

# **КОМП'ЮТЕРНА ОБРОБКА ЗОБРАЖЕНЬ**

**Digital Image Processing - DIP**

**2019 / 2020 навчальний рік**

# МОДУЛЬ 2. Фільтрація зображень

2.1. Загальні відомості з цифрової фільтрації двовимірних сигналів.  
Базові маніпуляції

2.2. Лінійні фільтри. Фільтр Гауса.

2.3. Нелінійні фільтри

2.4. Морфологічні перетворення

2.5. Антіеліасінг

## **2.5. Усунення ступінчастості (антіелайсінг)**

# Класифікація сигналів

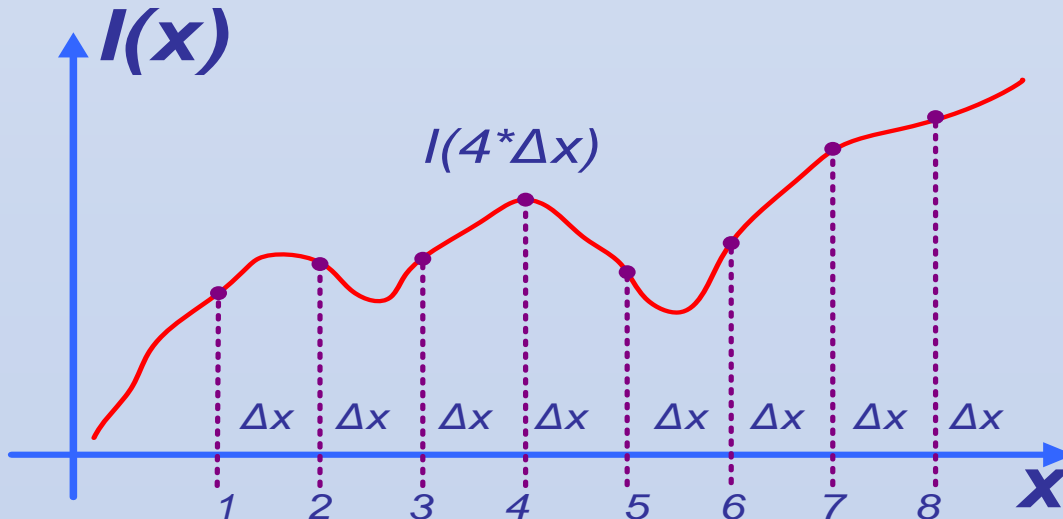


# Дискретизація сигналів

Дискретизація (*discretization*) - це перетворення безперервного сигналу в послідовність **відліків** (*samples*).

Дискретизація здійснює перетворення безперервних сигналів (функцій  $I(x)$ ), в функції миттєвих значень сигналів  $I(n * \Delta x)$  по дискретному аргументу.

$I(n * \Delta x)$  - відлік  $I(x)$  в точці  $n * \Delta x$



# Дискретизація сигналів

Декілька визначень.

**Растрівання** - природний спосіб дискретизації - уявлення сигналу у вигляді вибірки його значень в окремих, регулярно розташованих точках.

Послідовність точок (вузлів), в яких беруться відліки, називається *растром*.

Інтервал, через який беруться значення безперервного сигналу називається *кроком дискретизації*.

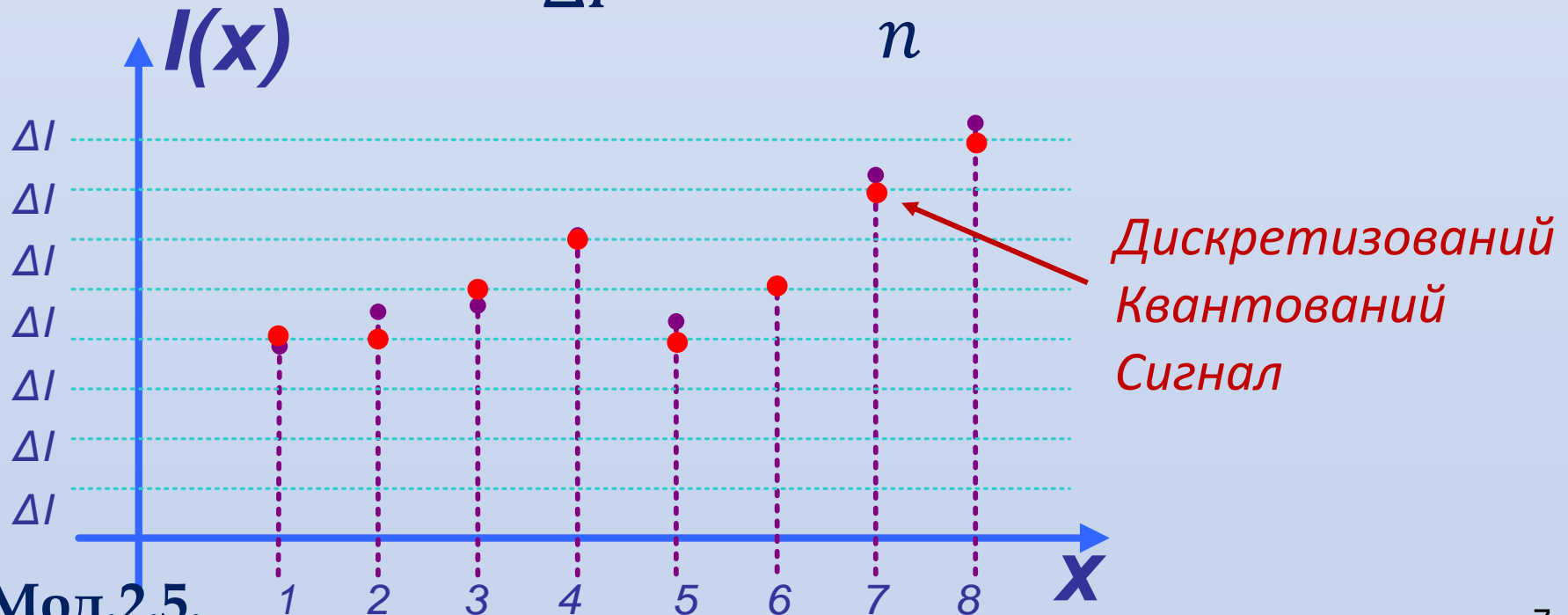
Зворотне кроку величина називається *частотою дискретизації*.

# Квантування сигналу за рівнем

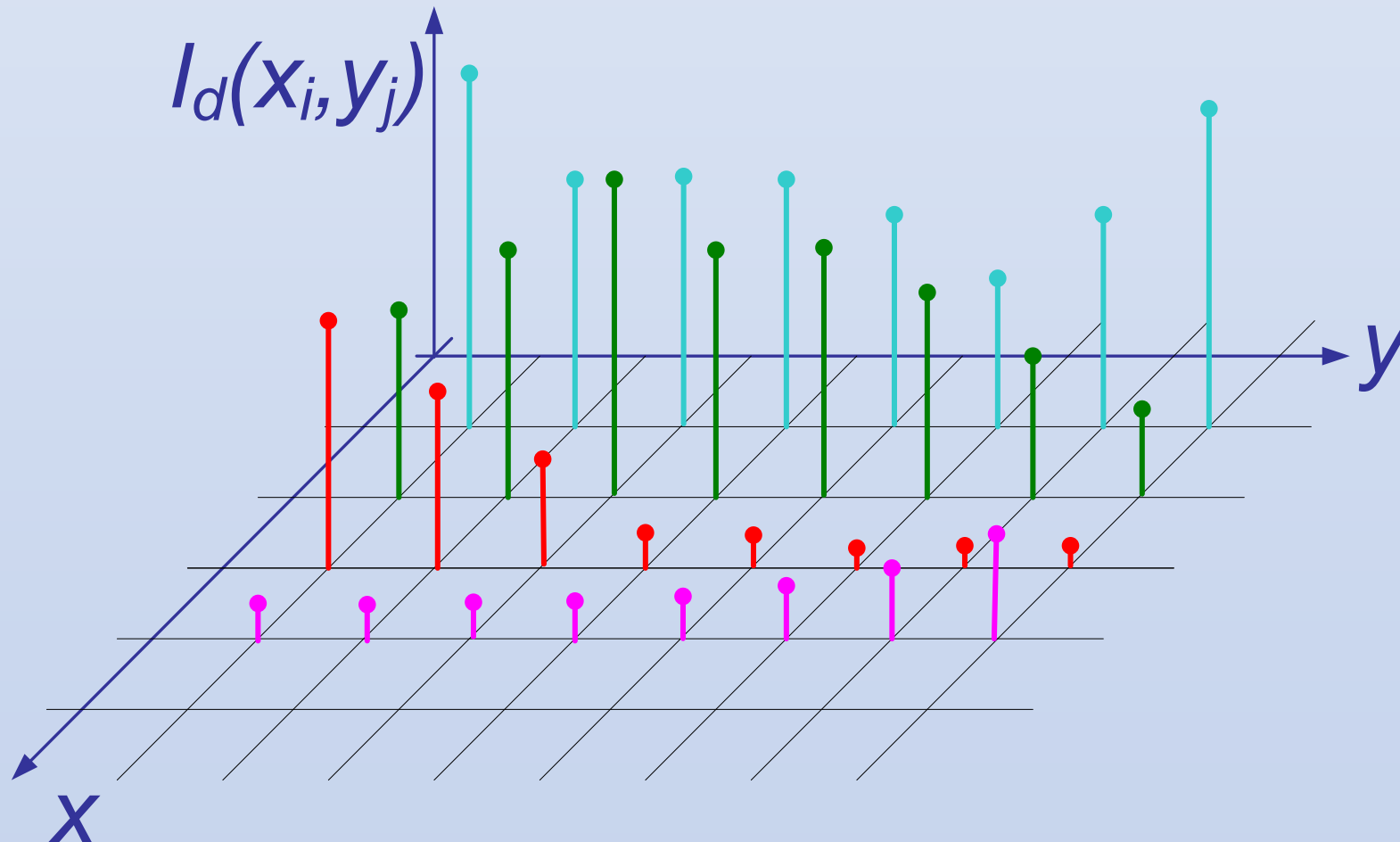
Квантування (*quantization*) сигналу - розбивка діапазону значень сигналу на скінченну кількість інтервалів.

Кількість інтервалів (рівнів)  $n$  – глибина квантування.

$$\Delta I = \frac{I_{max} - I_{min}}{n}$$



# 2D – дискретизований квантований сигнал - **цифрове зображення**





## Ряд Фур'є

Тригонометричний ряд Фур'є – спосіб представлення довільного безперервного безконечного періодичного сигналу (функції)  $I(x)$  сумою тригонометричних функцій синусу та косинусу. Процес знаходження параметрів ряду – розклад на гармоніки.

$$I(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos(nx) + b_n \sin(nx))$$

$$a_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} I(x) \cos(nx) dx$$

$$b_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} I(x) \sin(nx) dx$$

## Ряд Фур'є

Інша форма:

$$I(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} \left( A_n \cos\left( n \frac{2\pi}{\tau} x + \theta_n \right) \right)$$

$A_n$  - амплітуда  $n$ -го гармонічного коливання,

$n \frac{2\pi}{\tau} = n\omega$  - кругова частота  $n$ -го гармонічного коливання,

$\theta_n$  - початкова фаза  $n$ -го гармонічного коливання.

$\tau$  - період функції  $I(x)$

---

Для розкладу в ряд Фур'є неперіодичної функції, заданої на кінцевому довільному проміжку  $[a, b]$ , треба: до визначити  $[b, a+2l]$  і періодично продовжити.

# Ряд Фур'є

## Комплексна форма ряду Фур'є

$$I(x) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \left( c_n e^{-\frac{i\pi nx}{l}} \right)$$

$$c_n = \frac{1}{2l} \int_{-l}^l I(x) e^{-\frac{i\pi nx}{l}} dx$$

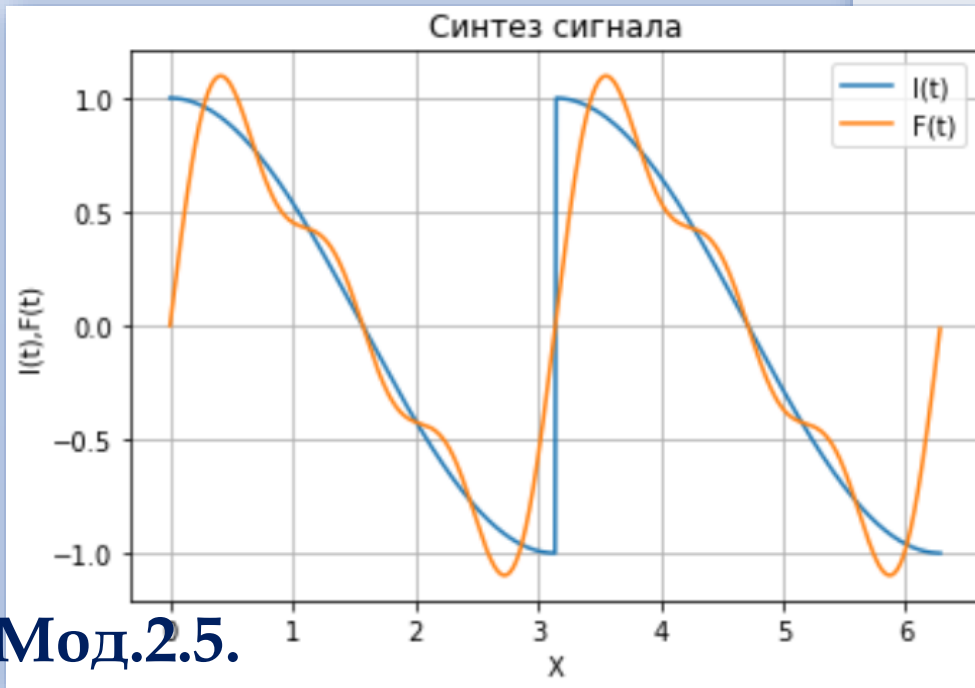
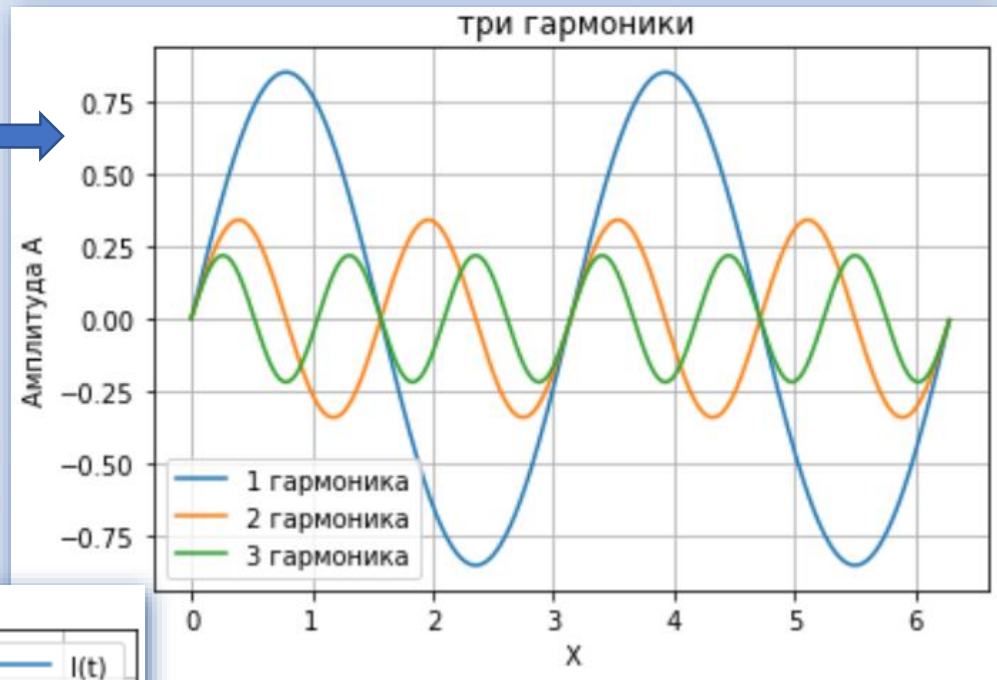
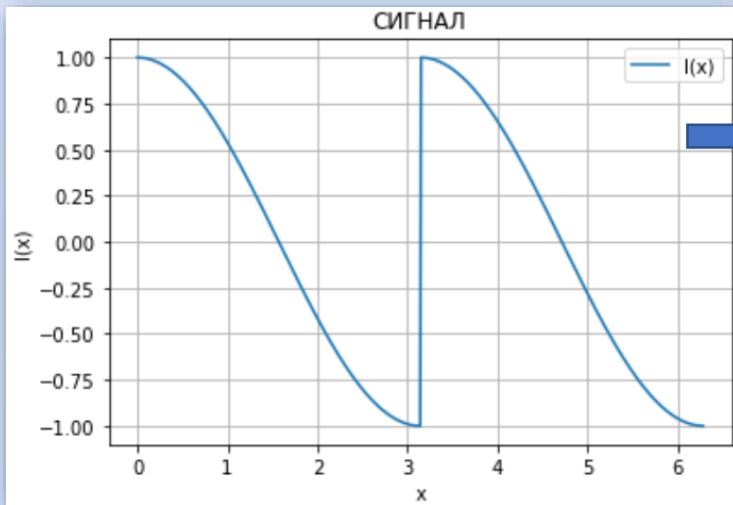
$$n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

