

# Реалізаційна модель оптоелектронного навченого класифікатора



Виконала: ст. гр. ЛОТ-14м

Позднякова Т.Ю.

Науковий керівник: д.т.н. проф.

Мартинюк Т.Б.

# Актуальність тематики

- Магістерська робота присвячена розв'язанню актуальної наукової задачі реалізації моделі оптоелектронного навченого класифікатора. Актуальність вирішення даної задачі обумовлена, в першу чергу, бурхливим зростанням обсягів одержуваної інформації, необхідністю в якісній, максимально швидкій і повній її обробці та прийнятті достовірного рішення, а також у вирішенні проблем зберігання і передачі цієї інформації в стислій формі. Необхідність у такому розпізнаванні виникає у найрізноманітніших галузях: системах відеоспостереження, технічної діагностики, прогнозуванні і діагностиці в медицині, у плануванні, пошуку в геології, прогнозуванні у хімії та ін.
- **Метою магістерської роботи** є реалізація і дослідження моделі оптоелектронного навченого класифікатора для підвищення ефективності класифікації (ідентифікації) зображень арабських цифр.

**Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:**

- Провести аналіз сучасних тенденцій, пов'язаних із методами і засобами реалізації моделі оптоелектронного навченого класифікатора.
- Розробити ефективну модель представлення арабських цифр.
- Розробити структуру електронної частини оптоелектронного навченого класифікатора.
- Виконати моделювання процесу класифікації арабських цифр з різним рівнем спотворення.

**Об'єктом дослідження** є процес навчання та класифікації зображення арабських цифр в оптоелектронному навченому класифікаторі.

**Предметом дослідження** є методи і засоби реалізації моделі оптоелектронного навченого класифікатора, зокрема, його електронної частини.

## Наукова новизна результатів:

- Вперше запропоновано та обґрунтовано моделі подання арабських цифр з використанням поняття метрики Хемінга, що дає можливість статистично оцінити міру схожості між еталонами.
- Розроблено базу еталонних кодів (зображень) арабських цифр з найбільшою кодовою відстанню Хемінга, що дозволить збільшити ймовірність правильної ідентифікації зашумлених цифр.

**Практичне значення** отриманих результатів полягає у створенні реалізаційної моделі оптоелектронного навченого класифікатора для ідентифікації арабських цифр:

- розроблено структурну схему електронної частини оптоелектронного навченого класифікатора, яка містить процесорний елемент та пам'ять зразків, що дає можливість реалізувати як процес навчання, так і класифікації;
- розроблено також алгоритмічне та програмне забезпечення, що підтверджує достовірність реалізації процесу навчання та розпізнавання зашумлених арабських цифр (з похибкою  $\pm 28,6\%$ ) з правильністю у 100%.

У подальшому це дасть можливість використання цієї моделі для медичної діагностики та у галузях, що потребують систем розпізнавання.

- **Апробація.** Основні теоретичні та практичні результати роботи доповідались на наступних конференціях: VIII Міжнародній конференції «Сучасні міждисциплінарні дослідження: історія, сьогодення, майбутнє" (м. Київ, 2014 р.); XLIV регіональній науково-технічній конференції професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів університету (м. Вінниця, 2015 р.); VII Міжнародній конференції з оптико-електронних інформаційних технологій «Photonics-ODS» (м. Вінниця, 2015р).
- **Публікації.** На тему магістерської роботи опубліковано 8 наукових праць, у тому числі: чотири статті, що входять до переліку фахових видань України, чотири наукові роботи у збірниках тез доповідей міжнародних науково-технічних конференцій.

