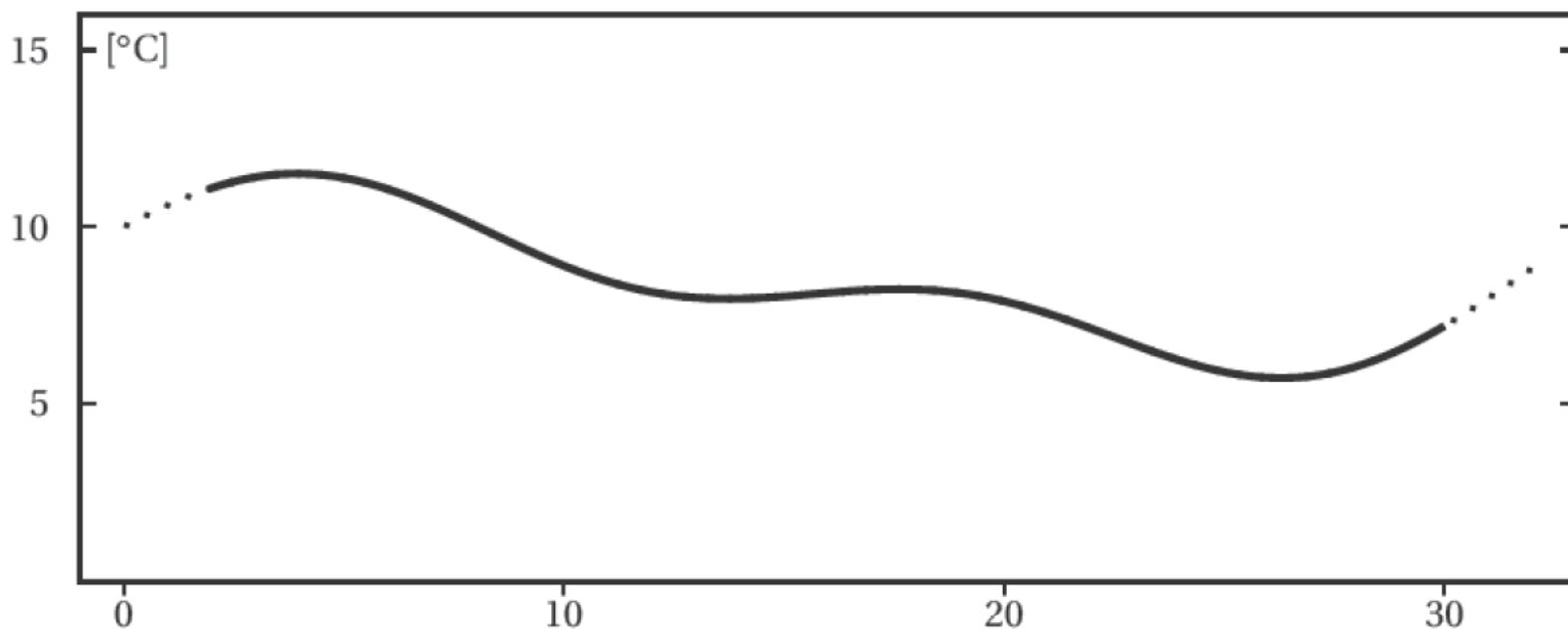
$T$  – период

Всички сигнали породени от естествени явления във материалния свят са непериодични по дефиниция, понеже са с крайна продължителност или могат да бъдат наблюдавани само за краен интервал от време.

