

УДК 004; 004.02;004.35;004.9

**В. Грицик<sup>1</sup>, докт. техн. наук; В.Грицик<sup>2</sup>; докт. техн. наук;  
О.Пастух<sup>2</sup>, докт. техн. наук**

<sup>1</sup>Національний університет «Львівська політехніка»;

<sup>2</sup>Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

## **Порівняльне оцінювання розроблених інформаційних технологій для сучасних систем комп'ютерного зору**

**Резюме.** Оцінено актуальність розробки з існуючими підходами до збільшення роздільної здатності при отриманні зображення. Показано переваги запропонованого принципу при використанні у специфічних галузях. Показано результати аналізу проведеного на базі експериментів, який підтверджує, що запропонований метод має перевагу (ціна–якість) над приладами із зарядним зв'язком (матрицями ПЗЗ) при використанні повного діапазону його можливостей, тобто при надвисоких роздільних здатностях у спеціальних предметних областях. Наприклад, при мікробіологічних дослідженнях потрібна роздільна здатність може бути досягнута тільки при реалізації високих вимог до ПЗЗ елементів і відповідно до дорогих систем охолодження. У роботі показано технологію отримання образів.

**Ключові слова:** технології опрацювання зображень, покращення роздільної здатності

**V. Hrytskyk<sup>1</sup>, V.Hrytskyk<sup>2</sup>, O.Pastukh<sup>2</sup>**

## **Comparative estimation of the developed information technologies for modern computer vision systems**

**Summary.** The relevance of existing development approaches to increase the resolution of imaging is evaluated in the paper. The choice of method of entry into digital images at high resolution for further processing is particularly relevant in terms of price-quality-subject area. The advantages of the proposed principles for use in specific areas are shown.

Results of analysis conducted on the basis of experiments confirming that the proposed method has the advantage (price-quality) over charge-coupled devices (CCD matrix) using the full range of its capabilities, ie, at very high resolution in special subject areas is shown. For example, in microbiological studies required resolution can only be achieved in the implementation of high demands to the CCD elements and therefore to expensive cooling systems.

The technology with dynamic resolution (scale quality-speed) for input images is demonstrated. Technology is based on the electron vacuum tube.

Studies and tests of the actual input images (cell) sites testified that the application of the method of program- controlled raster, new schemes and technical solutions, modern components and techniques of modern digital signals processing allow to build on the basis of their effective input images in computer vision systems.

The relevance of the proposed technology on existing alternative approaches is shown in this paper. The analysis is conducted according to the criterion of price and quality. Area of the most efficient use of the technology is proposed. Efficiency of technology is increased with the increasing requirements, such as sensitivity and resolution.

The research laid the basis for the creation of non integrated systems of video-data entry, which will maximize the sensitivity up to limit opportunities.

**Key words:** technology process images, resolution improving, sensitivity, adaptive computer vision system.

**Вступ.** Проблема вибору способу введення в цифровий формат зображень з високою роздільною здатністю для їх подальшого опрацювання є особливо актуальною у розрізі ціна–якість–предметна область. Визначимо одну із систем вводу зображень (найбільш розповсюджену на 2013 рік): ПЗЗ-матриця – прилад із зарядним зв'язком (скор. від англ. CCD, «Charge-Coupled Device» [1, 2]) спеціалізована аналогова мікросхема, яка складається зі світлочутливих фотодіодів, виконаних на основі кремнію.

Введення в цифровий формат зображень за допомогою ПЗЗ-матриць полягає у стрімкому зростанні шумів при зростанні (скупченні) кількості світлочутливих елементів. Для приглушення стохастичних процесів (приглушення, зниження шумів), викликаних нагріванням, у світі використовуються як математичні методи, так і охолодження систем вводу відео при апаратному розширенні можливостей [3, 4, 5, 6, 7, 8]. З певного моменту цей підхід стає дуже дорогим для реалізації.

Однією з найважливіших характеристик системи вводу зображень є чутливість – міра здатності сприймати оптичне випромінювання. Чим вища чутливість, тим менша кількість світла потрібна для реакції реєструючого пристрою. За параметр чутливості прийнято застосовувати позначення ISO (International Standards Organization – Міжнародна організація стандартів), наприклад, ISO 400. Чим вищим є показник цього параметра, тим краще. Під реакцією окремого ПЗЗ-елемента розуміється генерація ним заряду. А чутливість цілої ПЗЗ матриці складається з чутливості усіх її пікселів і в цілому залежить від двох параметрів – інтегральної чутливості та монохроматичної чутливості. Введемо визначення[9]:

Визначення 1.

Інтегральна чутливість – це відношення величини фотона (в міліамперах) до світлового потоку (в люменах) від джерела випромінювання (іншими словами – відношення фотоструму до падаючого світлового потоку). Спектральний склад джерела випромінювання відповідає вольфрамовій лампі накалювання. Цей параметр дозволяє оцінити чутливість сенсора в цілому.

Визначення 2.

Монохроматична чутливість – відношення величини фотоструму (в міліамперах) до величини світлової енергії випромінювання (в мініелектронвольтах), що відповідає певній довжині хвилі.

Набір усіх значень монохроматичної чутливості для заданої довжини хвилі показує можливості сенсора з реєстрації відтінків певного кольору. Одиниці чутливості стандартизовані і вказуються в одиницях ISO [10]. Еквівалентна чутливість (експозиційне число) визначається як

$$\log_2(L * S / C),$$

де L – освітленість;

S – чутливість;

C – експонетрична константа

$$2 \log_2 K - \log_2 t,$$

де K – діафрагмне число;

t – витримка.

У випадку відомих L, C, K та t, маємо що

$$S = 2 * \log_2 K - \log_2 t.$$

Чутливість пікселя залежить від площі світлочутливого елемента, який підставлено під потік фотонів (*fill factor*), від квантової ефективності (*quantum efficiency*) – відношення числа зареєстрованих електронів до числа електронів, що впали на поверхню сенсора фоточутливого елемента.

Зауважимо, що на квантову чутливість впливають коефіцієнт відбиття (величина, що відображає долю тих фотонів, які відбиваються від поверхні сенсора).

Фотони, які не відбилися від поверхні сенсора, поглинаються і утворюють носії заряду (за винятком тих, що «застрягають» біля поверхні та частини, що проникає надто глибоко (залежно від довжини хвилі)).

Замість терміну «квантова ефективність» у літературі може використовуватися термін «квантовий вихід» (quantum yield), який відображає кількість носіїв заряду, що вивільняються при поглинанні одного фотона. Очевидно, що при внутрішньому фотоефекті основна маса носіїв заряду потрапляє у потенційну яму ПЗС-елемента. У чисельнику формули, що описує квантовий вихід, опиняється та кількість носіїв заряду, яка потрапила в потенційну яму.

