



ОПТОЕЛЕКТРОННІ ІНФОРМАЦІЙНІ ПРИСТРОЇ НА ОСНОВІ СИГНАЛЬНИХ ПРОЦЕСОРІВ

І. С. Литвин ¹⁾, В. В. Мартинюк ²⁾

¹⁾ кафедра автоматизованих систем і програмування,
Тернопільський національний економічний університет,
вул. Львівська 11, Тернопіль, 46004, Україна

²⁾ кафедра радіотехніки,
Хмельницький національний університет,
вул. Інститутська 11, Хмельницький, 29016, Україна

Резюме: в роботі подано результати аналізу параметрів і характеристик, які впливають на протікання інформаційних процесів в блоках ОЕІП для забезпечення раціонального вибору структурної схеми ОЕІП і технічних засобів для їх реалізації під конкретне завдання.

Ключові слова: оптоелектронні інформаційні пристрої, сигнальні процесори, системи управління.

1. ВСТУП

Оптоелектронні інформаційні пристрої (надалі буде вживатися термін – ОЕІП) призначені для перетворення зображень, поданих за допомогою аналогових або бінарних двовірних оптичних сигналів, в цифрові електричні сигнали та для їх попереднього опрацювання. В багатьох випадках ОЕІП визначають прогрес в розвитку нових напрямків науки, техніки і виробництва [1]. Це зумовлено тим, що на сучасному рівні розвитку технології, ОЕІП надають досить широкі можливості для прийому, передачі і опрацювання інформації, в системах управління (надалі буде вживатися термін – СУ) різними об'єктами або фізичними чи технологічними процесами, а їх застосування є однією аз суттєвих тенденцій розвитку сучасних технічних засобів СУ [2]. Промислова реалізація оптоелектронних методів і засобів сприйняття та попереднього опрацювання інформації є перспективним напрямком комплексної модернізації існуючих і підвищення інформативності новостворюваних СУ. Широке використання ОЕІП в майбутньому зумовлено тими перевагами, які надає їм електромагнітне випромінювання оптичного діапазону спектру, як носій інформації [3]. Завдяки унікальним властивостям оптичного випромінювання за допомогою ОЕІП можна розв'язувати багатофункційні завдання управління з високими характеристиками по точності, швидкодії,

надійності, перепускній здатності і практично необмеженими можливостями математичного і логічного опрацювання інформації [4].

Структурні схеми ОЕІП включають оптичні блоки (надалі буде вживатися термін – ОБ), первинні перетворювачі оптичного випромінювання (надалі буде вживатися термін – ППОВ), аналогові електронні, аналого-цифрові (надалі буде вживатися термін – АЦП) та цифрові обчислювальні блоки (надалі буде вживатися термін – ЦОБ) в яких можуть бути виконані функціональні перетворення і опрацювання інформативних параметрів сигналів. Завдяки реалізації принципу паралелізму опрацювання інформації в ОБ, за один такт роботи в ОБ можна виконати двовірне перетворення Фур'є, Френеля, взаємну кореляцію, згортку, операції перемноження, ділення, додавання, віднімання, інтегрування, диференціювання зображень. В ОБ легко реалізуються також різні алгоритми фільтрації зображень, в тому числі узгодженої, інверсної і оптимальної. Основною перевагою оптичних аналогових блоків є їх висока швидкодія, тому що час виконання складних інтегральних перетворень над зображеннями визначається часом вводу зображення в ОБ ($\sim 10^{-9}$ с). Так що при числі відліків у типовому зображенні $> 10^8$ швидкодія ОБ досягає величини $\sim 10^{17}$ біт/с. Це зумовлює неузгодженість високої інформаційної ефективності ОБ з обмеженою інформаційною

ефективністю ППОВ і електронних блоків введення і первинного опрацювання сигналів, тому що перепускна здатність цих блоків (кількість перетворень сигналів) обмежується величиною $\sim 10^8$ біт/с. Недоліком блоків оптичного опрацювання зображень є обмежений клас завдань, що розв'язуються ними і відсутність серійної елементної бази, необхідної для створення ОЕП, які могли б працювати в реальних умовах і в реальному часі [5].

В ОЕП, як правило, розв'язують задачу найбільш повного збору, опрацювання і подання інформації про структуру поля оптичного випромінювання, тому виникає проблема досягнення інформаційної сумісності ОБ і електронних блоків ОЕП. Особливості опрацювання оптичної зображень залежить від типу ОЕП і від їх призначення (галузі використання). Етапи алгоритмів опрацювання зображень можна виконувати в різних функціональних блоках ОЕП, тому необхідно системно узгоджувати інформаційні потоки на всіх стадіях розробки, виробництва і впровадження ОЕП. При відсутності такого узгодження знижується ефективність використання ОЕП, не виключається можливість неправильного прийому і перетворення сигналів, або структурна схема

ОЕП ускладнюється і не оправдано дорожчає. Метою даної роботи є проведення аналізу факторів, які впливають на характер протікання інформаційних процесів в ППОВ і в електронних блоках ОЕП для забезпечення раціонального вибору структурної схеми ОЕП і технічних засобів для її реалізації під конкретне завдання.

2. СТРУКТУРНА СХЕМА ОЕП

В сучасних системах управління ОЕП розв'язують завдання найбільш повного збору, опрацювання і подання інформації про розміри, форму, положення, або про енергетичний стан об'єкту управління, який є джерелом, як правило, аналогового оптичного сигналу. Ця інформація після перетворення оптичних сигналів в ППОВ міститься в інформативних параметрах вихідного електричного сигналу: амплітуді, частоті, фазі або тривалості імпульсів. Вихідний електричний сигнал ППОВ за допомогою аналогових і цифрових електронних блоків може бути відповідним чином перетворений і опрацьований.

Загальна структурна схема опрацювання інформації в ОЕП на основі цифрового процесора опрацювання сигналів (надалі буде вживатися термін – ЦПОС) наведена на рис. 1.

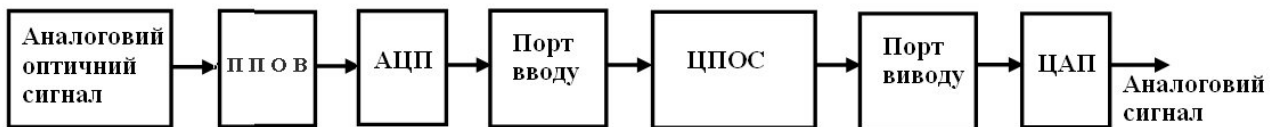


Рис. 1 – Схема цифрового опрацювання оптичних сигналів.