# Непрекъснати сигнали (аналогови)

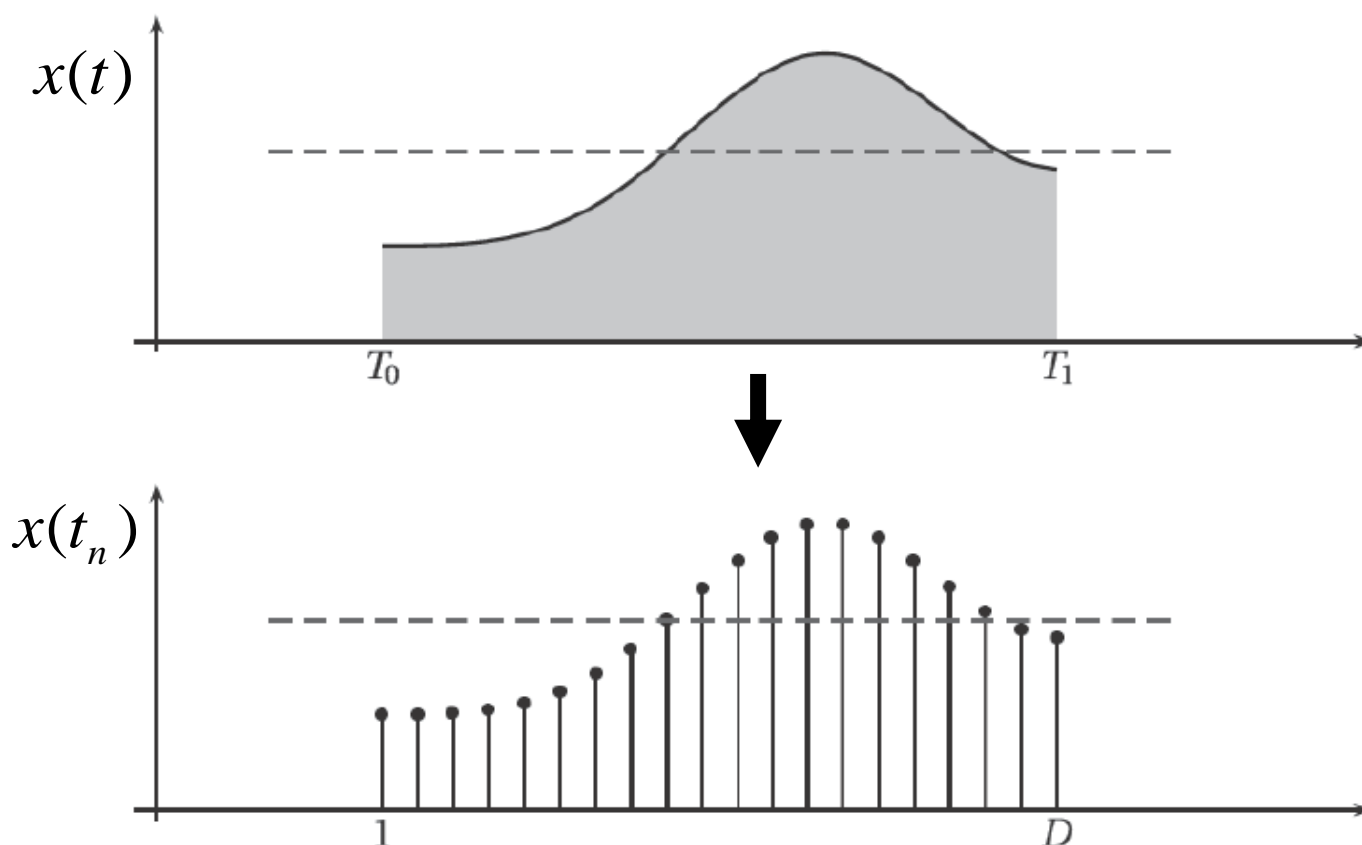


$x(t)$



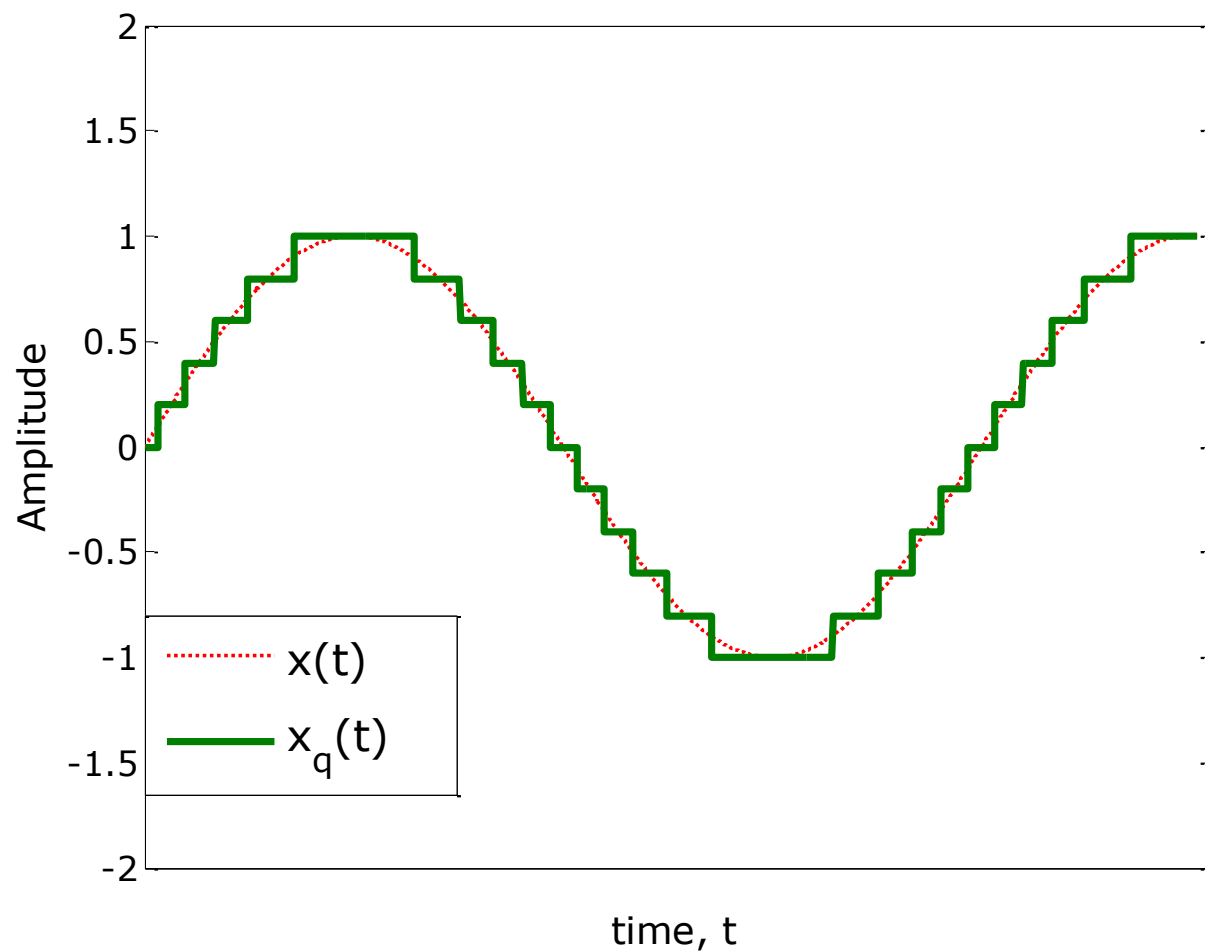
# Дискретни във времето сигнали

$$x(t) \rightarrow x(t_n)$$



# Дискретни по ниво сигнали

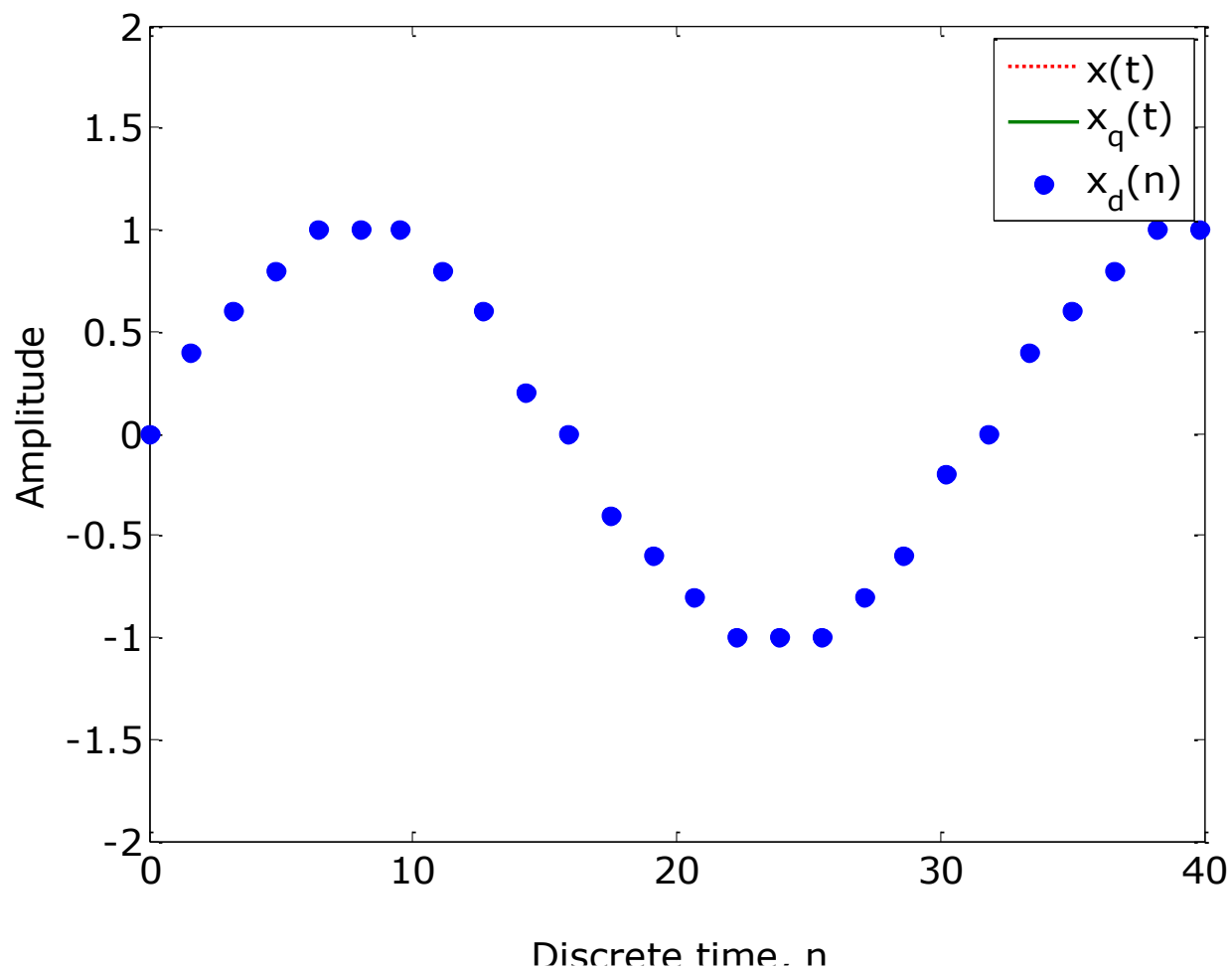
$$x(t) \rightarrow x_q(t)$$



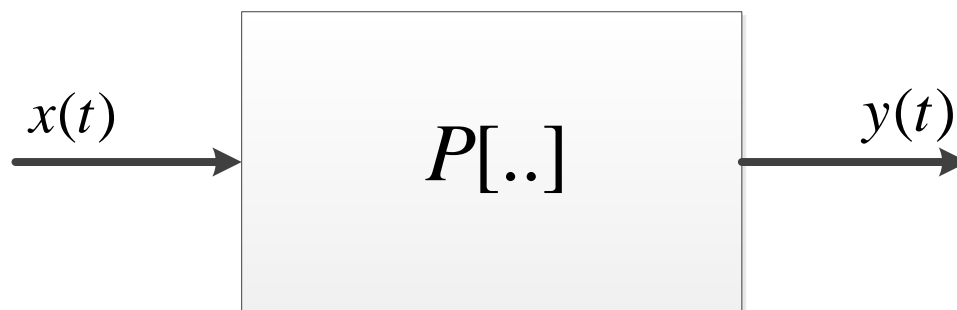


# Цифрови сигнали

$$x(t) \rightarrow x_q(t) \rightarrow x_d(nTs) \equiv x_d(n) \equiv x(n)$$



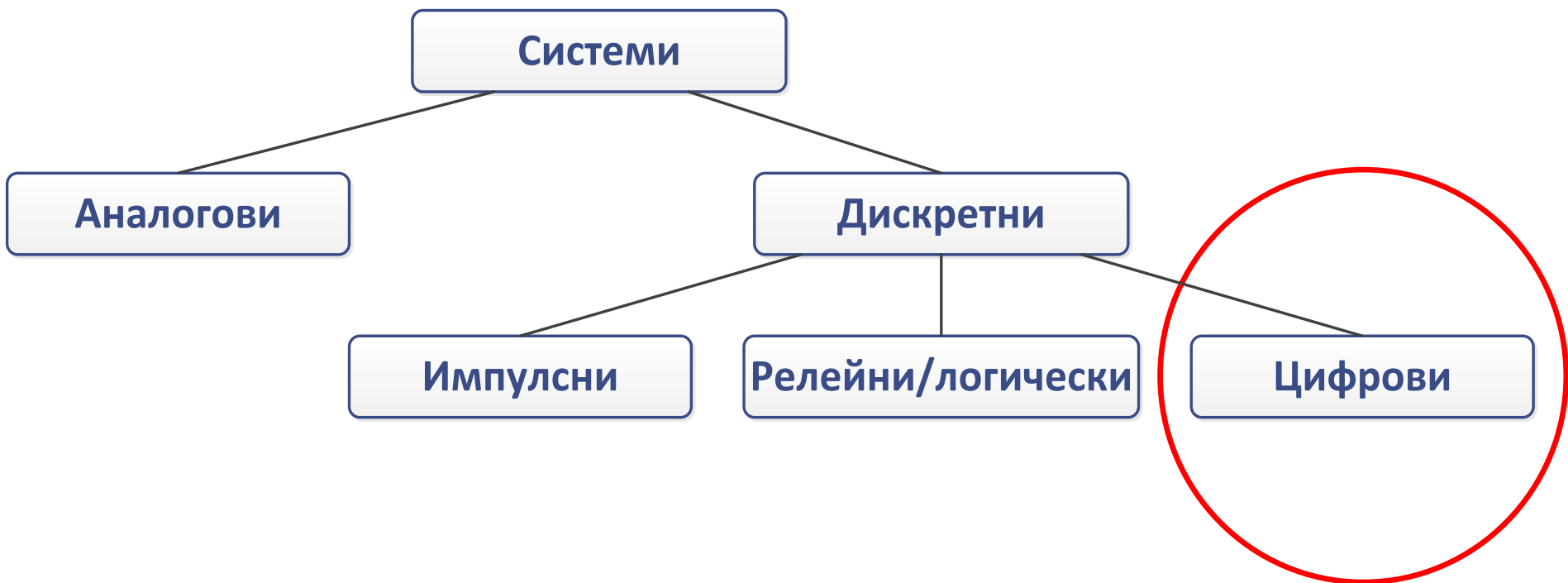
# Понятие за система



$$y(t) = P[x(t)]$$

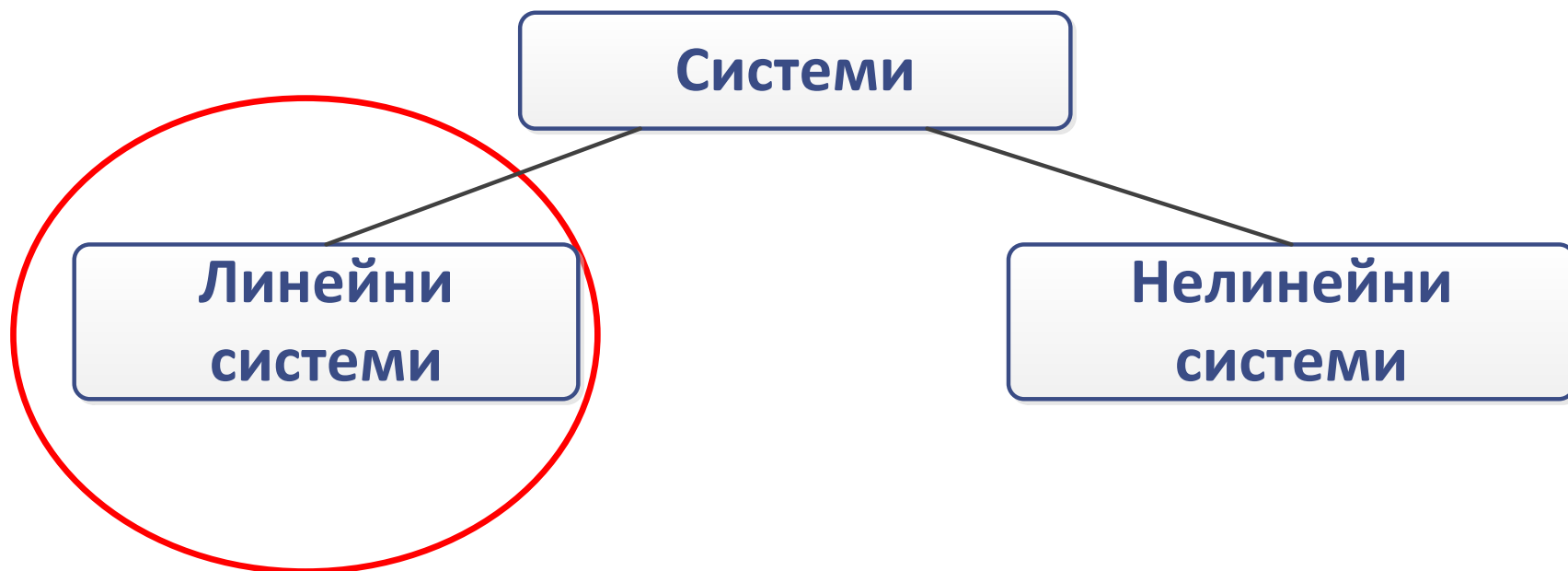
# Класификация на системите

- От гледна точка на обработвания сигнал



# Класификация на системите

- въз основа на преобразуването на сигнала



# Класификация на системите

- Въз основа на наличието на памет в системата



# Класификация на системите

- Въз основа на типа параметрите на системата

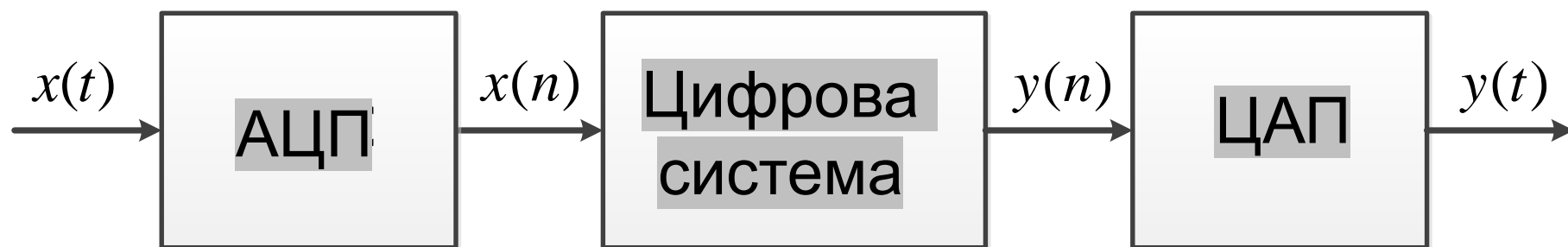


# ЦОС системи в реалния живот



$$x_d(n) \equiv x(n)$$

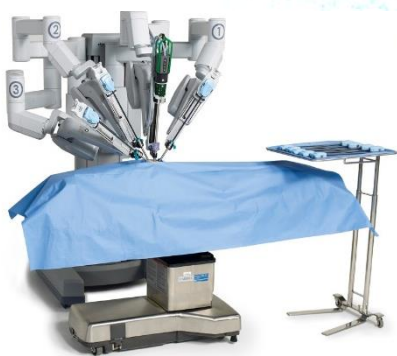
# ЦОС системи в реалния живот



$$x_d(n) \equiv x(n)$$



# ЦОС: В системите



Alarm Clock



Antenna



Calculator



Computer



Digital Camera



DVD Player



Earbuds



Ebook



Floppy Disc



Game Console



Hard Drive



