

“Оптоелектронний матричний спецпроцесор для системи
лазерної поляриметриї біологічних об’єктів”

Ст. гр. ЛТО-16м

Щерба О. К.

Науковий керівник

к.т.н., доц Заболотна Н. І.

- Біологічні тканини являють собою оптично неоднорідне середовище з поглинанням, так як розповсюдження світла в такому середовищі залежить від розсіювальних і поглинальних властивостей, тому оптичні методи дослідження є передовим технічним напрямком сьогодення. Тому розвиток та удосконалення методів та систем лазерної поляриметрії є важливим завданням для лазерної та оптоелектронної техніки.
- В процесі визначення параметрів анізотропії біологічних об'єктів на основі вищезазначених методів та засобів здійснюють діагностику, як правило, одношарових біологічних тканин. У випадку дослідження багат шарових біологічних об'єктів матриця Мюллера формується на основі добутку матриць Мюллера окремих шарів. В цьому випадку, враховуючи значну розмірність отриманих розподілів елементів матриць Мюллера окремих шарів, виникають труднощі при забезпеченні високих часових характеристик формування матриці Мюллера двошарової структури. Це пов'язано, перш за все, із реалізацією такої операції в комп'ютеризованих системах лазерної поляриметрії за допомогою спеціального програмного забезпечення, яке має обмежені можливості по розпаралелюванню процесу введення, оброблення та виведення матриць великої розмірності.
- Усунення зазначених недоліків можна досягти застосуванням оптичного паралелізму до розв'язання задачі отримання високої швидкодії визначення матриці Мюллера двошарових структур на основі добутку відповідних матриць Мюллера окремих шарів.

Метою магістерської кваліфікаційної роботи є підвищення швидкодії матричного спецпроцесора для системи лазерної поляриметрії біологічних об'єктів на основі застосування паралельної моделі обчислення матриці Мюллера двошарового біологічного об'єкту, зорієнтованої на реалізацію на просторово-часових модуляторах світла з паралельним оптичним введенням-виведенням та обробленням інформації.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі задачі:

- провести аналіз існуючих методів і засобів оброблення великорозмірних матриць для системи лазерної поляриметрії біологічних об'єктів;
- розробити паралельну модель обчислення матриці Мюллера двошарового біологічного об'єкта для системи лазерної поляриметрії, орієнтовану на паралельне розрядно-зрізове подання та оброблення матриць Мюллера зовнішнього та внутрішнього шарів об'єкта;
- розробити структурну організацію оптоелектронного спецпроцесора для обчислення матриці Мюллера двошарового біологічного об'єкта для системи лазерної поляриметрії на основі паралельної моделі ,
- дослідити аспекти практичної реалізації оптоелектронного спецпроцесора для матричних операцій на просторо-часових модуляторах світла з паралельним введенням–виведенням та обробленням інформації;
- оцінити часові характеристики спецпроцесора із визначення матриці Мюллера двошарових біологічних структур для системи лазерної поляриметрії біологічних об'єктів.

Об'єкт дослідження – процеси паралельного обчислення матриці Мюллера двошарових біологічних структур у системі лазерної поляриметрії біологічних тканин.

Предмет дослідження – паралельні моделі та оптоелектронні засоби для обчислення матриці Мюллера двошарових біологічних структур для системи лазерної поляриметрії біологічних тканин.

Методи дослідження. У процесі дослідження застосовувалися: електромагнітна хвильова теорія; матрична і поляризаційна оптика; основи квантової електроніки і лазерної техніки; основи електроніки; комп'ютерне моделювання для аналізу характеристик спецпроцесора.

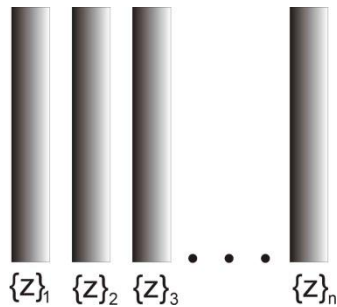
Наукова новизна одержаних результатів:

- Вперше запропоновано аналітичну модель для обчислення матриці Мюллера двошарової біологічної структури, яка характеризується покращеними часовими характеристиками за рахунок організації паралельного множення матриць Мюллера зовнішнього та внутрішнього шарів одночасно у всіх точках дискретизованого зображення біологічної структури за принципами розрядно-зрізових цифрових оптичних обчислень.

- Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що на основі отриманої паралельної теоретичної моделі розроблено структурну організацію паралельного спецпроцесора для обчислення матриці Мюллера двошарової біологічної структури для системи лазерної поляриметрії біологічних об'єктів, орієнтовану при реалізації на двовимірні просторово-часові модулятори світла з паралельним введенням – виведенням та обробленням зображень. Це дозволило забезпечити часові характеристики матричного спецпроцесора в масштабі реального часу.

МЮЛЛЕР-МАТРИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ОПТИКО-АНІЗОТРОПНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ БАГАТОШАРОВИХ БТ

Оптично товста біологічна тканина



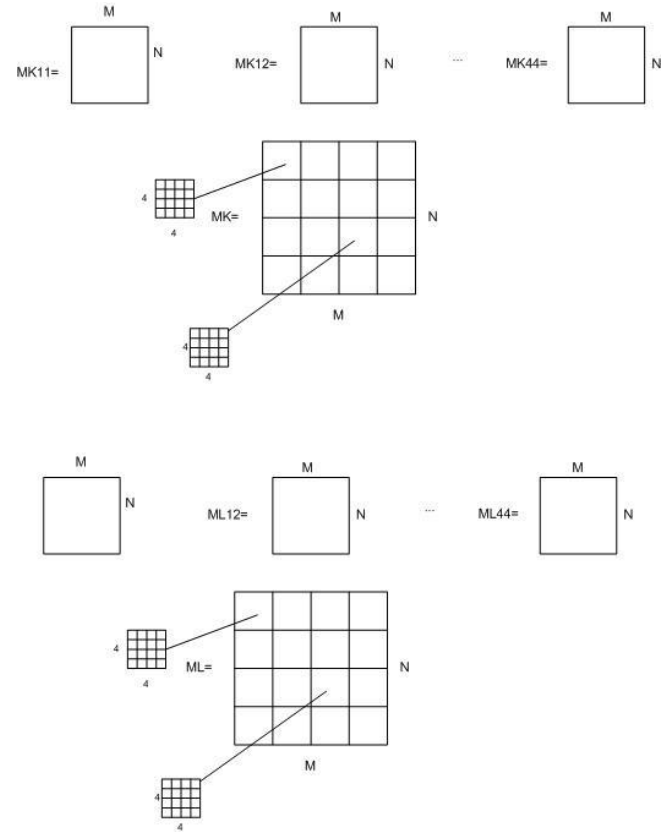
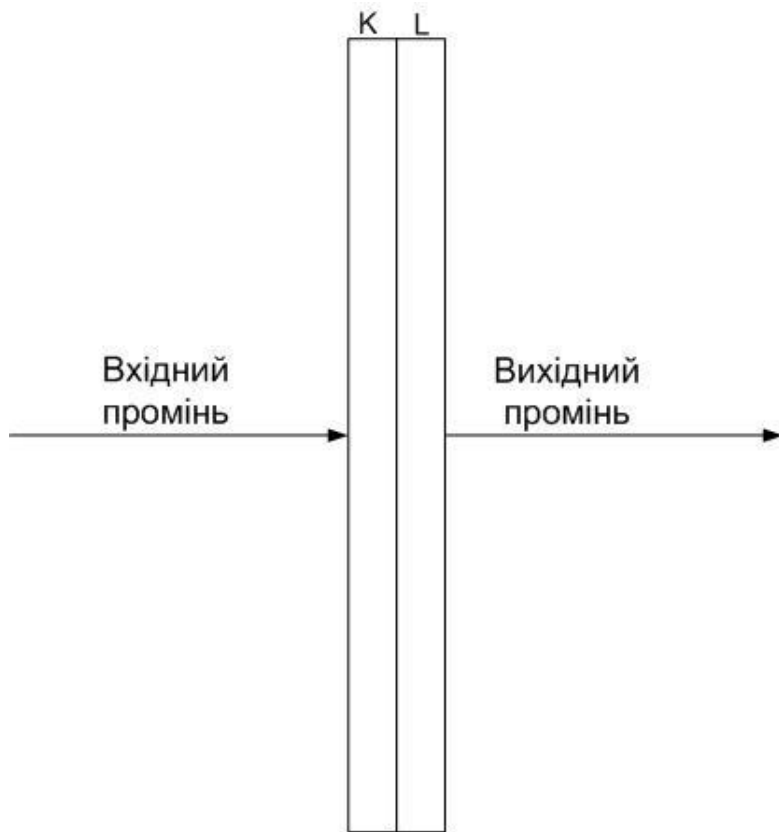
$$\{Z\}_j = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & z_{22} & z_{23} & z_{24} \\ 0 & z_{32} & z_{33} & z_{34} \\ 0 & z_{42} & z_{43} & z_{44} \end{pmatrix}$$

