

УДК 681.3

В.П. КОЖЕМ'ЯКО, В.В. ДМИТРУК

АНАЛІЗ СУЧАСНИХ СИСТЕМ ОБРОБКИ ТА ВІДОБРАЖЕННЯ ЗОБРАЖЕНЬ

*Вінницький національний технічний університет**95, Хмельницьке шосе, Вінниця, 21021, Україна**Тел. +380 (432) 58-03-54; E-mail: 2vita@ukr.net*

Анотація. В статті проведено аналіз основних існуючих аналогів систем обробки та відображення зображень, що знаходять широке використання у військовій техніці, в обробці зображень, в системах штучного інтелекту, в телекомунікаційних системах та в системах технічного зору, виявлені основні їх недоліки.

Аннотация. В работе осуществлен анализ основных существующих аналогов систем обработки и отображения изображений, что находят широкое применение в военной технике, в обработке изображений, в системах искусственного интеллекта, в телекоммуникационных системах и в системах технического зрения, обнаружены основные их недостатки.

Abstract. In the given article a analysis of basic existing analogues of processing and displaying systems, that find wide use in military engineering, in processing the images, in systems of artificial intelligence, in telecommunication systems and in machine vision systems, the main deficiencies of ones established.

Ключові слова: логіко-часові середовища, гібридні обчислювальні засоби, дискретні системи відображення інформації.

ВСТУП

Сучасний розвиток науки і техніки пов'язаний з необхідністю збору великих об'ємів інформації, а ефективна і своєчасна обробка її являються однією з науково-технічних проблем. Тому обробка інформації займає центральне місце в багатьох практично важливих задачах науки і техніки. Одним із сучасних напрямків розробки обчислювальних систем, особливо систем спеціального призначення, є орієнтація на виконання операцій обробки, розпізнавання та відображення зображень, застосування ефективних методів інформаційної обробки та їх реалізацію в обчислювальних блоках [1-3].

Обробка та відображення зображень широко використовуються в таких галузях науки і техніки як криміналістика [4], локація [5-10], медицина та біологія [11,12], робототехніка [13-18], контроль матеріалів та середовищ [19].

Обробка зображень вимагає необхідності працювати з великорозмірними масивами даних за короткі проміжки часу в масштабі реального часу. Традиційні засоби обробки не дозволяють вирішити поставлену задачу в повному обсязі. Це пов'язано з проблемою введення-виведення інформації в електронно-обчислювальну машину (ЕОМ) і послідовними алгоритмами обробки кожної точки зображення. Тому цей шлях, не дивлячись на підвищення продуктивності універсальних ЕОМ, являється принципово непридатним. Існуючі традиційні електронні методи запису, збереження та обробки зображень приводять до неоднорідності і ускладнення обчислювальних систем в цілому. Тому необхідний пошук методів і засобів, який буде направлений на комплексний підхід до вирішення даної задачі.

Перспективним напрямком являється розвиток оптоелектронних (ОЕ) засобів, зокрема в області введення-виведення і перетворення інформації, основаних на матричній обробці зображень. Оптоелектронні методи дозволяють в більшості випадків спростити складні обчислювальні системи. Передбачається створення спеціалізованих ОЕ процесорів, що реалізують нові принципи обробки інформаційних масивів [20]. Багатофункціональна оптоелектроніка дозволяє реалізувати багато пристроїв, що володіють значними перевагами перед пристроями, що побудовані на традиційних електронних принципах представлення, обробки, передачі і відображення зображення. Завдяки поєднанню електричних зв'язків з оптичними вирішуються такі досить великі проблеми, як підвищення завадостійкості пристроїв, збільшення ємності зберігання, збільшення швидкості обробки і передачі

інформації [21].

При проектуванні спеціалізованих обчислювальних пристроїв обробки зображень оптоелектроніка дає можливість використовувати нові принципи передачі, перетворення, обробки, збереження і відображення зображень в реальному часі. Одним із шляхів вирішення цих задач є новий напрям оптоелектроніки – оптоелектронні логіко-часові середовища (ЛЧС), в яких поряд з електричними методами використовуються оптичні методи послідовної та паралельної обробки інформації в реальному часі [22].

Оптоелектроніка кардинально вирішує проблему підвищення швидкодії і комунікабельності при організації некогерентних процесорів паралельної оптичної обробки зображень. В цьому випадку реєстри і лічильники, що реалізують принцип квантування часу світловим променем, переходять на якісно новий степінь свого розвитку, стаючи компонентами однорідних обчислюючих середовищ у вигляді плоского чи об'ємного інтелектуального дисплея [23].

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

При створенні спеціалізованих обчислювальних систем для обробки зображень використовується природний паралелізм алгоритмів обчислень. Для розробки алгоритмів обробки зображень використовується клітинна логіка. Але операції клітинної логіки вузьконаправлені, вони використовуються в основному для вирішення задач попередньої обробки зображень. Дослідження в області клітинної логіки привели до створення ряду спеціалізованих ЕОМ, продуктивність яких значно перевищує продуктивність ЕОМ загального призначення з швидкістю $10^{10} - 10^{11}$ операцій за секунду.