$$|c_n| = \frac{\sqrt{a_n^2 + b_n^2}}{2} - \text{спектр амплітуд}$$

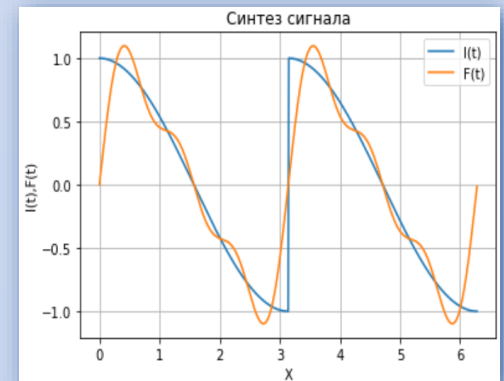
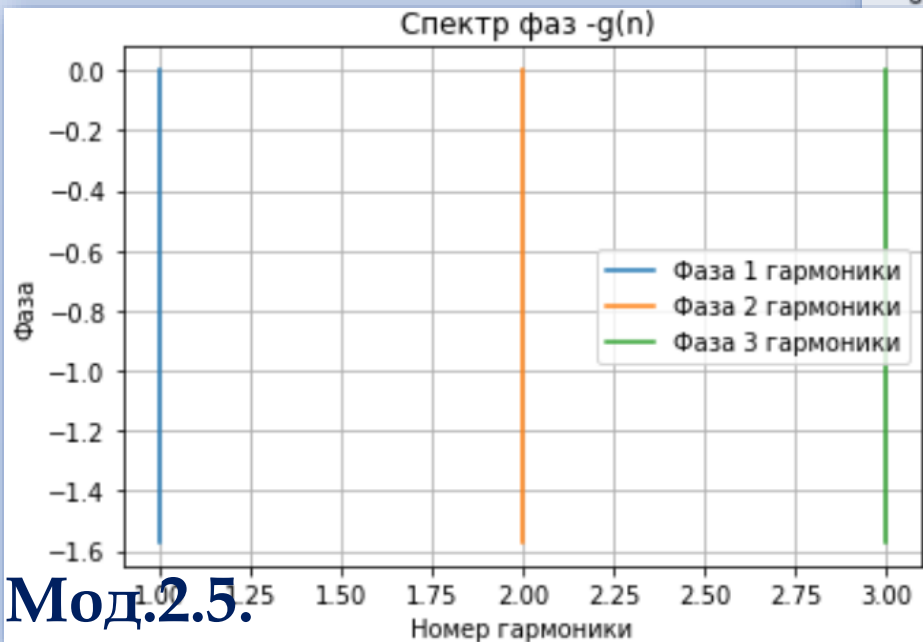
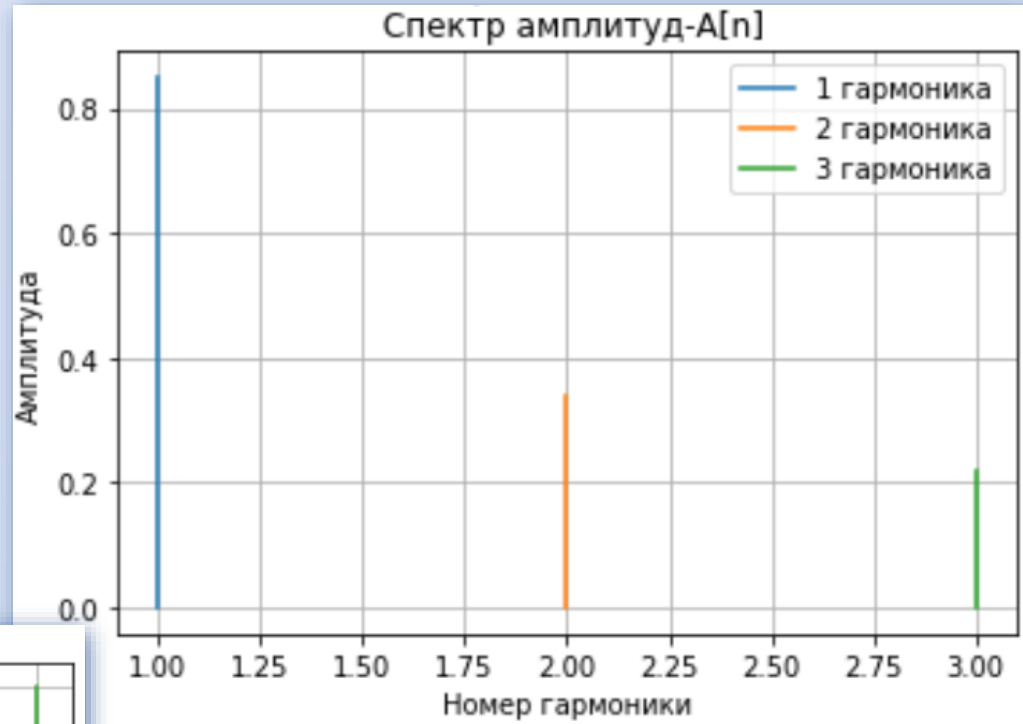
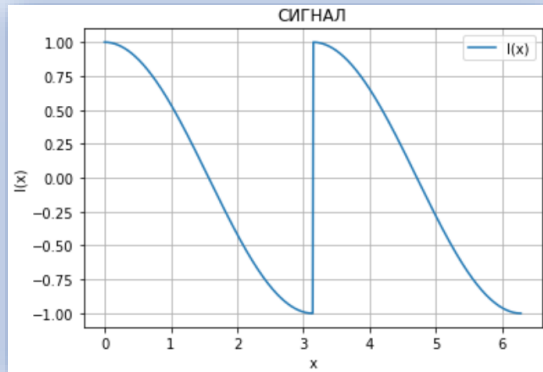
$$\angle c_n = \arctg\left(\frac{b_n}{a_n}\right) - \text{спектр фаз}$$

[https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D1%8F%D0%B4\\_%D0%A4%D1%83%D1%80%27%D1%94](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D1%8F%D0%B4_%D0%A4%D1%83%D1%80%27%D1%94)

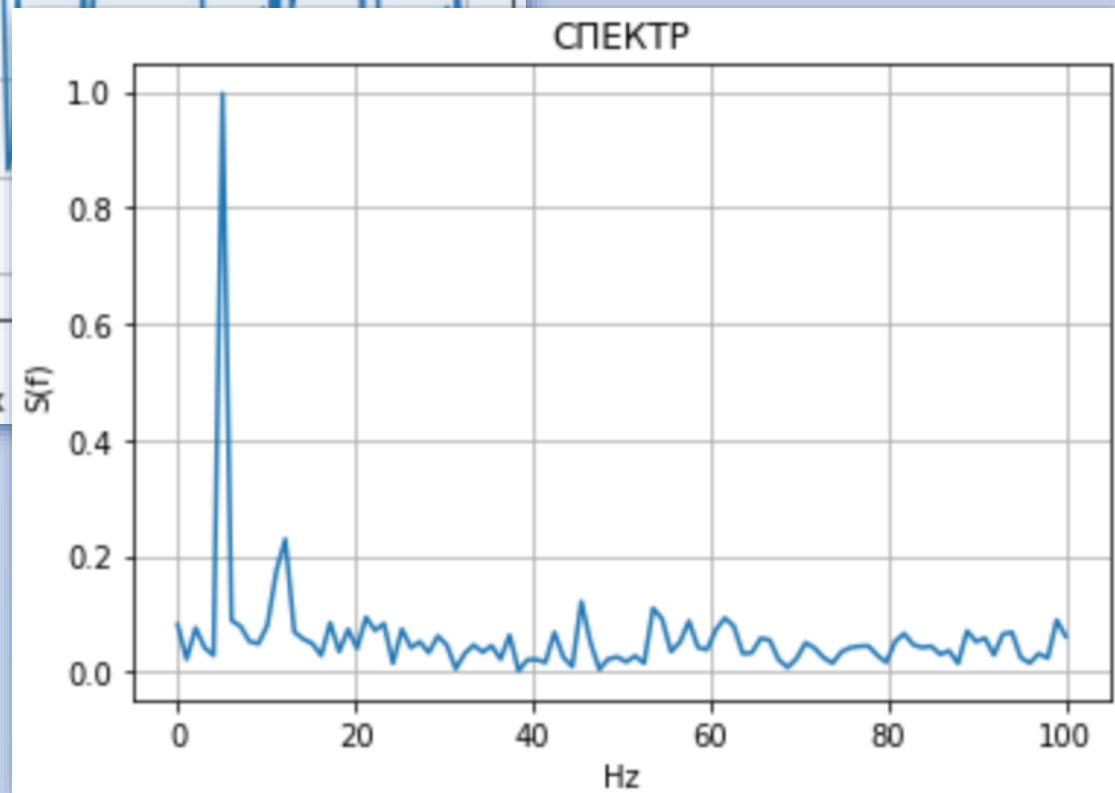
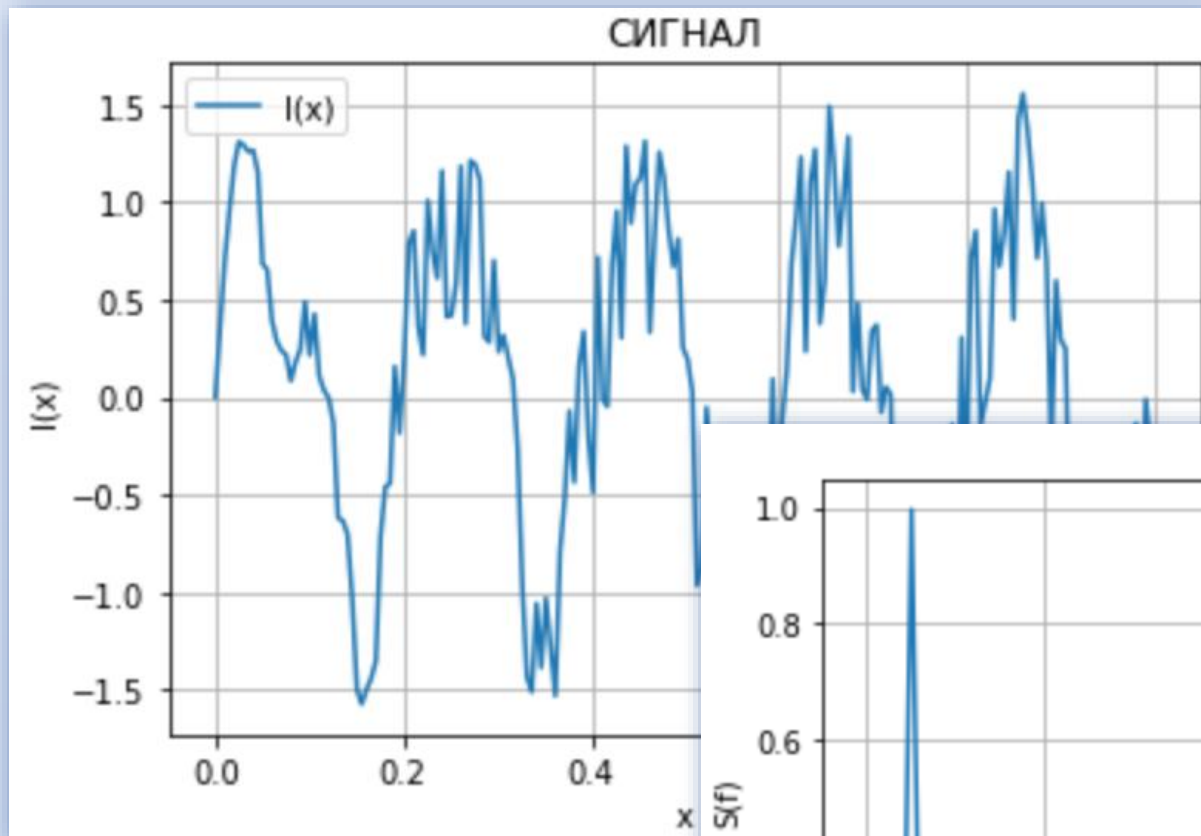
# Ряд Фур'є