Поріг чутливості ПЗС матриці – це параметр, що реєструє світло пристрою і характеризує мінімальну величину світлового сигналу, який може бути зареєстрований. Чим меншим є цей сигнал, тим вищий поріг чутливості. Dark current (темний струм) – це струм, який є головним чинником, що обмежує поріг чутливості. Цей струм є наслідком термоелектронної емісії й виникає в ПЗС-елементі при подачі потенціалу на електрод, під котрим формується потенціальна яма. «Темним» цей струм називають через те, що він складається з електронів, які потрапили у яму за повної відсутності світлового потоку. Якщо світловий потік є слабким, то тоді величина фотонного струму є близькою або меншою за величину «темного» струму. Існує залежність «темного» струму від температури сенсора – при нагріванні матриці на 9 градусів за Цельсієм її темний струм зростає у два рази. Для охолодження матриці використовуються різні системи охолодження (тепловідведення). У мобільних камерах масо-габаритні характеристики обмежують вибір систем охолодження, наприклад, в якості теплообмінника використовується металічний корпус камери. У стаціонарній техніці (за відсутності обмежень за масою та габаритами) допускається високе енергоспоживання охолоджувальних систем, які можна класифікувати як активні й пасивні.

Пасивні системи забезпечують відведення надлишкового тепла охолоджуючого пристрою в атмосферу. При цьому система охолодження відіграє роль провідника тепла, що забезпечує ефективніше розсіювання тепла. Отже, температура охолоджуваного пристрою не може бути нижчою за температуру оточуючого середовища. У цьому й полягає основний недолік пасивних систем охолодження. Найпростішим прикладом пасивної системи є радіатор (heatsink), який виготовляється з матеріалу, що володіє добрими теплопровідними властивостями – найчастіше з металу. Поверхня, яка контактує з зовнішнім середовищем (атмосферою), має форму, що забезпечує максимально можливу площу розсіювання.

Зауважимо, що максимальну площу розсіювання мають голкові радіатори (що за формою нагадують їжаків), часто для підвищення теплообміну поверхня радіатора обдувається вентиляторами (cooler, від англ. cool – охолоджувати).

Активні системи охолодження за рахунок електричних або хімічних реакцій забезпечують пристрою робочу температуру, нижчу за оточуюче середовище. Класичним прикладом активного охолодження є звичайний холодильник.

Популярним сьогодні є охолодження за допомогою систем Пельтьє [7], робота яких ґрунтується на використанні ефекту Пельтьє. Основний принцип його полягає у тому, що за наявності різниці потенціалів на закінченнях двох провідників, що виготовлені з різних матеріалів, на стику цих провідників (залежно від полярності напруги) буде виділятися або гаситися теплова енергія. Причиною цього явища є

прискорення або уповільнення руху електронів за рахунок контактної різниці потенціалів стику провідників.

При використанні комбінацій напівпровідників  $n$  – типу і  $p$  – типу, у яких поглинання тепла відбувається за рахунок взаємодії електронів і проходів («дир»), виникає максимальний теплопровідний ефект.

Для його підсилення застосовують каскадне об'єднання елементів Пельтьє. Але оскільки відбувається як поглинання, так і виділення тепла, то потрібно так комбінувати, щоб одна сторона була гарячою, а друга – холодною.

Активні системи охолодження, що використовують ефект Пельтьє, можуть знизити температуру впритул до нуля градусів – сильно змінюючи рівень темного струму. Зауважимо, що надмірне охолодження може призвести до випадання конденсату, а це – до виходу з ладу пристрою.

Ще донедавна ні радіатори, ні вентилятори, ні елементи Пельтьє не могли бути застосовані до мобільних систем вводу зображень (обмеження за масою і вагою). Для мобільної техніки використовувався метод чорних пікселів (dark reference pixels). Чорні пікселі – це покриті непрозорим матеріалом рядки і стовпці по краях матриці. Усереднене значення для усіх фотострумів [11, 12] чорних пікселів вважається рівнем темного струму. Оскільки за різних умов експлуатації (температура оточуючого середовища і камери, струм акумуляторів тощо) рівень темного струму буде різним, то при використанні його в якості точки відліку для кожного пікселя (тобто, віднімаючи значення темного струму від фотоструму<sup>1</sup>) визначається який саме заряд створено фотонами, що впали на поверхню ПЗЗ-елемента.

Окрім темного струму є ще один фактор, який обмежує поріг чутливості – тепловий шум (thermal noise), що створюється навіть за відсутності потенціалу на електродах, одним лиш хаотичним рухом електронів по ПЗЗ-елементі. Витримки великої довжини призводять до поступового накопичення вільних (мандруючих) електронів у потенціальній ямі, що спотворює істинне значення фотоструму. Таким чином, чим довша витримка, тим більше електронів, які заблудилися у потенціальній ямі.

Особливостями технології виробництва ПЗЗ-матриць є те, що практично у кожному ПЗЗ-елементі рівні темного і теплового струмів є відмінні від рівня темного і теплового струмів в іншому ПЗЗ-елементі. Тому рівень спотворення фотострумів паразитними зарядами розподіляється по матриці хаотичним чином (отримуємо стохастичну систему). До цього додається, практично завжди присутня, неузгодженість у подачі переміщуваних потенціалів на електроди переносу. Усе це призводить до появи у кожного окремого сенсора притаманного тільки йому шуму фіксованого розподілу (fixed pattern noise), який виражається у вигляді розкиданих по усьому кадру пікселів сторонніх кольорів. Яскравість цих кольорів напряму пов'язана з витримкою – чим довше продовжується експонування, тим різкіше виділяються на знімку точки з паразитними зарядами. Найбільш примітні пікселі називають гарячими «hot pixels». Найпростішим засобом часткової нейтралізації шуму фіксованого розподілу є зйомка останнього кадру (в серії) при закритому об'єктиві. Отриману «маску» із розкиданих на чорному фоні «гарячих пікселів» можна використати для «видалення» паразитних зарядів з кадру. Цей простий і ефективний метод став базою для апаратного розв'язку у вигляді прилушення шумів за допомогою «темного кадру» (dark frame). Більшість сучасних непрофесійних камер укомплектовані системою з наступним алгоритмом: фотоапарат спочатку робить звичайний знімок, а потім при закритому затворі зчитує

---

<sup>1</sup> **Фотострум** — електричний струм, що виникає у фотоелементі внаслідок потрапляння на нього світла.