# Оптоелектронний нейрокомп'ютер

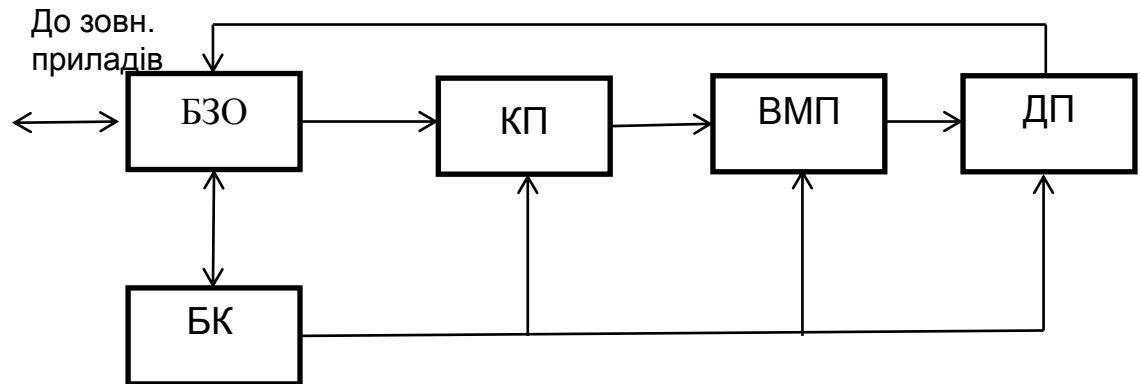
БК – блок керування

БЗО - блок завантаження і обміну

КП - пристрої кодування

ВМП - векторно-матричний помножувач

ДП – пристрій декодування



1 - матриця випромінювачів

2 - матриці сферичних лінз

3 - фотопластина

4 - матриця фотоприймачів

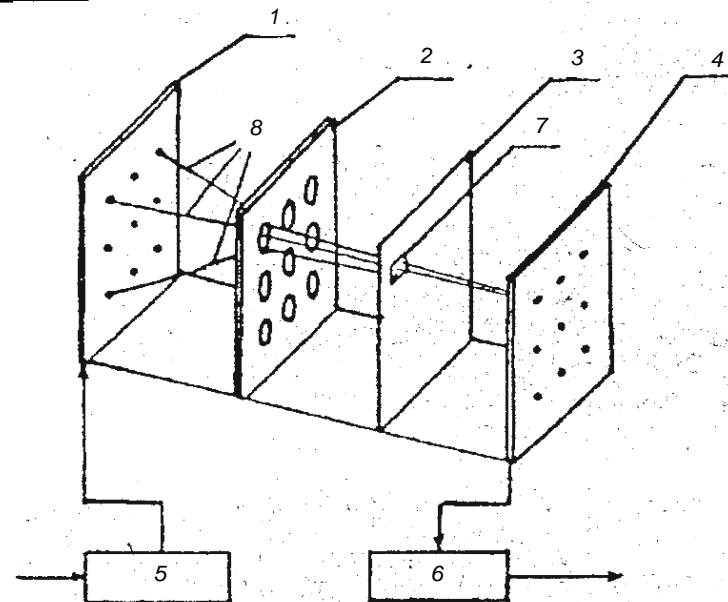
5 - вхідний блок кодування

6 - вихідний блок декодування

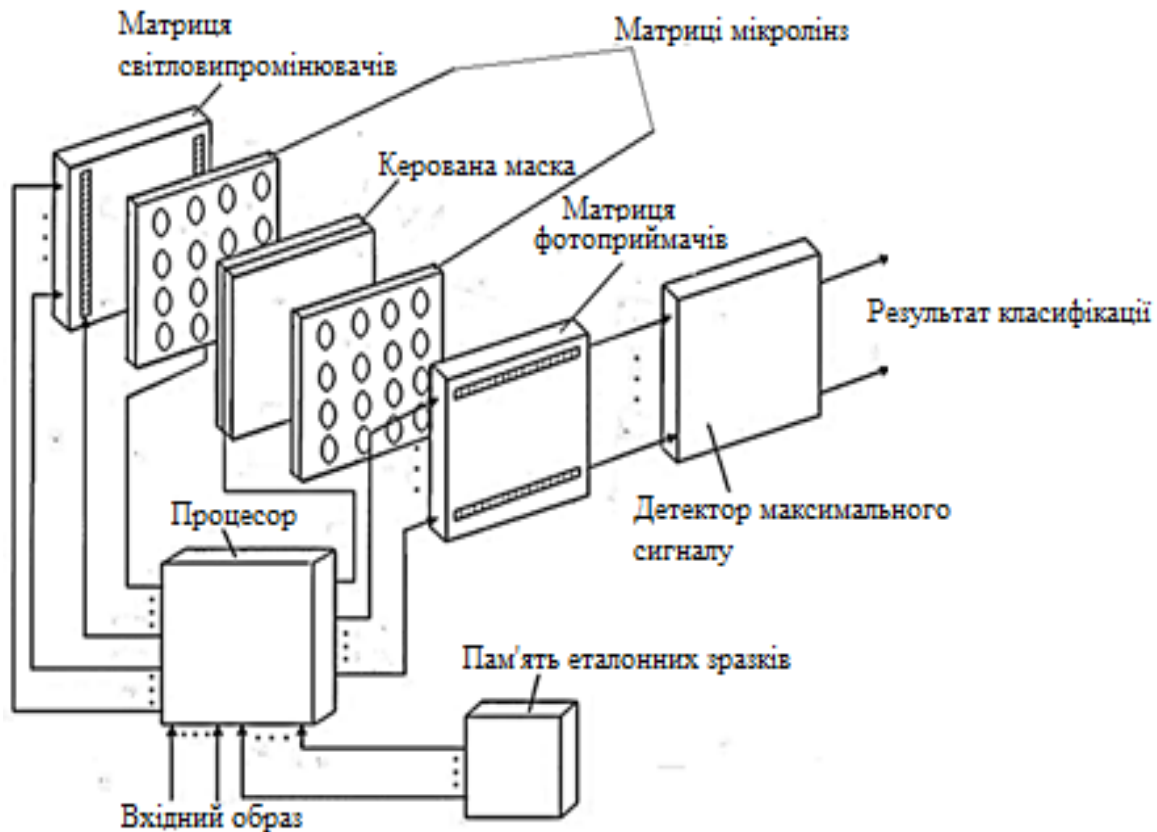
7 - шлях світлового променя

8 - зображення матриці

випромінювачів на фотопластині від однієї із сферичних лінз



# Оптоелектронний навчений класифікатор-прототип



**Режим навчання:** задіяно пам'ять еталонних зразків, процесор, оптичний тракт  
**Режим розпізнавання:** подається вхідний образ, задіяно процесор, оптичний тракт, детектор максимального сигналу



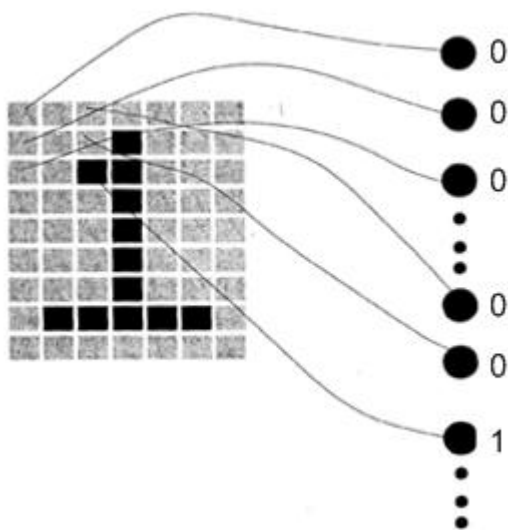
# Характеристика класифікатора

## Оптоелектронний навчений класифікатор (ОЕНК)

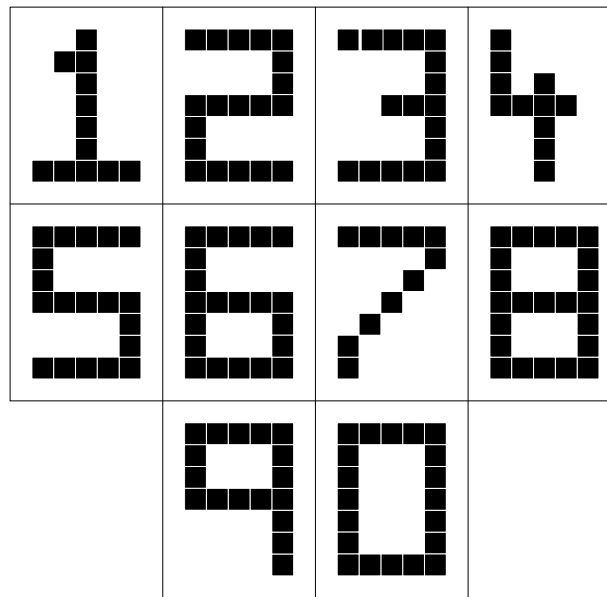
|                              |  |
|------------------------------|--|
| Процедура                    | Класифікація об'єктів (зображень)  |
| Тип системи розпізнавання    | Детермінована система з навчанням з "учителем"   |
| Міра близькості              | Дискримінантні функції як розподільчі функції між класами у просторі ознак   |
| Критерій відповідності       | Максимум дискримінантної функції   |
| Вирішальне правило           | $\Phi_i = \max \Phi_i \Rightarrow X \in C_k; i, k = \overline{1, m}$ ,<br>де $\Phi_i$ – сумарний світловий потік в $i$ -му рядку, $X$ – вхідний образ (вектор ознак),<br>$C_k$ – $k$ -й клас |
| Розмірність вхідного вектора | $n$ – кількість ознак ( $n=28$ )   |
| Множина класів               | $m$ – кількість класів ( $m=10$ )  |

# Спосіб подання образів арабських цифр для розпізнавання

Формування інформаційного вектора даних



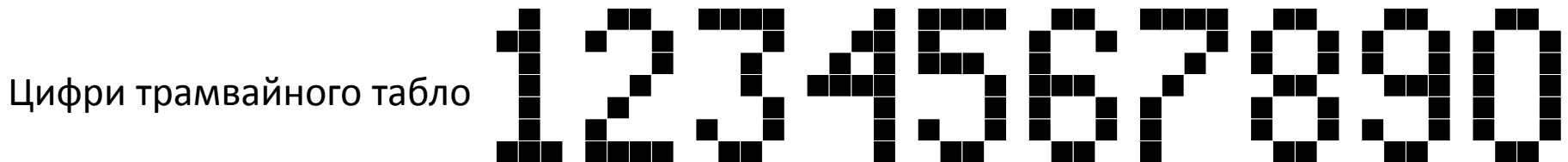
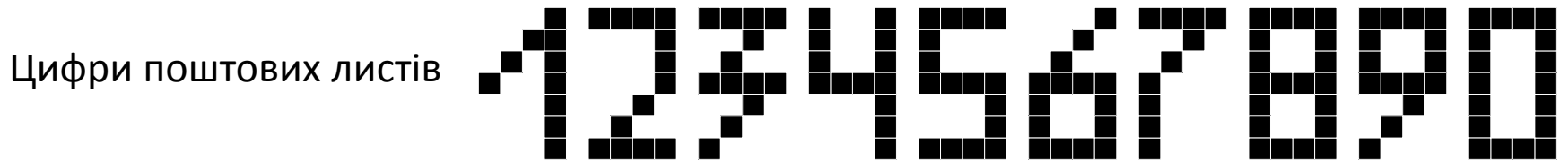
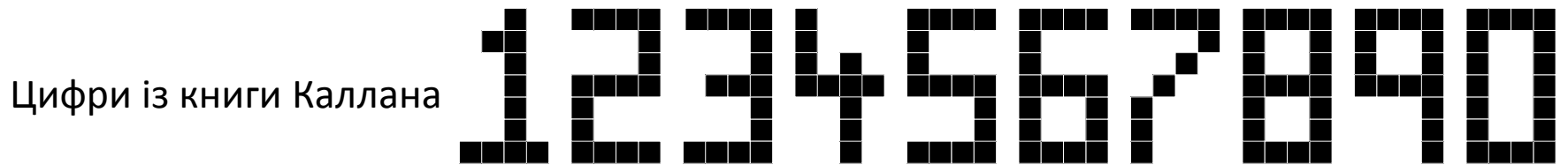
Еталони