ρ - напрямок оптичної осі дво-променезаломлюючої фібрили;
 $\delta = 2\pi/\lambda \Delta n d$ - фазовий зсув амплітуди лазерної хвилі довжиною , що проходить крізь фібрилу з лінійним розміром d геометричного перерізу та показником Δn двопроменезаломлення .

$$z_{ik}(\rho, \delta) = \begin{cases} z_{22} = \cos^2 2\rho + \sin^2 2\rho \cos \delta; \\ z_{23;32} = \cos 2\rho \sin 2\rho (1 - \cos \delta); \\ z_{33} = \sin^2 2\rho + \cos^2 2\rho \cos \delta; \\ z_{34;43} = \pm \cos 2\rho \sin \delta; \\ z_{24;42} = \pm \sin 2\rho \sin \delta; \\ z_{44} = \cos \delta. \end{cases}$$

Постановка задачі

В кожній точці $\langle i, j \rangle$ такого зображення оптико-анізотропної властивості оптично тонкого зразка біологічної тканини описуються матрицею Мюллера



Формування добутків

MK=

mk_{11}			
			mk_{ij}

ML=

ml_{11}			
			ml_{ij}

MKL=

mk_{i1}			
			mk_{ij}

$$MK = \begin{bmatrix} mk_{11} & \cdots & mk_{14} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ mk_{41} & \cdots & mk_{44} \end{bmatrix}$$

$$ML = \begin{bmatrix} ml_{11} & \cdots & ml_{14} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ ml_{41} & \cdots & ml_{44} \end{bmatrix}$$

$$MZ^{<i,j>} = ML^{<i,j>} \times MK^{<i,j>}$$

Час обчислення добутку програмним шляхом

- Часові характеристики обчислення за допомогою сучасних програмних засобів характеризуються операційною складністю, адже час обчислення такого зображення буде рівний:

$$t = t_{\text{введ.}} + t_{\text{вивед.}} + t_{\text{обр.}}$$

- Тому, для забезпечення підвищення швидкодії необхідно застосовувати паралельні методи та засоби введення, оброблення та виведення інформації, а це можуть забезпечити лише оптико-електронні обчислювальні структури, орієнтовані на паралелізм цифрових обчислень

Паралельна модель

Тоді матрицю MK можна розглядати як складну матрицю, елементами якої є блоки:

- $$MK = \begin{bmatrix} MK_{11} & MK_{12} & \cdots & MK_{1N} \\ MK_{21} & MK_{22} & \cdots & MK_{2N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ MK_{M1} & MK_{M2} & \cdots & MK_{MN} \end{bmatrix},$$

Кожен блок має вигляд, аналогічний такому:

$$MK^{<i,j>} = \begin{bmatrix} mk_{11} & mk_{12} & mk_{13} & mk_{14} \\ mk_{21} & mk_{22} & mk_{23} & mk_{24} \\ mk_{31} & mk_{32} & mk_{33} & mk_{34} \\ mk_{41} & mk_{42} & mk_{34} & mk_{44} \end{bmatrix}$$