Створення мікропроцесорних ЕОМ з глибоким розпаралелюванням вирішуваних задач, асоціативних паралельних процесорів, експертних і клітинних систем для вирішення інтелектуальних задач – це суттєвий успіх в обчислювальній техніці, але не вирішення задач. Потрібні нові принципи передачі, обробки і збереження інформації в реальному часі, більш досконалі у функціональному відношенні елементна база і пристрої на її основі, інші принципи мініатюризації. Одним із шляхів вирішення цих задач являється новий напрям в оптоелектроніці – оптоелектронні ЛЧС, в яких поряд з оптичними методами використовуються також оптичні методи послідовної і паралельної обробки інформації в реальному часі.

Сьогодні можна виділити декілька напрямів по обробці інформації оптоелектронними і оптичними засобами (рис. 1).

Одним із важливих підходів до створення високопродуктивних комплексів з паралельною обробкою зображень являється використання лише оптичних ефектів. Оптичні обчислювальні системи будуються на основі відомих законів оптики. До засобів оптичної обробки зображень можна відносити: лазер, голографічні просторово-часові фільтри, просторово-часові модулятори та ін.

Суттєвим недоліком таких оптичних систем є те, що до технології і юстування оптичних систем пред'являються жорсткі вимоги. Це значно звужує область їх використання і не дає радикальної переваги в продуктивності ОЕМ.

Другим напрямком використання досягнень сучасної оптики являється обробка оптичної інформації аналоговими засобами, що виконують перетворення Френеля і Фур'є з допомогою простих оптичних елементів. У всіх цих системах використовується фундаментальна перевага оптичної обробки інформації – когерентність оптичного випромінювання лазерів.

Один із нових напрямків в оптичній обчислювальній техніці – паралельна обробка інформації ОЕ гібридними обчислювальними засобами (ГОС), що об'єднують обчислювальні ресурси ЕОМ і можливості оптичних процесорів. ОЕ ГОС будуються на основі обчислювальних засобів загального призначення з розвиненими каналами введення-виведення і базовим програмним забезпеченням, що орієнтоване в основному на обробку зображень.

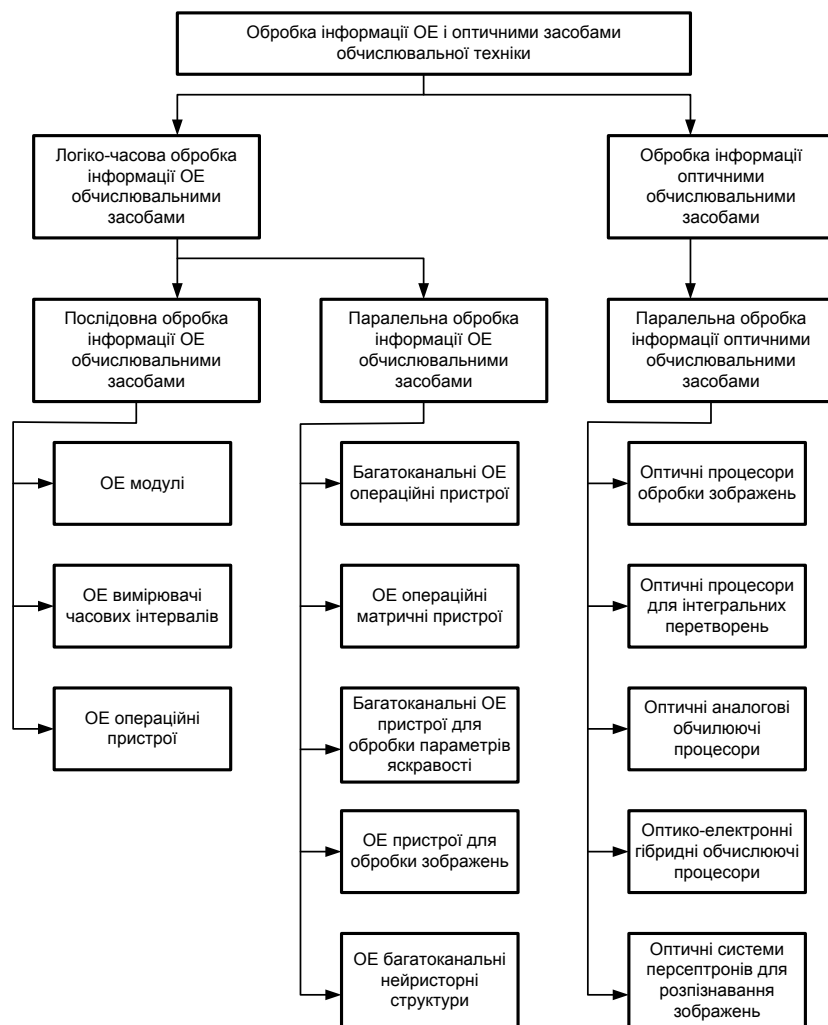


Рис. 1. Класифікація принципів обробки інформації оптоелектронними оптичними засобами обчислювальної техніки