Headphones



Laptop



Memory card



Memory stick



Microphone



Mouse



Mp3 player



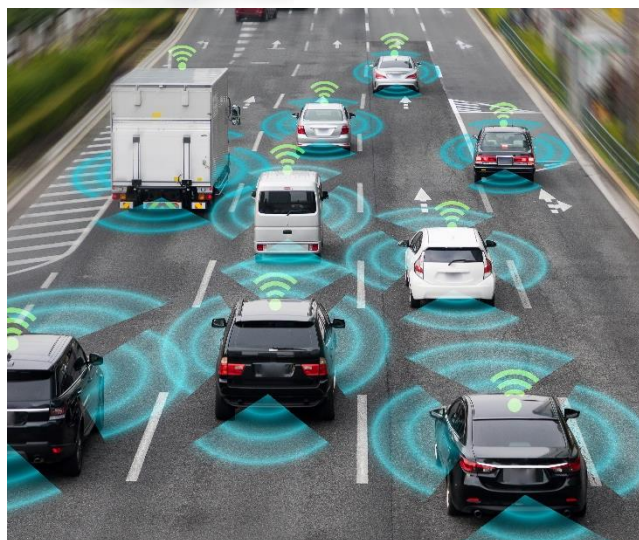
Pda Phone



Phone Camera



Printer



## Описание на сигналите (периодични)

Нека допуснем съществуването на периодичен сигнал

$$x(t) = x(t + T), \quad t \in \pm\infty$$

Спектърът на  $x(t)$  се получава чрез разлагане на сигнала в ред на Фурие

$$X(k) = \frac{1}{T} \int_T x(t) e^{-jk\omega_1 t} dt$$

където първият хармоник  $\omega_1 = \frac{2\pi}{T}$

След това сигнала  $x(t)$  може да се възстанови от спектъра си посредством сумата на реда на Фурие

$$x(t) = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} X(k) e^{jk\omega_1 t}$$

# Описание на сигналите (непериодични)



Всеки природен сигнал е непериодичен и спектъра му може да се изчисли посредством интеграла на преобразуването на Фурие

$$X(j\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t)e^{-j\omega t} dt$$

Обратното преобразуване на Фурие е

$$x(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} X(j\omega)e^{j\omega t} d\omega$$

# Описание на системите (времева област)



Преобразуване на сигнала посредством линейна инвариантна система (ЛИВ) се представя като

- а) Система от линейни диференциални уравнения с непроменящи се параметри  $a_k$  и  $b_k$

