

Метод визначення оптимального часу освітлення світлочутливого елемента при обробленні цифрового зображення у програмно-апаратному комплексі для визначення наявності непрозорих або напівпрозорих об'єктів

Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «ХАІ»

Проведено аналіз існуючих рішень в області оптичного виявлення малих геометричних об'єктів. Розглянуто можливі методи щодо виявлення об'єктів за умов комплексу, що розробляється. На основі аналізу проведено вибір оптимального методу, розроблено алгоритм пошуку. Спроектовано електричну схему комплексу для отримання цифрового зображення. Побудовано діючий прототип електронної схеми, створено програмний код для мікроконтролера. Проведено ряд експериментальних вимірювань за допомогою комплексу. За результатами побудовано графіки, за якими виявлено оптимальне значення часу освітлення світлочутливих елементів.

Ключові слова: оптичне виявлення малих геометричних об'єктів, цифрове зображення, мікропроцесор, "розумний дім", матриця, піксель, аналого-цифрове перетворення, роздільна здатність, експонування, освітленість, фоторезистор, послідовна шина даних I²C, послідовний інтерфейс RS-232, програмування.

Задачі визначення малих геометричних об'єктів знаходять широке застосування в народному господарстві, наприклад у системах моніторингу земної і водної поверхні. Іншою стороною є застосування також у військовій галузі, наприклад для наведення і самонаведення літальних апаратів. Подібні задачі вирішуються уже давно, існує безліч методів для їх розв'язання. У більшості рішень результат зводиться до цифрової обробки зображень, які були отримані від оптичних чи радіометричних засобів реєстрації [1,2,3,4].

У межах розвитку проекту "розумний дім" [5,6] створюється програмно-апаратний комплекс для визначення малих геометричних об'єктів оптичними методами на прикладі визначення наявності поштової кореспонденції у типовій поштової скриньці багатопверхового будинку, надалі – "комплекс" (рис. 1).