Інформацію про ОУ, яка міститься в аналогових оптичних сигналах, за допомогою ППОВ перетворюють в електричні сигнали, а після аналого-цифрового перетворення в цифрову форму подають, як правило, для подальшого опрацювання в сигнальний процесор (ЦПОС). Включення сигнального процесора до складу ОЕП суттєво покращує технічні характеристики ОЕП і дозволяє досягти адаптивності при перетворенні і опрацюванні зображень. При цьому забезпечується розширення динамічного діапазону перетворення, зменшується вплив завад, забезпечується оптимізація роботи ОЕП. Крім того, сигнальний процесор дозволяє суміщувати процеси фото-електричного і аналого-цифрового перетворення оптичних сигналів зображень з попереднім їх опрацюванням в одному ОЕП. Це забезпечує можливість проведення складних вимірювань інформативних параметрів сигналів і їх опрацювання з використанням статистичних оцінок без суттєвого ускладнення схеми ОЕП.

Включення ЦПОС до складу ОЕП суттєво покращує технічні характеристики ОЕП і дозволяє досягти адаптивності при перетворенні в цифрову форму інформації, яка міститься в аналогових оптичних сигналах. Реалізація в повному обсязі процедур адаптивного цифрового попереднього опрацювання забезпечується використанням алгоритмів, які при “жорсткій логіці” не використовувалися через складність їх реалізації [6]. ЦПОС дозволяє проводити обмін даними про зображення через канали зв'язку з комп'ютером СУ для збору і класифікації зображень, використовуючи систему стандартних інтерфейсів. Надійність функціонування всього ОЕП також може бути значно підвищена завдяки введенню процедури діагностування його стану за допомогою ЦПОС [7].

Процес формування електричних сигналів в реальних ППОВ супроводжується внутрішніми спотвореннями інформації, які зумовлені темновими сигналами ППОВ, поелементною

нерівномірністю світлової спектральної чутливості $\Delta S(\nu)$, а також зовнішніми спотвореннями, які виникають внаслідок небажаного засвічення елементів ППОВ випромінюванням, крім оптичного зображення. ППОВ відрізняються принципом роботи, конструктивним оформленням, числом і розміщенням чутливих елементів, виконанням охолодження; а також матеріалами, що використовуються при їх виготовленні. Первинні перетворювачі одномірних оптичних сигналів можна поділити на теплові і фотоелектричні. Принцип роботи теплових ППОВ базується на попередньому перетворенні енергії випромінювання в теплову з наступним її перетворенням в електричний сигнал. Суттєвою перевагою теплових ППОВ є незалежність їх чутливості від спектрального складу випромінювання. До них відносять термоелементи і болометри. Теплові ППОВ використовуються частіше всього в ІЧ-області. Фотоелектричні ППОВ – це перетворювачі, принцип роботи яких базується на використанні явища зовнішнього або внутрішнього фотоелектричного ефекту.

Крім розглянутих первинних перетворювачів одномірних оптичних сигналів в системах управління застосовують також ППОВ, в яких поряд із перетворенням оптичного сигналу в електричний здійснюється і первинний аналіз зображення. Серед таких ППОВ найбільш поширеними є координатні (координатно-чутливі, позиційно-чутливі) ППОВ випромінювання, в яких вихідний сигнал залежить від місцезнаходження опроміненої ділянки (світлового зонду) на світлочутливій поверхні [8].

Розширення функціональних можливостей ОЕП для отримання інформації із потрібною точністю, у необхідній кількості та з мінімальними апаратними і програмними затратами може бути досягнуто у випадку застосування багатоелементних перетворювачів оптичного випромінювання (БЕ ППОВ), виконаних на основі твердотільної чи плівкової технології інтегральних мікросхем [9].

Аналого-цифровий перетворювач (надалі буде вживатися термін – АЦП) формує з аналогового сигналу цифровий. Цифро-аналоговий перетворювач (надалі буде вживатися термін – ЦАП) здійснює зворотнє перетворення цифрового сигналу в аналоговий. Останнє перетворення не потрібно в СУ, де на основі опрацювання сигналу виносяться деякі рішення, і немає необхідності відновлювати вихідний аналоговий сигнал. Порти введення/виведення здійснюють введення цифрового сигналу для

опрацювання в ЦПОС і, при необхідності, виведення результатів. Якщо ЦПОС і джерело сигналу (або одержувач сигналу) рознесені територіально, в ОЕП вводять пристрій передачі сигналу по каналах зв'язку, причому може передаватися як цифровий (з виходу АЦП по цифрових каналах зв'язку), так і аналоговий сигнал. В останньому випадку на вхід АЦП надходить сигнал з каналу зв'язку.

Розробці моделей АЦП, ЦАП і ЦОБ, методів і сучасних засобів їх моделювання присвячена велика кількість наукових робіт, в яких інструментом досліджень є апарат математичних і алгоритмічних моделей, що підтримується потужними засобами імітаційного моделювання, і в яких розглядаються питання, як загальної методології моделювання, так і окремі специфічні особливості. Віддаючи належне моделюванню при дослідженні, проектуванні і оцінці ефективності ЦПОС особливо слід відмітити значні досягнення науковців Інституту Кібернетики ім. Глушкова НАНУ під керівництвом академіка О.В. Палагіна по розробці теорії та створенні універсальних і спеціалізованих комп'ютерних систем з віртуальною архітектурою, розробці технології системної інтеграції, технічних і системних засобів для проблемно-орієнтованих інформаційних систем [10–12], а також роботи під керівництвом професора В.Б. Дудикевича в Національному університеті “Львівська політехніка”, спрямовані на практичне використання ефективних методів і алгоритмів управління процесом вимірювання і опрацювання інформації [13, 14]. Вдосконалення точності і швидкодії перетворювачів форми інформації є центральним напрямком досліджень у галузі одержання, перетворення й опрацювання аналогових сигналів, які проводяться у Вінницькому національному технічному університеті під керівництвом професора О.Д. Азарова [15–17]. В Інституті Кібернетики ім. Глушкова НАНУ під керівництвом професора В.О. Романова розробляються і досліджуються програмовані перетворювачі форми інформації, які поряд з аналого-цифровими та цифро-аналоговими перетвореннями виконують операції опрацювання даних, мають інтерфейсні функції, функції керування та контролю [18–21].