$$\sum_{k=0}^N a_k \frac{d^k y(t)}{dt^k} = \sum_{k=0}^M b_k \frac{d^k x(t)}{dt^k}$$

- б) Интеграла на конволюцията

$$y(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(\tau) h(t - \tau) d\tau = x(t) * h(t)$$

# Описание на системите

В честотната област системите се описват посредством тяхната честотна характеристика

$$H(j\omega) = F\{h(t)\}$$

В полярни координати записваме

$$H(j\omega) = |H(j\omega)| e^{j\varphi(\omega)}$$

Амплитудо-честотни  
характеристика

Фазо-честотна  
характеристика

# Описание на системите

В Декартови координати честотната характеристика се дефинира като

$$H(j\omega) = \text{Re}[H(j\omega)] + j\text{Im}[H(j\omega)]$$

Реална честотна  
характеристика

Имагинерна честотна  
характеристика

# Описание на системите

Въз основа на тези дефиниции на честотните характеристики можем да запишем изхода на системата като

$$Y(j\omega) = H(j\omega)X(j\omega)$$

## Описание на системата (преобразуване на Лаплас)

В комплексната Лапласова област имаме

$$X(s) = L\{x(t)\}$$

Тогава поведението на системата се описва с предавателната и функция, която представлява Лапласовото преобразуване на импулсната характеристика

$$H(s) = L\{h(t)\}$$