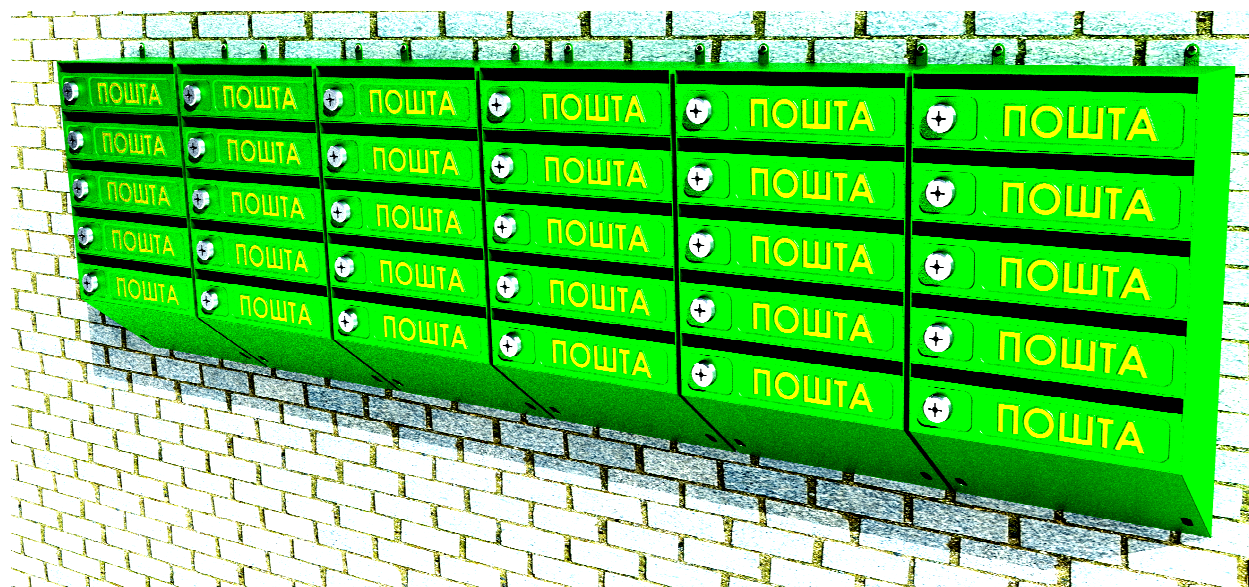


Рис. 1. Модель типових поштових скриньок багатопверхового будинку

У комплексі, що проектується, вирішується задача пошуку об'єктів у визначеній області пошуку. Область пошуку – це двовимірна площина, обмежена геометрією нижньої частини поштової скриньки з розмірами 370x220 мм, на яку потрапляють об'єкти пошуку. Об'єкти пошуку – поштова кореспонденція довільної форми і з різною прозорістю. В умовах даної роботи прийнято, що об'єкти пошуку мусять мати геометричний розмір не менше як 70x70 мм, бути непрозорими або напівпрозорими з прозорістю не більше ніж у еталона. За еталон прийнято білий аркуш офісного паперу товщиною 0,1 мм і густиною 70...80 г/мм.

Конструкція поштової скриньки має замкнутий контур з отвором для потрапляння поштової кореспонденції. Через цей отвір також частково потрапляє освітлення від зовнішнього середовища.

Як і подібні задачі з визначення малих геометричних об'єктів, задача цього проекту вирішується обробленням цифрового зображення, отриманого від оптико-електронних датчиків. Вирішення задачі дещо спрощується, оскільки існують такі заздалегідь відомі умови для пошуку об'єктів:

- обмежена і відома геометрія пошуку що не змінюється у часі;
- немає необхідності визначення форми геометричних об'єктів, а тільки визначення відсутності чи наявності цих об'єктів;
- об'єкти пошуку статичні за формою та за розташуванням у просторі;
- об'єкти пошуку мають мінімально відомі фізичні властивості;
- оптичні властивості внутрішньої конструкції поштової скриньки статичні та відомі.

Виходячи з цього головна мета проекту – отримання цифрового зображення, на якому може бути зафіксовано об'єкт пошуку. Це зображення може бути отримано двома методами: методом реєстрації пропущеного певного сигналу через об'єкт пошуку або методом реєстрації відбитого певного сигналу від об'єкта пошуку.

Будь-яке електромагнітне випромінювання пов'язано з процесами, що відбуваються в атомах або молекулах. Здатність випромінювати і поглинати електромагнітне випромінювання є загальною властивістю всіх атомів і молекул. Випромінювання (поглинання) вибіркоче, тобто випромінювання тільки певної довжини хвилі даною молекулою інтенсивно поглинається, тоді як випромінювання інших довжин хвиль поглинається слабо або зовсім не поглинається. Крива залежності поглинання від довжини випромінюваної хвилі (або частоти випромінювання) називається спектром поглинання речовини, який є специфічною характеристикою даної речовини. Якщо поглинач – тверде тіло (скло, пластмаси і т. ін.), області поглинання широкі і межа смуги поглинання, як правило, не різка. Для збудження електронних переходів молекул звичайно необхідним є видиме або ультрафіолетове випромінювання. Низько енергетичне інфрачервоне (ІЧ) випромінювання порушує коливальні переходи в атомній підсистемі молекул [7]. Інфрачервоне випромінювання це практично те ж, що і звичайне світло. Єдина відмінність полягає в тому, що при попаданні на предмети видима частину спектру стає освітленням, а ІЧ-випромінювання поглинаються тілом, перетворюючись при цьому в енергію тепла. Оптичні властивості речовин в ІЧ-області спектра (прозорість, коефіцієнт віддзеркалення, коефіцієнт заломлення), як правило, значно відрізняються від оптичних властивостей у видимій і ІЧ-областях спектра. Багато речовин, прозорі у видимій області, виявляються непрозорими в деяких областях ІЧ-випромінювання, і навпаки. Наприклад, шар води завтовшки в декілька сантиметрів непрозорий для ІЧ-випромінювання з довжинами хвиль λ більше 1000 нм (тому воду часто використовують як теплозахисний фільтр), пластинки германію і кремнію, непрозорі у ви-