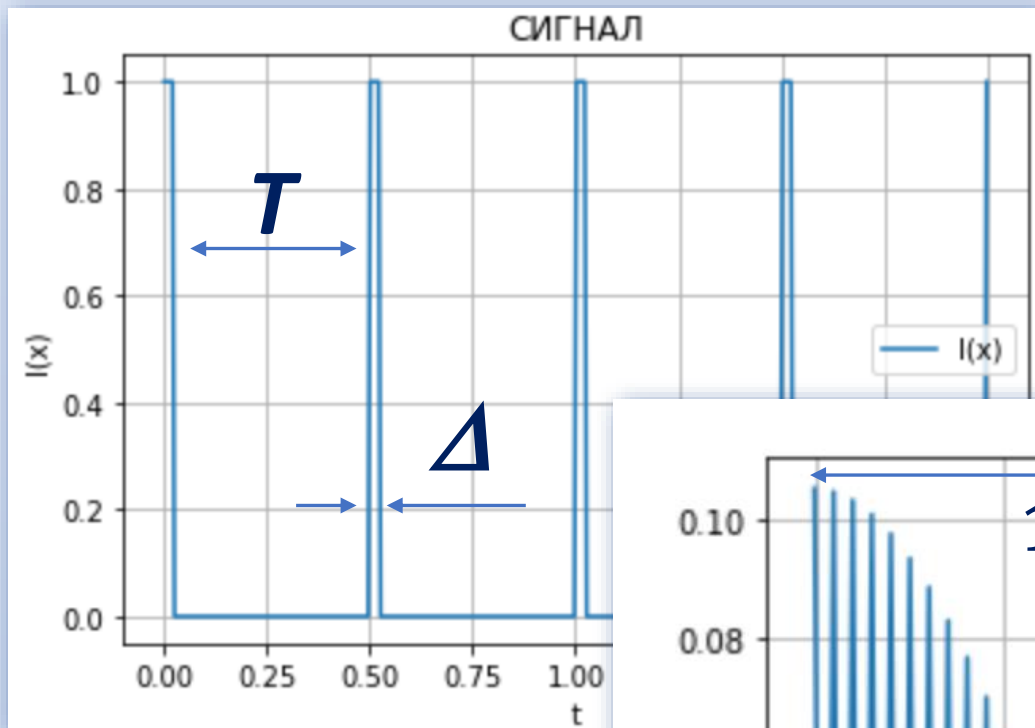
# Ряд Фур'є. Спектр



# Ряд Фур'є. Спектр. Шум

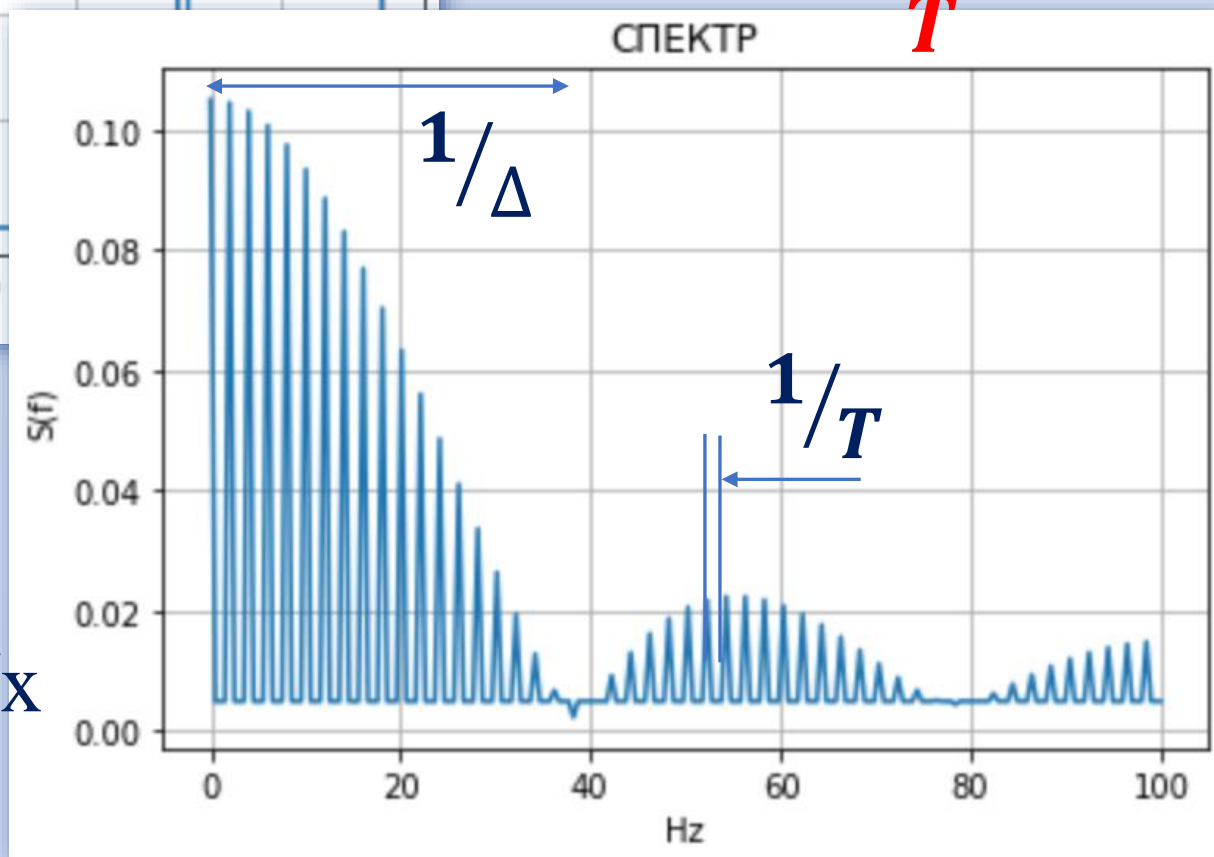


# Ряд Фур'є. Спектр. Імпульс



$$\text{sinc}(x) = \frac{\sin(x)}{x},$$

$$x = n \frac{\Delta}{T} \pi$$



Кардинальний  
синус

if  $x \neq 0$ :  $= \sin(x)/x$

if  $x = 0$ :  $= 1$

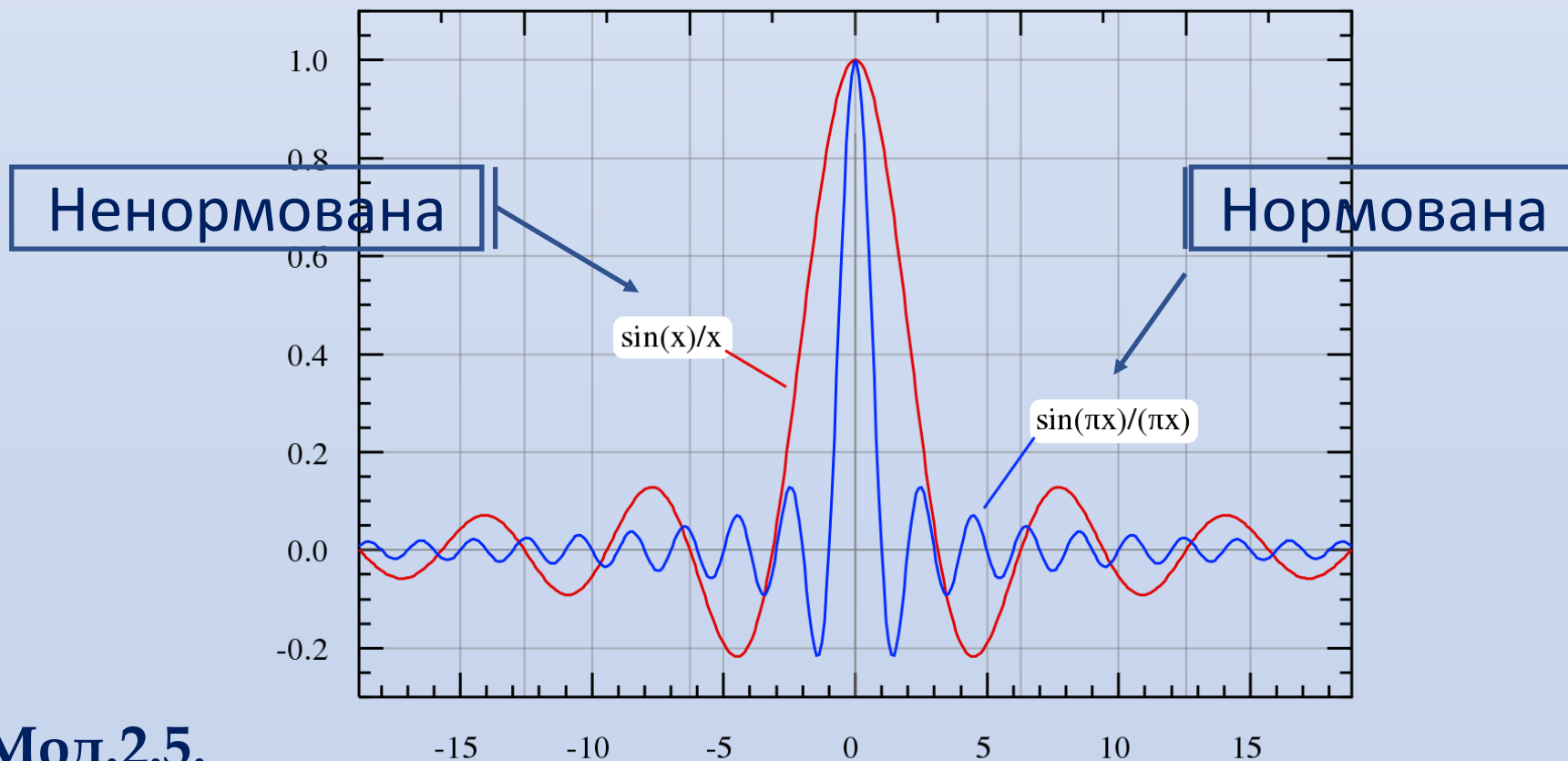
Мод.2.5.

# Ряд Фур'є. Спектр. Імпульс

Функція вибірки – кардинальний синус:

$$\text{sinc}(x) = \frac{\sin(x)}{x}, x = n \frac{\Delta}{\tau} \pi$$

-6π      -4π      -2π      0      2π      4π      6π





# Перетворення Фур'є

Неперіодичний сигнал = сигнал з безкінечним періодом. Ряд Фур'є перетворюється в інтеграл Фур'є

*Пряме перетворення*  $I \Rightarrow F$

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} I(x) e^{-j\omega x} dx$$

*Зворотне перетворення*  $F \Rightarrow I$

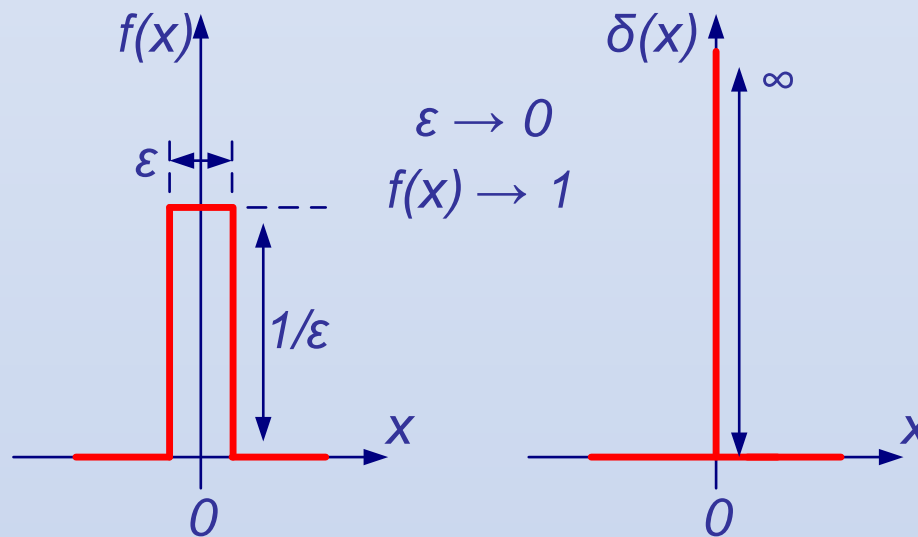
$$I(x) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} F(\omega) e^{j\omega x} d\omega$$

$F(\omega)$  - комплексна функція – спектр сигналу  $I(x)$

# Дельта - функція

## Дельта- функція Дірака

$$\delta(x) = \begin{cases} \infty: x = 0 \\ 0: x \neq 0 \end{cases}$$



!! Площа дельта-функції = 1

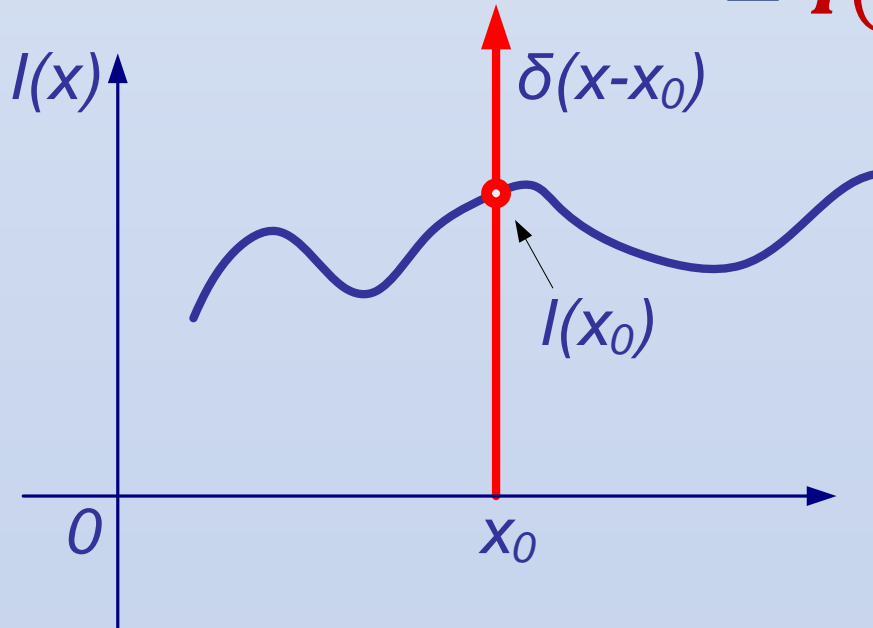
[https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D1%82%D0%B0-%D1%84%D1%83%D0%BD%D0%BA%D1%86%D1%96%D1%8F\\_%D0%94%D1%96%D1%80%D0%B0%D0%BA%D0%B0](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D1%82%D0%B0-%D1%84%D1%83%D0%BD%D0%BA%D1%86%D1%96%D1%8F_%D0%94%D1%96%D1%80%D0%B0%D0%BA%D0%B0)

# Дельта - функція

Інтеграл від довільної функції  $I(x)$  помноженої на дельта-функцію в точці  $x_0 \in$

$$\int_{-\infty}^{\infty} I(x) \delta(x - x_0) dx = \int_{-\infty}^{\infty} I(x_0) \delta(x - x_0) dx$$

$$= I(x_0)$$



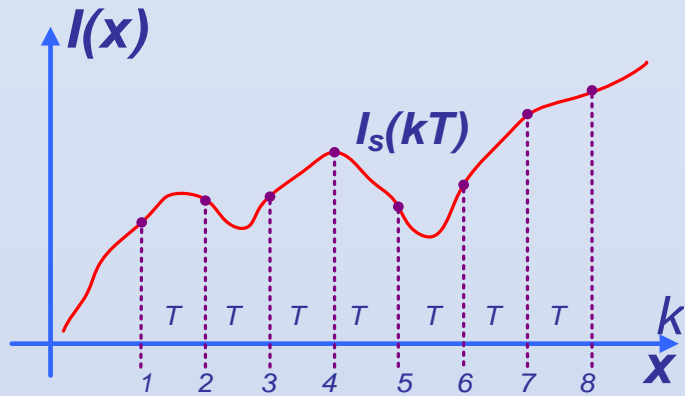
Фільтруюча властивість  
Дельта-функції

Дискретизація –  
множення сигналу на  
дельта-функцію

# Спектр дискретизованого сигналу

Сигнал  $I_s(x) \Rightarrow$  його спектр  $F(\omega)$

Дискретизований сигнал  $I_s(x) \Rightarrow ??$  спектр



$$S(\hat{\omega}) = \frac{1}{T} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \left( F\left(\frac{\hat{\omega}}{T} - n\omega_s\right) \right)$$

$T$  - період дискретизації,

$f_s = 1/T$  - частота дискретизації (Гц)

$\omega_s = 2\pi/T$  - кругова частота дискретизації (рад/с)

його спектр  $F(\omega)$

$\hat{\omega} : (-\pi \dots \pi)$  - нормована кругова частота дискретизації (рад/відлік)