Системата също може да се представи като

$$Y(s) = H(s)X(s)$$



# Обобщение



	<i>Сигнали</i>	<i>Системи</i>
<b>Времева област</b>	$x(t)$	$h(t)$ $\sum_{k=0}^N a_k \frac{d^k y(t)}{dt^k} = \sum_{k=0}^M b_k \frac{d^k x(t)}{dt^k}$ $y(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(\tau) h(t - \tau) d\tau = x(t) * h(t)$
<b>Честотна област</b>	$X(\omega) = F\{x(t)\}$	$H(j\omega) = F\{h(t)\}$ $Y(j\omega) = H(j\omega)X(j\omega)$
<b>Комплексна „s” област</b>	$X(s) = L\{x(t)\}$	$H(s) = L\{h(t)\}$ $Y(s) = H(s)X(s)$

# План на Тема 1

- Общи сведения за настоящият курс по ЦОС
- Сигнали и системи, основни понятия
- Сравнение на аналоговите и цифровите системи за обработка на информация
- Приложения на ЦОС

# Сравнение на аналогови и цифрови системи



	Аналогови системи за обработка на сигнали	Цифрови системи за обработка на сигнали
Точност на реализиране на желаните характеристики	Добра	Отлична
Зависимост на параметрите на активните и пасивни компоненти използвани в схемата	Зависи от всички компоненти	Зависи само от системния тактов генератор (кварцовия резонатор)
Зависимост от изменения на температурата	Да	Не
Зависимост от флуктуации дължащи се на времето (възраст, износване,...)	Да	Не
Качествен фактор	Средни стойности	Високи стойности