Для оцінки продуктивності і ефективності опрацювання зображень використовують різноманітні якісні і кількісні характеристики. Такими характеристиками в ОЕП, зокрема, можуть бути: час і швидкість перетворення та опрацювання даних, ємність пам'яті, надійність, а також можливості програмного забезпечення (використані мови програмування, номенклатура

бібліотеки стандартних програм, можливості операційної системи, проблемна орієнтація).

Конкретні значення параметрів і характеристик ОЕП залежать від його прикладного значення, але основні параметри ОЕП наступні:

- Форма подання опрацьованого зображення.
- Характер подання зображення: просторова дискретизація $N_x \times M_y$ елементів; розрядність вихідного сигналу МП $b_{МП}$; вид подання: монохромне, кольорове.
- Час зчитування зображення T в секундах.
- Швидкість передачі інформації через інтерфейс в бітах на секунду.

Встановлення вказаних параметрів визначає елементну базу апаратної реалізації, перш за все, тип ОБ, ППОВ, АЦП, ЦПОС, алгоритм функціонування, структурну схему і програмну реалізацію ОЕП.

3. ПАРАМЕТРИ І ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЕРВИННИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ОПТИЧНИХ СИГНАЛІВ

Для опису експлуатаційних властивостей первинних перетворювачів одномірних оптичних сигналів (фотоприймачів) застосовується велика кількість параметрів (див., наприклад, [9]). Розглянемо основні параметри, котрі перш за все необхідно враховувати при розробці ОЕП.

Чутливість ППОВ — це відношення зміни вихідного сигналу ППОВ, викликаного падаючим випромінюванням, до кількісної характеристики цього випромінювання. Розрізняють інтегральну, монохроматичну, струмову, вольтову, статичну і диференціальну чутливості. Характеристику чутливості, або крутизну перетворення виражають у різних одиницях (Вольт/Ват, Ом/Ват, Ампер/Ват, Ампер/Люмен) і, як правило, її називають чутливістю, що, звичайно, не зовсім точно, так як більш чутливим може бути не той ППОВ, котрий виробляє великий сигнал, а той, котрий забезпечує велику величину відношення сигналу до шуму. Ця обставина знаходить своє втілення і у технічній літературі, де, згідно Джонса, на відміну від терміну sensitivity (чутливість), іноді віддають перевагу терміну responsivity (чутливість чи реакція, відповідь) [9].

При розробці ОЕП, перш за все, необхідно знати інтегральну чутливість до монохроматичного випромінювання певного спектрального складу, струмову S_i і вольтову S_u чутливості:

$$S_i = \frac{\Delta \tilde{I}_c}{\Delta \Phi_E}, \quad S_u = \frac{\Delta U_c}{\Delta \Phi_E} \quad (1)$$

Тут $\Delta \tilde{I}_c$, ΔU_c — приріст вихідного сигналу (струму, напруги), віднесені до приросту світлового потоку $\Delta \Phi_E = \Delta E(x_{1n}, y_{1m}) \cdot A_{че}$, який потрапляє на чутливу поверхню ППОВ площею $A_{че}$.

Поріг чутливості (порогова чутливість) ППОВ визначається середнім квадратичним значенням першої гармоніки модульованого потоку оптичного випромінювання, яке потрапляє на ППОВ із заданим спектральним розподілом, при якому середнє квадратичне значення першої гармоніки вихідної напруги (струму) дорівнює середньому квадратичному значенню напруги $\sqrt{U_{ш}^2}$ (струму $\sqrt{i_{ш}^2}$) шуму на заданій частоті модуляції потоку випромінювання:

$$C_P^* = \sqrt{U_{ш}^2} / S_u \quad \text{або} \quad D_P^* = \sqrt{i_{ш}^2} / S_i \quad (2)$$

Це значення наведено для смуги перепускання частот величиною у 1 Гц.

Для порівняння ППОВів, котрі відрізняються площею $A_{че}$ чутливого елемента і смугою перепускання частот Δf , використовують питомий поріг чутливості Φ_p^* і питому розрізняючу здатність D^* :

$$\Phi_p^* = \sqrt{U_{ш}^2} / (S_u \sqrt{A_{че} \Delta f}) \quad D_p^* = 1 / C_p^* \quad (3)$$

Серед інших важливих параметрів первинних перетворювачів одномірних оптичних сигналів необхідно відмітити постійну часу ППОВ, котра визначає його швидкодію і дорівнює часу від початку опромінення ППОВ до того моменту, коли сигнал на виході досягне рівня 0,63 від значення, котре встановилося при тривалому опроміненні.

Окрім порогу чутливості, для оцінки розрізняючої здатності ППОВ часто застосовують такі параметри, як рівень власних шумів на виході чи темновий струм — середнє квадратичне значення струму на виході повністю затемненого ППОВ.

До спектральних параметрів ППОВ належать короткохвильова λ' і довгохвильова λ'' границі чутливості і довжина хвилі λ_{max} , котра відповідає максимуму спектральної характеристики монохроматичної чутливості S_λ ППОВ.

Окрім перерахованих параметрів, необхідно враховувати робочу напругу, геометричні параметри (габаритні розміри, ефективну площу чутливого елемента, його конфігурацію). Оскільки параметри ППОВ залежать від умов експлуатації, тому при проектуванні ОЕП необхідно знати перелік паспортних значень для

конкретних умов експлуатації. Основними характеристиками ППОВ, що визначають залежність окремих параметрів від умов експлуатації, які змінюються (спектрального складу потрапляючого на ППОВ випромінювання, напруги живлення, частоти модуляції потоку, температури навколишнього середовища), є спектральні, вольтовні, частотні, енергетичні, температурні і фонові [8]. Властивості первинних перетворювачів оптичного випромінювання (фотоприймачів) найбільш широко можуть бути описані системою характеристик, які виражають залежність сигналу і шуму, що виробляються ППОВ, від різних факторів: величини, спектрального складу і частоти модуляції випромінювання, яке потрапляє на ППОВ, температури навколишнього середовища, напруги живлення. Найбільш поширеними характеристиками ППОВ є:

- амплітудна (енергетична чи світлова) характеристика, яка визначає залежність сигналу від величини потоку випромінювання, що потрапляє на ППОВ;
- спектральна характеристика, що виражає залежність сигналу від довжини хвилі падаючого випромінювання;
- частотна характеристика, котра визначає інерційні властивості ППОВ у вигляді залежності сигналу від частоти модуляції потоку випромінювання;
- шумова характеристика, яка є залежністю спектральної густини шуму ППОВ від частоти.