маску, отриману з тією ж витримкою, далі співставленням визначаються пікселі-паразити. Однак, якщо рівень паразитного заряду пікселя дуже великий, тоді неможливо об'єктивно оцінити достовірність «залишків» його фотоструму, що утворилися після віднімання значень «маски». Тому метод «приглушення шумів темним кадром» модифіковано так, що при високому рівні паразитного заряду «дефектний» піксель у формуванні кадру участі не бере. Замість нього використовується інтерпольоване значення яскравості й кольору, що ґрунтується на сусідніх елементах матриці. Проблема у тому, що при зростанні кількості гарячих пікселів кадр стає розмитішим. Тому будь-яка система приглушення шумів має побічні ефекти. Зауважимо, що сьогодні використання активних систем охолодження (зокрема, смартфонів з водяним охолодженням) для мобільних пристроїв вже реальність [13]. Однак камера з роздільною здатністю в 13.1-megapixel shooter за \$1199.99 – це далеко не той показник ціни–якості, який потрібен для дослідних систем, зокрема в біології.

Авторами запропоновано [14] варіант системи вводу зображень, який дозволяє реалізувати систему з високою чутливістю, динамічною роздільною здатністю, що дозволяє реагувати на вимоги за параметром якість–швидкість, тоді як ціна залишатиметься стабільною. Такі системи можуть бути використані для ситуацій, коли у стаціонарних системах (при невисоких затратах) потрібна дуже висока роздільна здатність. Прикладом є світлова мікроскопія, де при невисокій ціні теоретично можна перетнути межі можливостей світлової й електронної мікроскопії, що дозволить досліджувати живі клітини за нових умов роздільної здатності.

**Інформаційна технологія програмно-керованих растрів.** Полягає в організації растрових розгортки безпосередньо з комп'ютера вздовж площини досліджуваної поверхні й вимірюванні інтенсивності відповідної фізичної величини в кожній точці цієї поверхні (рис.1).

Розроблена система вводу зображень побудована з використанням технології програмно-керованих растрів для введення телевізійних зображень. Для реалізації технології програмно-керованих растрів необхідна система, яка структурно складається з персонального комп'ютера, телевізійної сприймальної трубки, яка має однорідну мішень (типу відікон), двох цифроаналогових перетворювачів (ЦАП), одного аналого-цифрового перетворювача (АЦП), таймера та попереднього підсилювача.

Введення інформації за такою технологією відбувається таким способом. При закритому модуляторі трубки виконується прицілювання електронної гармати в потрібне місце на мішені сприймальної трубки. Прицілювання відбувається подачею відповідних напруг двома ЦАП за командами з комп'ютера на відхильну систему трубки. Після прицілювання за допомогою програмованого таймера відкривається на деякий час модулятор трубки. Порція електронного променя потрапляє у відповідне місце на мішені трубки, таким чином роблячи імпульсну комутацію. Мішень формує відеоімпульс, який через попередній підсилювач потрапляє на вхід пікового АЦП. Він виконує оцифровування амплітуди відеоімпульсу, його цифрове значення потрапляє в пам'ять комп'ютера і висвічується на екрані монітора у вигляді окремого пікселя.

Для отримання наступного пікселя весь алгоритм повторюється з новими значеннями координат. Пройшовши необхідну кількість точок, отримуємо повний кадр зображення.

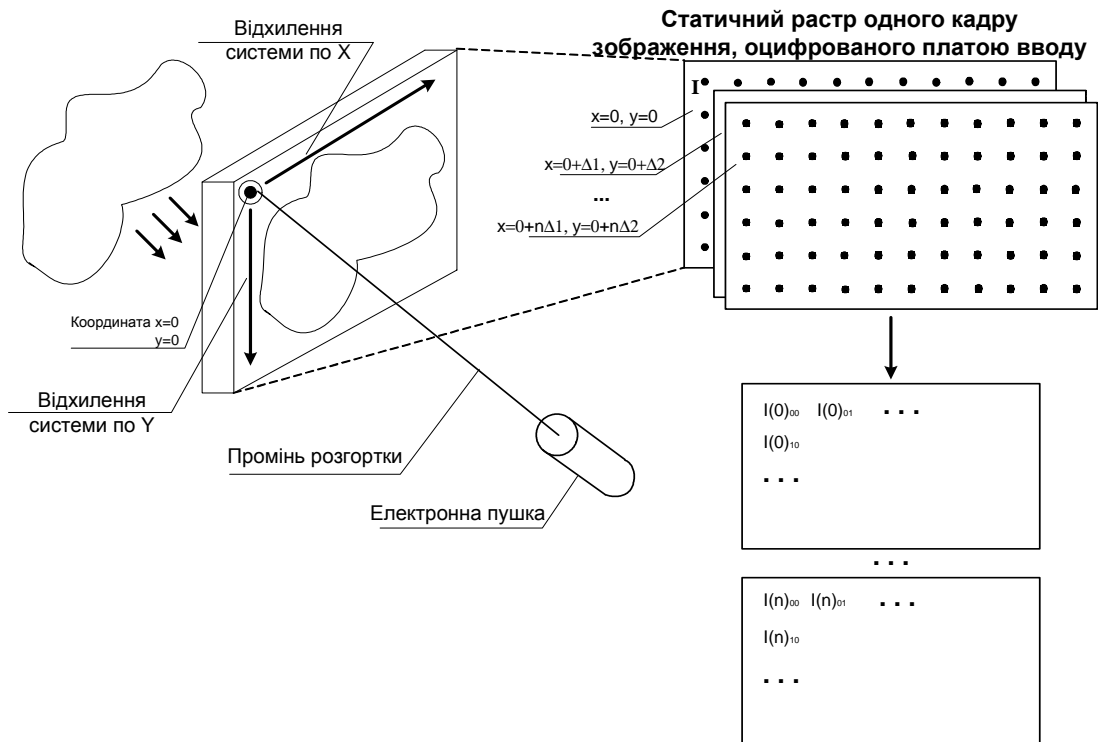


Рисунок 1. Технологія програмно-керованих растрів

Figure 1. Technology program-controlled raster

Такий підхід до введення зображення в комп'ютер дозволяє позбутися часових вимог після оцифровування амплітуди відеосигналу, які є у звичайних телевізійних системах. Стартостопна комутація надає можливість варіювати розрядність АЦП та його швидкодію. В цьому варіанті можна вибирати АЦП якої завгодно розрядності. Цим підвищується роздільна здатність за амплітудою відеосигналу.

Застосування імпульсної комутації мішені та цифрової системи розгортки з дрібним кроком напруг дозволяє також значно підвищити роздільну здатність оцифровування по координаті пікселя за рахунок перекриття зон комутації як в межах одного рядка, так і між рядками. Такий підхід дозволяє зчитувати інформацію з мішені трубки площиною значно меншою за площину електронного променя, який зчитує інформацію.

Таким чином, технологія програмно-керованих растрів дозволяє створити високоефективну систему введення телевізійних зображень з високими метрологічними характеристиками.