Останнім часом велике розповсюдження отримали безлінійні оптоелектронні процесори з паралельною обробкою інформації. Такі процесори на базі матричних оптоелектронних пристроїв, виконані у вигляді мікромодулів, отримали назву електрооптичних мікропроцесорів. Однак для реалізації таких матричних електрооптичних мікропроцесорів, наприклад, з оптичним покадровим введенням-виведенням потрібні подальша розробка більш складного комплексна пристроїв, зокрема вузла паралельного оптичного введення зовнішньої інформації, і побудова оптоелектронних структур з більш досконалими принципами обробки інформації без використання трудомістких в виконанні транспарантів, на функціонування яких сьогодні накладаються жорсткі обмеження. Такими чином, в реалізації методів і засобів оптичної обчислювальної техніки є наступні серйозні недоліки принципового характеру, що значно звужують область їх використання:

- жорсткі вимоги до технології і юстування оптичних установок, великі габарити оптичних установок;
- існуючі оптично керовані транспаранти в більшості випадків не володіють потрібними характеристиками (швидкодія, роздільна здатність, технологічність).

Особливе місце в системах оптичної обробки інформації займають системи розпізнавання з навчанням – перцептрони, що реалізують коректувальні лінійні правила в просторі фіксованих, випадково вибраних ознак вхідних сигналів.

Центральне місце в класифікації (рис. 1) відводиться логіко-часовій обробці інформації оптоелектронними засобами. Більшість досліджень в даній області переносять принципи традиційної електронної обчислювальної техніки на цифрові елементи і пристрої, що використовують оптико-електронний принцип перетворення інформації. В основному автори таких досліджень використовують фактично один або в кращому випадку декілька принципів оптоелектронної обробки інформації.

Основна ідея цих досліджень зводиться до використання оптичного каналу для зменшення затримки при розповсюдженні сигналу між елементами схеми.

Друга ідея пов'язана з використанням властивостей оптоелектронних елементів – оптронів як елементів гальванічної розв'язки. Сфери подібного використання оптронів вузькоспеціалізовані – це зв'язок блоків, виконані на різній елементній базі, зв'язок логічних мікросхем з периферійним обладнанням ЕОМ. Крім того, оптоелектронні елементи – оптрони здатні здійснювати стійкий зв'язок електричних кіл необмежено довго в строго визначеному напрямку. Ця корисна властивість використовується шляхом організації систематичної регенерації сигналів в мікроелектронних каскадах. Зазвичай в оптронах в якості джерел світла використовуються мініатюрні лампи накалювання, електролюмінісентні джерела і світловипромінюючі діоди. Сучасні світлодіоди характеризуються високими технічними характеристиками: високою яскравістю (тисячі кандел на квадратний метр), високою ефективністю перетворення електричної енергії в світлову (до одиниць люмен/ватт), високим зовнішнім квантовим виходом випромінювання (до 15 % в інфрачервоному діапазоні), сумісністю по вхідним параметрам з транзисторними мікросхемами, сумісністю по спектру випромінювання з фотоприймачами, високою швидкодією (до одиниць наносекунд), надійністю і великим строком служби (до сотень тисяч годин). Всі ці технічні параметри ставлять світлодіоди поза конкуренцією при використанні їх в оптоелектронних елементах і пристроях обчислювальної техніки.

В якості фотоприймачів в оптронах використовуються фоторезисторні, фототранзисторні, фототиристорні і фотодіодні елементи, перші три з яких інерційні. Швидкодія фотоприймачів лежить в межах: фоторезисторних – $10^{-2} - 10^{-3}$ с, фототранзисторних – $10^{-4} - 10^{-7}$ с, фототиристорних – $10^{-5} - 10^{-6}$ с, лавинних і р-і-п фотодіодних – 1 нс, а найкращих зразків – 0,02 – 0,05 нс. Фотодіоди являються швидкодіючими фотоприймачами, світлова характеристика яких строго лінійна в широкому діапазоні освітленості. В той же час основний недолік фотодіодів – малий коефіцієнт підсилення. Не дивлячись на це, оптрон типу світлодіод-фотодіод для оптоелектронних схем обчислювальної техніки є найбільш перспективним.

Ефективним шляхом використання переваг паралельної обробки інформації є використання волоконно-оптичних ліній зв'язку (ВОЛЗ). Для передачі і обробки оптичних сигналів запропоновано світловоди, джгути з великою кількістю світловедучих волокон, оптичні колектори. ВОЛЗ дозволяють здійснювати масштабування зображень, закрутка шару світловода дозволяє здійснювати поворот зображення на певний попередньо заданий кут. Всі ці перераховані волоконно-оптичні елементи необхідні при реалізації паралельної передачі та обробки інформації.