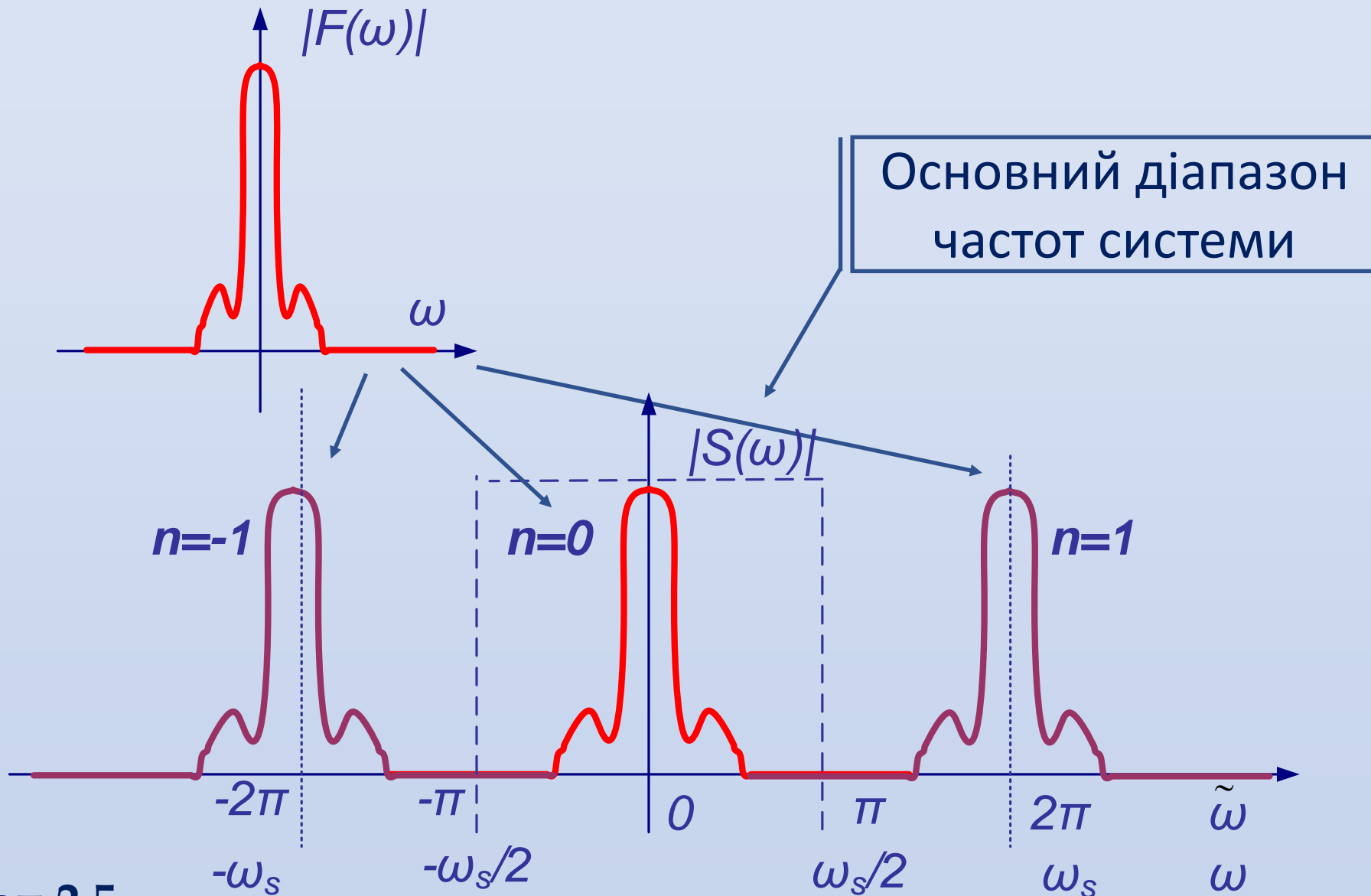
$\hat{f} : (-1 \dots 1)$  - нормована частота дискретизації ( $\pi$  рад/відлік)

# Спектр дискретизованого сигналу

$$S(\hat{\omega}) = \frac{1}{T} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \left( F\left(\frac{\hat{\omega}}{T} - n\omega_s\right) \right)$$

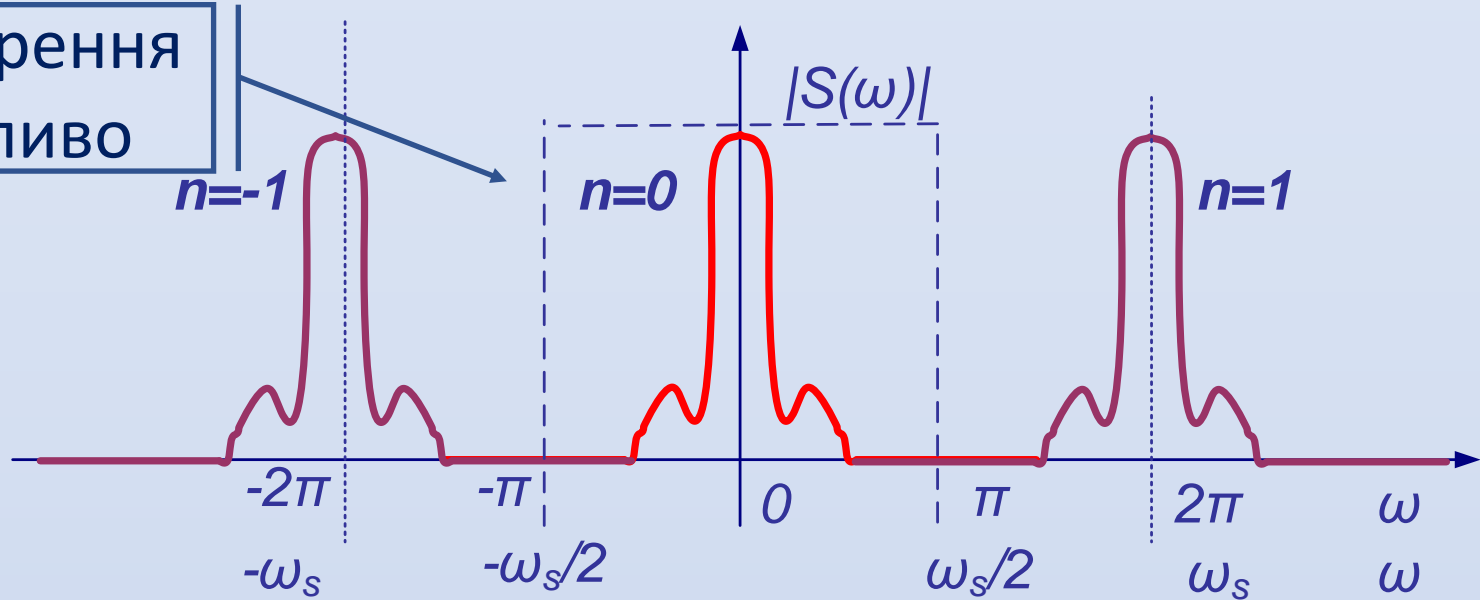
Спектр дискретизованого сигналу  $I_s(x)$ , отриманого шляхом дискретизації безперервного сигналу  $I_s(x)$ , дорівнює **нескінченної сумі** по  $n$  **зсунутих** копій спектрів вхідного безперервного сигналу  $F(\omega)$ . Зсув = номер  $n$  копії помножений на кругову частоту дискретизації  $\omega_s = 2\pi/T$ . Тобто  $S(\hat{\omega})$  - періодична функція, що повторюється з періодом  $2\pi$  радіан на відлік або в абсолютних одиницях рівній частоті дискретизації  $f_s$ .

# Спектр дискретизованого сигналу

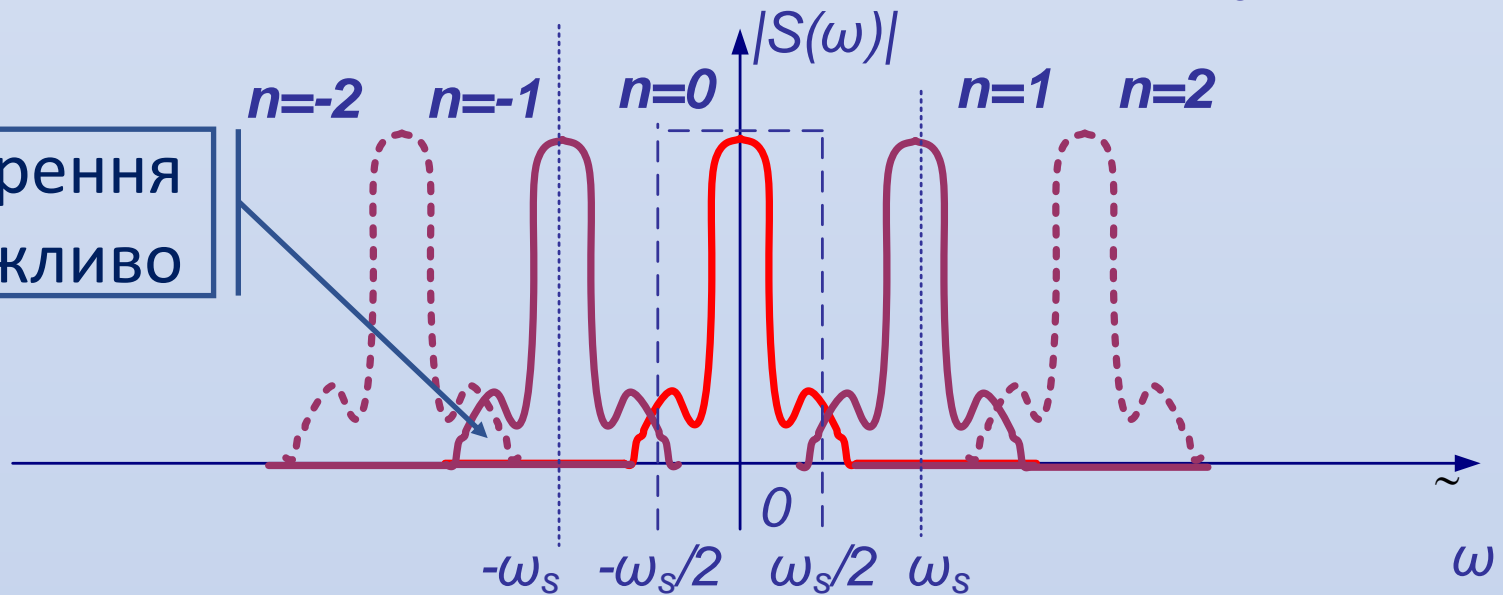


# До вибору шагу дискретизації

Відтворення  
МОЖЛИВО



Відтворення  
НЕ можливо



# Теорема відліків Віттакера — Найквіста — Котельникова — Шеннона

Якщо безперервний сигнал  $x(t)$  має спектр, обмежений частотою  $f_{max}$ , то він може бути однозначно і без витрат відтворений за своїми дискретними відліками, узятими з частотою  $f_{samp} > 2 * f_{max}$  ( $\omega_s > 2 \omega_{max}$ ), або за відліками, узятими з періодом  $T_{sampl} < 1 / (2 * f_{max})$ .

**$f_{max}$  - частота Найквіста**

Тобто, для того, щоб відтворити сигнал за його відліками без втрат, необхідно, щоб частота дискретизації була хоча б у два рази більша за  $f_{max}$  первинного безперервного сигналу.



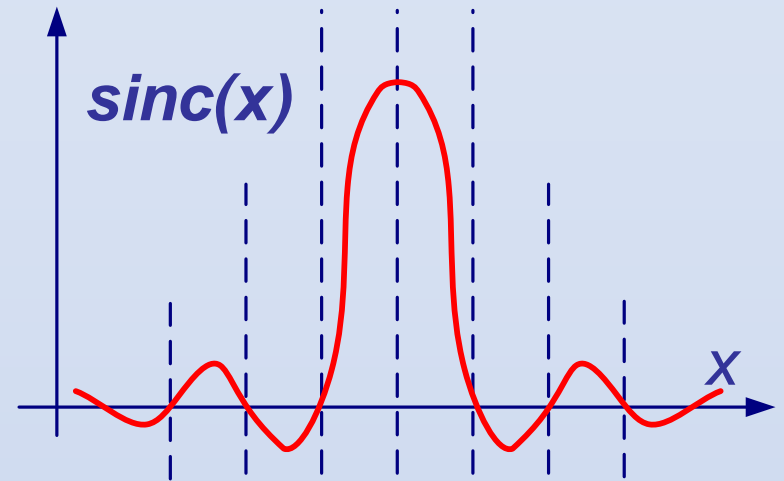
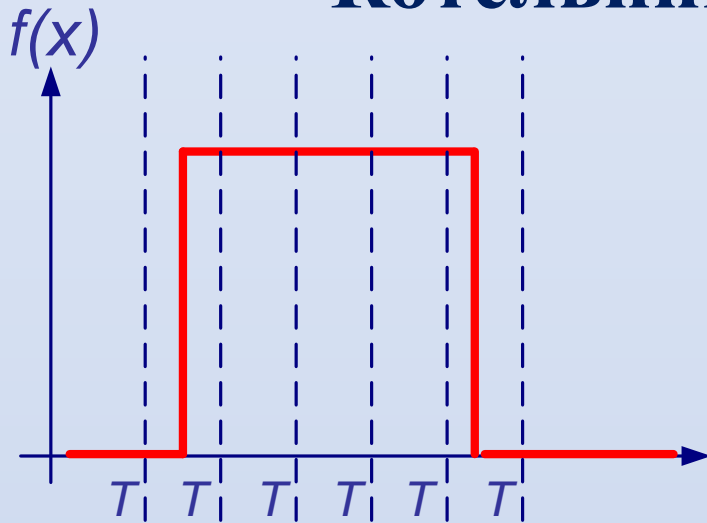
# Теорема відліків Віттакера — Найквіста — Котельникова — Шеннона

Відтворення (встановлення) сигналу

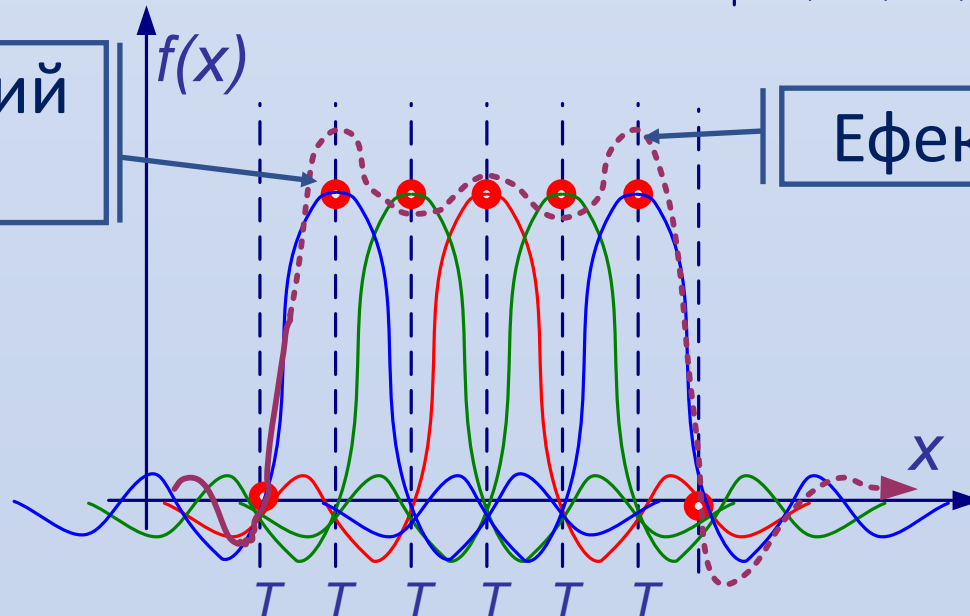
$$I(x) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} I(t_k) \frac{\sin(\frac{\pi}{T_s}(t - kT_s))}{\frac{\pi}{T_s}(t - kT_s)}$$

$$I(x) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} I(t_k) \operatorname{sinc}(\frac{\pi}{T_s}(t - kT_s))$$