**Структура системи вводу зображень з високою роздільною здатністю.** Забезпечення широкого діапазону застосування, принципами побудови та технологія програмно-керованих растрів, на базі якої здійснюється ввід у комп'ютер зображень з високою роздільною здатністю в умовах низької інтенсивності сигналів, є визначальними при розробленні структури системи вводу зображень. Основою структурної організації системи вводу зображень є ядро системи та набір змінних модулів, які приєднуються до ядра системи залежно від вимог застосування. Ядро системи є постійним для всіх застосувань і має властивість розширюватися, що є основною підставою для побудови на його базі сімейства систем вводу у комп'ютер зображень різної фізико-інформаційної природи. Для системи вводу в комп'ютер зображень із високою роздільною здатністю на основі технології програмно-керованих растрів визначено, що ядро системи повинні складати такі модулі:

– модуль оцифровування відеозображення – спеціалізована карта розширення для персонального комп'ютера, призначена для оцифровування відеопотоку зовнішніх джерел відеосигналу;

– модуль цифроаналогового вводу-виводу та цифрового керування – спеціалізована карта розширення для персонального комп'ютера, призначена для аналого-цифрового, цифроаналогового перетворення зовнішніх аналогових сигналів та видачі цифрових сигналів керування.

Структура системи вводу зображень з високою роздільною здатністю на основі технології програмно-керованих растрів наведена на рис.2, 3.

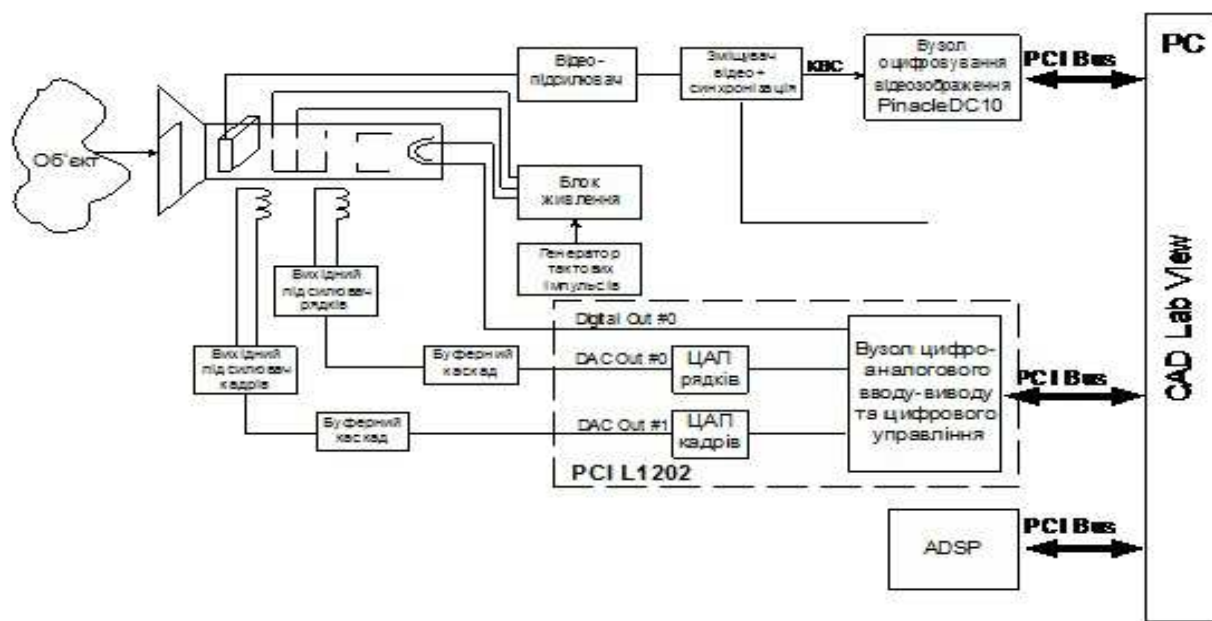


Рисунок 2. Структурна схема системи вводу зображення на основі фотоелектронного перетворювача

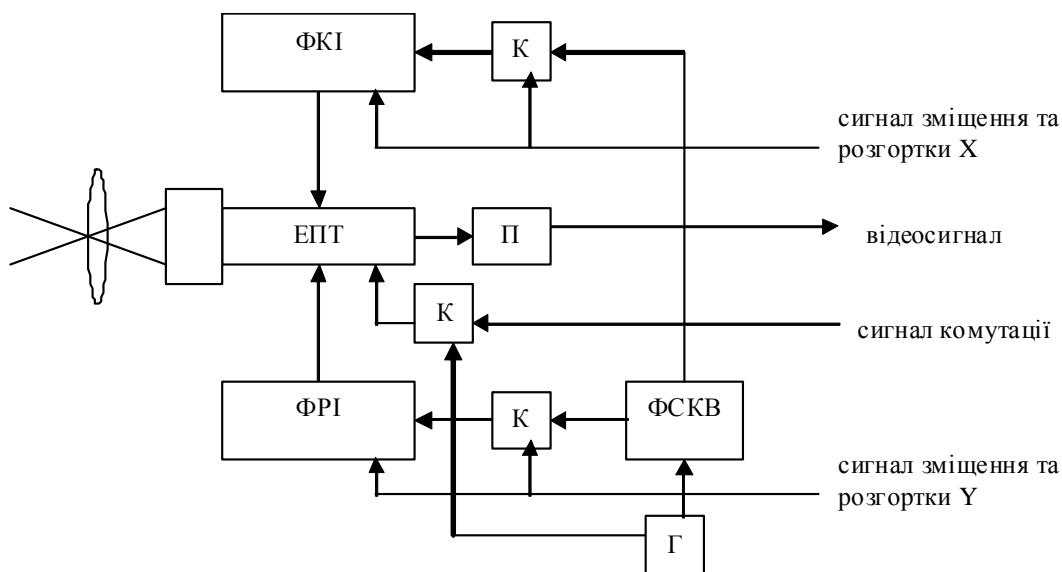
Figure 2. Block diagram of the input image based on photovoltaic transformation

### Розроблення модулів системи вводу зображень. Модуль керування растром.

Структура модуля керування растром, реалізована для телевізійної камери на базі ЕПТ та оптичної системи, наведена на рис.2.10, де П – відео підсилювач; Г – генератор; К – комутатори; ФКІ – формувач кадрових імпульсів; ФРІ – формувач рядкових імпульсів; ФСКВ – формувач сигналів комутації відікона. Використання як сприймального елемента ЕПТ дозволяє реалізувати підвищену роздільну здатність системи при застосуванні програмно-керованих растрів за рахунок однорідної структури мішені ЕПТТ. Як відомо, більшість сучасних засобів вводу оптичної інформації будується з використанням світлочутливих матриць, створених за технологією ПЗЗ та КМОН (технологія, що широко застосовується при виробництві мікросхем). У цих засобах зображення проектується на світлочутливу матрицю й оцифровується шляхом комутації кожного елемента матриці на вхід АЦП. Найкращі технічні характеристики таких систем, які відомі авторам проекту, досягнуті в цифровій фотографії. Фірма Kodak розробила цифровий фотоапарат з роздільною здатністю до 4000 x 4000 пікселів на кадр. Суттєвим обмеженням цих засобів є її матрична структура, фіксована для цього типу матриці, яка не допускає збільшення кількості світлочутливих елементів, а, отже, й підвищення роздільної здатності. На відміну від матриць ПЗЗ та КМОН мішень ЕПТ є певною мірою однорідною. Пристрої вводу зображень на основі електронно-променевої трубки (ЕПТ) використовують стандартизовану розгортку, яка забезпечує

отримання телевізійного сигналу з роздільною здатністю 625 ліній. За рахунок однорідності світлочутливої мішені ЕПТ і технологічного запасу за параметрами є можливість реалізації сканування цієї мішені, що забезпечує отримання підвищеної роздільної здатності системи.