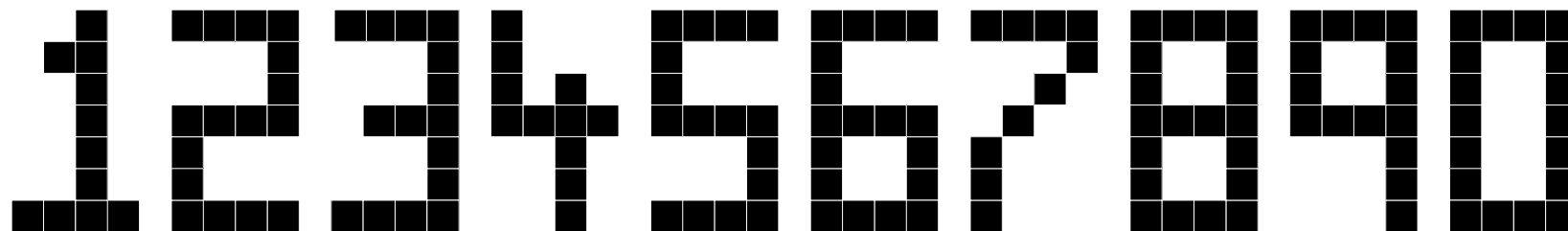
| Розмірність | Кількість об'єктів | Спосіб представлення | Спосіб кодування           |
|-------------|--------------------|----------------------|----------------------------|
| 9*7         | 10                 | Бінарний (0 та 1)    | Інформаційний вектор даних |

# Кодування арабських цифр

| Розмірність | Кількість об'єктів | Спосіб представлення | Спосіб кодування           |
|-------------|--------------------|----------------------|----------------------------|
| $7*4=28$    | 10                 | Бінарний (0 та 1)    | Інформаційний вектор даних |



# Варіант подання арабських цифр за Калланом

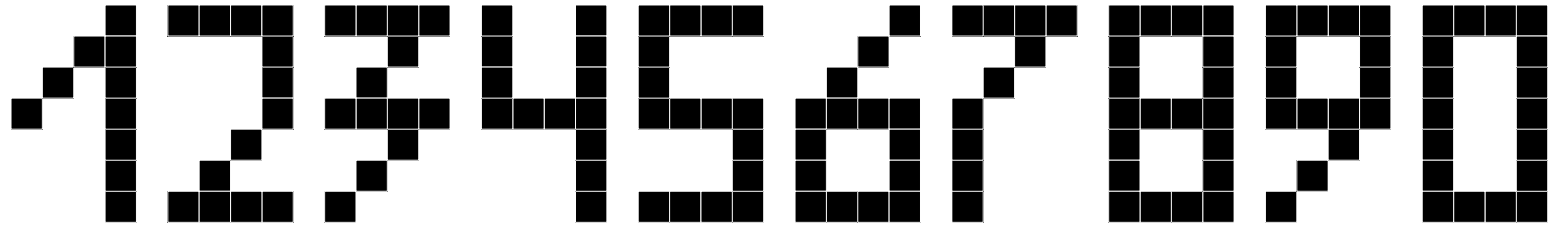


Статистичні показники неспівпадаючих пікселів  
(відстань Хемінга)

Особливості:  
-простота подання

|   | 0 | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  |
|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 0 | - | 19 | 6  | 7  | 17 | 6  | 4  | 12 | 2  | 7  |
| 1 |   | -  | 15 | 14 | 12 | 15 | 17 | 15 | 19 | 20 |
| 2 |   |    | -  | 5  | 15 | 8  | 6  | 8  | 4  | 9  |
| 3 |   |    |    | -  | 16 | 5  | 7  | 15 | 5  | 6  |
| 4 |   |    |    |    | -  | 11 | 13 | 14 | 18 | 12 |
| 5 |   |    |    |    |    | -  | 2  | 12 | 4  | 5  |
| 6 |   |    |    |    |    |    | -  | 12 | 2  | 7  |
| 7 |   |    |    |    |    |    |    | -  | 12 | 13 |
| 8 |   |    |    |    |    |    |    |    | -  | 5  |
| 9 |   |    |    |    |    |    |    |    |    | -  |

# Варіант цифр поштових листів

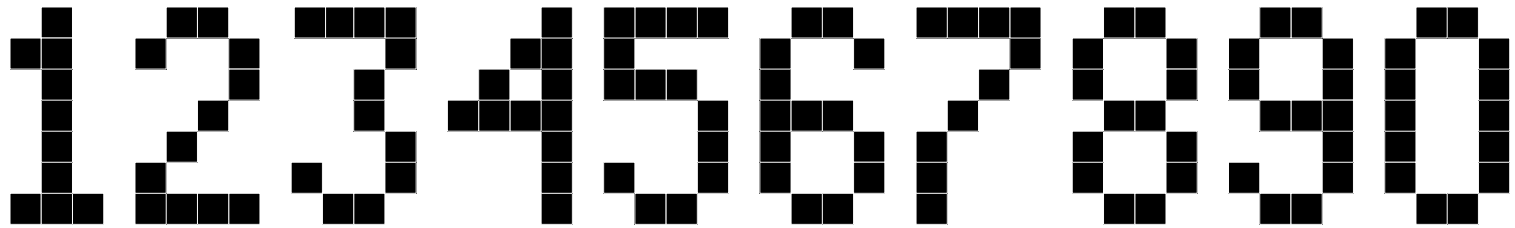


## Статистичні показники неспівпадаючих пікселів (відстань Хемінга)

Особливості:  
-висока розрізненість

|   | 0 | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  |
|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 0 | - | 12 | 11 | 17 | 9  | 6  | 11 | 12 | 2  | 11 |
| 1 |   | -  | 13 | 13 | 7  | 14 | 9  | 12 | 14 | 15 |
| 2 |   |    | -  | 10 | 14 | 11 | 16 | 13 | 11 | 8  |
| 3 |   |    |    | -  | 14 | 11 | 12 | 7  | 15 | 6  |
| 4 |   |    |    |    | -  | 7  | 12 | 15 | 7  | 8  |
| 5 |   |    |    |    |    | -  | 9  | 14 | 4  | 9  |
| 6 |   |    |    |    |    |    | -  | 11 | 9  | 17 |
| 7 |   |    |    |    |    |    |    | -  | 14 | 14 |
| 8 |   |    |    |    |    |    |    |    | -  | 9  |
| 9 |   |    |    |    |    |    |    |    |    | -  |

# Варіант цифр трамвайного табло

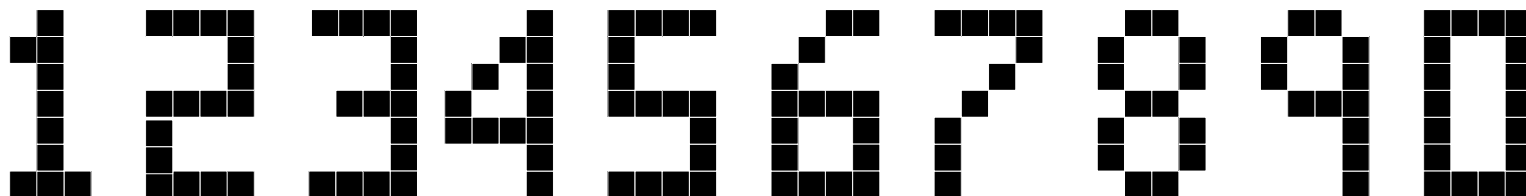


Статистичні показники неспівпадаючих пікселів  
(відстань Хемінга)

|   | 0 | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  |
|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 0 | - | 18 | 10 | 10 | 13 | 8  | 4  | 15 | 4  | 4  |
| 1 |   | -  | 13 | 12 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 2 |   |    | -  | 11 | 17 | 13 | 9  | 13 | 7  | 7  |
| 3 |   |    |    | -  | 14 | 6  | 8  | 8  | 8  | 8  |
| 4 |   |    |    |    | -  | 15 | 14 | 16 | 14 | 12 |
| 5 |   |    |    |    |    | -  | 10 | 12 | 10 | 8  |
| 6 |   |    |    |    |    |    | -  | 12 | 2  | 4  |
| 7 |   |    |    |    |    |    |    | -  | 12 | 14 |
| 8 |   |    |    |    |    |    |    |    | -  | 2  |
| 9 |   |    |    |    |    |    |    |    |    | -  |