# Теорема відліків Віттакера — Найквіста — Котельникова — Шеннона

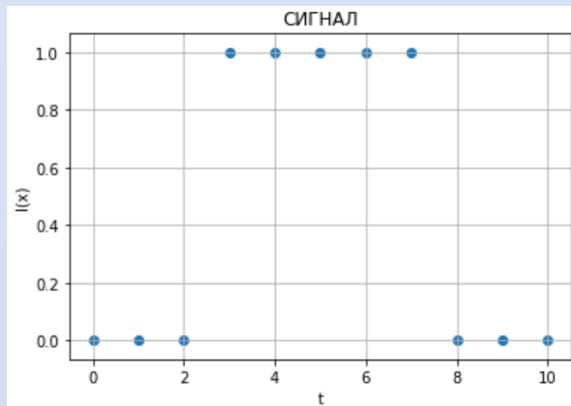
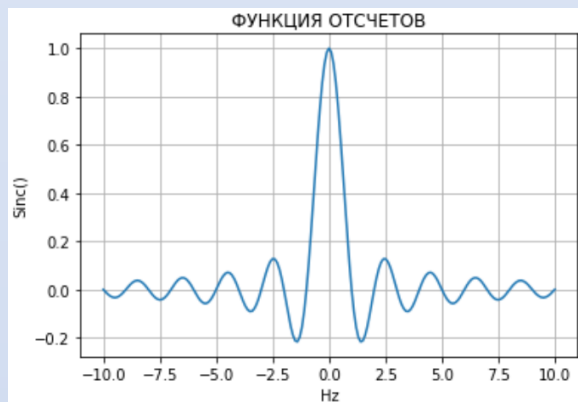


Встановлений  
сигнал

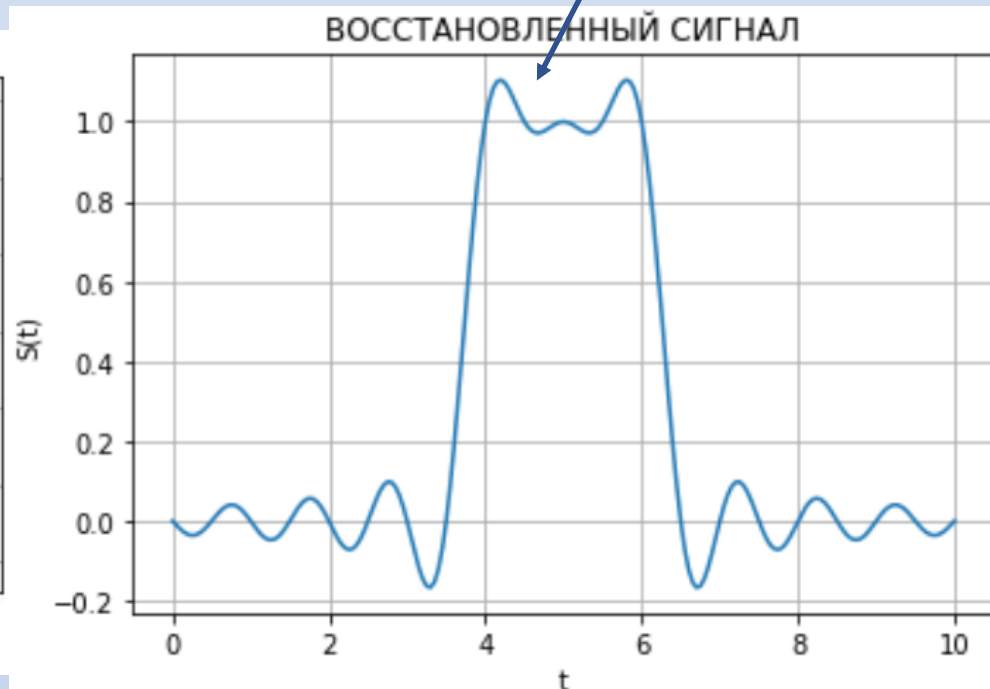
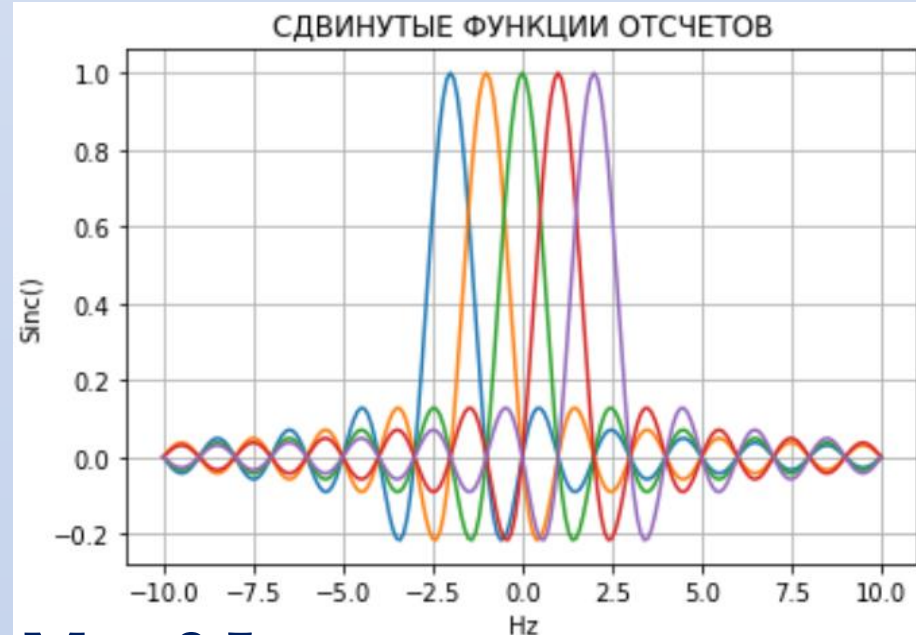


Ефект Гібса

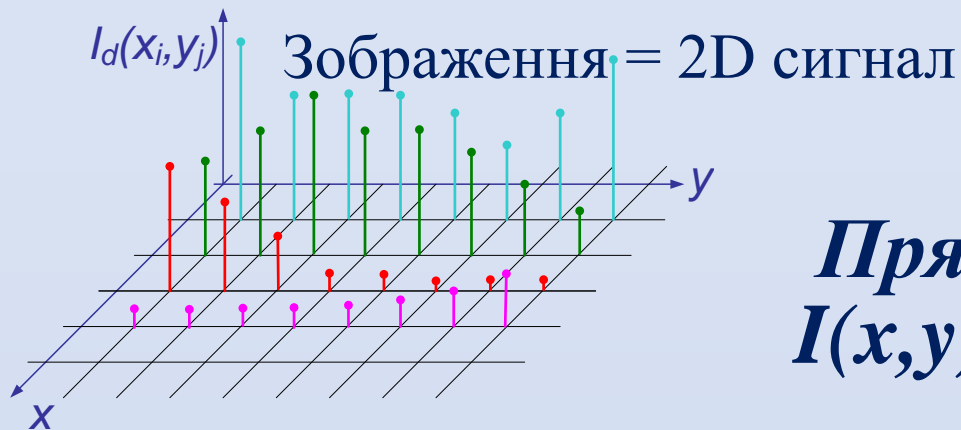
# Теорема відліків Віттакера — Найквіста — Котельникова — Шеннона



Ефект  
Гібса



# 2D перетворення Фур'є



*Пряме перетворення*  
 $I(x, y) \Rightarrow F(\omega_1, \omega_2)$

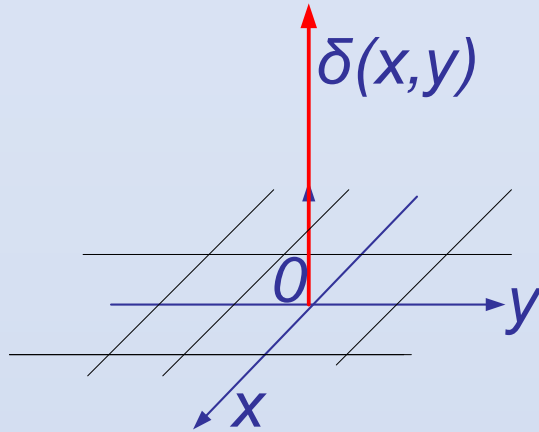
$$F(\omega_1, \omega_2) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} I(x, y) e^{-j(\omega_1 x + \omega_2 y)} dx dy$$

*Зворотнє перетворення*  $F(\omega_1, \omega_2) \Rightarrow I(x, y)$

$$I(x, y) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} F(\omega_1, \omega_2) e^{j(\omega_1 x + \omega_2 y)} d\omega_1 d\omega_2$$

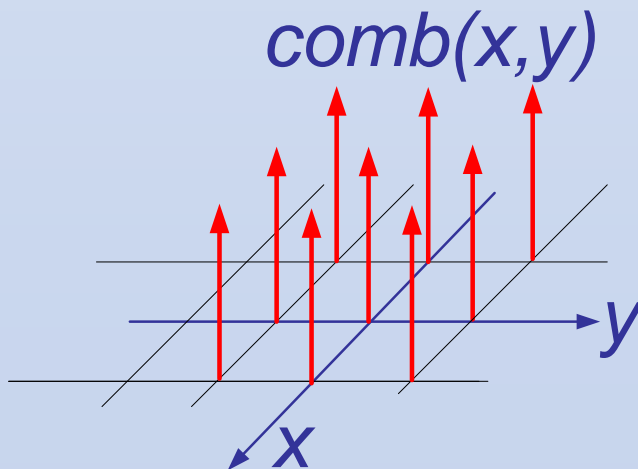
$F(\omega_1, \omega_2)$  - комплексна функція – двовимірний спектр сигналу  $I(x, y)$

## 2D дельта-функція



$$\delta(x, y) = \begin{cases} \infty: x = 0 \text{ and } y = 0 \\ 0: x \neq 0 \text{ or } y \neq 0 \end{cases}$$

## 2D дискретизуюча функція



$$\begin{aligned} comb(x, y, \Delta x, \Delta y) &= \\ &= \sum_{m=-\infty}^{\infty} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(x - m\Delta x, y - n\Delta y) \end{aligned}$$

## 2D дискретизація

2D дискретизація – перемноження первинної функції на дискретизуючу функцію

$$\begin{aligned} I_s(x, y) &= I(x, y) * \mathbf{comb}(x, y, \Delta x, \Delta y) = \\ &= \sum_{m=-\infty}^{\infty} \sum_{n=-\infty}^{\infty} I(m\Delta x, n\Delta y) \delta(x - m\Delta x, y - n\Delta y) \end{aligned}$$

Сигнал-зображення

$I(x, y) \Rightarrow$  його спектр  $F(\omega_1, \omega_2)$

Дискретизоване зображення - сигнал  $I_s(x, y)$   
 $\Rightarrow$  його ?? спектр

## 2D дискретизація

Просторові частоти дискретизації

$$\omega_{xs} = 1/\Delta x, \quad \omega_{ys} = 1/\Delta y$$

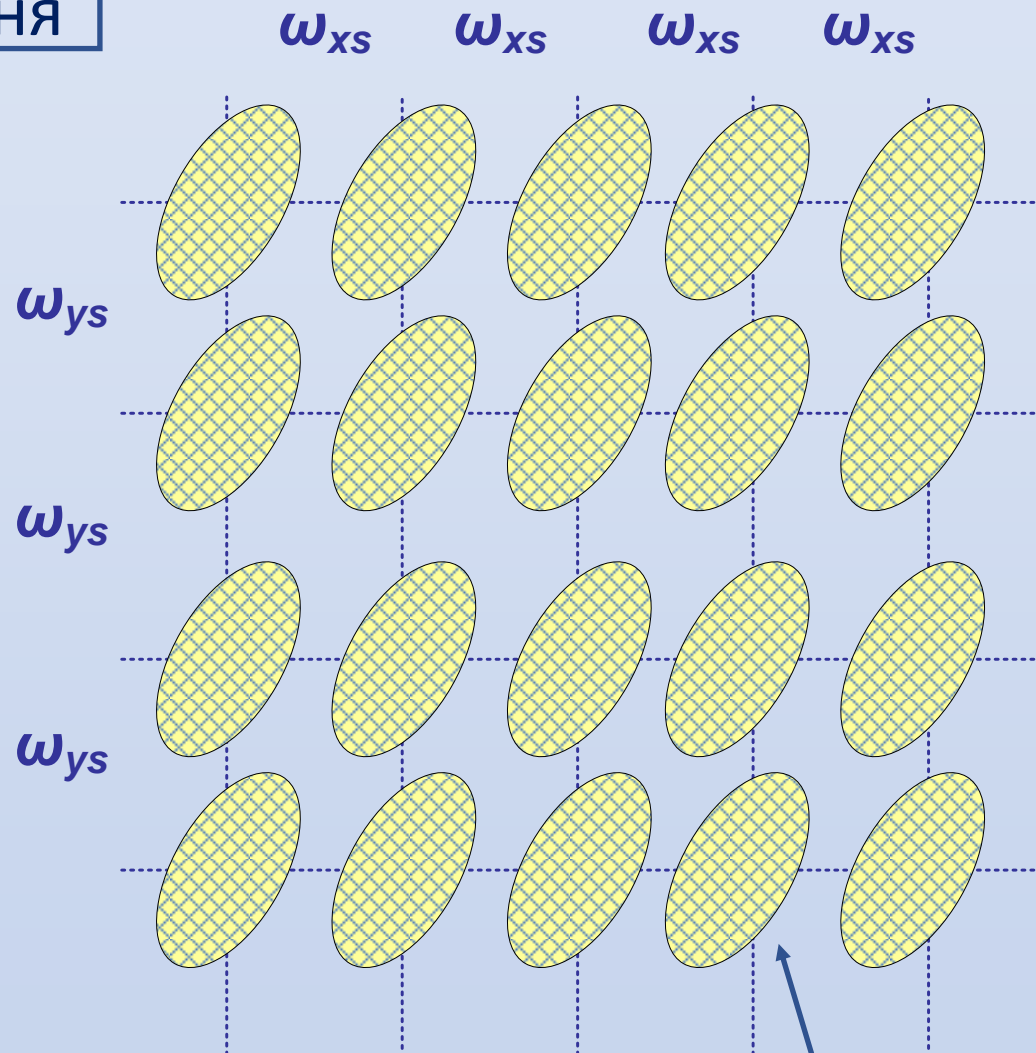
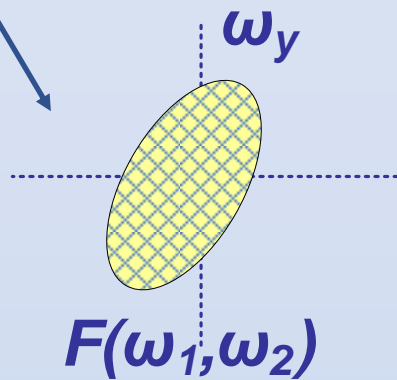
Спектр  $F_s(\omega_1, \omega_2)$  дискретизованого зображення

$$F_s(\omega_x, \omega_y) = \omega_{xs} \omega_{ys} \sum_{k=-\infty}^{\infty} \sum_{l=-\infty}^{\infty} F(\omega_x - k\omega_{xs}, \omega_y - l\omega_{ys})$$

Спектр дискретизованого зображення є періодична (нескінчена) комбінація спектрів вихідного (безперервного) зображення, повторених в вузлах сітки  $\omega_{xs}, \omega_{ys}$