# Сравнение на аналогови и цифрови СИСТЕМИ (продължение)

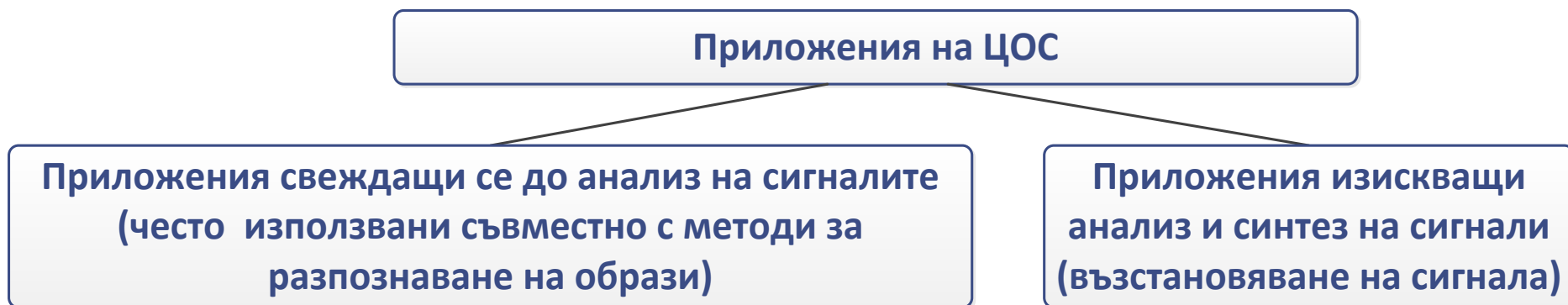


	<i>Аналогови системи за обработка на сигнали</i>	<i>Цифрови системи за обработка на сигнали</i>
Повтаряемост на характеристиките	Нужна е самостоятелна настройка на параметрите на всяко устройство	Не е нужна самостоятелна настройка на параметрите на всяко устройство
Възможност за модификации	Липсва гъвкавост. Възможни са елементарни модификации.	Голяма гъвкавост посредством пре-програмиране на софтуера
Възможности за реализация на нелинейни преобразувания	ограничени	високи
Гарантирана стабилност на системи с КИХ	Не се гарантира	Гарантира се
Ограничения появяващи се при ниски честоти	При работа на ниски честоти се изискват елементи с голям обем или голяма маса	Безпроблемно. Няма ограничения.
Ограничения появяващи се при високи честоти	Няма ограничения	Работа при високи честоти не е възможна

# План на Тема #1

- Общи сведения за настоящият курс по ЦОС
- Сигнали и системи, основни понятия
- Сравнение на аналоговите и цифрови системи за обработка на информация
- Приложения на ЦОС

# Приложения на ЦОС



Приложения свеждащи се до анализ на сигналите  
(често използвани съвместно с методи за  
разпознаване на образи)

- Разпознаване на реч, диктор, емоционално състояние, език, диалект, пол, и др.;
- Оценяване на височина, тегло, обем на тялото, здравословно състояние от речеви сигнали.
- Откриване на събития в аудио данни. Разпознаване на жанр, музикални инструменти, и др.
- Био-акустика и разпознаване на видове животни по техните звукови емисии.

- Разпознаване на картини/ видео и анализ на обекти, действия и поведението.
- Автоматизирани системи за наблюдение; откриване на заплахи и незаконни дейности и поведението.
- Откриване на неочаквани изменения на сигнала.

- Анализ на финансови данни, web-clicks,
- Потребителски и анализ на предпочитани настройки;
- Контрол на измервания в индустрията
- Контрол на качеството.

Приложения изискващи  
анализ и синтез на сигнали  
(възстановяване на сигнала)

- Подобряване на аудио & видео;
- Подтискане на шумовете;
- Филтрация във времевата и честотни области
- Кодиране и засекретяване на реч, графичен материал, видео, и др.

- Генериране на сигнали (синтез на реч, звукови ефекти, и генериране на аудио сигнали;
- Композиране на музика;
- Измерване и контрол на физ. Величини в индустрията.



# От гледна точка на крайния потребител

## Автоматизирани услуги включващи реч и аудио интерфейси

- Информационни услуги електронно правителство и информационно осигуряване.  
(вкл. разпознаване на реч, диктори, синтез на реч)
- Дистанционно гласово банкиране (разпознаване на реч/диктор, синтез на реч, и др.)
- Кодирание на цифрова реч и аудио записващи устройства CD/DVD устройства, банки
- Автоматизиран тел. секретариат
- Гласова поща
- Интерактивни системи за обучение
- Гласово активиране на уреди

## Телекомуникации

- Потискане на ехо в телефоните
- адаптивна компенсация на сигнала
- Видео конференции
- обмен на данни

# От гледна точка на крайния потребител

## Отбранителни

- засекретени комуникации
- Обработка на радарни изображения
- Сонар
- насочване на ракети и др.

## Потребителски приложения

- Клетъчни, цифрови, GSM мобилни телефони
- Глобални комуникационни мрежи
- Цифрова телевизия
- Цифрова фотография и ц. камери
- Интернет: музика, Интернет телефони, видео

# От гледна точка на крайния потребител

## Обработка на изображения

- Разпознаване на образи и обекти в системи за сигурност
- Автономно зрение и навигация за роботи
- Подобряване на изображения
- Сателитни методи за моделиране на времето
- 2D и 3D анимация

## Измервателни и контролни прибори за индустрията

- Спектрален анализ за неразрушителна диагностика.
- Контрол на позиция и повторяемост в промишлени процеси
- Потискане на шум в измервателна апаратура
- Компресия и засекретяване на данни