Однак, не завжди є можливість мати для кожного екземпляру ППОВ повний набір характеристик. Тому у багатьох випадках характеристики замінюються числовими параметрами, що виражають властивість ППОВ при певних найбільш типових умовах. Наприклад, замість амплітудної характеристики застосовують диференційну крутизну перетворення (чутливість), яка визначає величину сигналу, що виробляється ППОВ при опромінюванні його малим синусоїдально-модульованим потоком випромінювання. Частотна характеристика у першому наближенні описується постійною часу; шумова характеристика — середньоквадратичним значенням шуму чи спектральною густиною шуму на одній фіксованій частоті. В якості параметрів, які описують спектральну характеристику, іноді застосовують значення довжин хвиль λ_0 і λ_1 , при яких спектральна чутливість відповідно дорівнює 0,5 і 0,01 від максимального значення.

Короткохвильова і довгохвильова границі

спектральної чутливості ППОВ визначаються, як найменша і найбільша довжина хвиль монохроматичного випромінювання, при яких монохроматична чутливість ППОВ дорівнює величині рівній 0,1 від її максимальної величини. Замість спектральної характеристики можуть бути задані абсолютні значення порогової чутливості ППОВ на фіксованих довжинах хвиль. Якщо ППОВ випромінювання застосовується для виявлення чи реєстрації потоку випромінювання складного спектрального складу, тобто головним чином використовуються його інтегральні властивості, тоді спектральну характеристику можна задати значеннями коефіцієнту використання випромінювання чи ефективної спектральної ширини смуги перепускання ППОВ.

Багатоеlementні ППОВ характеризують багатьма параметрами і характеристиками, котрі застосовують для опису властивостей одноelementних ППОВ. Однак специфіка їх конструктивного виконання зумовила і ряд нових параметрів. Геометричну (просторову) розрізняючу здатність БЕ ППОВ визначають міжелементна відстань і крок (відстань між сусідніми фоточутливими елементами і їх центрами). Похибки БЕ ППОВ зумовлені нерегулярністю розміщення елементів, розкидом чутливості елементів і паразитними міжелементними зв'язками.

4. ПАРАМЕТРИ І ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗАСОБІВ ЦИФРОВОГО ОПРАЦЮВАННЯ АНАЛОГОВИХ СИГНАЛІВ

Цифрове опрацювання сигналів принципово пов'язане з поданням будь-якого сигналу у вигляді послідовності чисел. Це означає, що вхідний аналоговий сигнал повинен бути перетворений у вихідну послідовність чисел (рис.1), для того щоб його можна було за допомогою ЦПОС по заданому алгоритму перетворити в нову послідовність, що однозначно відповідає вхідній. З отриманої нової послідовності формується результуючий аналоговий сигнал. Цифрове опрацювання сигналу (ЦОС) в ЦПОС можна виконувати різними способами за допомогою найрізноманітнішої елементної бази [22].

Дискретизація за часом (або дискретизація) являє собою процедуру взяття миттєвих значень сигналу $x(t)$ через рівні проміжки часу T . Миттєві значення $x(nT)$ називаються вибірками, або відліками, час T — періодом дискретизації, n указує порядковий номер відліку. Ясно, що чим частіше брати відліки, тобто чим менше період

дискретизації T тим точніше послідовність відліків $x(nT)$ буде відображати вихідний сигнал $x(t)$. Період дискретизації визначає частоту дискретизації.

$$f_{\delta} = \frac{1}{T}, \text{ або } T = \frac{1}{f_{\delta}} \quad (4)$$

Звідки слідує, що чим менше T , тим вище f_{δ} . З іншого боку, чим вище частота дискретизації, тим важче ЦПОС виконувати велику кількість операцій над відліками в темпі їхнього надходження на опрацювання й тим складніше має бути його схема.

Таким чином, точність подання сигналу вимагає збільшувати f_{δ} , а прагнення зробити ЦПОС як можна більше простим приводить до бажання понизити f_{δ} . Однак існує обмеження на мінімальне значення f_{δ} : для повного відновлення безперервного сигналу по його відліках $x(nT)$ необхідно й досить, щоб частота дискретизації f_{δ} була, як мінімум, у два рази більше найвищої частоти F у спектрі переданого сигналу $x(t)$, тобто:

$$f_{\delta} \geq 2F, \text{ або } T \leq \frac{1}{2}F \quad (5)$$

Звідси слідує висновок, що при нескінченному спектрі, коли $F \rightarrow \infty$, дискретизація неможлива. Проте, у спектрі будь-якого кінцевого сигналу є такі вищі складові, які, починаючи з деякої верхньої частоти f_B , мають незначні амплітуди, і тому ними можна знехотити без помітного спотворення самого сигналу. Значення f_B визначається конкретним типом сигналу й розв'язуванням завданням. Обмеження спектру до частоти $F = f_B$, яке здійснюється аналоговим ФНЧ отримало назву антиалайсингового, оскільки воно запобігає спотворенням спектру типу накладення (aliasing), які виникають у спектрі цифрового сигналу при недостатній частоті дискретизації. У часовій області ефект накладення означає незворотню втрату можливості точного відновлення аналогового сигналу по його відліках.