Модуль керування растром містить ЕПТ, який сприймає зображення об'єкта спостереження, що фокусується на його мішені за допомогою оптичної системи. Перетворений електричний сигнал підсилює відеопідсилювач П і він подається на вихід модуля. Тактові імпульси з генератора Г подаються на формувач кадрових і рядкових синхроімпульсів. Ці імпульси через комутатори К подаються на формувачі ФКІ, ФРІ відповідно до кадрових і рядкових імпульсів. ФКСІ формує також сигнал комутації відікона. Ззовні на модуль керування растром надходять сигнали зміщення для керування положенням вікна сканування мішені ЕПТ. У режимі програмного сканування сигнали розгортки надходять ззовні на формувачі ФКІ, ФРІ через комутатори К.



**Рисунок 3.** Структурна схема модуля керування растром

**Figure 3.** Block diagram of the control module raster

Забезпечується низка можливих режимів сканування мішені відікона на додаток до стандартного телевізійного:

- віконний апаратний – у цьому режимі сканування мішені відбувається не по всій площині мішені, а у визначеному вікні у темпі звичайної телевізійної розгортки; розмір вікна визначається амплітудою струмів у відхилюваних котушках, а положення вікна задається зміщенням, яке отримується за допомогою зовнішніх ЦАП(X) та ЦАП(Y). Через зменшення площі сканування мішені відікона забезпечується отримання зображення підвищеної роздільної здатності. Цей режим отримується при мінімальному переробленні апаратних засобів;

- віконний програмний – у цьому режимі сканування мішені відбувається у визначеному вікні; розмір вікна та його положення визначаються за допомогою зовнішніх ЦАП(X) та ЦАП(Y). При цьому вигляд розгортки й темп сканування визначається надходженням даних з ПК, тобто розгортка є повністю програмною. Є можливість задавання різної форми розгортки. Через використання ЦАП з великою розрядністю (до 12 біт) зменшується крок сканування мішені ЕПТ і, відповідно, забезпечується отримання підвищеної роздільної здатності;



– попередній перегляд – у цьому режимі відбувається сканування на всьому полі мішені відікона програмно за допомогою зовнішніх ЦАП(X) і ЦАП(Y) через надходження даних з ПК. Цей режим застосовується для попереднього перегляду поля зору телекамери і вибору зони уваги для подальшого сканування у віконному режимі.

**Модуль оцифрування відео зображення.** Структура модуля оцифрування відеозображення, який реалізований з використанням спеціалізованої карти розширення для персонального комп'ютера, наведена на рис.6. Для забезпечення оперативності розроблена застосована промислова карта професійного оцифрування композитного відеосигналу. Карта Pinnacle Studio DC10 Plus забезпечує оцифрування композитного відеосигналу з продуктивністю до 25 кадрів (50 полів) на секунду з розміром кадру від 160x120 до 768x576 пікселів. При оцифруванні використовується компресія MJPEG з вибором рівня компресії від 3:1 до 100:1. Карта забезпечує надійну синхронізацію від зовнішнього джерела відеосигналу в широкому діапазоні рівня сигналу.

Модуль містить декодер, який забезпечує виділення з комплексного відеосигналу його складових. Сигнали синхронізації надходять у формувач CI. Сигнал зображення надходить у відео АЦП для оцифрування. Відео АЦП синхронізується синхроімпульсами CI. Дані оцифрування через схему комутації надходять на шину PCI.

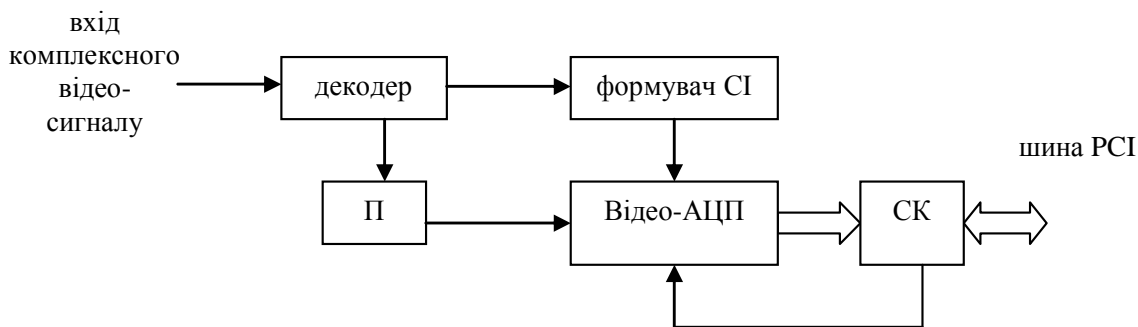


Рисунок 4. Структурна схема модуля оцифрування відео зображення

Figure 4. Block diagram of the digitizing video module

**Модуль цифроаналогового вводу-виводу та цифрового керування.** Структура модуля цифроаналогового вводу-виводу та цифрового управління, який реалізований з використанням спеціалізованої карти розширення для персонального комп'ютера, наведена на рис.5. Застосована промислова карта PCI L1202, яка забезпечує оцифрування аналогового сигналу АЦП з вхідним шістнадцятиканальним комутатором з частотою 100 кГц та розрядністю 12 бітів. Забезпечується вивід аналогових сигналів за допомогою двох вбудованих ЦАП з розрядністю 12 бітів та частотою 500 кГц. Можливий ввід і вивід цифрових сигналів із рівнем TTL на 16 входах і 16 виходах. Забезпечуються різноманітні режими програмованого вводу та виводу аналогових сигналів. Цей модуль забезпечує формування сигналів розгортки у режимі програмного вводу. Модуль забезпечує також формування сигналів зміщення положення вікна за допомогою ЦАП у режимі віконного апаратного зчитування, формування сигналів зміщення положення вікна та формування розгортки за допомогою ЦАП у режимі віконного програмного зчитування.