# От гледна точка на крайния потребител

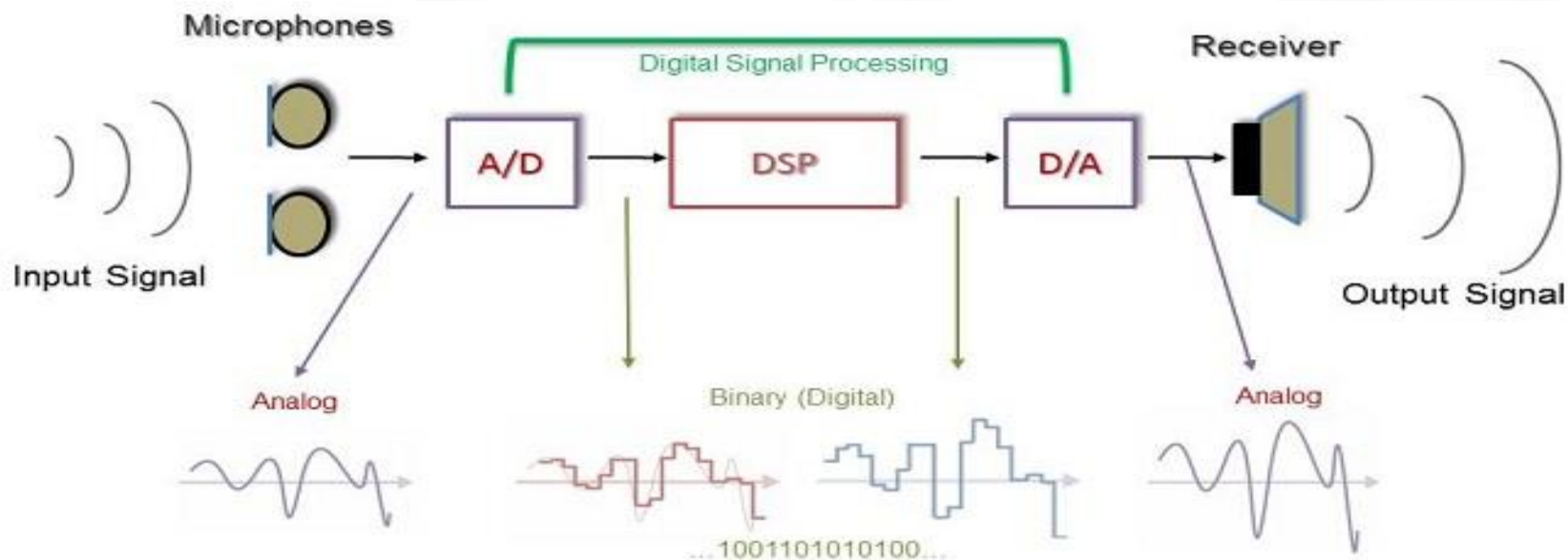
## Медицински приложения

- Оборудване за наблюдение на проекта
- Технологии в помощ на диагностициране на заболявания
- Скенери (ултразвукови, томография, и др.)
- ECG (Електрокардиограф)
- Подобряване и компресиране на рентгенови снимки
- протези за възстановяване на зрението
- Устройства за подпомагане на слуха
- Мозъчни интерфейси за контрол на протези на крайници

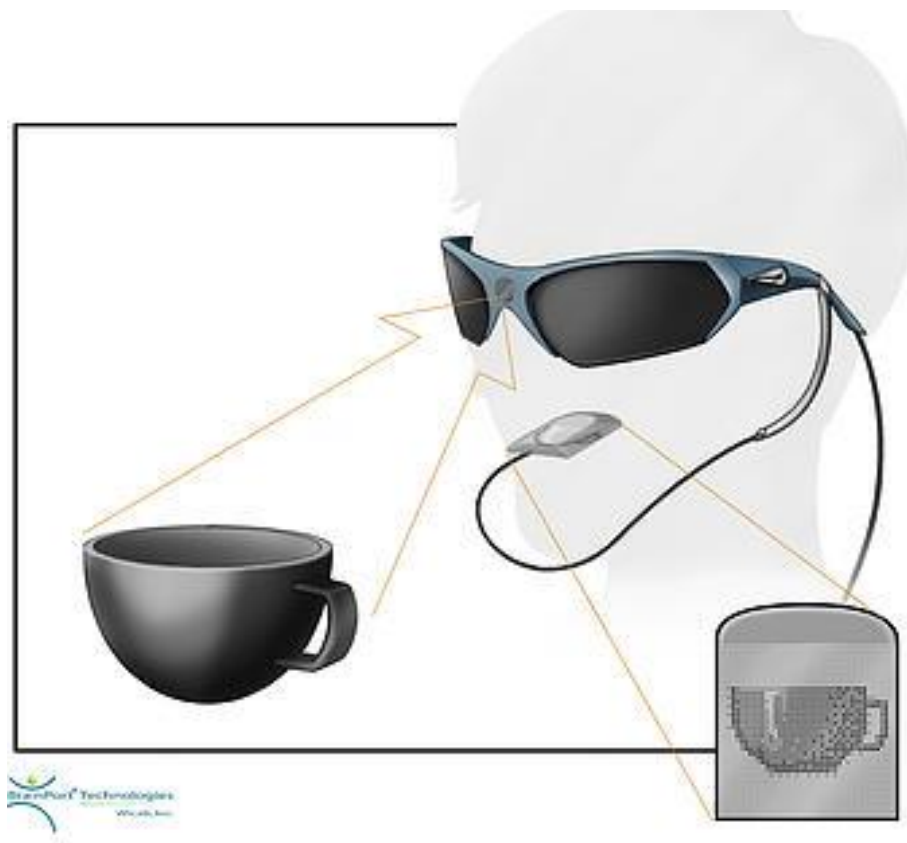
# Тема 1

- Предмет и задачи. Основни понятия
- Сравнение на аналоговите и цифрови системи за обработка на информация
- Приложения
- Биомедицински приложения. Особености