На рис. 2 показано функціональну класифікація цифрової обробки зображень за цілями, задачами і апаратною реалізацією.

Перші роботи з обробки інформації оптоелектронними обчислювальними засобами з'явилися в кінці 60-х – на початку 70-х років. В основу роботи дискретних оптоелектронних послідовних пристроїв покладений принцип квантування часу світловим променем, що несе в своїй тривалості інформацію. Такі оптоелектронні послідовні структури отримали назву багатофункціональні оптоелектронні модулі (БФОЕМ). Оптоелектронний модуль, являючись багатофункціональним, виконує функції прийому, зсуву, лічби, збереження і безпосередньої візуалізації результатів обчислень. Однорідність структури БФОЕМ, досягнута висока швидкодія (спрацювання про фронту імпульсу), можливість виконання операцій лічби і зсуву вхідної інформації, а також вимірювання часових інтервалів, зовнішня індикація і пам'ять стали основною для розробки модулів обробки інформації. Але при реалізації БФОЕМ існують труднощі до часу роботи квантронів, що приводить до появи помилок типу переходів $0 \rightarrow 1$ і $1 \rightarrow 0$. Крім того, через обмежені функціональні можливості БФОЕМ, зокрема неможливості його використання при паралельній обробці великих масивів даних, виникає необхідність розробки нових принципів обробки інформації.

Такі принципи основані на використанні квантрона – індикатора з пам'яттю, що об'єднує функції елемента оптичного зв'язку і візуалізації стану електричного кола з його запам'ятовуванням. Це дає можливість в подальшому використовувати подібний квантрон – індикатор для створення плоских і об'ємних екранів для обробки інформації картинного типу.