димій області, прозорі для ІЧ-випромінювання (германій - для $\lambda > 1800$ нм, кремній - для $\lambda > 1000$ нм). Чорний папір прозорий в далекій ІЧ-області. Речовини, прозорі для ІЧ-випромінювання і непрозорі у видимій області, використовують як світлофільтри для виділення ІЧ-випромінювання [8].

У даному проекті як джерело сигналу використовують видиме світло — область спектра електромагнітних хвиль, що безпосередньо сприймається людським оком, характеризується λ від 380 (фіолетовий колір) до 750 (червоний колір) нм.

Кількісний аналіз пов'язаний з вимірюванням поглинання електромагнітного випромінювання, оснований на основному законі світлопоглинання – "Бугера-Ламберта-Бера" за умов монохроматичного випромінювання, сталої температури, і паралельного пучка випромінювання. Цей закон встановлює залежність поглинальної здатності речовини від її природи, концентрації та товщини шару, через який проходить світло з початковою інтенсивністю I_0 . На виході з шару інтенсивність світла становить I . Частку поглинутого світла характеризує значення пропускну здатності (трансмисії) T (1). Оптична густина A є безрозмірною відносною величиною і може набувати значень від 0 до нескінченності (2).

$$T = I/I_0, \quad (1)$$

$$A = -\lg(T), \quad (2)$$

$$\rho_d = \Phi_d/\Phi_0. \quad (3)$$

Кількісний аналіз пов'язаний з вимірюванням відбитого електромагнітного випромінювання, оснований на законі дифузного відбиття світла – законі Ламберта, згідно з яким яскравість L розсіюючого світла (дифузного) поверхні однакова у всіх напрямках. Закон був сформульований в 1760 році І. Ламбертом. В даний час розглядається як закон ідеального розсіювання світла, зручний для теоретичних досліджень. Однак він знаходить застосування і для наближених фотометричних і світлотехнічних розрахунків. Кількісно коефіцієнт дифузного відбиття дорівнює відношенню дифузного потоку випромінювання, відбитого тілом Φ_d , до потоку, що упав на тіло Φ_0 (3) [14].

Даний комплекс реєструє видиме світло. Для реєстрації частини світла, що проходить через об'єкт пошуку, або частини світла, що відбилася від об'єкт пошуку, можуть використовуватися напівпровідникові прибори, такі, як фототранзистори, фотодіоди або фоторезистори, їх головна особливість змінювати свої електричні властивості при освітленні.

На основі реєстраційних даних про частину світла комплекс отримує цифрові зображення на яких може бути зафіксовано об'єкт пошуку. Цифрове зображення – масив даних, отриманий шляхом дискретизації (аналога-цифрового перетворення) оригіналу. Для отримання цифрового зображення світлочутливі елементи рівномірно розміщують у площині геометрично у вигляді матриці $m \times n$, де m – кількість рядків, n – кількість стовпців. Зображення освітлюється світлом, на цю площину потрапляє проекція від оригіналу зображення або методом реєстрації відбитого світла від зображення, або методом реєстрації світла, пропущеного через зображення. Послідовним скануванням матриці світлочутливих елементів отримується двовимірний масив даних із загальною кількістю елементів $m \times n$.