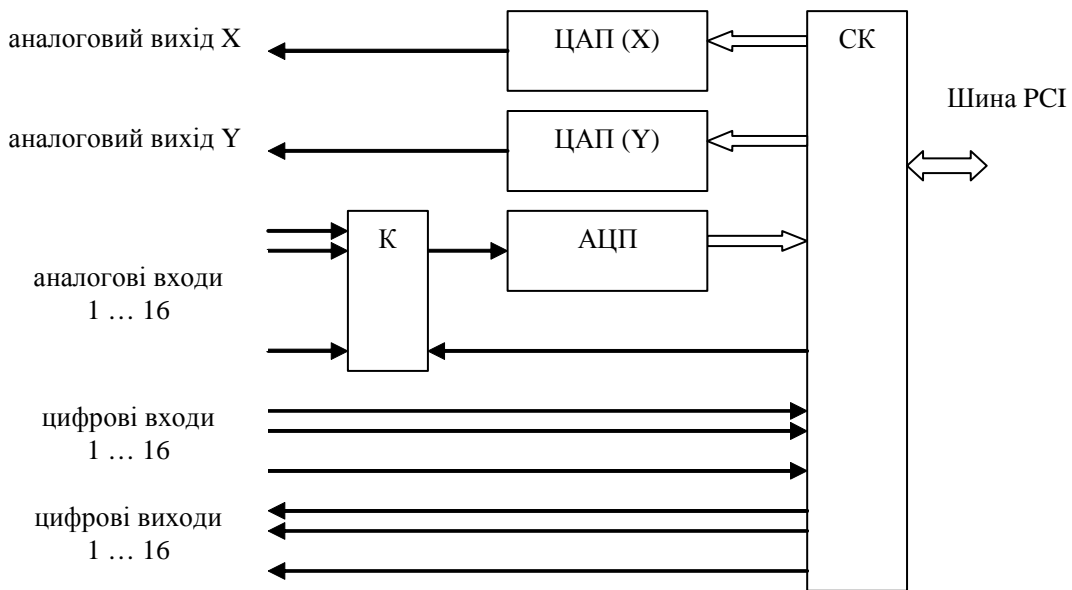


Рисунок 5. Структурна схема модуля цифро-аналогового вводу-виводу та цифрового керування

Figure 5. Block diagram of the module digital and analogue IO and digital control

**Модуль цифрового опрацювання сигналів.** Модуль цифрового опрацювання сигналів (ЦОС) (рис.6) є програмованим апаратно розширюваним процесором. Основними компонентами модуля ЦОС є програмований процесор ЦОС, який, доповнений необхідним обрамленням, утворює процесорне ядро, та реконфігуровані апаратні розширювачі, для реалізації яких використовуються репрограмовані ПЛІС. Такий підхід до побудови модуля ЦОС є перспективним, оскільки передбачає сполучення універсальних і спеціальних засобів. Процес взаємопроникнення універсального та спеціального, програмного й апаратного дозволяє створити модуль ЦОС, який ефективно реалізує алгоритми ЦОС і має широкий діапазон сфер застосування. Цей підхід передбачає розроблення, відпрацьовування та передавання конструкторської документації на процесорне ядро замовникові з наданням йому можливостей доповнення процесорного ядра необхідними додатковими функціональними вузлами. Звичайно, процесорне ядро є завершеним проектом, який конструктивно може бути реалізований у вигляді модуля або спеціалізованої напівзамовної НВІС. За кордоном такий підхід отримав назву core-технологія (core – ядро, серцевина). При такому підході проектування модуля ЦОС із заданими технічними параметрами зводиться до доповнення процесорного ядра необхідним обрамленням і до розроблення спеціалізованого програмного забезпечення для вирішення поставленого завдання.

Мікропроцесор (МП) ЦОС, на базі якого синтезується процесорне ядро, повинен мати високу швидкодію, повний набір команд загального призначення та набір команд, добре пристосованих до задач ЦОС. Проведений аналіз показав, що цим вимогам відповідають МП ЦОС сімейства TMS320 фірми Texas Instruments, які мають розвинену багатоштинну організацію, містять в собі всі основні елементи апаратури ЦОС: пристрій множення, зсувачі, ОЗП даних, швидкий АЛП, пам'ять програм тощо. За рахунок вдалих архітектурних рішень у таких МП вдалося сумістити цифрове опрацювання з реалізацією алгоритмів керування і прийняття рішення. Потрібно відзначити, що основні характеристики ПМ здебільшого визначаються особливостями архітектури й технічними характеристиками МП. До них належать: довжина інформаційного слова, яке процесор опрацьовує як одне ціле; кількість основних команд, виконання яких передбачено в МП; час реалізації основних команд; адресована

ємність пам'яті; ємність внутрішньо-кристалльної пам'яті даних і програм; кількість внутрішніх регістрів. Разом з тим, самостійно МП не відповідає вимогам, які ставляться до ПМ за ємністю пам'яті програм і даних, можливостями інтерфейсу, завадостійкістю та навантажувальною здатністю. Тому задовольнити ці вимоги можна шляхом доповнення МП такими пристроями: зовнішньою пам'яттю програм і даних; пристроєм керування, який формує сигнали завантаження, перегляду і корекції інформації у пам'яті та зовнішніх портах введення-виведення, а також здійснює синхронізацію обміну між мікропроцесором і зовнішніми пристроями; пристроєм міжпроцесорного зв'язку, який забезпечує вихід на системну магістраль; розширювачем інтерфейсу МП, який збільшує навантажувальну здатність магістралі МП.

Структура модуля ЦОС на базі МП TMS320C50 наведена на рис.6., де ПК – пристрій керування; БП – багатопортова пам'ять; ОЗП конф. – пам'ять конфігурацій.