Особливості:  
-менша наповненість

# Синтезований варіант



## Статистичні показники неспівпадаючих пікселів (відстань Хемінга)

Особливості:

- вища розрізненість
- помірна наповненість
- помірна простота подання

|   | 0 | <u>1</u> | 2  | 3        | <u>4</u> | 5        | <u>6</u> | 7  | <u>8</u> | <u>9</u> |
|---|---|----------|----|----------|----------|----------|----------|----|----------|----------|
| 0 | - | 18       | 6  | 7        | 13       | 6        | 8        | 12 | 8        | 10       |
| 1 |   | -        | 16 | 15       | 18       | 14       | 16       | 14 | 14       | 17       |
| 2 |   |          | -  | <b>5</b> | 15       | 8        | 8        | 8  | 10       | 12       |
| 3 |   |          |    | -        | 14       | <b>5</b> | 10       | 11 | 9        | 7        |
| 4 |   |          |    |          | -        | 17       | 15       | 17 | 17       | 12       |
| 5 |   |          |    |          |          | -        | 6        | 14 | 10       | 8        |
| 6 |   |          |    |          |          |          | -        | 14 | 10       | 12       |
| 7 |   |          |    |          |          |          |          | -  | 12       | 13       |
| 8 |   |          |    |          |          |          |          |    | -        | 6        |
| 9 |   |          |    |          |          |          |          |    |          | -        |

# Аналіз отриманих даних

Статистичні дані кожного із варіантів  
еталонних зображень

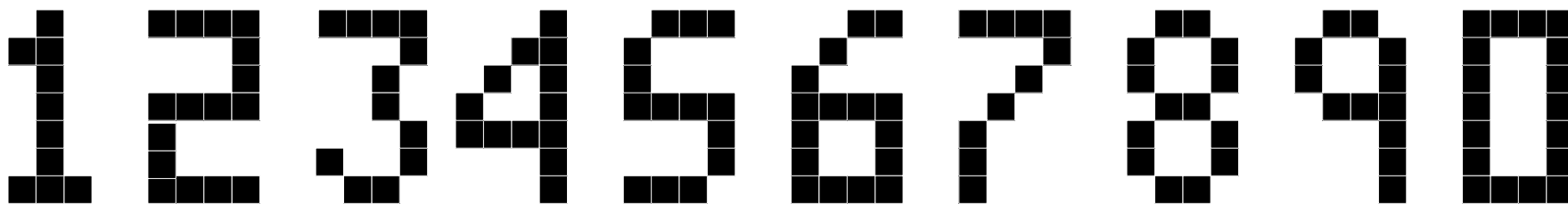
|  | 0   | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | заг. |
|--|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Варіант 1  | 8,9 | 16,2 | 8,4  | 8,9  | 14,2 | 7,6  | 7,8  | 12,6 | 7,9  | 9,3  | 10,7 |
| Варіант 2  | 10  | 12,3 | 12   | 11,8 | 10,3 | 9,4  | 11,6 | 12,4 | 9,4  | 10,9 | 11   |
| Варіант 3  | 9,6 | 15,4 | 11,1 | 9,4  | 14,6 | 10,9 | 8,8  | 13,1 | 8,3  | 8,3  | 11,1 |
| Варіант 4  | 9,8 | 15,8 | 9,8  | 9,2  | 15,3 | 9,8  | 11   | 12,8 | 10,7 | 10,8 | 11,5 |
| Заг. – середній показник кожного із запропонованих варіантів |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |

Відносні показники неспівпадіння пікселів кожного із  
варіантів еталонних зображень

|           | За мінімальним значенням |      | За мінімальною групою |       | Загальний показник |      |
|-----------|--------------------------|------|-----------------------|-------|--------------------|------|
|           | значення                 | %    | значення              | %     | Значення           | %    |
| Варіант 1 | 2                        | 7,14 | 7,6(5)                | 26,98 | 10,7               | 38,3 |
| Варіант 2 | 2                        | 7,14 | 9,4(5;8)              | 33,7  | 11                 | 39,2 |
| Варіант 3 | 2                        | 7,14 | 8,3(8;9)              | 29,8  | 11,1               | 39,7 |
| Варіант 4 | 5                        | 17,9 | 9,2(3)                | 32,9  | 11,5               | 41   |



# Оптимальна модель подання еталонних зображень



## Статистичні показники неспівпадаючих пікселів

Особливості:

- найвища розрізненість
- мала наповненість
- простота подання

|   | 0 | 1  | 2        | <u>3</u> | 4  | <u>5</u> | 6        | 7  | 8  | 9        |
|---|---|----|----------|----------|----|----------|----------|----|----|----------|
| 0 | - | 18 | <b>6</b> | 10       | 13 | 8        | 8        | 12 | 8  | 10       |
| 1 |   | -  | 16       | 12       | 18 | 16       | 16       | 14 | 14 | 17       |
| 2 |   |    | -        | 10       | 15 | 10       | 8        | 8  | 10 | 12       |
| 3 |   |    |          | -        | 17 | 10       | 12       | 8  | 8  | 12       |
| 4 |   |    |          |          | -  | 17       | 15       | 17 | 17 | 12       |
| 5 |   |    |          |          |    | -        | <b>6</b> | 14 | 8  | 8        |
| 6 |   |    |          |          |    |          | -        | 14 | 10 | 12       |
| 7 |   |    |          |          |    |          |          | -  | 12 | 13       |
| 8 |   |    |          |          |    |          |          |    | -  | <b>6</b> |
| 9 |   |    |          |          |    |          |          |    |    | -        |

# Статистичне підтвердження правильності вибору еталонів

Порівняльні статистичні дані четвертого та  
п'ятого варіанту

|  | 0    | 1    | 2    | 3   | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | заг. |
|--|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|
| Варіант 4  | 9,8  | 15,8 | 9,8  | 9,2 | 15,3 | 9,8  | 11   | 12,8 | 10,7 | 10,8 | 11,5 |
| Варіант 5  | 10,3 | 15,7 | 10,6 | 11  | 15,7 | 10,8 | 11,2 | 12,4 | 10,3 | 11,3 | 12   |
| Заг. – середній показник кожного із запропонованих варіантів |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |

Відносні показники неспівпадіння пікселів четвертого та  
п'ятого варіантів

|           | За мінімальним<br>значенням |       | За мінімальною<br>групою |       | Загальний<br>показник |    |
|-----------|-----------------------------|-------|--------------------------|-------|-----------------------|----|
|           | значення                    | %     | значення                 | %     | значення              | %  |
| Варіант 4 | 5                           | 17,86 | 9,2(3)                   | 32,94 | 11,5                  | 41 |
| Варіант 5 | 6                           | 21,4  | 10,3(0)                  | 36,9  | 12                    | 43 |