Кожен елемент масиву даних являє собою найдрібнішу одиницю цифрового відображення оригіналу зображення, що називається пікселем. Зображення має колір, тому і кожен піксель має нести частку цифрової інформації про колір. Кожен

піксель трансформованого цифрового зображення — об'єкт, що характеризується визначенням кольором або градацією одного кольору i , можливо, прозорістю. Один піксель може зберігати інформацію тільки про один колір, який i асоціюється з ним [9]. Точність передачі реального кольору у цифровому вигляді залежить від глибини кольору [10]. Глибина кольору визначається кількістю бітів, які використовуються для подання кольору одного пікселя цифрового зображення. Так, для передачі двоколірного зображення (найчастіше це чорно-біле) необхідно 1 біт інформації ($2^1 = 2$ кольори). Прикладом такого зображення є гравюри. Чим більша розрядність в інформації про колір, тим більший кольоровий діапазон оригіналу можна зберегти у цифровій копії. За допомогою 8 біт інформації можна передати $2^8 = 256$ кольорів або градацій одного кольору, а за допомогою 24 біт $2^{24} = 16777216$ кольорів або градацій одного кольору.

Розміри масиву даних залежать від необхідності передати розміри найменшого елемента зображення і визначаються роздільною здатністю (англ. resolution) — величина, що визначає кількість пікселів на одиницю площі (або одиницю довжини). Так, якщо треба розрізнити найменший елемент зображення з розмірами 1 мм x 1 мм на площі у 81400 мм^2 (370×220 мм), то потрібно мати масив даних цифрового зображення з 81400 пікселів. Якщо найменший елемент має розміри 10 мм x 10 мм, то слід мати масив даних цифрового зображення з 814 пікселів. Так, за умовами даної роботи необхідно розпізнавати розмір не менш як 70×70 мм, тому мінімальна кількість пікселів становить $(370/70 \times 220/70) = (5,29 \times 3,14) = 16,62$ округлюючи до найближчих цілих чисел, отримаємо масив даних з розміром $(6 \times 3) = 18$ пікселів. Для збереження інформації про зображення з глибиною кольору у два кольори (1 біт), необхідно зберегти $18 \text{ пікселів} \times 1 \text{ біт} = 18 \text{ біт}$, з глибиною кольору у 8 біт, необхідно зберегти $18 \times 8 = 144$ біти або 18 байт, а з глибиною кольору у 24 біти, необхідно зберегти $18 \times 24 = 432$ біти або 54 байти.

Метою даного комплексу є визначення наявності чи відсутності певних об'єктів у замкнутому середовищі методом освітлення світлочутливих елементів.

Технічно це може бути вирішено такими методами:

1. Освітлення площини пошуку і реєстрація матрицею світлочутливих елементів за розмірами, яка дорівнює площі пошуку, кількості світла, що пройшло через об'єкт пошуку. Джерело освітлення знаходиться над площиною пошуку, матриця світлочутливих елементів знаходиться безпосередньо у площині пошуку, під об'єктом пошуку (рис. 2).

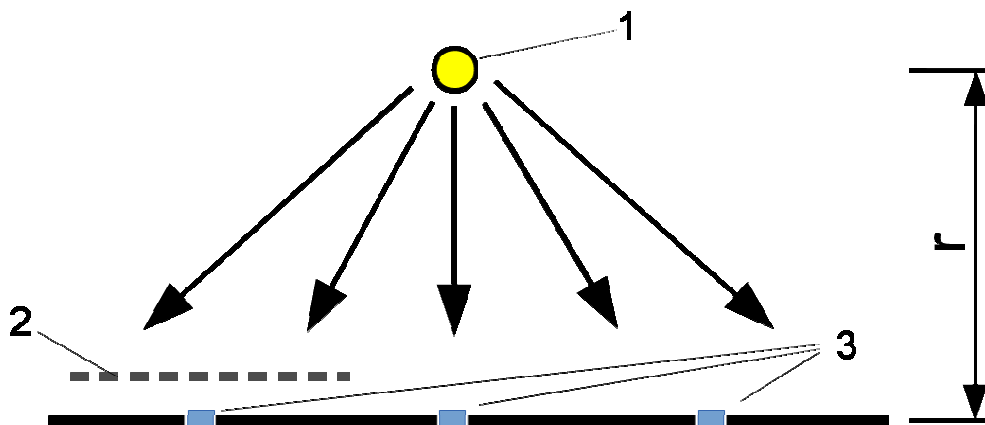


Рис. 2. Реєстрація кількості світла, що проходить через об'єкт пошуку: 1 – джерело світла; 2 – об'єкт дослідження; 3 – світлочутливий елемент