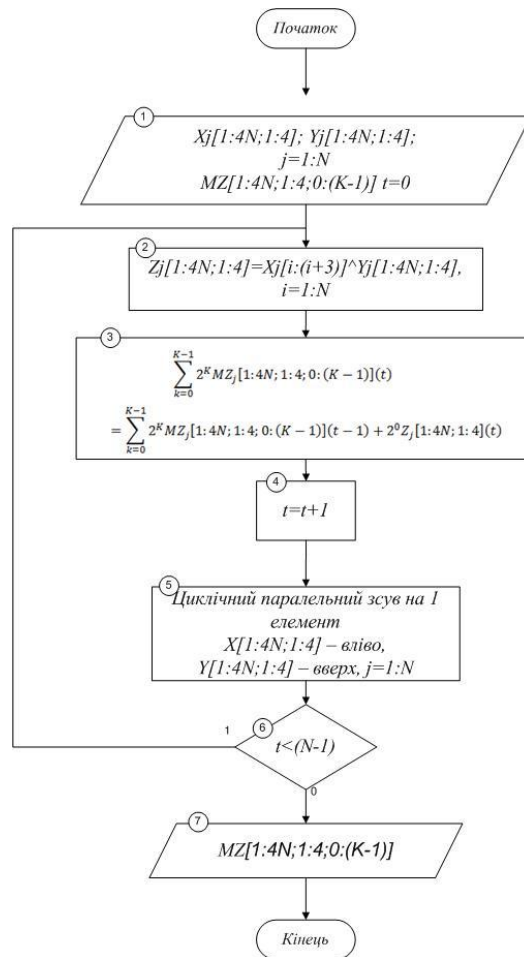
а відповідно матрицю ML :

- $$ML = \begin{bmatrix} ML_{11} & ML_{12} & \cdots & ML_{1N} \\ ML_{21} & ML_{22} & \cdots & ML_{2N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ ML_{M1} & ML_{M2} & \cdots & ML_{MN} \end{bmatrix}$$

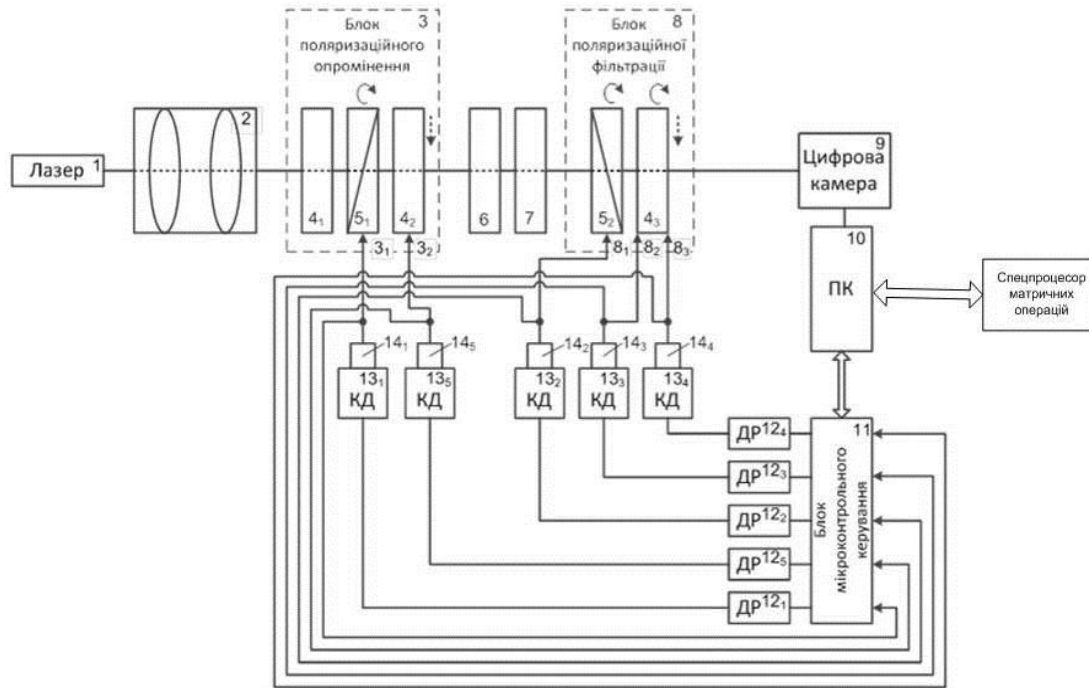
$$ML^{<i,j>} = \begin{bmatrix} ml_{11} & ml_{12} & ml_{13} & ml_{14} \\ ml_{21} & ml_{22} & ml_{23} & ml_{24} \\ ml_{31} & ml_{32} & ml_{33} & ml_{34} \\ ml_{41} & ml_{42} & ml_{34} & ml_{44} \end{bmatrix}$$

- де $M = \overline{1,1024}$; $N = \overline{1,1024}$.