# Еталонні зображення та класи

## Матриці еталонних зображень

$$C1 := \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

$$C2 := \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

$$C3 := \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

$$C4 := \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$C5 := \begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

$$C6 := \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

$$C7 := \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$C8 := \begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

$$C9 := \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

## Матриця класів еталонів

$$M2 := \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

## Матриця еталонів зображення

|   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|
|   | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 |   |
| 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1 |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1 |
| 2 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1  | 0  | 0  | 1  | 1  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 0  | 0  | 1 |
| 3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 1  | 0  | 1  | 1  | 0  | 0  | 1  | 1  | 1  | 0  | 0  | 1  | 1  | 0 |
| 4 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1 |
| 5 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1  | 0  | 0  | 1  | 1  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 1  | 1  | 0  | 0  | 1  | 1  | 1  | 1  | 0 |
| 6 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1  | 0  | 0  | 1  | 1  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 1  | 1  | 0  | 0  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1 |
| 7 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 1  | 0  | 0  | 0 |
| 8 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1  | 0  | 0  | 1  | 1  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 1  | 0  | 1  | 1  | 0  | 1  | 0  | 1  | 0 |
| 9 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1 |

Необхідна пам'ять:  $10 \times 32 = 320$  байт, з яких  $10 \times 28 = 280$  байт мають подаватися на матрицю світлодіодів, а  $10 \times 4 = 40$  байт – на матрицю фотодіодів

# Структурна схема електронної частини класифікатора



# Програмований комутатор

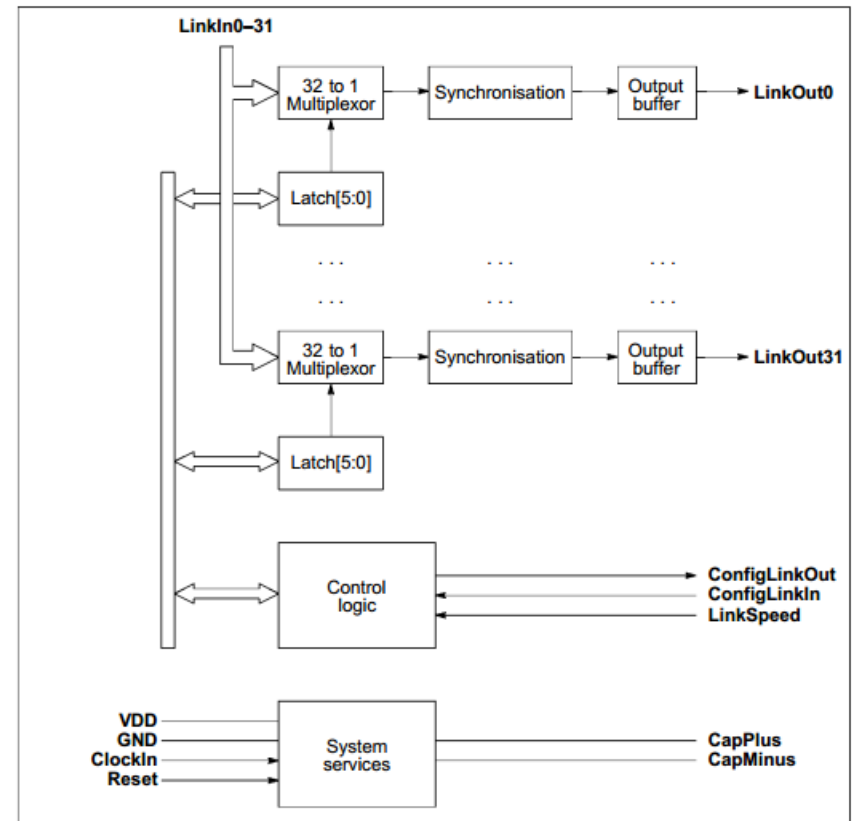
Вимоги до програмованого комутатора:

I. Розмір входних та вихідних каналів по 32

Елемент IMS C004 - повнодоступний комутатор розміром 32\*32, що допускає з'єднання одного із своїх лінків з будь-яким іншим.

Основні характеристики:

- напруга живлення: 0...7 В;
- споживча потужність: 1...2 Вт;
- діапазон швидкостей: 10...20 Мбіт/сек.;
- часові затримки : 20 нс.;
- вхідний струм: 25 мА;

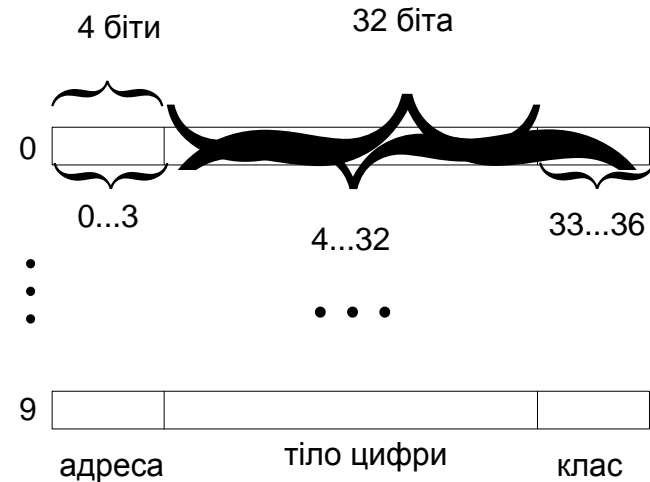


Блок-схема комутатора IMS C100

# Вимоги до базових вузлів ОЕНК

Вимоги до пам'яті:

- I. Число комірок пам'яті - 320 байта +  $\log_2 10 \cdot 10$  байта = 360 байт
- II. Електричне узгодження із іншими елементами схеми



Лінійна модель пам'яті

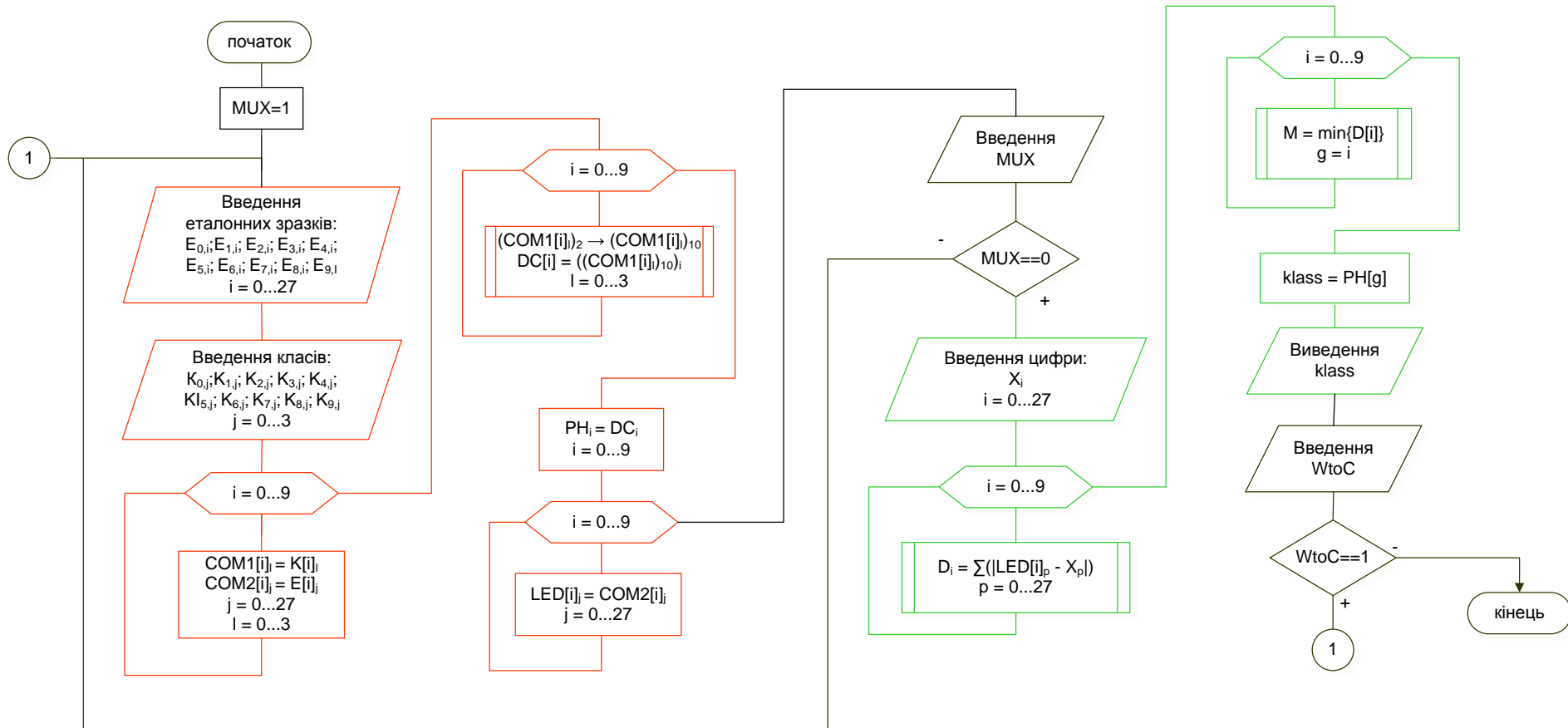
Вимоги до мультиплексора:

- I. Можливість передавання інформації у 28 біт за один раз (мін розрядність - 32)
- II. Електричне узгодження із іншими елементами схеми

Вимоги до дешифратора та лічильника:

- I. Чотирьох розрядний двійково-десятковий тип
- II. Електричне узгодження із іншими елементами схеми

# Лінійно-паралельна блок-схема алгоритму роботи класифікатора



$$t_{з. \min} = 5 + (1 + 1 \cdot M) \cdot N + 2N + 4 + 2N + (N - 1) \cdot 1 + 1 = 6N + MN + 9.$$

$N$  – кількість класів (10)  $M$  – розрядність класів (4)  
 $P$  – розрядність еталонів (28)

$$t_{з. \min} = 108.$$

# Комп'ютерна модель

## Допоміжні підпрограми

```

p := rows(C0) - 1 = 6
h := cols(C0) - 1 = 3

F(B) :=  $\begin{cases} \text{for } i \in 0..h \\ \quad \text{for } j \in 0..p \\ \quad \quad \begin{cases} D_k \leftarrow B_{j,i} \\ k \leftarrow k + 1 \end{cases} \end{cases}$ 
D

C_0 := F(C0)T      C_4 := F(C4)T
C_1 := F(C1)T      C_5 := F(C5)T      C_8 := F(C8)T
C_2 := F(C2)T      C_6 := F(C6)T      C_9 := F(C9)T
C_3 := F(C3)T      C_7 := F(C7)T

M1 := stack(C_0, C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, C_6, C_7, C_8, C_9)

```

Створення матриці еталонів  
зображення

```

function [v] = convertation (A)
% перетворення матриці у вектор
N=size(A);
k=1;
for i=1:N(2)
    for j=1:N(1)
        v(k)=A(j,i);
        k=k+1;
    end
end
end

```

Функція перетворення матриці  
вхідного образу в векторну форму



# Комп'ютерна модель

## Допоміжні підпрограми

```
K:\дипломна\navch.m
File Edit View Text Debug Breakpoints Web
[Icons]
1   % режим навчання
2   - COM1=klassu;
3   - COM2= etalonu;
4   - N=size(COM1);%10*4
5   - M=size(COM2);%10*28
6   % перетворення у десяткову систему
7   - for j=1:N(1)
8   -   i=1:N(2);
9   -   DC(j)=sum(COM1(j,i).*(2.^(4-i)));
10  - end
11  %
12  - PH=DC;
13  - LED=COM2;
```

Навчання

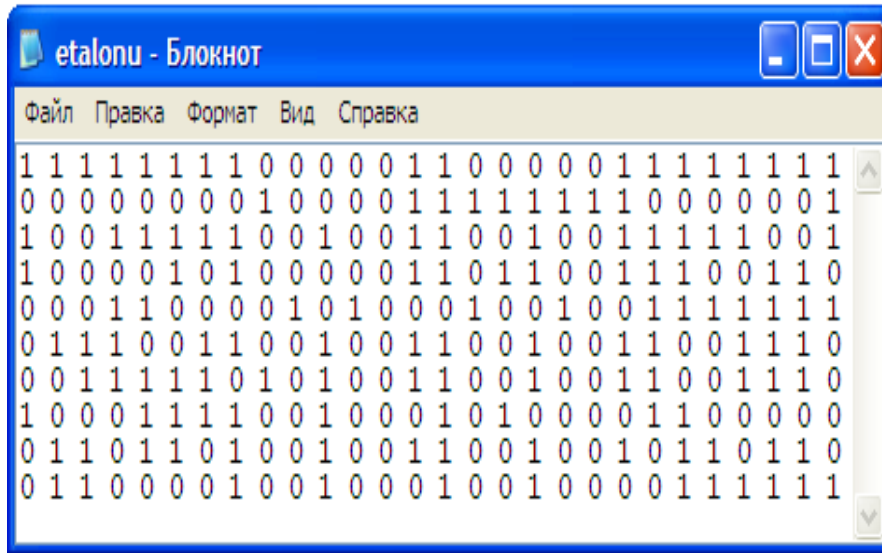
```
C:\MATLAB6p5\work\roz.m
File Edit View Text Debug Breakpoints Web
[Icons]
1   % режим розпізнавання
2   - X=cufra;
3   % відстань Хемінга
4   - for j=1:N(1)
5   -   i=1:M(2);
6   -   D(j)=sum(abs(LED(j,i)-X(i)));
7   -   end
8   % пошук мінімального значення
9   - Min=D(1);
10  - for i=2:N(1)
11  -   if (D(i)<Min)
12  -     Min=D(i);
13  -     g=i;
14  -   end
15  - end
16  - klass=PH(g);
```

Реалізація блоків

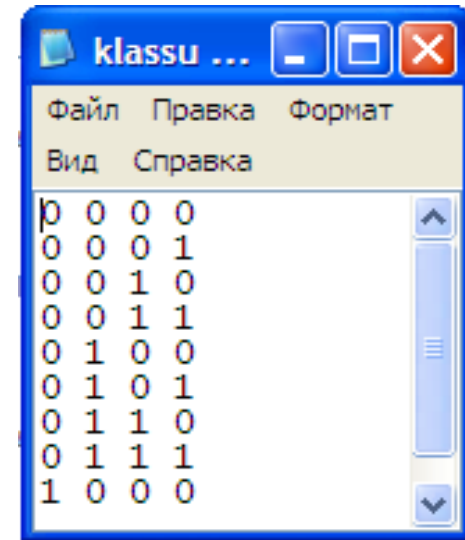
Розпізнавання

# Комп'ютерна модель

## Вхідні дані та основна програма



```
1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0 1 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0 1
1 0 0 1 1 1 1 1 0 0 1 0 0 1 1 0 0 1 0 0 1 1 1 1 1 1 0 0 1
1 0 0 0 0 1 0 1 0 0 0 0 0 0 1 1 0 1 1 0 0 1 1 1 0 0 1 1 0
0 0 0 1 1 0 0 0 0 1 0 1 0 0 0 1 0 0 1 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1
0 1 1 1 0 0 1 1 0 0 1 0 0 1 1 0 0 1 0 0 1 1 0 0 1 1 1 1 0
0 0 1 1 1 1 1 0 1 0 1 0 0 1 1 0 0 1 0 0 1 1 0 0 1 1 1 1 0
1 0 0 0 1 1 1 1 0 0 1 0 0 0 1 0 1 0 0 0 0 1 1 0 0 0 0 0 0
0 1 1 0 1 1 0 1 0 0 1 0 0 1 1 0 0 1 0 0 1 0 1 1 0 1 1 0
0 1 1 0 0 0 0 1 0 0 1 0 0 0 1 0 0 1 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1
```



```
0 0 0 0
0 0 0 1
0 0 1 0
0 0 1 1
0 1 0 0
0 1 0 1
0 1 1 0
0 1 1 1
1 0 0 0
```

Import Wizard created variables in the current workspace.