2. Освітлення площини пошуку і реєстрація, матрицею світлочутливих елементів за розмірами, яка дорівнює площі пошуку, кількості світла, що відбилась від об'єкта пошуку. Джерело освітлення знаходиться над площиною пошуку, матриця світлочутливих елементів знаходиться над площиною пошуку, над об'єктом пошуку, але за джерелом освітлення (рис. 3).

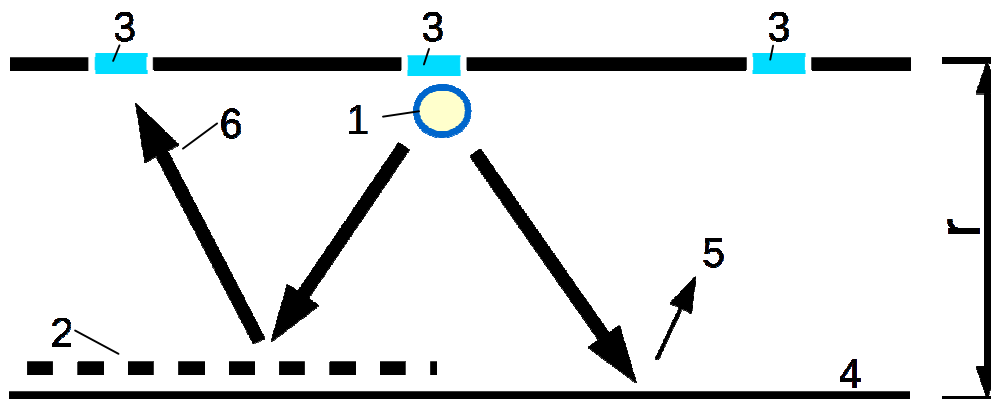


Рис. 3. Реєстрація кількості світла, що відбилосся від об'єкта пошуку: 1 – джерело світла; 2 – об'єкт дослідження; 3 – фото чутливий елемент; 4 – площина пошуку; 5 – відбита частина світла не від об'єкта пошуку; 6 – відбита частина світла від об'єкта пошуку

3. Комбінований метод освітлення площини пошуку і реєстрація кількості світла, що відбилась від об'єкта пошуку, кількості світла, що пройшла через об'єкт пошуку (рис. 4).