Квантування відліків за рівнями (або квантування) здійснюють з метою формування послідовності чисел: весь діапазон зміни величини відліків розбивається на деяку кількість дискретних рівнів, і кожному відліку за певним правилом присвоюється значення одного із двох найближчих рівнів квантування, між якими виявляється даний відлік. У результаті виходить послідовність чисел $x(nT) = x(n)$, яку подають у двійковому коді. Кількість рівнів визначається розрядністю b АЦП; так, якщо $b = 3$,

усього можна мати $\delta o = 2^b = 2^3 = 8$ рівнів квантування, а мінімальне й максимальне значення відліків рівні відповідно $0 \leftrightarrow 000$ й $7 \leftrightarrow 111$. Ясно, що квантований відлік відрізняється від вибірки $x(nT)$. Ця відмінність виражається похибкою квантування:

$$\varepsilon_{кв} = x_{\text{ц}}(nT) - x(nT) \quad (6)$$

яка буде тим більшою, чим менше значення b . Максимальна похибка квантування при використанні округлення, як наближення дорівнює половині кроку квантування Q :

$$\max|\varepsilon_{кв}| = \frac{Q}{2}, \text{ де } Q=q_1=2^{-b} \quad (7)$$

Серед численних завдань, розв'язуваних на базі ЦПОС, можна виділити як традиційні, так і нетрадиційні в залежності від області застосування ЦОС. Кожне завдання – залежно від конкретного застосування – можна вирішувати з використанням різних методів й алгоритмів; наприклад, завдання виділення сигналу з перешкод можна вирішувати методами лінійної, адаптивної й нелінійної фільтрації. У свою чергу, цифрову лінійну фільтрацію можна здійснювати за допомогою алгоритмів КІХ- або БІХ- фільтрації [23]. В ОЕП ЦПОС виконують наступні основні завдання (таблиця 1.): лінійна фільтрація; спектральний аналіз; частотно-часовий аналіз; адаптивна фільтрація; нелінійне опрацювання; високо швидкісне опрацювання.

Таблиця 1. Основні напрямки застосування ЦПОС в ОЕП

1. Лінійна фільтрація	Селекція сигналу в частотній області; синтез фільтрів, погоджених із сигналами; частотний поділ каналів; цифрові перетворювачі Гільберта й диференціатори; коректори характеристик каналів.
2. Спектральний аналіз	Розпізнавання образів.
3. Частотно-часовий аналіз	Компресія зображень, різноманітні завдання виявлення.
4. Адаптивна фільтрація	Опрацювання зображень, розпізнавання образів, подавлення шумів.
5. Нелінійне опрацювання	Обчислення кореляцій, медіанна фільтрація; синтез амплітудних, фазових, частотних детекторів, векторне кодування
6. Високо швидкісне опрацювання	Інтерполяція (збільшення) і децимація (зменшення) частоти дискретизації.

Серед алгоритмів ЦОС, з погляду організації обчислень в ЦПОС, можна виділити як прості, так і надзвичайно складні. Проте, незалежно від складності алгоритму обчислення здійснюються за допомогою базових операцій: додавання, віднімання й множення, які визначають затримку сигналу на період дискретизації. Наведені операції називають основними (або базовими) операціями. Зведення в ступінь — це багаторазове множення, а ділення — багаторазове віднімання, причому частка може бути як цілим, так і дробовим числом, тому при організації ділення необхідно задавати бажану точність частки. Оскільки обчислювальні операції здійснюються з даними, затримуваними одні відносно одних на один і більше періодів дискретизації T за допомогою елементів затримки, які являють собою регістри (комірки пам'яті), поєднані в лінії затримки, необхідно мати можливість здійснювати пересилання і зсув даних. Крім того, для керування обчислювальним процесом необхідно передбачити і логічні операції. Важливою практичною характеристикою ЦПОС є можливість виконання обчислювальних операцій (процедур), тобто їх здатність обчислювати відлік $y(n)$ за розумний час, або, як прийнято говорити, за реальний час, при цьому мають на увазі обов'язкове досягнення заданої точності. Визначення реального часу залежить від конкретного завдання і пов'язане з обсягом обчислень алгоритму, точністю обчислень і частотою дискретизації (періоду дискретизації). Нехай T — період дискретизації, τ_a — час виконання алгоритму. Тоді говорять, що ЦПОС працює в реальному часі, якщо час виконання алгоритму τ_a не перевищує періоду дискретизації. Це означає, що залишається ще деякий запас часу, який називають часом очікування $t_{оч}$. Знайти час виконання алгоритму можна, якщо знати час виконання елементарної (одноциклової) команди τ_k , названий командним циклом, і кількість командних циклів N_a необхідних для виконання алгоритму (це можна визначити в процесі налагодження). Тоді :

$$\tau_a = \tau_k N_a, \quad t_{оч} = T - \tau_a. \quad (8)$$

Тактова частота $f_{такт}$ (тактовий період $\tau_{такт} = 1/f_{такт}$) показує, як швидко процесор виконує найпростішу одиницю роботи, наприклад пересилання в регістрі, чи з розряду в розряд. Тактова частота повинна істотно перевищувати частоту дискретизації. Відношення тактової частоти до частоти дискретизації є найбільш важливою

характеристикою, яка залежить від того, яким чином буде реалізований ОЕП. Це відношення частково визначає кількість апаратних засобів, необхідних для реалізації алгоритму заданої складності в реальному часі. Якщо відношення зазначених частот співпадає, тоді кількість і складність апаратних засобів, необхідних для реалізації алгоритму, збільшується.

Швидкість опрацювання даних визначається продуктивністю процесора, що виражається кількістю мільйонів умовних одноциклових команд, виконуваних у секунду (таблиця 2): в MIPS (Million Instructions Per Second) для процесорів із фіксованою крапкою і у MFLOPS (Million Float Operations Per Second) для процесорів із плаваючою крапкою.

Таблиця 2. Приклад характеристик сімейств процесорів по тактових частотах і продуктивності

Процесори	Тактова частота (МГц)	Продуктивність (MIPS)
TMS320C2xxx	20-80	20-40
TMS320C5xxx	30-133	30-532
TMS320C5xxx	167-250	До2000
ADSP-21XX	40-100	75-150

Продуктивність, виражена в MIPS (FLOPS), є піковою, гранично можливою для даного ЦПОС. Реальна продуктивність може бути значно меншою і тому її оцінюють часом виконання стандартних алгоритмів. Зокрема, часом виконання 1024-кратного ШПФ [23]. По цьому показнику процесор ADSP-21160 (100 МГц, 600 MFLOPS) має перевагу перед процесором TMS320C6701 (167 МГц, 1000 MFLOPS), оскільки виконує таке ШПФ за 90 мкс, а його конкурент — за 120 мкс. Така несподіванка викликана різною смугою пропускання системи введення/виведення, розміром і типом внутрішньої пам'яті даних, кількістю підтримуваних циклічних буферів.