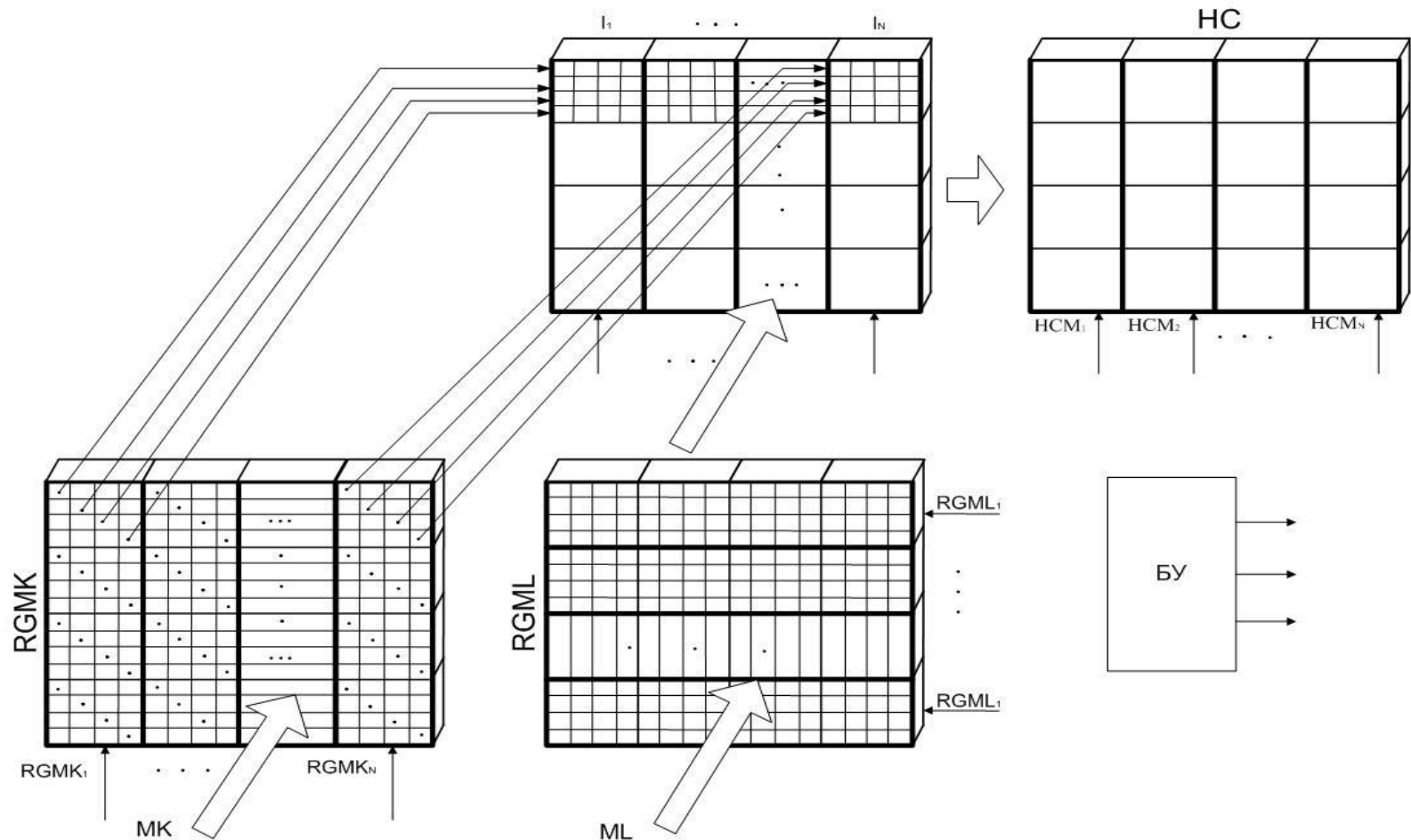
Алгоритм множення розрядних зрізів матриць Мюллера внутрішнього та зовнішнього шарів