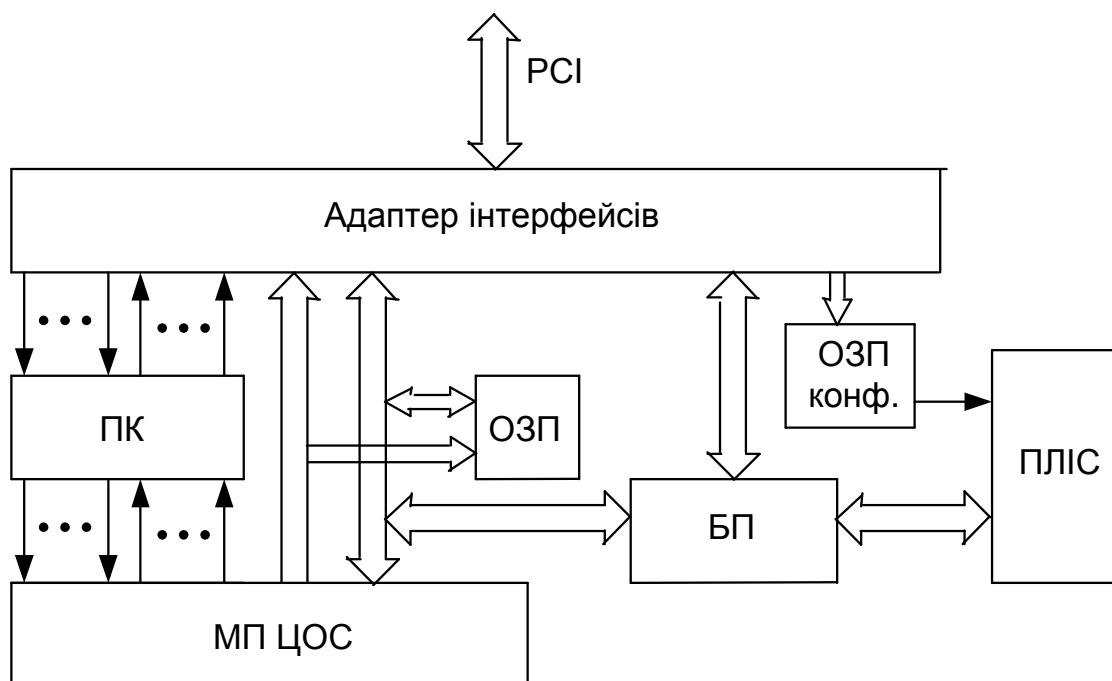


Рисунок 6. Структура модуля цифрового опрацювання сигналів

Figure 6. Structure of the digital signal processing module

Особливістю модуля ЦОС є оперативно репрограмована ПЛІС, конфігурація (алгоритм роботи), в якій задається за допомогою завантаження файла налаштування у її тіньову пам'ять. Завантаження у тіньову пам'ять здійснюється з високою швидкістю послідовним потоком бітів або байтів. Використання у модулі ЦОС мікросхем ПЛІС з динамічним репрограмуванням дозволяє їх використовувати для реалізації множини базових операцій.

**Макет системи вводу зображень з високою роздільною здатністю на базі електронно-вакуумної трубки типу дисектор.** Архітектура експериментального пристрою відбору зображень з електронно-вакуумної трубки типу дисектор забезпечує специфічне керування, відбір, перетворення, передавання сигналу в комп'ютер та формування необхідних режимів роботи дисектора ЛІ-604К (рис.1, 2). Макет системи складається з таких вузлів:

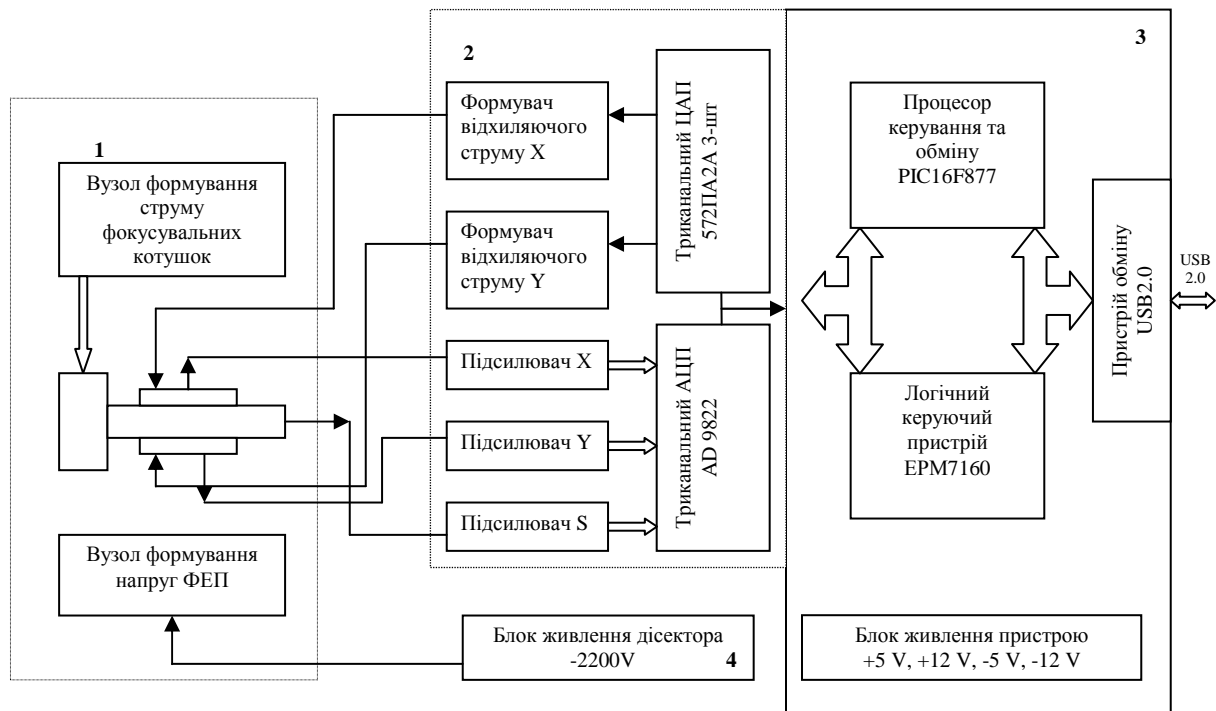
- функціонального блока фотоелектронного перетворювача, в якому розміщено дисектор ЛІ-604К з відхиляючими та фокусувальними котушками, вузол формування струму фокусувальних котушок і вузол формування напруг ФЕП дисектора;

– функціонального блока з підсилювачами сигналу дисектора та сигналів пропорційних струму у відхиляючих котушках, формувачами відхиляючих струмів за координатами X і Y, трьох 12-розрядних цифро-аналогових перетворювачів формування відхиляючих сигналів за координатами X, Y і фокусувального сигналу та триканального 14-розрядного аналого-цифрового перетворювача;

– функціонального блока з процесором керування, логічним керувальним пристроєм та пристроєм обміну інформацією з комп'ютером і блоком живлення інтерфейсних схем;

– функціонального блока високовольтного живлення дисектора.

Вихідний сигнал з дисектора, який містить інформацію про вхідне зображення, подається на вхід підсилювача і далі для оцифрування на АЦП AD 9822. Через кола логічного керувального пристрою EPM7160 після попереднього опрацювання дані з АЦП надходять через пристрій обміну та інтерфейс USB2.0 у комп'ютер для подальшого опрацювання та формування зображення. Необхідні дані для формування заданого типу розгортки завантажуються з комп'ютера. Процесор керування та обміну PIC16P877, логічний керувальний пристрій EPM7160 та ЦАП 572ПА2А забезпечують формування сигналів розгортки X, Y та струму фокусувальних котушок. Блок живлення дисектора забезпечує формування напруги 2кВ для фокусування та формування напруг електронного помножувача дисектора.