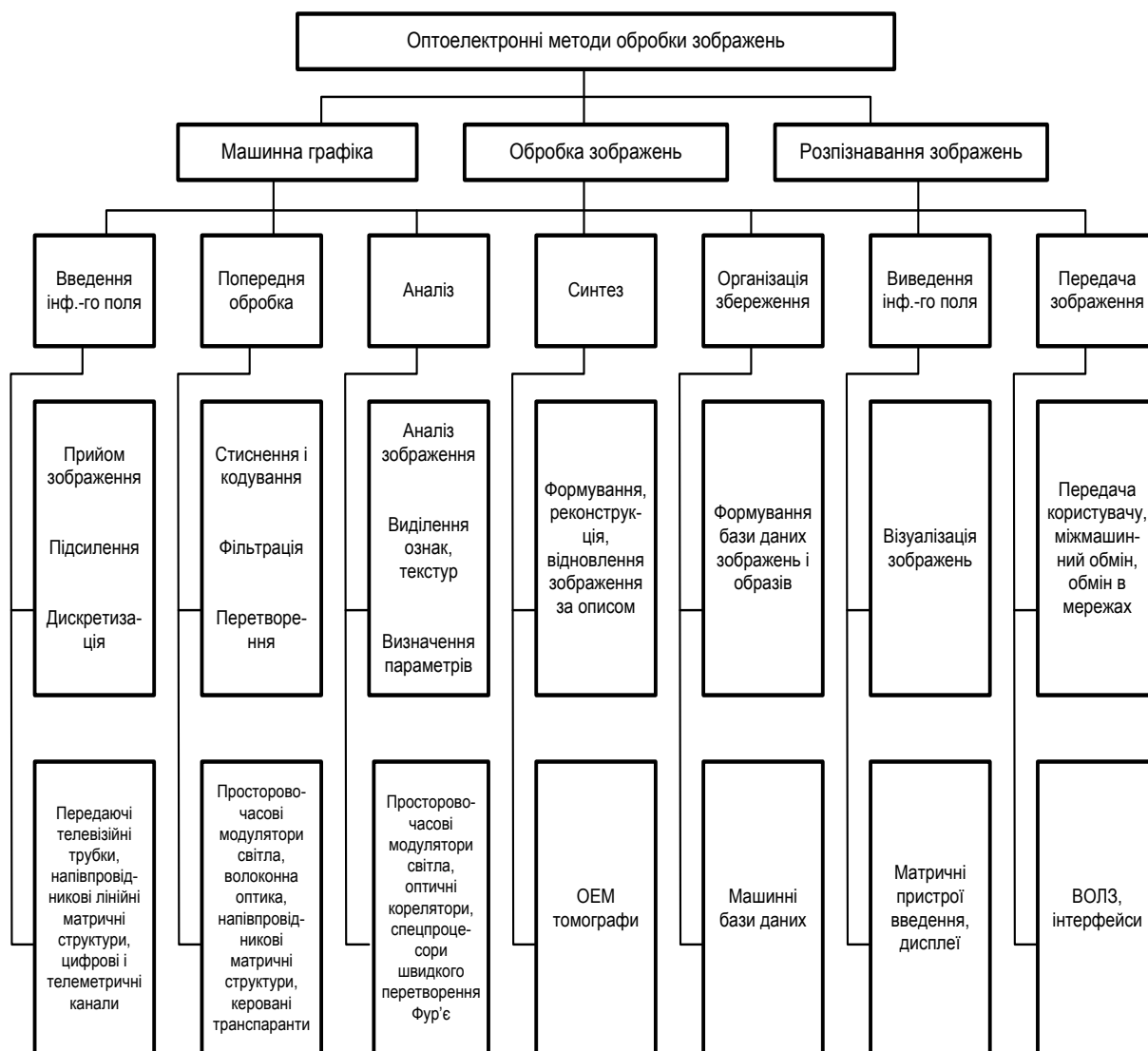


Рис. 2. Функціональна класифікація цифрової обробки зображень

Таким чином, методи і засоби оптоелектронної обчислювальної техніки мають наступні суттєві недоліки:

- послідовний характер обробки часової інформації, що приводить до суттєвого зменшення схемотехнічної швидкодії оптоелектронних обчислювальних засобів і виникнення методичної похибки результатів обробки інформації;
- обмежені можливості методів запису і обробки часової інформації, що приводять до зниження ефективності використання оптоелектронних засобів;
- невисока швидкодія оптоелектронних обчислювальних засобів, пов'язана з недосконалістю алгоритмів обробки інформації;
- методи синхронізації оптоелектронних обчислювальних засобів не дозволяють забезпечити їх надійну роботу;
- традиційні методи логічного аналізу не дозволяють в повній мірі описати часові процеси, що відбуваються в пристроях [20].

Для теорії і практики дискретних систем відображення інформації (ДСВІ) характерне різноманітність як технічних засобів, так і фізичних принципів функціонування. ДСВІ може бути підсистемою автоматизованої інформаційно-виміральної керуючої системи (АІКС), або підсистемою автоматизованої інформаційно-виміральної забезпечувальної системи (АІЗС).

На рис. 3 представлено класифікацію моделі дискретних систем відображення інформації. Класифікаційний критерій на другому рівні систем відображення інформації (СВІ) повинен задовольняти як АІКС, так і АІЗС і бути найбільш суттєвим для самої ДСВІ. Найбільш загальним критерієм на цьому рівні являється характер (тип) відображуваної інформації, оскільки складність будь-якої ДСВІ в

основному залежить від типу подачі інформації для її сприйняття користувачем. Тому ДСВІ класифікують таким чином:

- 1) системи, в яких інформація подається людині у вигляді цифр, формул та ін.;
- 2) системи, в яких інформація подається в вигляді літерно-цифрових позначень, текстів;
- 3) системи, в яких інформація подається в графічній формі;
- 4) системи з відображенням інформації в зображувальній формі (у вигляді карт, панорам місцевості та ін.).

Для ДСВІ діапазон відображуваної інформації можна звести до трьох основних типів: символна інформація (алфавіт, цифри, умовні знаки та ін.), графічна інформація (графіки, діаграми та ін.) та картинна інформація (напівтонова).