# Биомедицински приложения

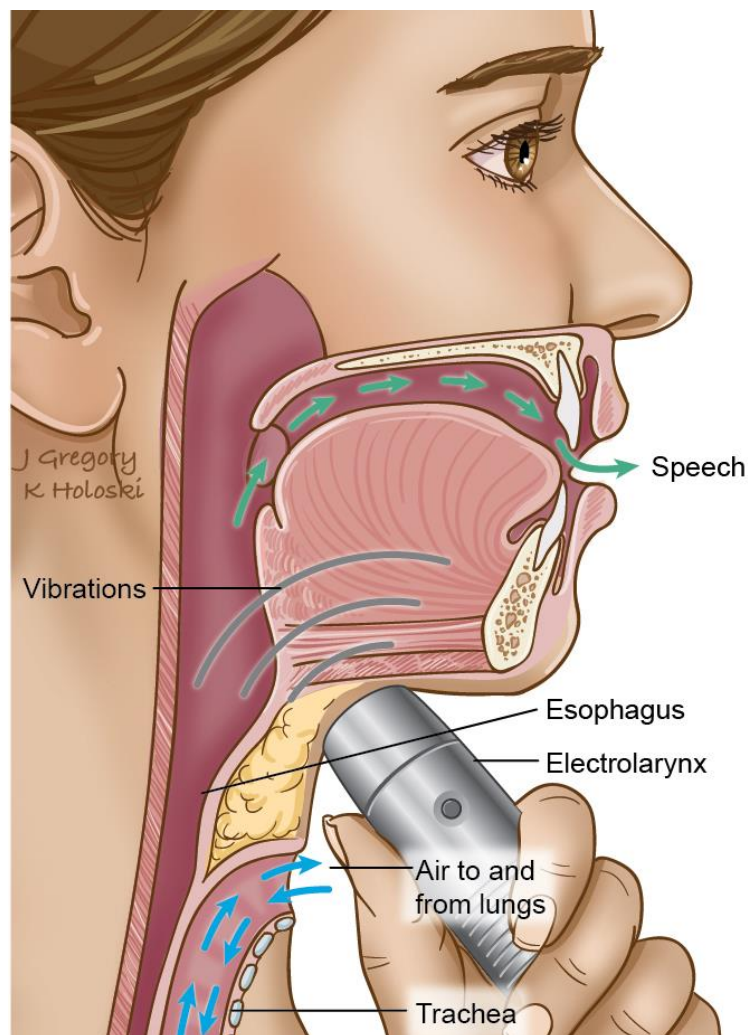


# Биомедицински приложения



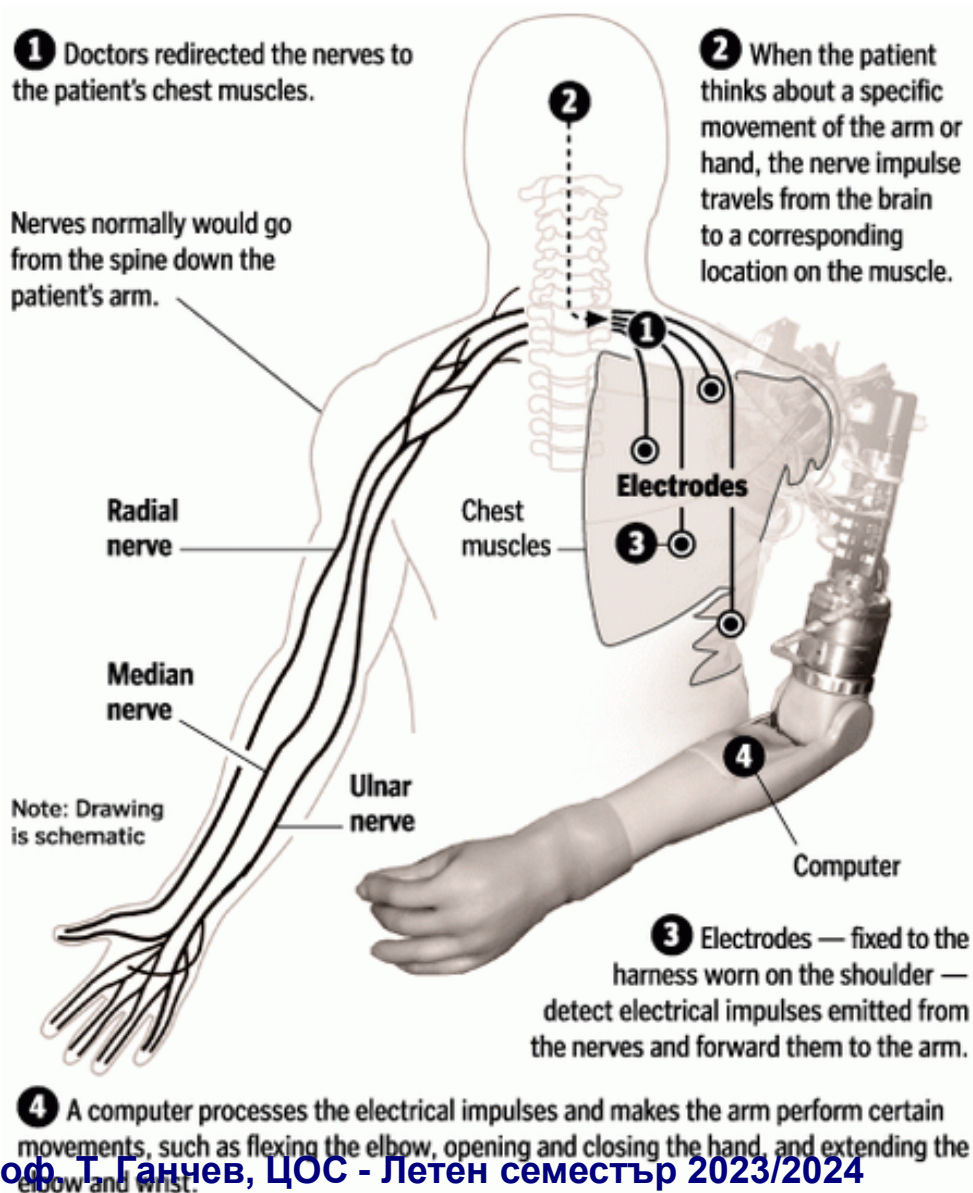


# Биомедицински приложения





# Биомедицински приложения



# Биомедицински приложения



## Възможни въпроси за теста

- Обяснете какво е импулсна характеристика на дискретна система и защо тя е важна.
- Каква е връзката между импулсната характеристика на система и честотната и характеристика?
- Защо работа в честотната област донася предимства в сравнение с обработка във времевата област?
- Избройте поне три предимства на цифровите системи спрямо аналоговите системи и поне едно предимство на аналоговите системи спрямо цифровите системи.