Риснок 7. Блок-схема експериментального пристрою відбору зображень з директора

Figure 7. Experimental device scheme for selection of images from disector

Програмні засоби макета системи забезпечують керування системою, режимами її роботи, режимами розгортки, вводом, попереднім опрацюванням і зберіганням зображень. На рис.7, 8, 9 зображено блоки макета системи вводу зображень.

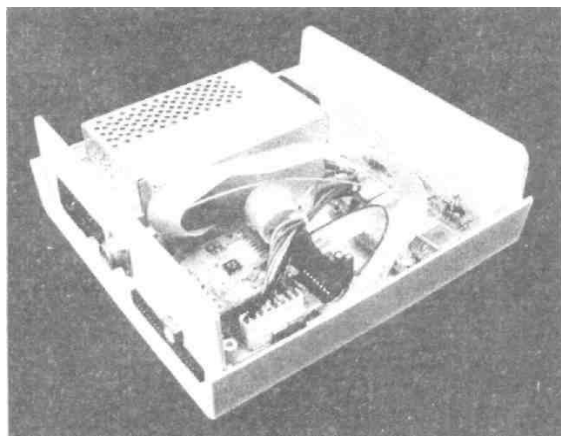


Рисунок 8. Блок процесора керування та обміну

Figure 8. Device of data control and exchange processor

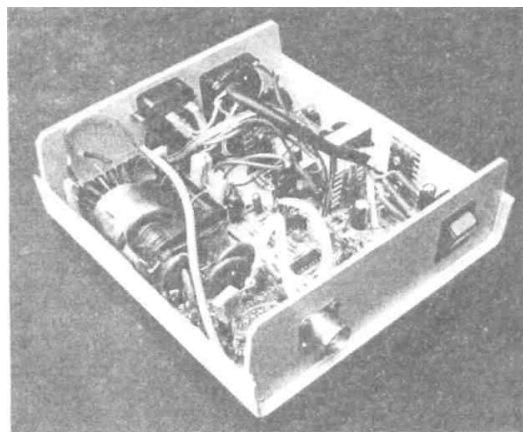


Рисунок 9. Блок високовольтного живлення директора

Figure 9. High-power device for dissector

**Висновок.** У результаті тестового вводу зображень [14] та подальшого аналізу альтернативних підходів можна стверджувати, що створений прототип є основою для проведення подальших досліджень з розроблення системи вводу зображень з високою роздільною здатністю в умовах низької інтенсивності сигналів (люмінесцентна мікроскопія). Попередні дослідження та тестовий ввід зображень реальних (клітинних) об'єктів показали, що застосування методу програмно-керованих растрів, нових схемотехнічних рішень, сучасної елементної бази та сучасних методик цифрового опрацювання сигналів дозволяє реалізувати потенційні можливості, які притаманні електронно-вакуумним трубкам, і створити на їх основі ефективні системи вводу зображень для наукових досліджень у системах комп'ютерного зору [3, 4]. Теоретичні розрахунки проведені на базі експериментів показують, що запропонований метод має перевагу (ціна–якість) над ПЗЗ матрицями при використанні повного діапазону його можливостей, тобто при надвисоких роздільних здатностях у спеціальних предметних областях. Наприклад, при мікробіологічних дослідженнях потрібна роздільна здатність може бути досягнута тільки при реалізації високих вимог до ПЗЗ-елементів і відповідно до дорогих систем охолодження.

Додатково до динамічного підвищення роздільної здатності при сталій ціні ми можемо додати як позитивний ефект відсутність потреби вирішення проблем, які пов'язані з різними видами шумів, що виникають із застосуванням інших методів вводу зображень.

**Conclusions.** As a result of the test input image and further analysis of alternative approaches it can be stated that the created prototype is the basis for further research to develop input images with high resolution in low intensity signals ( fluorescent microscopy). Previous studies and test of actual input images (cell) sites shown that the application of the method of program-controlled raster, new schemes and technical solutions, modern components and techniques of modern digital signal processing allows for the potential, inherent in electron vacuum tube to build on the basis of their effective input images computer vision systems.

In addition to dynamically increase of the resolution of a constant value we can add such a positive effect lack of need for solving problems that are associated with different types of noise that occur when using other input methods images.

#### Список використаної літератури

1. [http://uk.wikipedia.org/wiki/прилад\\_із\\_зарядовим\\_зв'язком](http://uk.wikipedia.org/wiki/прилад_із_зарядовим_зв'язком).
2. <http://znaimo.com.ua/ПЗС-матриця>.

3. Джордж, Ф. Люггер Искусственный интеллект. Стратегии и методы решения сложных проблем [Текст] / Джордж Ф. Люггер. – Москва; Санкт-Петербург; Киев,.: Вильямс. – 2005. – 863 с.
4. Форсайт, Девид. Компьютерное зрение. Современный подход [Текст] / Форсайт Девид, Жан Понс. – Москва; Санкт-Петербург; Киев, 2004. – 925 с.
5. [http://www.lomo.ru/site/catalog/view\\_main.cgi?l0=1&cid=1&ltb=cats](http://www.lomo.ru/site/catalog/view_main.cgi?l0=1&cid=1&ltb=cats)
6. [http://www.winline.ru/hardware/video/testirujem\\_sapphire\\_hd\\_3870\\_x2\\_s\\_vodyanym\\_ohlazhdenijem.php](http://www.winline.ru/hardware/video/testirujem_sapphire_hd_3870_x2_s_vodyanym_ohlazhdenijem.php)
7. Педан А.Д., Любинецька Б.І., Шклярський В.І. Сканувальний оптичний мікроскоп на базі електронно-променевої трубки для кріобіології та нанотехнології. Вісник Національного університету “Львівська політехніка”. – 2010. – С.63–72.
8. Грицик, В.В. Технічні та програмні засоби розпізнавання та аналізу зображень складних біологічних об’єктів [Текст] / В.В. Грицик, М.А. Влах. // Інформаційні технології та системи. – 2005. –Т. 8, № 1. – С.17–28.
9. <http://uk.wikipedia.org/wiki/Фототранзистор>
10. [http://znaimo.com.ua/Світлочутливість\\_фотоматеріалу](http://znaimo.com.ua/Світлочутливість_фотоматеріалу)
11. <http://language.br.com.ua/фотострум/>
12. <http://sum.in.ua/>
13. <http://www.welectronics.com/gsm/misc/DOCOMO-NEC-MEDIAS-X-N-06E.html>
14. Грицик, В.В. Апаратні засоби системи вводу зображень з високою роздільною здатністю. Інформаційні технології і системи [Текст] / В.В. Грицик, І.І. Кравець, Ю.В. Опотяк, І.Г. Цмоць І. – 2005. – Т.8. №1. – С.123–135.

*Отримано 17.03.2014*