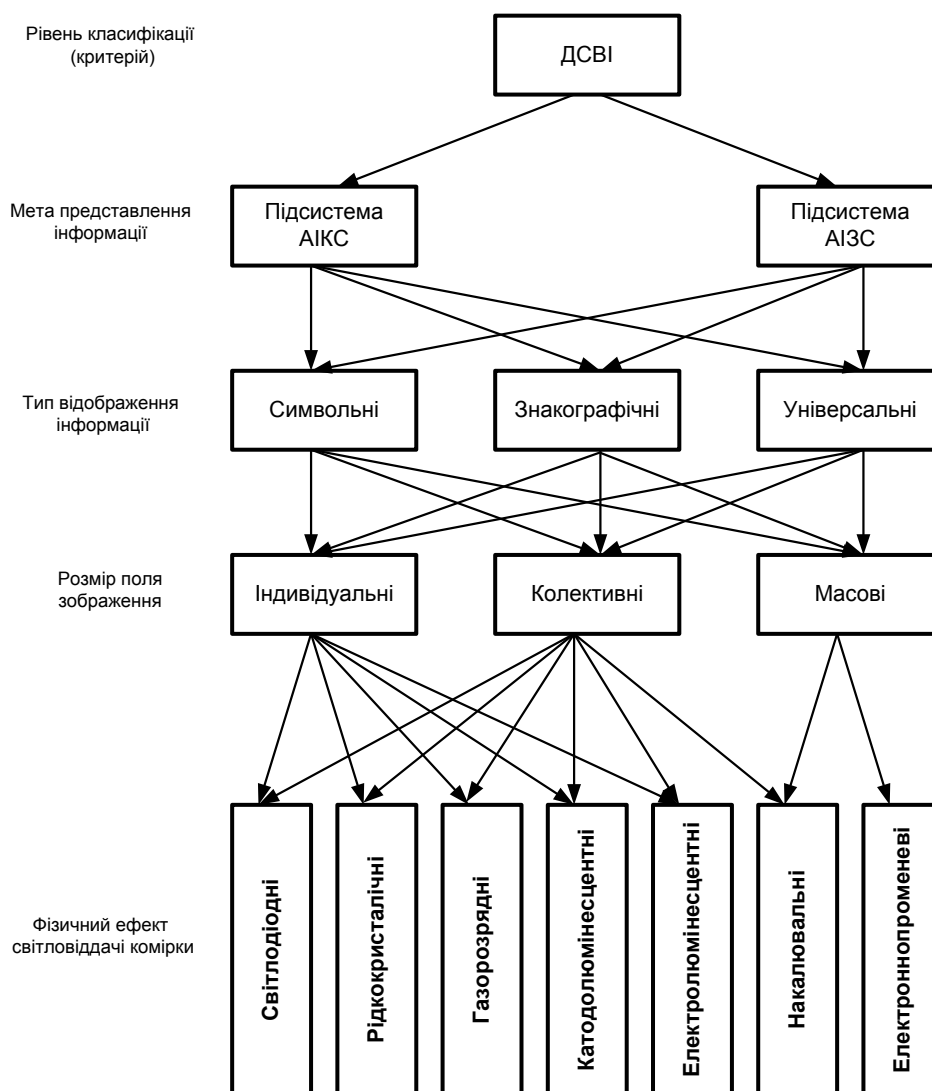


Рис. 3. Класифікаційна модель дискретних систем відображення інформації

Критерієм класифікаційної моделі ДСВІ вибраний найбільш суттєвий параметр – розмір поля зображення, що визначає технічні можливості системи, що ділить ДСВІ на індивідуальне використання (розмір поля зображення до 2 м^2), колективного використання ($4\text{-}10 \text{ м}^2$) і масового використання (40 м^2 і більше).

В індикаторах, на відміну від чисто електронних або чисто оптичних пристроїв, відбувається зміна носія інформаційних сигналів. Оптикоелектронне перетворення інформації в індикаторі – це фізичний процес, в результаті якого інформаційний сигнал, що приноситься електронами, перетворюється в інформаційний сигнал, що переноситься фотонами. Всі типи індикаторів об'єднуються в дві групи: активні, в яких відбувається перетворення електричної енергії в світлову, і пасивні, що модулюють зовнішній світловий потік під дією електричного струму.

В активних індикаторах використовуються наступні фізичні ефекти: світіння накалювальних тіл

в вакуумі, низьковольтна та високовольтна катодолюмінісценція, випромінювання газового розряду, передпробійна електролюмінісценція, інжекційна електролюмінісценція та ін. Для модуляції світлового потоку в пасивних індикаторах використовується ряд електрооптичних ефектів в рідинних кристалах.

Розглянемо найбільш розповсюджені активні і пасивні індикатори для відображення зображень на основі матричних і мозаїчних структур.

Електролюмінісцентні індикатори (ЕЛІ) основані на явищі передпробійної люмінесценції (ефект Дестріо, 1936 р.), почали випускатися з кінця 50-х років. ЕЛІ діляться на порошкові, що збуджуються як постійною, так і змінною напругою, і на тонкоплівкові, що збуджуються тільки змінною напругою.

Основою конструкції порошкового ЕЛІ являється електролюмінісцентний конденсатор, між обкладинками якого розміщується світломаса, що складається із зерен порошкоподібного люмінофора, які розміщені в діелектрику. Порошкові ЕЛІ дешеві і особливо зручні для символічних ДСВІ.

Недостатня світлова ефективність, нестабільність характеристик, малий строк служби стримують використання порошкових ЕЛІ. Більш перспективними вважаються тонкоплівкові ЕЛІ для реалізації універсальних ДСВІ. Фірма Sharp продемонструвала монохромний напівтоновий дисплей 320×240 комірок на площі $90 \times 120 \text{ м}^2$ з яскравістю світіння 85 Кд/м^2 . Виробництво тонкоплівкових ЕЛІ стримується дорогим виготовленням і порівняно невисокою яскравістю.

Вакуумні катодолюмінісцентні індикатори (ВКЛІ) з'явилися на початку 70-х років і являли собою трьохелектродні пристрої: електрони, що випускаються нагрітим катодом, прискорюються потенціалом сітки і бомбардують сегменти анода, що покриті люмінофором. Швидкому розвитку цього класу сприяли великі яскравості світіння, великий кут огляду, відсутність в конструкції дефіцитних матеріалів і як наслідок низька ціна. ВКЛІ використовуються в символічних і знакографічних ДСВІ у вигляді матричних індикаторів з висотою знака 40 і 80 мм, циліндричних індикаторів для відображення цифр, великих матричних панелях з числом елементів 32×128 і 128×128 .