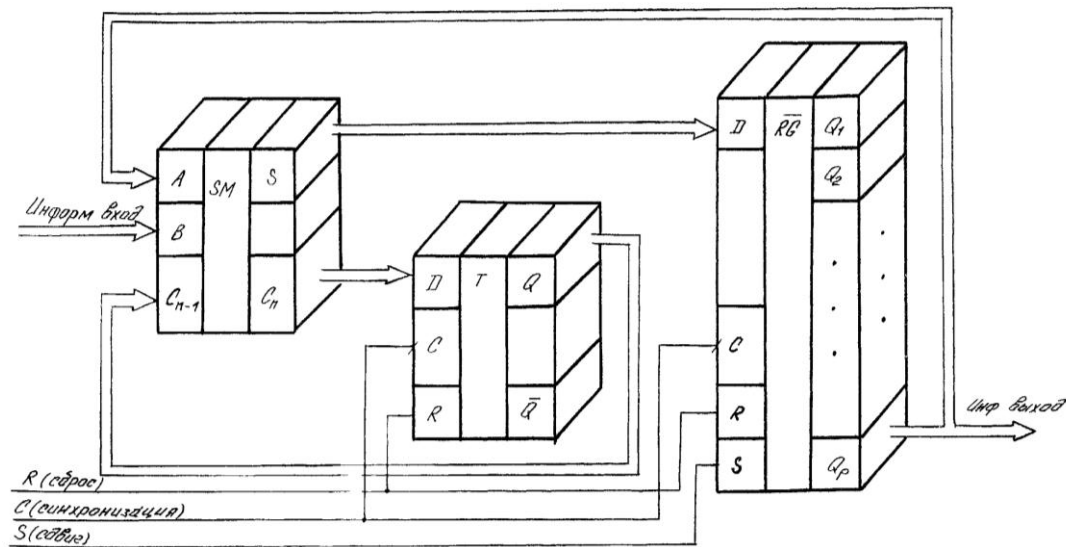
2-D оптико-електронна автоматизована система Мюллер-матричного картографування лазерних зображень



Структурна схема спецпроцесора обчислення матриці Мюллера двошарової структури на основі паралельного блочного множення матриць Мюллера окремих шарів



Структурно-функціональна схема картинного накопичувального блоку



Параметри оптично-керованих напівпровідникових транспарантів

Розмірність транспаранта, пікселів	Геометричні розміри транспаранта при 2-х вхідних променях, мм	Геометричні розміри транспаранта при 3-х вхідних променях, мм
8 × 8	0,088 × 0,04	0,128 × 0,04
16 × 16	0,176 × 0,08	0,256 × 0,08
32 × 32	0,352 × 0,16	0,512 × 0,16
64 × 64	0,704 × 0,32	1,024 × 0,32
128 × 128	1,408 × 0,64	2,048 × 0,64
256 × 256	2,816 × 1,28	4,096 × 1,28

Часові характеристики

- Отже, базовими елементами всіх блоків є оптично-керований транспарант. З урахуванням всіх характеристик накопичувального суматора загальний час T оцінюється за формулою:

$$\tau = 2LN(2L + \text{int}[\alpha \log_2(N + 1)])\tau_{\text{ОКТ}}$$

- У нашому випадку реалізуємо спецпроцесор на елементах на решітках (SEED), напівпровідникових транспарантах, матеріалом якого є GaAlAs/AlAs, час переключення такого транспаранта рівна 66 пс, введенням матриці 1024×1024 . Кількість елементів однієї лінійки – 1024, а розрядність – 8, враховуючи такі дані:

$$\tau = 2 \cdot 8 \cdot 1024 \cdot (2 \cdot 8 + \log_2 1025) \cdot 66 \cdot 10^{-12} = 28 \cdot 10^{-6} = 28 \text{ мкс}$$

- Даний метод реалізований апаратно, аналогів йому немає, адже матриці було сформовано у лінійки. Враховуючи те, що програмним шляхом множення двох великорозмірних матриць відбувається протягом 5-8 хвилин, адже велику частину часу необхідно витратити для введення та виведення результату.

Дякую за увагу 😊