Import Wizard created variables in the current workspace.

```
B=[...];
```

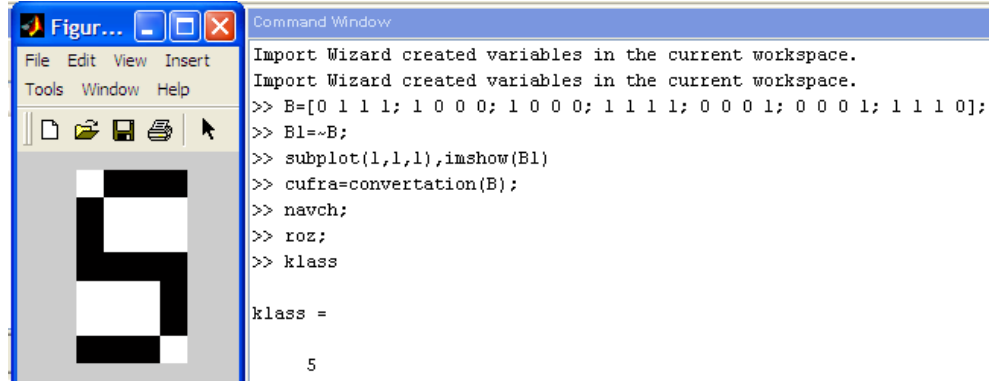
```
cufra=convertation(B);
```

```
navch;
```

```
roz;
```

```
class
```

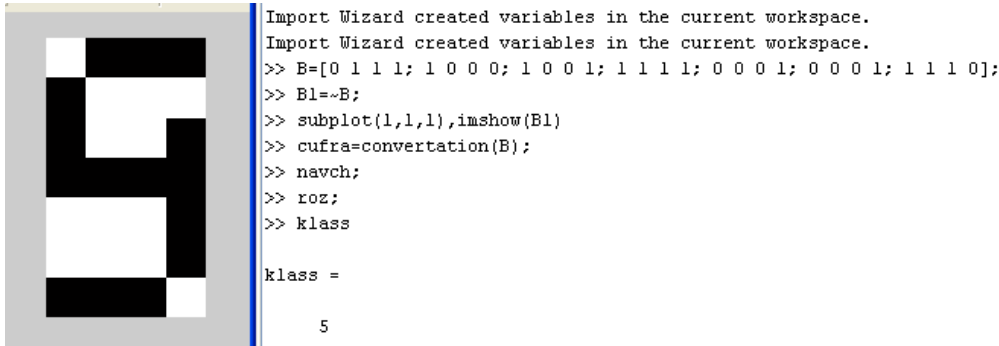
# Тестування програми



```
Command Window
Import Wizard created variables in the current workspace.
Import Wizard created variables in the current workspace.
>> B=[0 1 1 1; 1 0 0 0; 1 0 0 0; 1 1 1 1; 0 0 0 1; 0 0 0 1; 1 1 1 0];
>> B1=~B;
>> subplot(1,1,1),imshow(B1)
>> cufra=conversion(B);
>> navch;
>> roz;
>> klass

klass =

    5
```

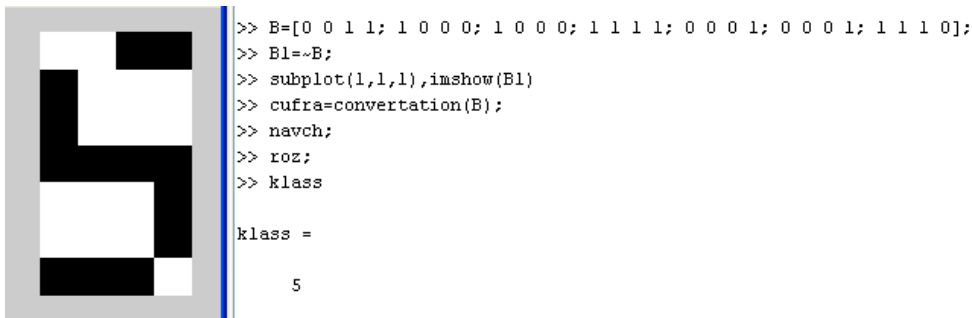


```
Import Wizard created variables in the current workspace.
Import Wizard created variables in the current workspace.
>> B=[0 1 1 1; 1 0 0 0; 1 0 0 1; 1 1 1 1; 0 0 0 1; 0 0 0 1; 1 1 1 0];
>> B1=~B;
>> subplot(1,1,1),imshow(B1)
>> cufra=conversion(B);
>> navch;
>> roz;
>> klass

klass =

    5
```

+7,14%



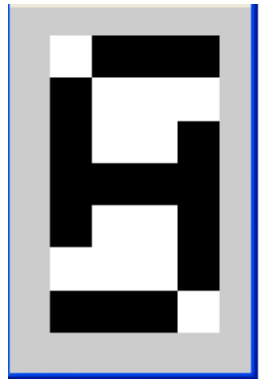
```
>> B=[0 0 1 1; 1 0 0 0; 1 0 0 0; 1 1 1 1; 0 0 0 1; 0 0 0 1; 1 1 1 0];
>> B1=~B;
>> subplot(1,1,1),imshow(B1)
>> cufra=conversion(B);
>> navch;
>> roz;
>> klass

klass =

    5
```

-7,14%

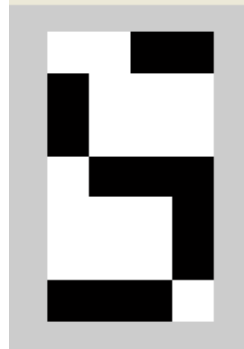
# Тестування програми



```
>> B=[0 1 1 1; 1 0 0 0; 1 0 0 1; 1 1 1 1; 1 0 0 1; 0 0 0 1; 1 1 1 0];  
>> B1=~B;  
>> subplot(1,1,1),imshow(B1)  
>> cufra=conversion(B);  
>> navch;  
>> roz;  
>> class
```

```
class =  
5
```

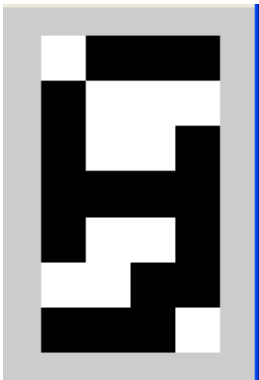
+14,3%



```
>> B=[0 0 1 1; 1 0 0 0; 1 0 0 0; 0 1 1 1; 0 0 0 1; 0 0 0 1; 1 1 1 0];  
>> B1=~B;  
>> subplot(1,1,1),imshow(B1)  
>> cufra=conversion(B);  
>> navch;  
>> roz;  
>> class
```

```
class =  
5
```

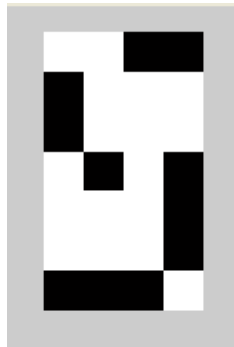
-14,3%



```
>> B=[0 1 1 1; 1 0 0 0; 1 0 0 1; 1 1 1 1; 1 0 0 1; 0 0 1 1; 1 1 1 0];  
>> B1=~B;  
>> subplot(1,1,1),imshow(B1)  
>> cufra=conversion(B);  
>> navch;  
>> roz;  
>> class
```

```
class =  
5
```

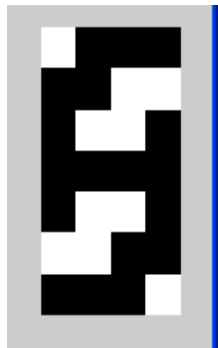
+21,4%



```
>> B=[0 0 1 1; 1 0 0 0; 1 0 0 0; 0 1 0 1; 0 0 0 1; 0 0 0 1; 1 1 1 0];  
>> B1=~B;  
>> subplot(1,1,1),imshow(B1)  
>> cufra=conversion(B);  
>> navch;  
>> roz;  
>> class
```

```
class =  
5
```