Інший спосіб визначення реальної продуктивності називають BDTmark [23] полягає в тестуванні ЦПОС на групі спеціальних завдань. Результат тестування виражається у відносних умовних одиницях (таблиця 3): чим вище продуктивність, тим більшою кількістю одиниць оцінюється процесор.

Із таблиці 3 можна зробити висновок, що немає пропорційної залежності реальної продуктивності від пікової та що процесори з однаковою піковою продуктивністю не обов'язково мають однакову реальну продуктивність.

Таблиця 3. Продуктивність процесорів в одиницях BDTImark

Процесор	Продуктивність	
	Пікова (MIPS)	Реальна в одиницях BDTImark
LUSNTDSP161210	100	36
Motorola DSP56303	100	25
TMS320VC549	100	25
ADSP-2189M	75	19
TMS320C6201	1000	600

Важливою характеристикою ЦПОС є ширина діапазону зміни значень вхідних/вихідних даних. Звичайно діапазон даних становить 40—80 дБ, але в ОЕІП може доходити до 100 дБ. Тому у ряді випадків необхідно мати таку елементну базу, яка забезпечувала б організацію опрацювання даних великої розрядності. Якщо врахувати, що один біт відповідає 6 дБ, то розрядність регістрів співмножників при різних діапазонах зобов'язана бути такою, як зазначено в таблиці 4, а регістри добутоків повинні мати подвоєну розрядність.

Таблиця 4. Зв'язок динамічного діапазону і розрядності

Динамічний діапазон (дБ)	Розрядність регістрів
40	7
50	9
60	10
70	12
80	14
100	17

Динамічний діапазон даних визначається в першу чергу розрядністю АЦП, що може досягати величини 20 – 24, тобто межа динамічного діапазону по АЦП становить близько 120 – 144 дБ. У дійсності за рахунок ефектів квантування динамічний діапазон виявляється трохи меншим, ніж при зазначеній у таблиці 4 розрядності. Динамічний діапазон, точність обчислень і потужність власного шуму ЦПОС залежать не тільки від розрядності, але й від типу арифметики – з фіксованою крапкою (ФК) або із плаваючою крапкою (ПК).

Цифрове опрацювання сигналу в ЦПОС можна виконувати різними способами за допомогою найрізноманітнішої елементної бази [24-31]. Відповідно до алгоритму, вибірки вхідного сигналу перемножуються на коефіцієнти фільтра й додаються. Подібні обчислення використовуються і у багатьох інших алгоритмах ЦПОС. Таким чином, базовою

операцією ЦПОС є операція множення й додавання (нагромадження) результату множення [27-29]. Подібну операцію часто позначають при описах мнемонікою MAC. Для того щоб ОЕІП міг працювати з високою продуктивністю, ЦПОС повинен виконувати операцію MAC за один цикл (такт) роботи. При цьому відліки сигналу, коефіцієнти фільтра й команди програми зберігаються в пам'яті. Для виконання операції потрібно зробити три вибірки з пам'яті — команди і двох співмножників. Отже, для роботи з високою продуктивністю ці три вибірки необхідно зробити за один такт роботи процесора. При цьому мається на увазі, що результат операції залишається в пристрої виконання операції, а не розміщається в пам'ять. У більш загальному випадку потрібна ще операція запису результату в пам'ять, тобто необхідні чотири звертання до пам'яті за цикл. Таким чином, продуктивність ЦПОС насамперед визначається можливостями обміну даними між процесором і пам'яттю ЦПОС та організацією їхньої взаємодії.

Час виконання етапу команди або тривалість командного циклу звичайно збігається з періодом основної частоти роботи процесора. У цьому випадку час виконання команд розбивають на чотири етапи в нормально працюючому (без конфліктів) конвеєрі, що фактично дорівнює 4-м циклам або періодам частоти роботи процесора. Однак такі команди вважають одноцикловими (однотактовими), тобто час їхнього виконання дорівнює тривалості командного циклу. Таким чином, під часом виконання команди розуміють не час опрацювання одиночної команди, а час появи результатів виконання команди в довгій послідовності даних. Якщо ж виконання команди вимагає додаткових етапів (типу вибірки другого слова команди) у порівнянні з іншими командами процесора, то час її виконання збільшується на відповідну кількість циклів [30, 31].

5. ВИСНОВКИ

В ОЕІП має місце змішане подання інформації і тому можливий різний розподіл етапів реалізованих алгоритмів між різними блоками ОЕІП – ОБ, ППОВ, ЦПОС. Включення сигнального процесора до складу ОЕІП суттєво покращує технічні характеристики ОЕІП і дозволяє досягти адаптивності при перетворенні і опрацюванні зображень і оптимізувати набір блоків, зв'язків, способів обміну і розподіл алгоритмів опрацювання зображень.

В ОЕІП, як правило, розв'язують задачу

найбільш повного збору, опрацювання і подання інформації про структуру поля оптичного випромінювання. Етапи алгоритмів опрацювання зображень можна виконувати в різних функціональних блоках ОЕП. В основі вирішення як простих, так і надзвичайно складних етапів алгоритмів в ЦПОС лежать прості арифметичні операції: додавання, віднімання, множення і зсув, які визначають затримку сигналу на період дискретизації.

Важливим питанням для ефективного використання сигнальних процесорів в ОЕП є подання вихідних даних у відповідності до характеру і до методів розв'язання задач в ОЕП.

6. СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Павлов С.В., Станчук К.І., Хані Аль-Зубі, Забродська С.В., Репіна О.Б. Аналіз розвитку ПЗЗ-структур у наукових дослідженнях. Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах // Хмельницький, №4, – 2001. – С.13-18.
- [2] В. Гуртов. Твердотельная электроника. М.: Техносфера, – 2007, – 283 с.
- [3] Квантові перетворювачі на оптоелектронних логіко-часових середовищах для око-процесорної обробки зображень / В.П.Кожем'яко, Мартинюк Т.Б., Супригін О.І. Клімкіна Д.І. // Вінниця: УНІВЕРСУМ. – 2007. – 126 с.
- [4] Литвин І.С. Первинні перетворювачі на основі інтегральних МНОП- n-р структур в завданнях опрацювання оптичних зображень // Львів, Технічні вісті, – 1998. – №1(6). – С. 30-34.
- [5] Ермаков О.Н., Прикладная опто-электроника. Москва: Техносфера, – 2006. – 432 с.
- [6] Носов Ю.Р. Оптоэлектроника. 2-е изд. М.: Радио и связь, – 1989. – 360 с.
- [7] Бондарев В.Н., Трёстер Г., Чернега В.С. Цифровая обработка сигналов. – Х.: Конус, 2001. – 397с.
- [8] A. Druzhinin, I. Lytvyn, M. Tychansky. The diagnostics of SOI photosensor characteristics. // Electron Technology, 32,1/2, Warszawa, – 1999. – Pp. 88-90.
- [9] Фотоприемники видимого и ИК диапазонов. Под ред. Киеса Р.Дт. М.: Радио и связь, – 1985. – 328 с.
- [10] Палагин А.В., Яковлев Ю.С. О выборе архитектуры моделирующего комплекса при разработке компьютерной системы, УСиМ, – 2002, №2.
- [11] O.Palagin, V.Romanov, I. Galelyuka. Virtual methods of designing of complicated systems: estimation of reliability. Information technology and computer engineering, – 2005, #3, – Pp.147-150.
- [12] O.Palagin, V.Romanov, I. Galelyuka, M.Kachanovska. Virtual laboratory for computer-aided design of biosensors / Computing, – 2007, Vol. 6, Issue 2, – Pp.68-76.
- [13] А.Я.Горпенюк, В.Б.Дудикевич, В.М.Максимович / Перспективні базові вузли число імпульсних функціональних перетворювачів // Тези доповідей. “Автоматика – 95”, Том 4 – С.96.
- [14] В.Б.Дудикевич, І.М.Ковела, С.І.Ковела / Вибір такту квантування в цифрових АСР. // Тези доповідей. “Автоматика – 95”, Том 4, – С.101.
- [15] Азаров О.Д., Шапошников О.В. Дослідження високопродуктивного аналого-цифрового перетворення на основі НПСЧ // Вісник ВПІ. – 2000, № 4. – С. 76-80.
- [16] Азаров О.Д., Войтун О.Г. Системи цифрового опрацювання аналогових сигналів на базі самокаліброваних АЦП // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах: Збірник наукових праць. – Хмельницький: ТУП. – 2002, Том 2. – С. 21-23.
- [17] Азаров О.Д. Основи теорії аналого-цифрового перетворення на основі надлишкових позиційних систем числення. Монографія. Вінниця: УНІВЕРСУМ – Вінниця, 2004. – 257 с.
- [18] Романов В. А. Аналого-цифровые микропроцессоры в информационно-вычислительных и управляющих системах. Киев: Знание, – 1984. – 16с.
- [19] Высокопроизводительные преобразователи формы информации / А. И. Кондалев, В. А. Багацкий, В. А. Романов, В. А. Фабричев. К.: Наукова думка, – 1987.– 280с.
- [20] Палагин А.В., Романов В.А., Брайко Ю.А. и др. Микопроцессорный комплект гибридных интегральных схем для построения надежных систем управления // Электронное моделирование. – 1993, №3. – С.43-51.
- [21] В.О.Романов. Програмовані перетворювачі форми інформації у системах автоматизації та контролю // Тези доповідей “Автоматика – 95”, Том 4. – С.128.
- [22] Солонина А.И., Улахович Д.А., Яковлев Л.А. Алгоритмы и процессоры цифровой обработки сигналов. СПб.: БХВ – Петербург, – 2002. – 464с.
- [23] Айфичер Э., Джервис Б. Цифровая обработка сигналов: практический подход,

2-е издание. Пер. с англ. М.: Издательский дом "Вильямс", – 2004. – 992с.

- [24] Солонина А.И., Улахович Д.А., Яковлев Л.А. Цифровые процессоры обработки сигналов фирмы Motorola. СПб.: БХВ – Петербург, – 2000. – 385с.
- [25] Куприянов М.С. Техническое обеспечение цифровой обработки сигналов. СПб.: Наука и техника, – 2000. – 436с.
- [26] Рудаков П.И., Сафонов И.В. Обработка сигналов и изображений. Matlab 5x / Под общ. ред. Потемкина В.Г. М.: Диалог – МИФИ, -2000. – 649с.
- [27] Лукин. А. С. Введение в цифровую обработку сигналов. М.: МГУ, – 2002.
- [28] Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. Пер. с англ. М.: Издательский дом "Вильямс", – 2003. – 1104с.
- [29] Сергиенко А.К. Цифровая обработка сигналов. СПб.: Питер, – 2003. – 608 с.
- [30] Якименко Ю.І., Терещенко Т.О., Сокол Є.І., Жуйков В.Я. Мікропроцесорна техніка. – К.: ІВЦ Видавництво "Політехніка"; "Кондор", – 2004. –440с.
- [31] Джонсон Г., Грэхем М. Конструирование высокоскоростных цифровых устройств: начальный курс черной магии. Пер. с англ. – М.: Издательский дом "Вильямс", – 2006. – 624с.

Область научных интересов – разработка и моделирование компьютерных систем та їх компонент.



Мартинюк Валерій Володимирович – к.т.н., доцент кафедри радіотехніки Хмельницького національного університету. В 1993р. Закінчив навчання в Хмельницькому технологічному інституті. Після цього пройшов підготовку в аспірантурі Технологічного університету Поділля. По

результатах науково-дослідної роботи в 1997р. захистив кандидатську дисертацію по спеціальності "Радіовимірвальні прилади" в Вінницькому політехнічному університеті. У Хмельницькому національному університеті Мартинюк В.В. працює з 1998 р. За результатами проведених досліджень опублікував більше 50 наукових і навчально-методичних праць.

Область научных интересов – цифрове опрацювання сигналів, інтелектуальні вимірвальні пристрої, інформаційні вимірвальні системи та комплекси для електрохімічних суперконденсаторів.