Рідкокристалічні індикатори (РКІ) виникли в 70-х роках. Рідкокристалічний стан речовини характеризується одночасним сполученням властивостей рідини (текучість) і кристалу (оптична анізотропія). В якості рідинних кристалів можуть виступати тисячі органічних з'єднань. РКІ достатньо прості, тут зручно реалізуються сучасні плоскі панельні конструкції. Вартість РКІ мало залежить від їх площі – виготовляється пристрої з висотою знака від 3 до 500 мм.

РКІ властиві висока роздільна здатність, можливість отримання великої кількості градацій яскравості і роботи при високій освітленості. З іншої сторони РКІ характеризуються обмеженим кутом огляду та низькою швидкодією.

Газорозрядні індикатори (ГРІ). Основу будь-якого пристрою цього класу складає елементний газорозрядний проміжок. Запалювання і підтримування розряду вимагає високої напруги (50 – 400 В). Серед ГРІ виділяють: знакові, шкальні і матричні ГРІ (МГРІ). Найбільш розповсюджені чотири основних типи МГРІ: постійного струму з зовнішньою адресацією з пам'яттю і без неї, постійного струму з самоскануванням і змінного струму. В МГРІ постійного струму електроди знаходяться в безпосередньому контакті з газом, що дозволяє збуджувати в комірці звичайний тліючий розряд, де місяться дві інтенсивно випромінюючі області: від'ємне тліюче світіння і позитивний стовп. Ультрафіолетове випромінювання кожної з цих областей може використовуватися для збудження люмінофора.

МГРІ постійного струму з зовнішньою адресацією представляють собою двохкоординатну матрицю взаємоперпендикулярних електродів, на перетинах яких утворюються елементи відповідної елементної бази. Якщо елемент повинен запам'ятовувати інформацію, то це досягається введенням в нього резистивного струмообмежуючого елемента з використанням водневого катода, що забезпечує позитивну вольт-амперну характеристику розряду. В МГРІ постійного струму з самоскануванням забезпечується направлене перенесення підготовчого розряду. В МРГІ змінного струму електроди покриті діелектричною плівкою і в них присутній додатний стовп, що приводить до низької світлової ефективності.

Накалювальні індикатори (НІ) широко використовуються в ДСВІ завдяки простоті конструкції, високій яскравості і відмінними експлуатаційними характеристиками (довговічність, температурна і радіаційна стійкість). НІ є різних типів: від надмініатюрних з розміром балона менше 1,5 мм і світловим потоком 1 Лм, до великих розмірів балона більше 50 мм і світловим потоком $2,5 \cdot 10^4$ Лм. Кольоропередачу при використанні НІ здійснюють за рахунок використання кольорофільтрів, зокрема самі балони можливо виконувати з кольорового скла.

Електронно-променеві індикатори (трубки) (ЕПТ) представляють собою чотириелектродну конструкцію. Катод, що нагрівається ниткою накалювання, випускає термоелектрони, і коли потенціал катода менше потенціалу відсічки, термоелектрони проходять через першу і другу сітки, прискорюються

і, зіштовхнувшись з великою швидкістю з люмінофором, збуджують його. Термоелектрони при проходженні сіткового простору розсіюються і збуджують всю поверхню люмінофора. На таких ЕПТ створена ДСВІ, де кожна точка зображення представляє собою ЕПТ зі схемою керування на тригері D-типу. Основним недоліком ЕПТ є дуже висока робоча напруга – 6-10 кВ.

Світлодіодні індикатори (СДІ) володіють певною універсальністю. Принцип дії оснований на перетворенні енергії неосновних носіїв заряду, інжектованих в активну область елемента індикатора, в енергію спонтанного випромінювання в видимій області спектру. Перше виробництво дискретних світловипромінювальних діодів червоного і зеленого кольору було основане на з'єднаннях типу $A^{III}B^V$ (GaP).

В індикаторах конкретного типу необхідні розміри для зображення, кількість, розміри і конфігурація елементів світіння і їх взаємне розташування забезпечуються або визначеною топологією елементів світіння монолітного кристалу (безкорпусні багатоелементні індикатори), або певним розміщенням одноелементних або багатоелементних кристалів на основі корпусу і конструкції корпусу (герметизовані індикатори) [23].

ВИСНОВКИ

Проведено класифікацію та аналіз відомих систем для обробки зображень. Визначено, що для розробки алгоритмів обробки зображень використовується клітинна логіка. Але операції клітинної логіки вузьконаправлені, вони використовуються в основному для вирішення задач попередньої обробки зображень. Суто оптичні методи обробки інформації накладають жорсткі вимоги до технології і юстування оптичних установок, які мають надто великі габарити. Тому визначено, що необхідні нові принципи передачі, обробки і збереження інформації в реальному часі, більш досконала у функціональному відношенні елементна база і пристрої на її основі, інші принципи мінімізації. Одним із шляхів вирішення цих задач являється новий напрям в оптоелектроніці – оптоелектронні логіко-часові середовища, в яких поряд з оптичними методами використовуються також оптичні методи послідовної і паралельної обробки інформації в реальному часі.