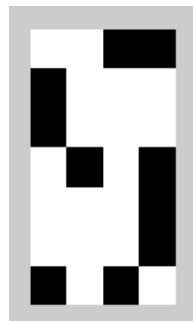
-21,4%



```
>> B=[0 1 1 1; 1 1 0 0; 1 0 0 1; 1 1 1 1; 1 0 0 1; 0 0 1 1; 1 1 1 0];  
>> B1=~B;  
>> subplot(1,1,1),imshow(B1)  
>> cufra=conversion(B);  
>> navch;  
>> roz;  
>> class
```

```
class =  
5
```

+28,6%



```
>> B=[0 0 1 1; 1 0 0 0; 1 0 0 0; 0 1 0 1; 0 0 0 1; 0 0 0 1; 1 0 1 0];  
>> B1=~B;  
>> subplot(1,1,1),imshow(B1)  
>> cufra=conversion(B);  
>> navch;  
>> roz;  
>> class
```

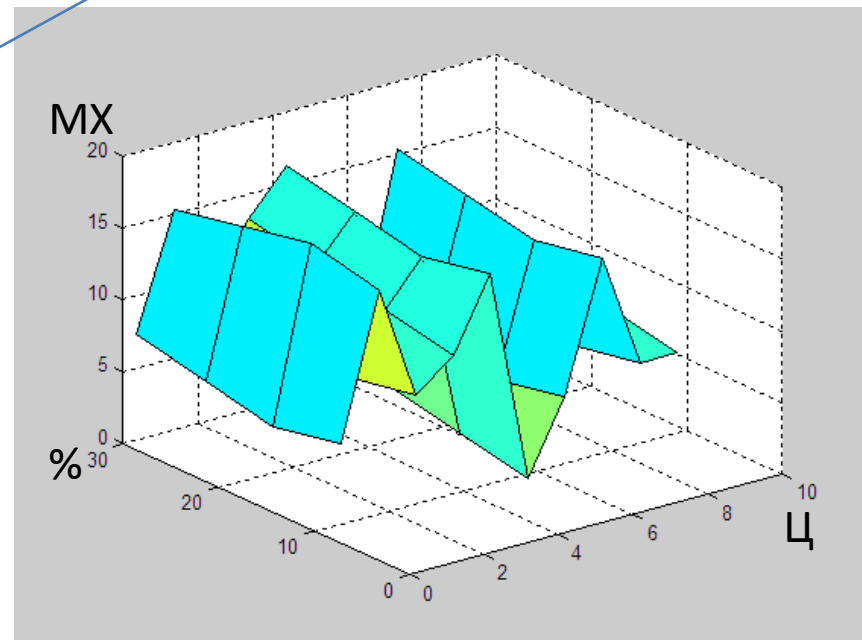
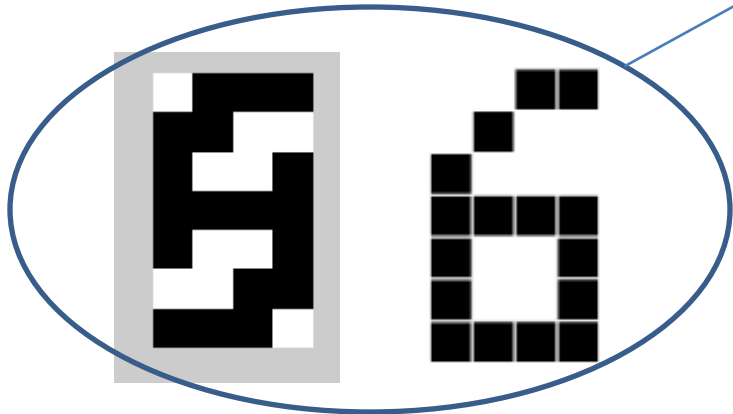
```
class =  
5
```

-28,6%

# Аналіз даних за метрикою Хемінга

Метрики Хемінга цифр з різним ступенем зашумлення.

|       | 0  | 1  | 2  | 3  | 4  | 5 | 6 | 7  | 8  | 9  |
|-------|----|----|----|----|----|---|---|----|----|----|
| 7,14  | 7  | 17 | 9  | 11 | 16 | 1 | 6 | 15 | 7  | 7  |
| -7,14 | 9  | 15 | 11 | 11 | 16 | 1 | 4 | 15 | 9  | 9  |
| 14,3  | 6  | 18 | 8  | 12 | 15 | 2 | 5 | 14 | 6  | 8  |
| -14,3 | 10 | 14 | 12 | 10 | 17 | 2 | 5 | 14 | 8  | 8  |
| 21,4  | 7  | 17 | 9  | 13 | 16 | 3 | 6 | 15 | 7  | 9  |
| -21,4 | 9  | 15 | 13 | 11 | 16 | 3 | 6 | 13 | 9  | 9  |
| 28,6  | 8  | 16 | 10 | 14 | 17 | 4 | 5 | 16 | 8  | 10 |
| -28,6 | 10 | 16 | 14 | 12 | 15 | 4 | 7 | 12 | 10 | 8  |



# Порівняльний аналіз з прототипом

| Розмірність зображення            |     | Кількість активних пікселів |    | Обраний спосіб визначення схожості |                                  | Кількість внесених пікселів |   | Відсоток внесених помилок |       | Відсоток правильної класифікації |       |
|-----------------------------------|-----|-----------------------------|----|------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|---|---------------------------|-------|----------------------------------|-------|
| с                                 | п   | с                           | п  | с                                  | п                                | с                           | п | с                         | п     | с                                | п     |
| 7*5                               | 7*4 | 19                          | 14 | Відстань Хемінга                   | Максимум дискримінантної функції | ±1                          |   | ±7.14                     | ±5.26 | 100                              | 100   |
|                                   |     |                             |    |                                    |                                  | ±2                          |   | ±14.3                     | ±10.5 | 100                              | 97.14 |
|                                   |     |                             |    |                                    |                                  | ±3                          |   | ±21.4                     | ±15.8 | 100                              | 91.4  |
|                                   |     |                             |    |                                    |                                  | ±4                          |   | ±28.6                     | ±21.1 | 100                              | 88.57 |
| с – створена модель; п – прототип |     |                             |    |                                    |                                  |                             |   |                           |       |                                  |       |

# Висновки

- Магістерська кваліфікаційна робота присвячена реалізації моделі оптоелектронного навченого класифікатора. У першому розділі визначено основні аспекти понять процесу класифікації та класифікатора. Проаналізовано стан теоретичних та практичних досліджень моделей класифікації, в особливості виділено оптоелектронний нейрокомп'ютер та оптоелектронний навчений класифікатор. Описано один із способів кодування еталонних зображень. Розглянуто можливу елементну базу для реалізації електронних блоків процесорного елементу (ПЕ) у складі навченого оптоелектронного класифікатора.
- У другому розділі визначено необхідні характеристики еталонних зображень для збільшення ефективності процесу та результату розпізнавання. Подано можливі варіанти кодування зображень як еталонних. Обрано найоптимальніше подання еталонів з найбільшим шумовим порогом, що склав 43%. Визначено необхідний об'єм пам'яті для зберігання еталонів та їх класів.
- У третьому розділі наведено структурну схему електронної частини оптоелектронного навченого класифікатора, зокрема, елементну базу для реалізації процесів електронного тракту. Виділено основні елементи ПЕ, визначено їх завдання, описано функції, сформульовано вимоги до реалізації.
- У четвертому розділі наведено лінійно-паралельний та послідовний алгоритми процесу класифікації арабських цифр. Описано та детально обґрунтовано блоки реалізації блок-схеми алгоритмів. Створено комп'ютерну модель алгоритму, описано її складові. Протестовано програму для випадків, коли в якості об'єкта розпізнавання обрано арабську цифру «п'ять» із різним ступенем зашумлення. Наведені процеси розпізнавання проаналізовано, при максимально внесеній похибці  $\pm 28,57\%$  модель показує правильні результати.

ДЯКУЮ ЗА УВАГУ!