Литвин Ігор Сергійович – к.т.н., доцент кафедри автоматизованих систем і програмування ТНЕУ. В 1983р. закінчив навчання в Московському Інженерно-Фізичному Інституті. Після цього пройшов підготовку в аспірантурі Фізичного

Інституту АН (м. Москва). По результатах проведеної науково-дослідної роботи в 1991р. захистив кандидатську дисертацію по спеціальності "Елементи і пристрої обчислювальної техніки та систем керування" в Інституті Проблем Керування АН (м. Москва). В Тернопільському національному економічному університеті Литвин І.С працює з 1994р. По результатах проведених досліджень опублікував більше 100 наукових і навчально-методичних праць, включаючи монографію та 2 навчальні посібники, рекомендовані міністерством освіти і науки України для студентів вищих навчальних закладів.



OPTOELECTRONICS FUNCTION AND ALGORITHM-SPECIFIC INFORMATIVE DEVICES ON THE BASIS OF DIGITAL SIGNAL PROCESSORS

Igor Lytvyn ¹⁾, Valeriy Martynyuk ²⁾

¹⁾ Department of Automated Systems and Programming,
Ternopil National Economy University,
Lvivska St. 11, Ternopil, 46004, Ukraine
²⁾ Department of Radio Engineering,
Khmelytskyi National University,
Institute St. 11, Khmelytskyi, 29016, Ukraine

Abstract: *presented analysis of influence of parameters and descriptions on informative processes passing in Optoelectronics Function and Algorithm-Specific Informative Devices units for providing a rational choice of information flow diagrams and hardware for their realization under the concrete task.*

Keywords: *Optoelectronics Function and Algorithm-Specific Informative Devices, Digital Signals Processor, Control System.*

Optoelectronics function and algorithm-specific informative devices (in future will be used term – OFASID) are intended for transformation of images given by analog or binary two dimensional light signals, in digital electric signals and for their previous processing. In many case progress in development OFASID determined new directions of science, technique and production [1]. It is conditioned by fact, that modern level of OFASID technology development given enough wide possibilities for the reception, transmission and processing information in Control Systems (in future will be used term – CS) about different objects or physical or technological processes, and their application is one of substantial progress trends of modern hardware of CS [2]. Industrial realization of optoelectronics methods and tools for perception and previous processing information is perspective direction for complex modernization of existing and which will be created. The wide using of OFASID in future is conditioned by advantages which given them by the electromagnetic radiation of optical range of spectrum, as a data carrier [3]. Due to unique properties for previous processing information of optical radiation OFASID can decide multi functional control task with high precision, fast-actings, reliability, capacity and practically unlimited possibilities for mathematical and logical information processing [4].

Structure diagrams OFASID include optical units (in future will be used term – OU), sensor – transformers of optical radiation (in future will be used term – STOR), analog electronic, analog to digital transformers (in future will be used term – ADT) and digital calculable units (in future will be used term – DCU) in which can be executed functional transformations and informing parameters of signals processing. Due to realization principle of parallelism of information processing in OB, by one time in OU it is possible to execute two dimensional Fourier and Fresnel transformation, mutual correlation, operations of multiplying, division, addition, deduction, integration, differentiation of images. In OU can be easily realized different algorithms of images filtration also. High fast-acting is basic advantage of OU, because of processing time for difficult integral images transformations determined by the time of image input in OU ($\sim 10^{-9}$ s). Number of processing pixels in OU for typical image are more then $> 10^8$. It predetermines inconsistency of high informative efficiency OU with limited informative STOR, ADT and DCU efficiency, because capacity of these blocks (amount of signals transformations) limited by quantity $\sim 10^8$ bit/s. Lacks of OU for processing images are limited class of tasks, which get solved by them and absence of technical base necessary for creation OFASID, which can work in real terms and in real time [5].

OFASID, solves as a rule, the tasks of most full gathering, processing and presentation information about structure of optical radiation field, therefore there is the problem for achievement of informative compatibility of OU, ADT and DCU. Features of optical images processing depends from the type OFASID and from their purpose (branch of industries using). Because stages of images processing algorithms can be executed in different function units OFASID, therefore necessary coordinate informative compatibilities on all stages of development, production and using of OFASID. Efficiency of OFASID using goes down if default of such concordance and is not eliminated possibility of wrong reception and transformation of signals or structure diagram OFASID is complicated and not justified rises in price. Analysis of factors which influence on flowline of informative processes in OU, STOR, ADT and DCU for providing rational choice of OFASID structure diagram and hardwares for its realization under concrete task is purpose of this article.

For estimation of productivity and efficiency of images processing various quality and quantitative descriptions are used. By such descriptions in OFASID, in particular, can be: time and speed of transformation and image processing, capacity of memory, reliability, and also software possibilities (used programming languages, library of the standard programs, possibilities of operating system, problem orientation).

Digital signals processing in principle related to presentation of any signal as sequence of numbers. It means that entrance analog signal must be regenerate by Digital Signals Processor – DSP into some initial sequence of numbers conversation and next into new digital sequence by set of algorithms,

that simply correspond to input analog signal. With aim to got continuous influence of CS the resulting analog signal may be formed by DSP. In OFASID takes place mixed presentation of information and it is possible for different distributing of realized algorithms stages between different units of OFASID: OU, STOR, ADT and DCU. The inclusion of DSP in OFASID substantially improves technical descriptions OFASID and allows obtain adaptability of images transformation and processing and to optimize the set of units, communications, methods of exchange and processing algorithms distributing.

6. REFERENCES

- [1] Pavlov S.V., Stanchuk K.I., Khani Al-Zubi, Zabrodskaya S.V., Repina O.B. Analysis of development of PZZ-structures in researches. Measuring and computing techniques in technological processes, Khmelnytsky, No.4, 2001, pp.13-18. (in Ukrainian).
- [2] V. Gurtov, Solid-state electronics, Moscow: Technosphere, 2007, 283 p. (in Russian).
- [3] Kozhemyako V.P., Martynyuk T.B., Suprygin O.I., Klimkina D.I. Quant transformers on optoelectronics logical-time environments for eye-processor image processing, Vinnytsya: UNIVERSUM, 2007, 126 p.
- [4] Lytvyn I.S. Primary transformers on the base of integral CMOS-n-p structures in tasks of optical images processing, Lviv, Technical Visti, 1998, No.1(6), pp. 30-34. (in Ukrainian)
- [5] Ermakov O.N., Applied optoelectronics, Moscow: Technosphere, 2006, 432 p. (in Russian)