# Спектр дискретизованного 2D сигнала

Спектр зображення



Спектр дискретизованого зображення



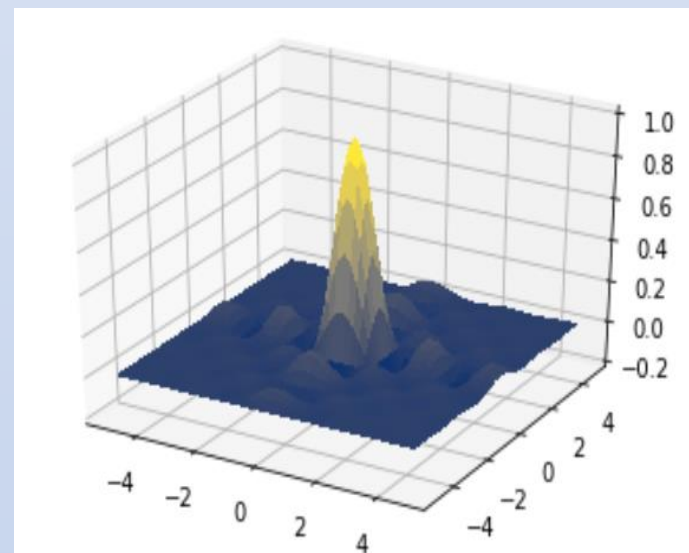
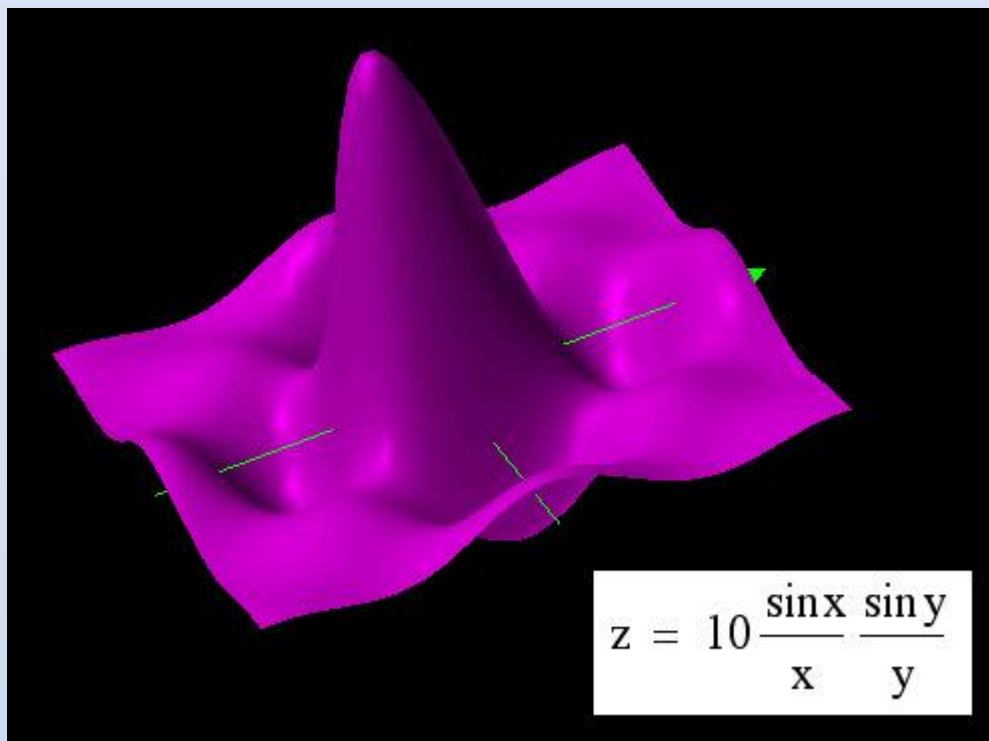
## Відтворення 2D сигналу

Відтворення 2D сигналу однозначне можливе, коли виконуються умови 2D аналогу теореми Найквіста — Котельникова, тобто:

$$1/\Delta x = \omega_{xs} > 2\omega_{x\max} \quad 1/\Delta y = \omega_{ys} > 2\omega_{y\max}$$

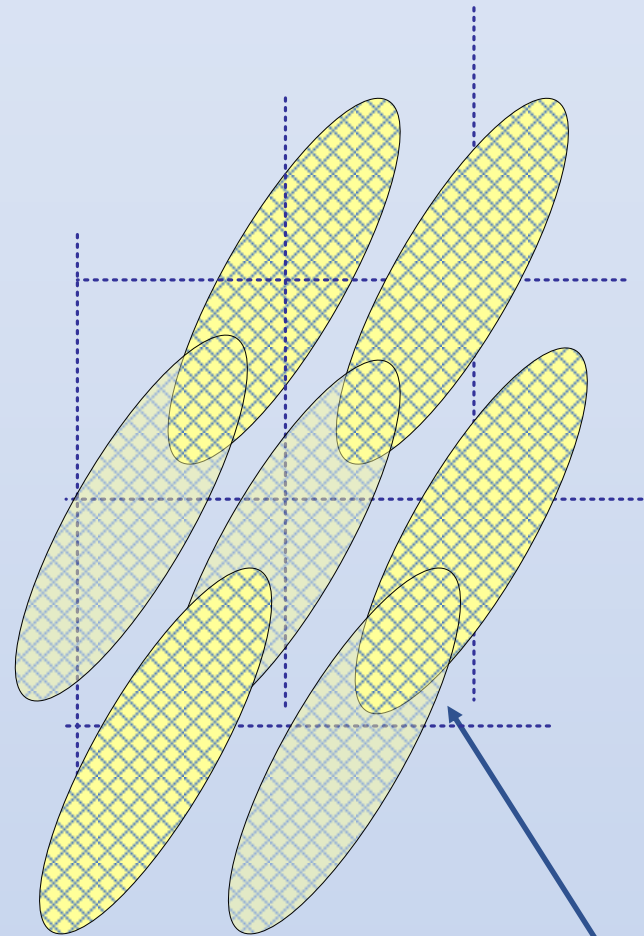
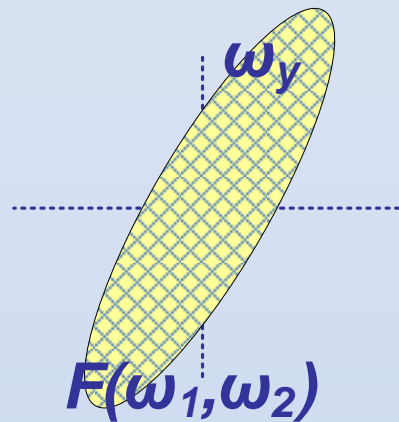
$$\hat{I}(x, y) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} \sum_{n=-\infty}^{\infty} I(m\Delta x, n\Delta y) \mathit{sinc}(\omega_{xs}x - m) \mathit{sinc}(\omega_{ys}y - n)$$

# Відтворення 2D сигналу



# Спектр дискретизованого 2D сигналу

Спектр зображення



Порушення умов теореми Найквіста-Котельникова. Відтворення **НЕМОЖЛИВО**

# Артефакти дискретизації

Geometry  
Aliasing

Геометричні  
спотворення 2D

Geometry  
Aliasing (3D)

Геометричні  
спотворення 3D

Transparency  
Aliasing

Спотворення  
прозорості

Sub-pixel  
Aliasing

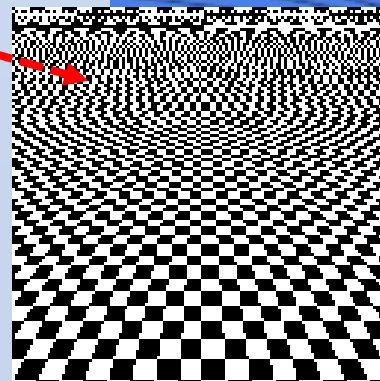
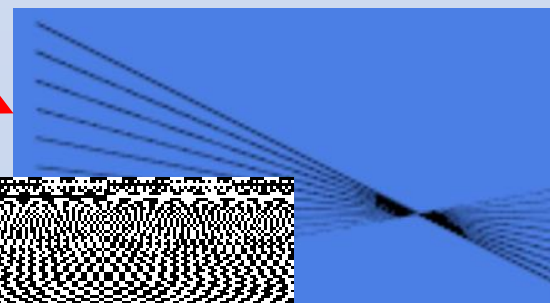
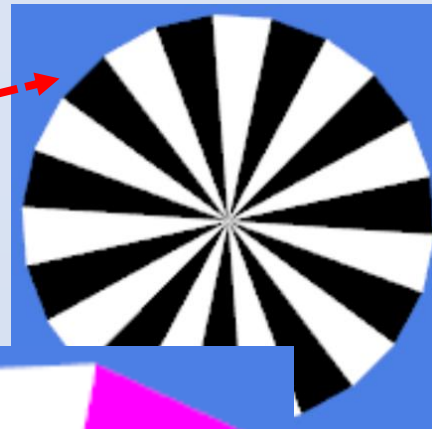
Пропуск окремих  
пікселів

Texture  
Aliasing

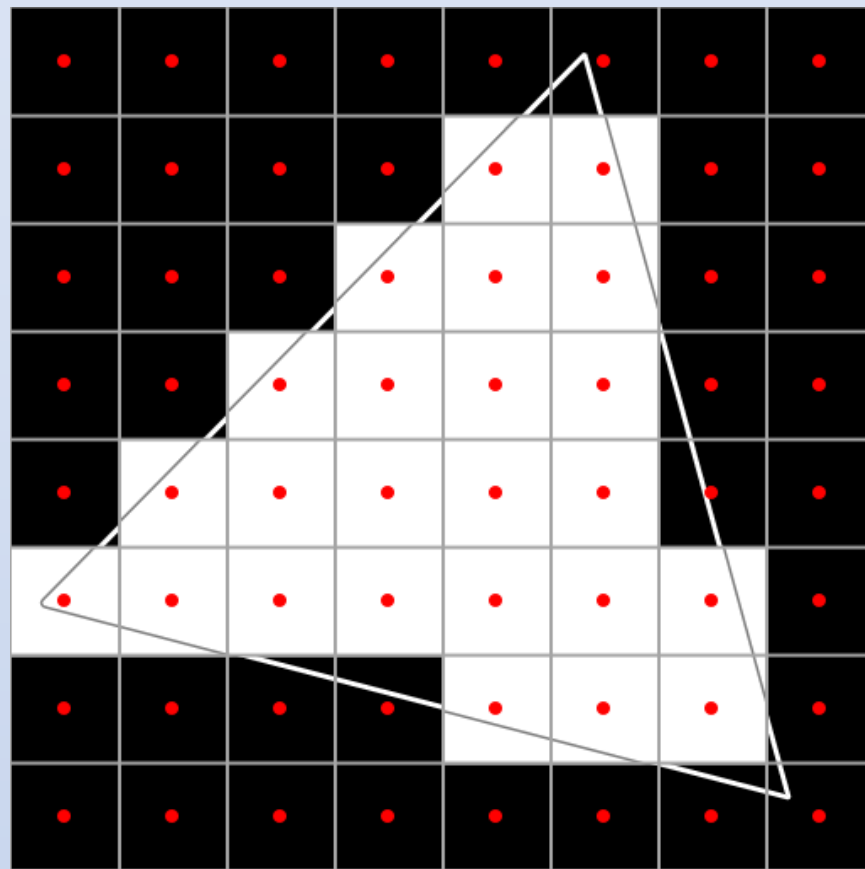
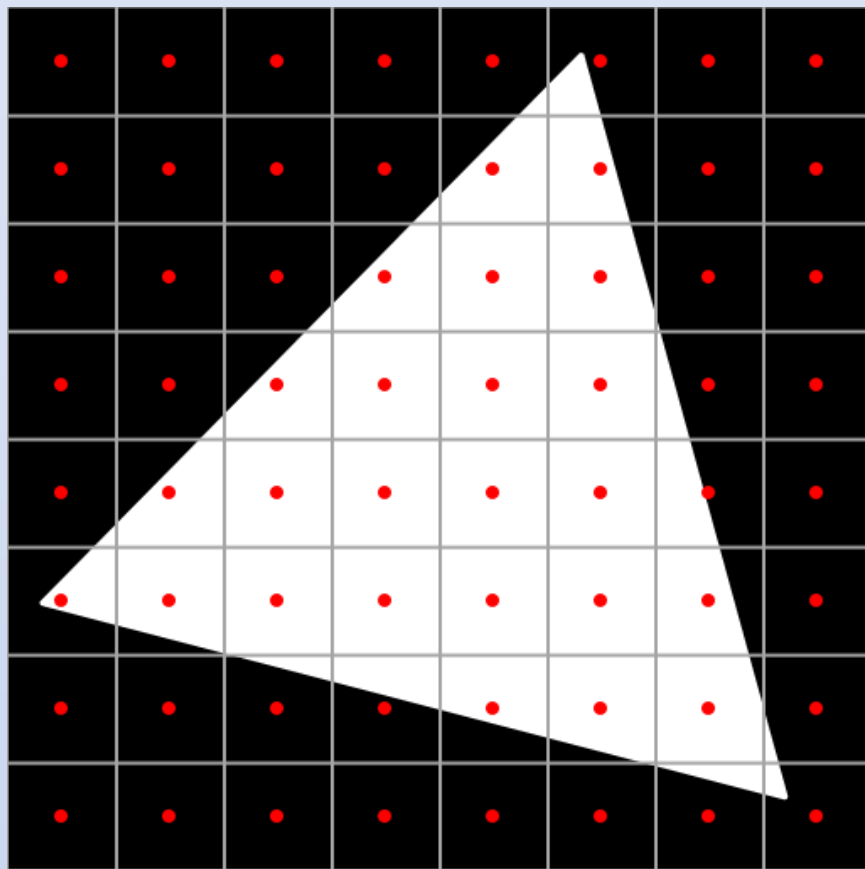
Спотворення  
текстур