Здійснено огляд та аналіз систем відображення інформації. Проведено поділ всіх систем на дві групи: активні, в яких відбувається перетворення електричної енергії в світлову, і пасивні, що модулюють зовнішній світловий потік під дією електричного струму. Розглянуто найбільш розповсюджені активні і пасивні індикатори для відображення зображень на основі матричних і мозаїчних структур та визначені недоліки. До найбільш вагомих недоліків можна віднести такі: недостатня світлова ефективність, нестабільність характеристик, малий строк служби, обмежений кут огляду та низька швидкодія.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Дордоев С.Э. Оптическая цифровая вычислительная техника // Зарубежная радиотехника. – 1989. - №10. – С. 16-21.
2. Акаев А.А., Дордоев С.З. Оптоэлектронная вычислительная система в остаточной арифметике для обработки изображений // Автометрия. – 1989. – №3. – С. 48 – 53.
3. К.Фу. СБИС для распознавания образов и обработки изображений: Пер. англ. – М.: Мир, 1988. – 247 с.
4. Лазор Я.І., Русин Б.П., Цибочкін В.О. Програмно-апаратний підхід до техніко-криміналістичних досліджень об'єктів з метою розкриття злочинів // Вісник Львівського інституту внутрішніх справ. – 1996. – №3. – С. 208-214.
5. Зеленский А.А., Кулелиш Г.П., Лукин В.В., Мельник В.П. Локально-адаптивные устойчивые алгоритмы обработки радио-изображений. – Х.: 1993. – 37 с.
6. Лазерная локация / И.Н. Матвеев, В.В. Протоколов, И.Н. Троицкий, Н.Д. Устинов. – М.: Машиностроение, 1984. – 272 с.
7. Распознавание образов: состояние и перспективы / К. Вархагем, Р. Дейн, Ф. Групп / Под ред. И.Б. Гуревича. – М.: Радио связь, 1985. – 104 с.
8. Селекция и распознавание на основе локационной информации / А.Л. Горелик, Ю.Л. Барабаш, О.В. Кривошеев, С.С. Эптштейн / Под ред. А.Л. Горелика. – М.: Радио и связь, 1990. – 240 с.
9. Гинзбург В.М. Формирование и обработка изображений в реальном времени: Методы быстрого сканирования. – М.: Радио и связь, 1986. – 232 с.
10. Левшин В.П. Пространственная фильтрация в оптических схемах пеленгации. - М.: Сов. радио, 1971. – 200 с.
11. Распознавание образов и медицинская диагностика / Под ред. ЮИ Неймарка. – М.: Наука, 1972. – 328 с.

12. Витгих В.А., Сергеев В.В., Соيفер В.А. Обработка изображений в автоматизированных системах научных исследований. – М.: Наука, 1982. – 216 с.
13. Гейкин В., Ерош Л., Москалёв Э. Системы распознавания автоматизированных производств. – М.: Машиностроение, 1996. – 352 с.
14. Катъс Г.П. Восприятие и анализ оптической информации автоматической системой. – М.: Машиностроение, 1986. – 414 с.
15. Машинное зрение. Тематический выпуск. ТИИЭР. – М.: Мир, 1988. – Т. 76. - №8. – 327 с.
16. Путятин Е.П., Аверин С.И. Обработка изображений в робототехнике. – М.: Машиностроение, 1990. – 320 с.
17. системы технического зрения / Под ред. Д.Е. Охочинского и В.М. Златкиса. – М.: Наука, 1991. – 200 с.
18. Техническое зрение роботов / Под ред. А. Пью – М.: Машиностроение, 1987. – 320 с.
19. Шибанов Г.П. Распознавание в системах автоконтроля. – М.: Машиностроение, 1973. – 424 с.
20. Квазиимпульсно-потенциальные оптоэлектронные элементы и устройства логико-временного типа / Свечников С.В., Кожемяко В.П., Тимченко Л.И. – Киев: Наук. думка, 1987. – 256 с.
21. Натрошвили О.Г., Кожемяко В.П., Саникидзе Д.С. Многофункциональные оптоэлектронные модули вычислительных структур. – Тбилиси: Мецниереба, 1986, – 208 с.
22. Оптоэлектронная схемотехника: Учеб. пособие / В.П. Кожемяко, О.Г. Натрошвили, Т.Б. Мартынюк, Л.Ш. Имнаишвили. – К.: УМК ВО, 1988. – 276 с.
23. Натрошвили О.Г., Кожемяко В.П., Саникидзе Д.О. Организация оптоэлектронных некогерентных процессоров ЦВМ. – Тбилиси: Ганатлеба, 1989, – 510 с

Надійшла до редакції 25.09.2008р.

КОЖЕМ'ЯКО В.П. - д.т.н., проф., завідуючий кафедри лазерної та оптоелектронної техніки
Вінницький національний технічний університет, Вінниця, Україна.

ДМИТРУК В.В. – аспірант кафедри лазерної та оптоелектронної техніки Вінницький
національний технічний університет, Вінниця, Україна.