Shader  
Aliasing

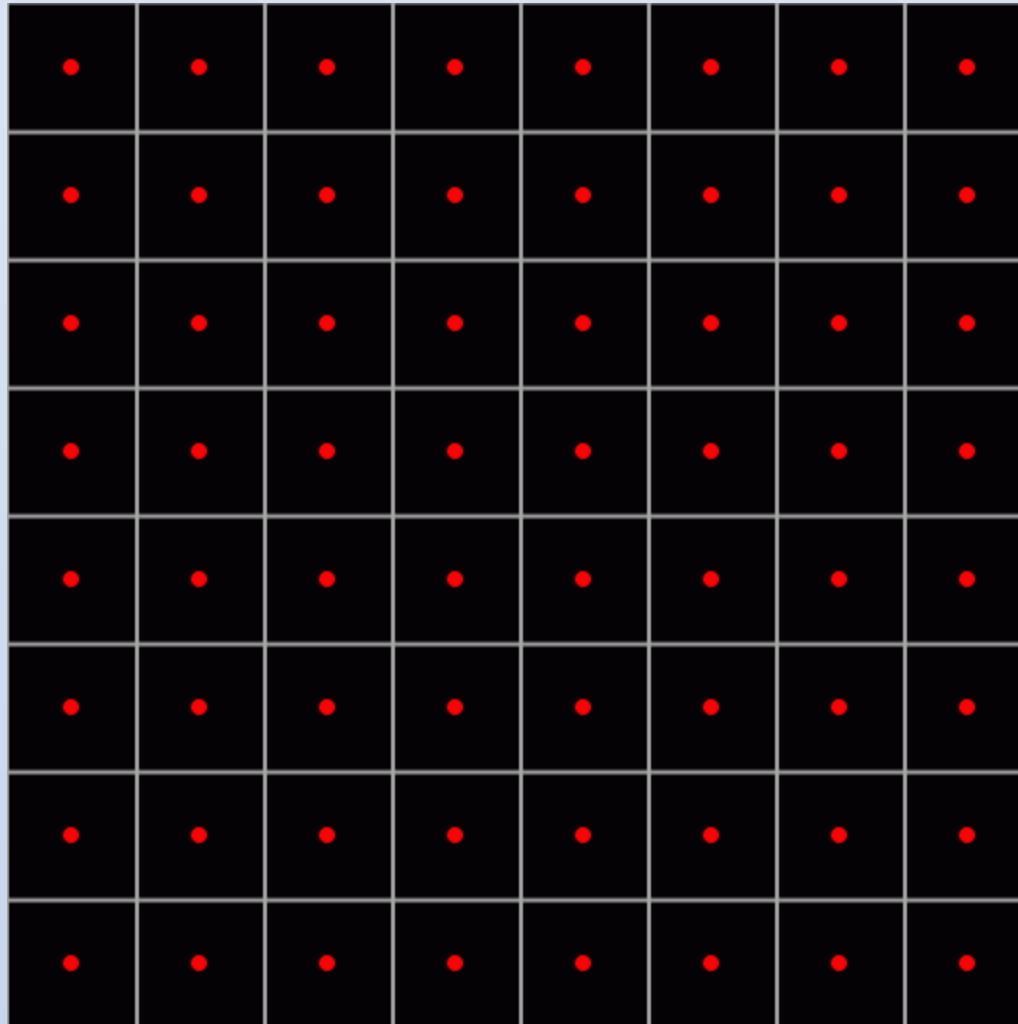
Помилки  
шейжера



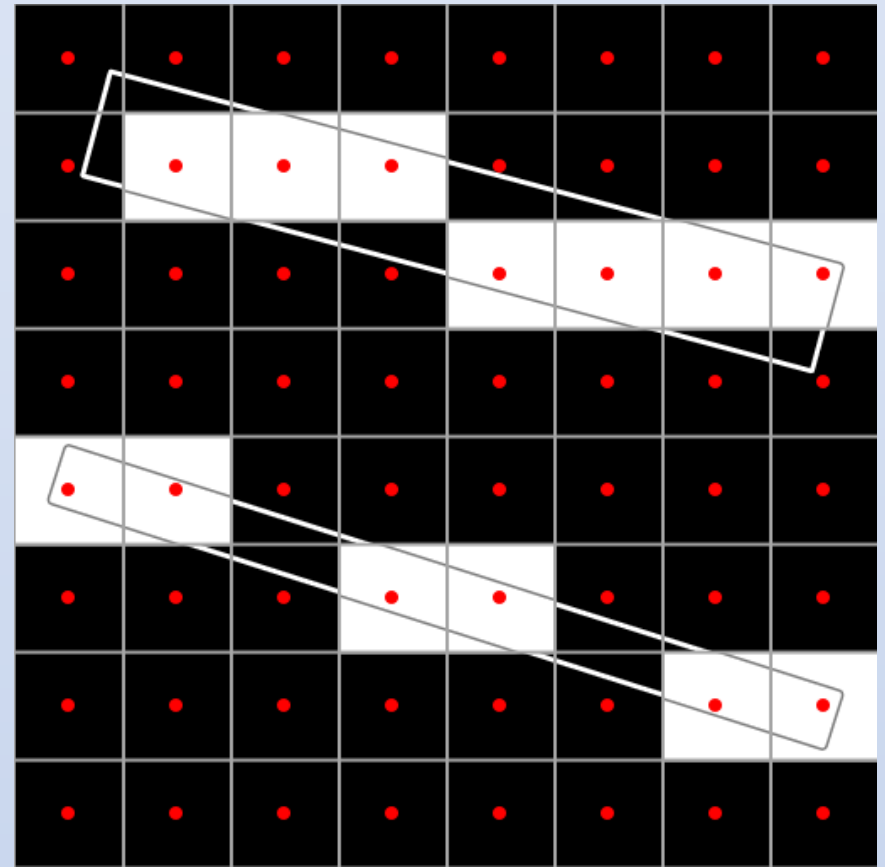
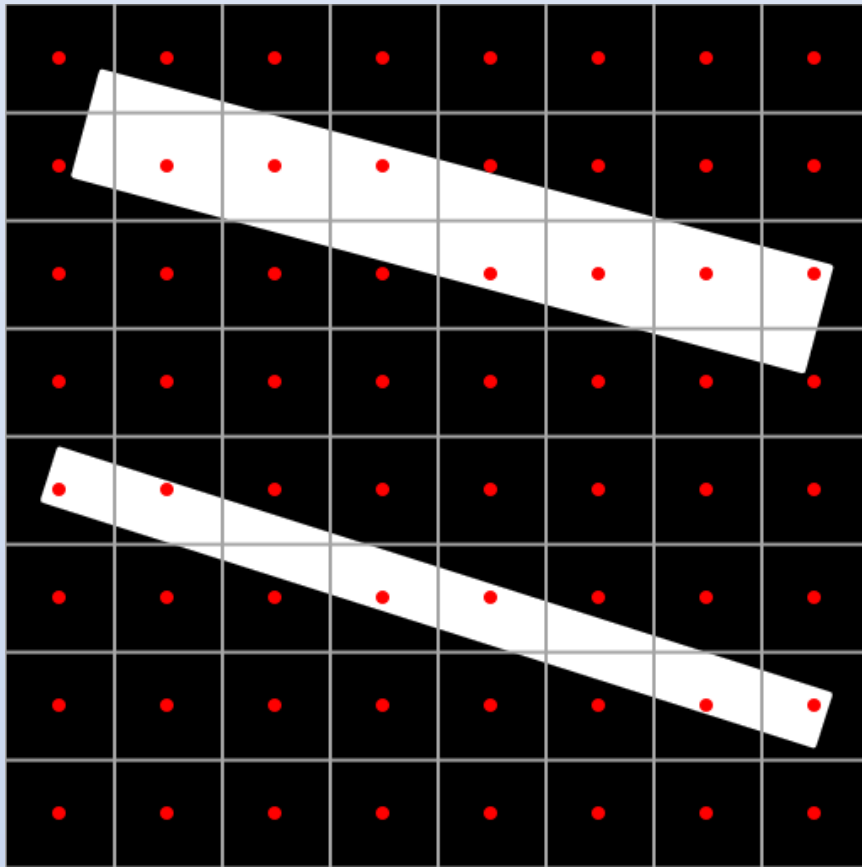
# Геометричне спотворення



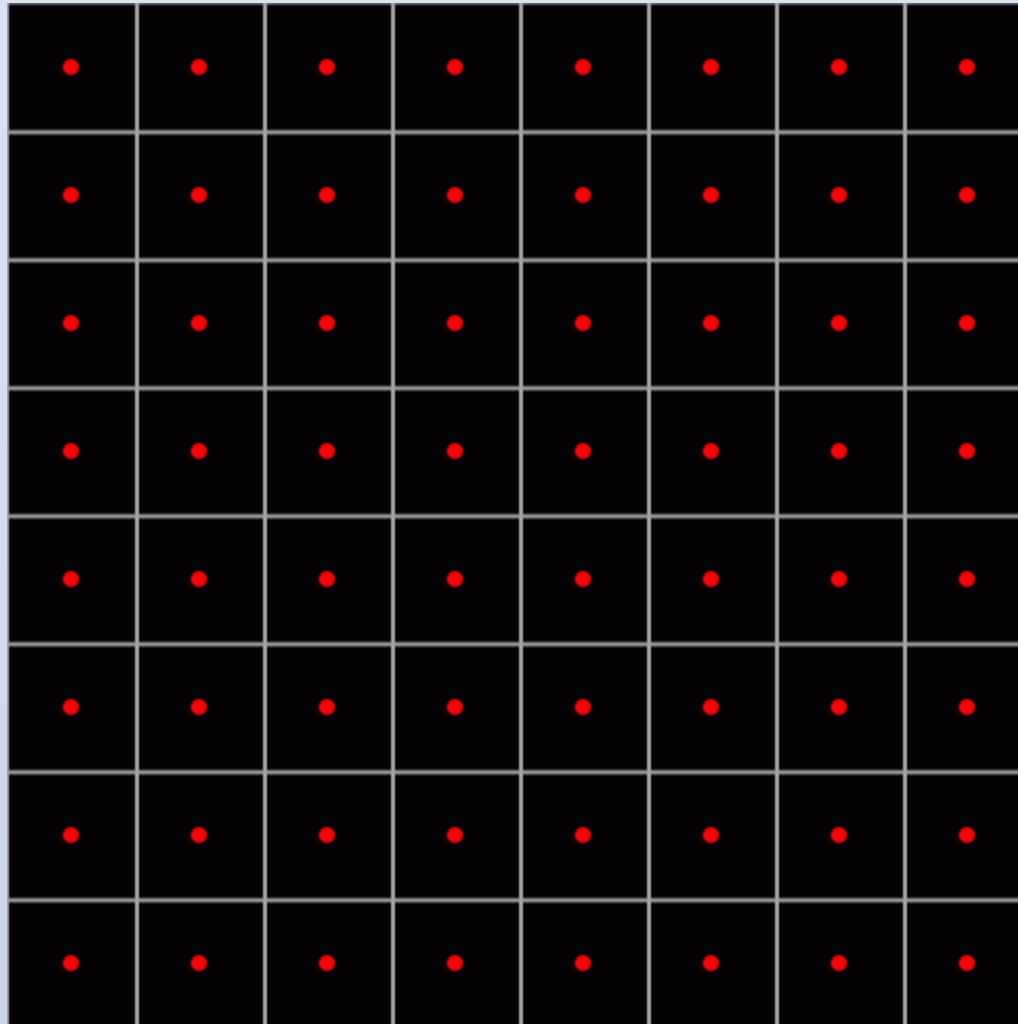
# Геометричне спотворення



# Пропуск

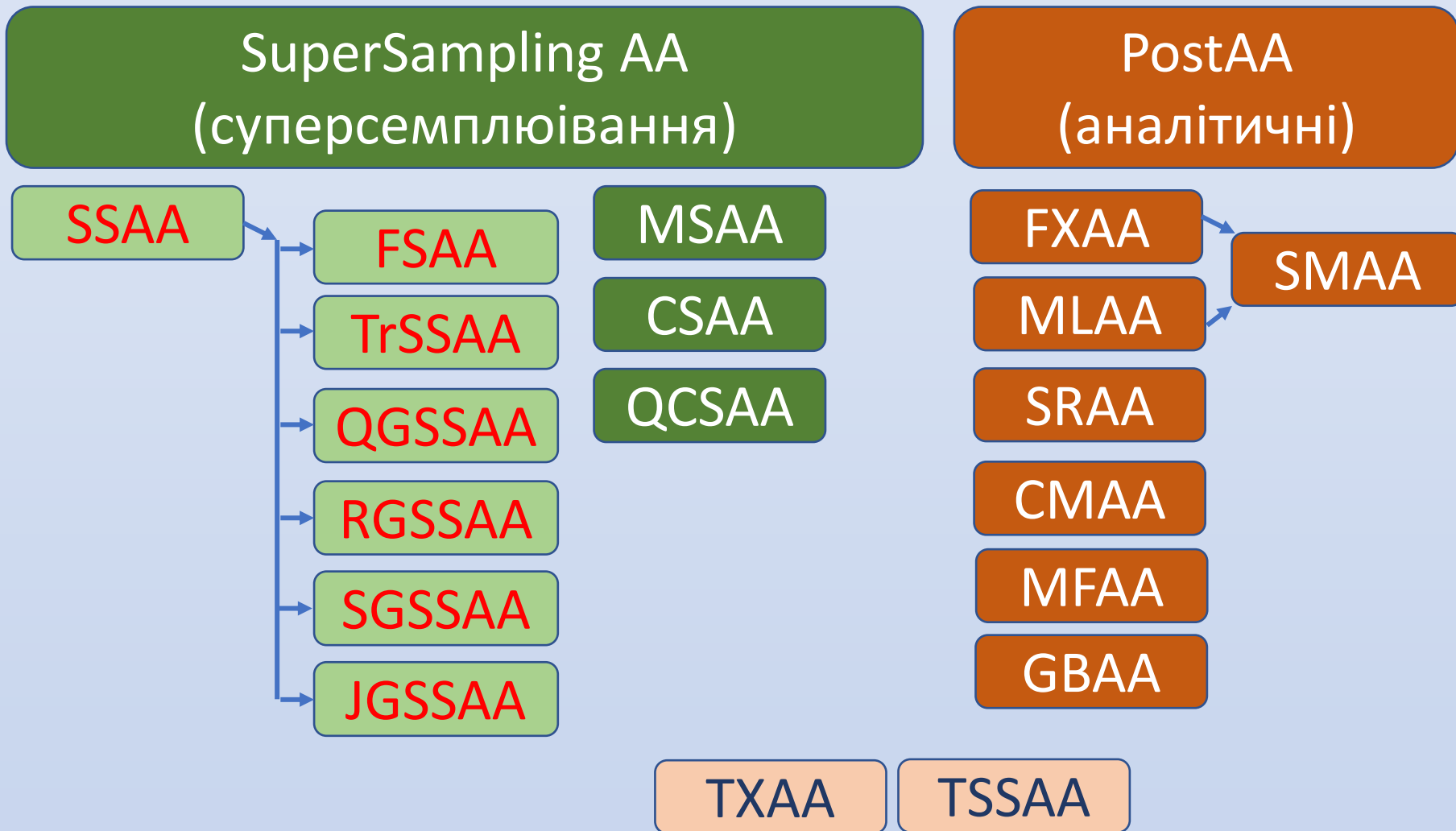


# Пропуск





# Класифікація методі згладжування



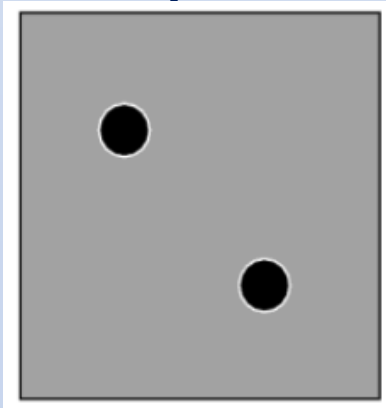
<https://soft-tuning.ru/zhelezo/40->

[%D1%81%D0%B3%D0%BB%D0%B0%D0%B6%D0%B8%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B5.html](https://soft-tuning.ru/zhelezo/40-%D1%81%D0%B3%D0%BB%D0%B0%D0%B6%D0%B8%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B5.html)

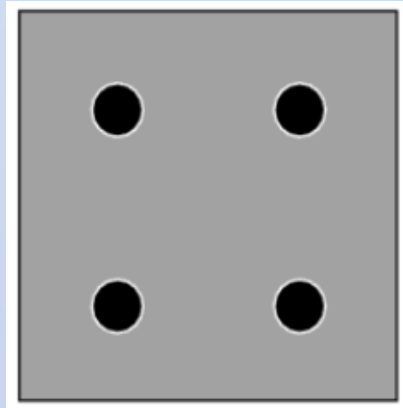
# Надсемплювання SSAA

## SSAA – SuperSample Anti Aliasing

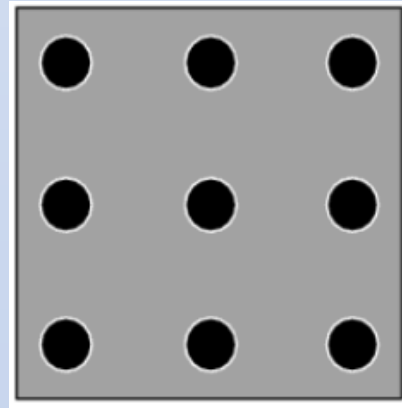
Загальна ідея – рендерінг на збільшеному растрі, визначення відсотка пікселя, який займає певна область у векторній графіці – тобто: квадрат розміром пікселя поділяється на декілька підпікселів (subpixels) – які використовуються обчислення кольору пікселя.



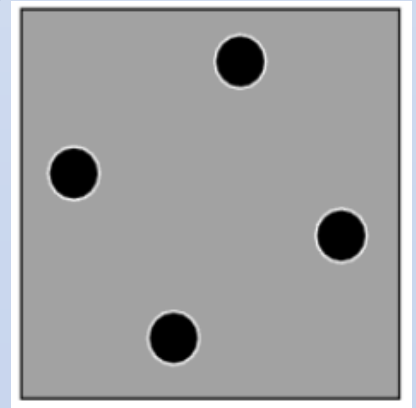
2 Samples



4 Samples



9 Samples



4 Samples  
rotated

# Надсемплювання SSAA

Обчислення

Інтенсивність  
піксела

$$I_{i,j} = \frac{1}{K * L} \sum_{k,l=0}^{K,L} (I_{i-k,j-l})$$

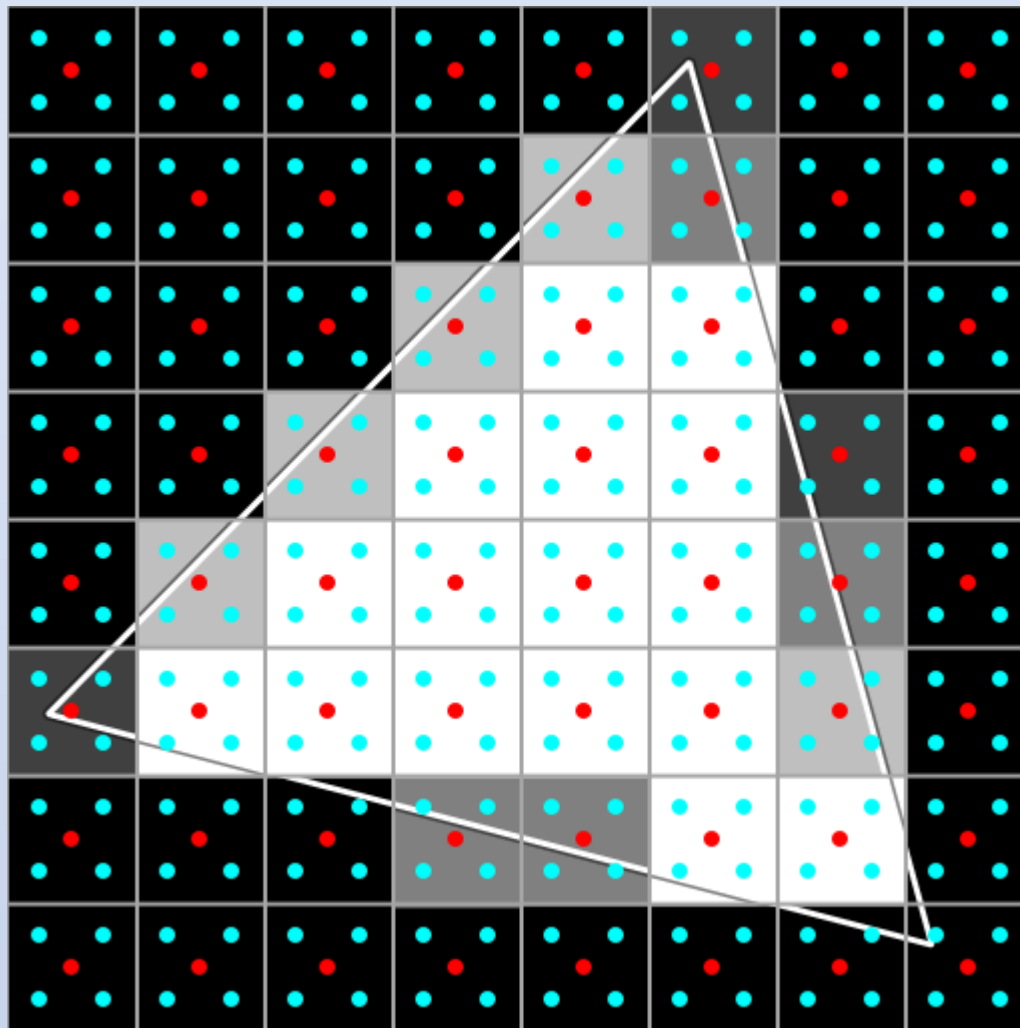
Кількість  
субпікселів

Інтенсивність  
субпікселів

Фільтр, що усереднює!

Варіації: інше розташування субпікселів, інші фільтри,  
урахування глибини

# Надсемплювання SSAA



# Мультісемплювання MSAA

## MSAA – MultySample Anti Aliasing

Мультісемплювання. Зміна SSAA, зображення рендериться в збільшеному растрі, але продуктивність досягнута за рахунок AA тільки країв об'єкта, а не всієї картинки як в SSAA. Рекомендовано використовувати на низькій роздільній здатності.

# Розвиток SSAA\MSAA

CSAA	<i>Coverage Sampling Anti-Aliasing, Згладжування з перекриттям</i>
FSAA	<i>Full Scene Anti-Aliasing, Повноекранне згладжування</i>
QSAA	<i>Quality Coverage Sampling Anti-Aliasing, Згладжування з перекриттям підвищеної якості</i>
EQAA	<i>Enhanced Quality Anti-Aliasing, CSAA у AMD, відрізняються положенням семплів.</i>
AAA	<i>Adaptive Anti-Aliasing, Адаптивне згладжування (від AMD, суміш MSAA/SSAA)</i>
TrAA	<i>Transparency Anti-Aliasing, Прозоре згладжування (AAA від Nvidia)</i>
TrAAA	<i>Transparency Adaptive Anti-Aliasing = TrAA</i>
TrMSAA	<i>Transparency Multi-Sampling Anti-Aliasing, Прозоре згладжування з мультисемплюванням</i>
TrMSAA	<i>Transparency Super-Sampling Anti-Aliasing, Прозоре повноекранне згладжування з мультисемплюванням</i>

# Аналітичні методи згладжування

## MLAA – Morphological Anti Aliasing

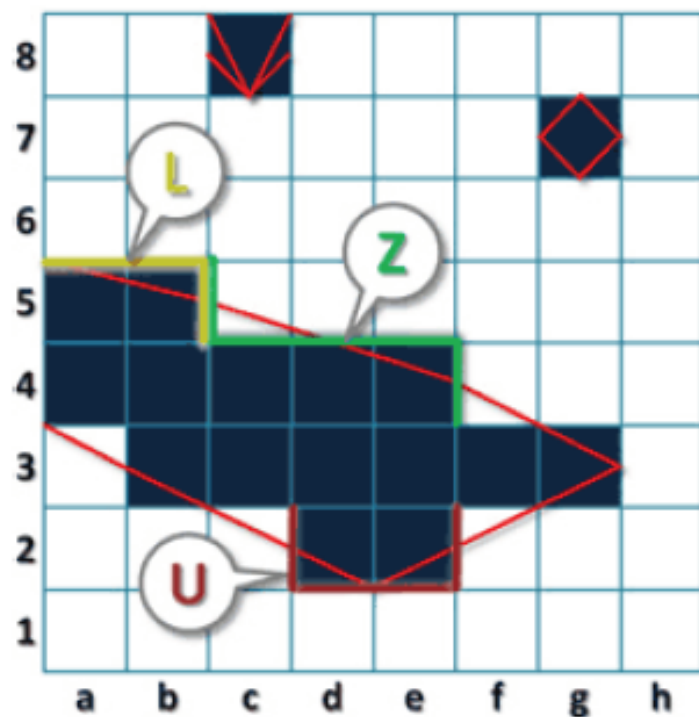
Розробка Intel (2011). Алгоритм, шукає піксельні кордони, схожі на букви Z, L і U і змішує кольори сусідніх пікселів, що входять в кожную таку частину. Три етапи:

- знайти розриви між пікселями на зображенні.
- визначити Z, L і U -подібні шаблони.
- змішайте кольори поруч із цими шаблонами.

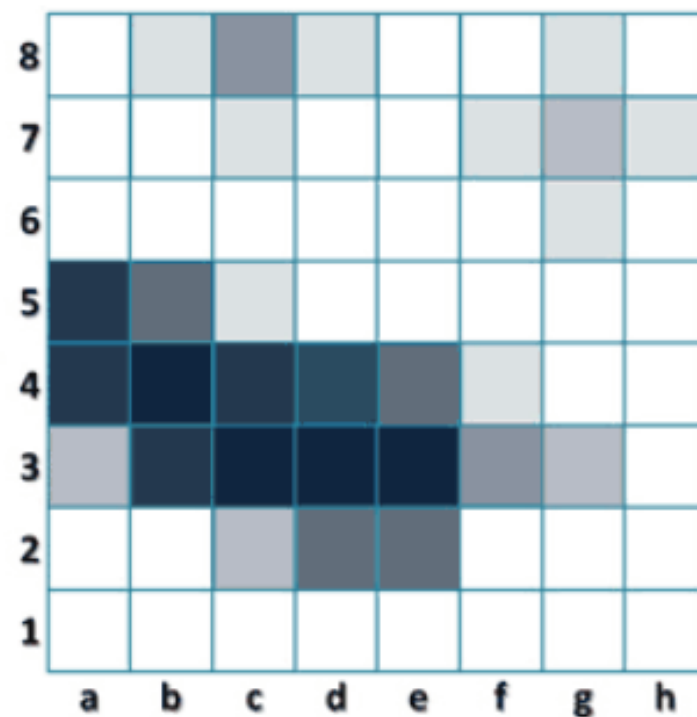
Алгоритм орієнтовно на використання CPU, а не GPU. Є реалізація AMD, технічно може використовувати і NVidia.

<https://software.intel.com/en-us/articles/morphological-antialiasing-mlaa-sample>

# MLAA - Morphological Anti Aliasing



Z-shapes:   
 U-shapes:   
 L-shapes: 



Z and U shape decomposition into L-shapes:

$$\begin{array}{c} \text{Z-shape} \\ \text{U-shape} \end{array} = \begin{array}{c} \text{L-shape} \\ \text{L-shape} \end{array} + \begin{array}{c} \text{L-shape} \\ \text{L-shape} \end{array}$$



# Аналітичні методи згладжування

<b>MLAA</b>	<i>MorphoLogical Anti-Aliasing, Морфологічне згладжування</i>
<b>FXAA</b>	<i>Fast approXimate Anti-Aliasing, Швидке приблизне згладжування (NVidia)</i>
<b>SRAA</b>	<i>SubPixel Reconstraction Anti-Aliasing, Субпіксельне відтворююче згладжування (Nvidia, <math>\approx</math> MLAA, використовує Z-буфер)</i>
<b>SMAA</b>	<i>Enhanced SubPixel Morphological Anti-Aliasing, Субпіксельне морфологічне згладжування (MLAA + SSAA/MSAA).</i>
<b>CMAA</b>	<i>Conservative Morphological Anti-Aliasing, Консервативне морфологічне згладжування (суміш FXAA &amp; SMAA)</i>
<b>MFAA</b>	<i>Multi-Frame Sampled Anti-Aliasing, Мультікадрове згладжування (Nvidia, змішування поточного кадру, попереднього та наступного)</i>
<b>GBAA</b>	<i>Geometry Buffer Adaptive Anti-Aliasing, Згладжування з урахування геометричного буферу</i>

# Темпоральне (часове) згладжування Temporal Anti-Aliasing (TAA)

**ТAA** - зменшує наслідки тимчасового еліайсінгу. Для цього застосовується **часовий фільтр** згладжування (фільтр нижніх частот). Визначається, які об'єкти охоплюють певні пікселі в будь-який момент часу. Перші версії Використовували функції тимчасової інтенсивності високої роздільної здатності з атрибутів об'єктів сцени, які потім об'єднуються фільтром усереднення для обчислення згладженого зображення.

[https://en.wikipedia.org/wiki/Temporal\\_anti-aliasing](https://en.wikipedia.org/wiki/Temporal_anti-aliasing)

# Темпоральне (часове) згладжування

<b>TAA</b>	<i>Temporal Anti-Aliasing, Часове згладжування (від Nvidia)</i>
<b>ATAA</b>	<i>Adaptive temporal Anti-Aliasing, адаптивне часове згладжування (від Nvidia)</i>
<b>TXAA</b>	<i>Temporal approXimate Anti-Aliasing, Часове приблизне згладжування (від Nvidia)</i>
<b>TSSAA</b>	<i>Temporal Super Sampling Anti-Aliasing, Часове згладжування з надлишковою вибіркою (TXAA від сторонніх фірм)</i>

<https://www.overclockers.ua/news/hardware/2018-07-31/122698/>

<https://sketchfab.com/blogs/community/introducing-temporal-anti-aliasing/>

# Порівняння методів згладжування

antialiasing method \ quantity	depth	coverage	geometry	shading values	storage	BW
no antialiasing		x				
multisampling antialiasing MSAA [Ake93]						
coverage sampling antialiasing CSAA [You06]						
<u>supersampling</u> antialiasing SSAA [Lel80]		x				
MLAA [Res09, BHD10, Per10, Bir11, JME*11], FXAA [Lot11], SMAA 1x [JES*12]		x				
a directionally adaptive edge antialiasing [IYP09, Joh12]	x					
geometric methods [BWG03, CD05, Mal10, GG12, Per12]	x	x				
edge blurring: directionally localized DLAA [And11]; normal filter NFAA, screen-space SSAA [Uni11]		x				
temporal <u>reprojection</u> [NSL*07, YNS*09, Kap10]		x				
spatial/temporal supersampling + morphological antialiasing SMAA 4x [JES*12]		x				
deferred MSAA [Pet10]		x				
<u>subpixel</u> reconstruction antialiasing SRAA [CML11]		x				
surface based antialiasing SBAA [SV12]						
resampling antialiasing RSAA [Res12]						

legend:

sampling  
rate per  
pixel

X:

not used

once

some

many

all

∞

## Рекомендована ЛІТЕРАТУРА

- **Вовк С.М., Гнатушенко В.В., Бондаренко М.В.** Методи обробки зображень та комп'ютерний зір: навчальний посібник. - Д.: Ліра, 2016 — 148 с.
- **Красильников Н.Н.** Цифровая обработка 2D- и 3D-изображений: учеб.пособие.- СПб.: БХВ-Петербург, 2011.- 608 с.: ил.
- **Гонсалес Р.С., Вудс Р.Э.** Цифровая обработка изображений. - М. : Техносфера, 2005. -1070 с.
- **Визильтер Ю.В., Желтов С.Ю. и др.** Обработка и анализ изображений в задачах машинного зрения.-М.: Физматкнига, 2010.-672 с.

## Рекомендована ЛІТЕРАТУРА

- **Ватолин Д., Ратушняк А., Смирнов М., Юкин В.** Методы сжатия данных. Устройство архиваторов, сжатие изображений и видео. - М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2002. - 384 с.
- **Творошенко І.С.** Конспект лекцій з дисципліни «Цифрова обробка зображень» / І.С.Творошенко : І. С. Творошенко ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. – 75 с.
- Методы компьютерной обработки изображений: Учебное пособие для ВУЗов/ Под ред.: **Сойфер В.А..** - 2-е изд., испр. - М.: Физматлит, 2003. - 780 с.
- **Фисенко В.Т., Фисенко Т.Ю.** Компьютерная обработка и распознавание изображений: учеб. пособие. - СПб: СПбГУ ИТМО, 2008. – 192 с.

## Додаткова ЛІТЕРАТУРА

- **Грузман И.С., Киричук В.С.** Цифровая обработка изображений в информационных системах. — Новосибирск: Изд-во НГУ, 2002. — 352 с.: ил.
- **Solomon C., Breckon T.** Fundamentals of Digital Image Processing. — Willey-Blackwell, 2011 - 344 p.
- **Павлидис Т.** Алгоритмы машинной графики и обработки изображений: Пер. с англ. - М.: Радио и связь, 1986. — 400 с.
- **Яншин В. В., Калинин Г. А.** Обработка изображений на языке Си для IBM PC: Алгоритмы и программы. — М.: Мир, 1994. — 240 с.

# Інформаційні ресурси

- Компьютерная обработка изображений. Конспект лекций. [http://aco.ifmo.ru/el\\_books/image\\_processing/](http://aco.ifmo.ru/el_books/image_processing/)
- Цифрова обробка зображень [Електронний ресурс] : методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт / НТУУ «КПІ» ; уклад.: В. С. Лазебний, П. В. Попович. – Електронні текстові дані (1 файл: 1,41 Мбайт). – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 73 с. – <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/21035>
- <https://www.youtube.com/watch?v=CZ99Q0DQq3Y>
- <https://www.youtube.com/watch?v=FKTLW8GAdu4>



# **The END**

## **Modulo 2.5**