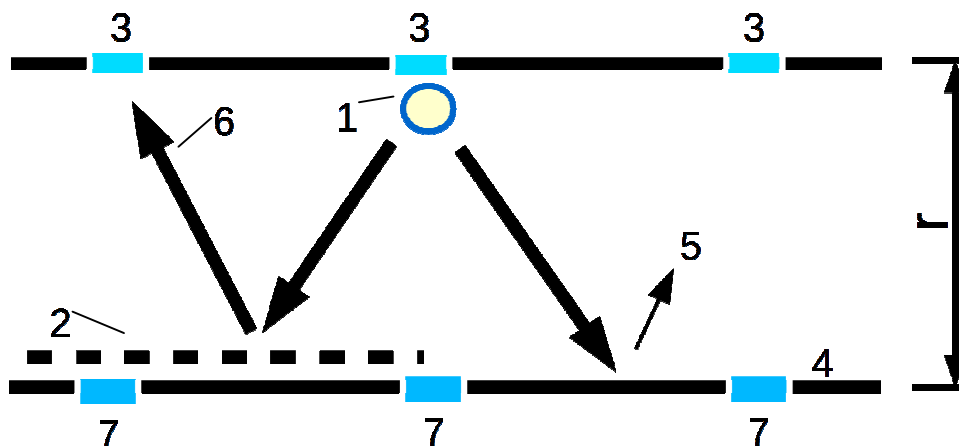


Рис. 4. Комбінований метод реєстрації кількості світла: 1 - джерело світла; 2 - об'єкт дослідження; 3 - світлочутливий елемент для реєстрації відбитого світла; 4 - площина пошуку; 5 - відбита частина світла не від об'єкта пошуку; 6 - відбита частина світла від об'єкта пошуку; 7 - світлочутливий елемент для реєстрації пропущеного світла

4. Освітлення площини пошуку і реєстрація матрицею світлочутливих елементів, зменшеною за розмірами, але з оптичною системою збільшення – об'єктивом, кількості світла, що відбилась від об'єкту пошуку. Джерело освітлення знахо-

диться над площиною пошуку, матриця світлочутливих елементів знаходиться над площиною пошуку, над об'єктом пошуку, але за джерелом освітлення (рис. 5).

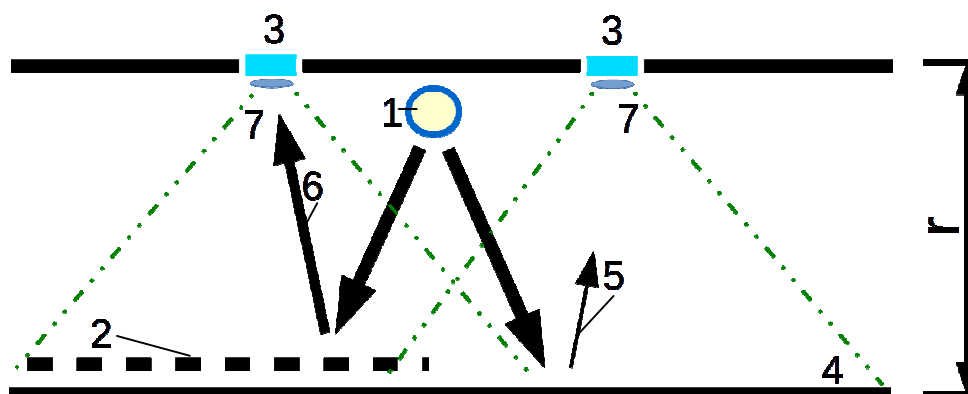


Рис. 5. Реєстрація кількості світла; що відбилася від об'єкта пошуку з використанням об'єктивів: 1 – джерело світла; 2 – об'єкт дослідження; 3 – матриця світлочутливих елементів з об'єктивом; 4 – площиною пошуку; 5 – відбита частина світла не від об'єкта пошуку; 6 – відбита частина світла від об'єкта пошуку; 7 – кут огляду об'єктива

Кожний з наведених прикладів має свої позитивні і негативні властивості. Так, перший і третій методи потребують наявності двох площин з конструктивними елементами, площину пошуку з світлочутливих елементів і площину для розміщення джерела світла. Другий метод потребує більш чутливих світлочутливих елементів для реєстрації відбитої частини світла, але усі конструктивні елементи можна розмістити в одній площині. Даний метод має зменшену чутливість до виявлення об'єктів з темними відтінками кольорів, оскільки зменшується різниця відбитої частини світла від об'єкта і відбитої частини світла від внутрішньої поверхні замкнутого контуру. Перший метод може якісніше визначити непрозорі, тобто темні, об'єкти, але чим більша прозорість у об'єкта, тим менша чутливість до виявлення. Третій метод комбінує позитивні сторони першого і другого з методів, але конструктивно збільшується кількість світлочутливих елементів що розміщуються у двох площинах. Четвертий метод – це практично другий метод але він дозволяє суттєво зменшити розміри конструкції, використавши світлочутливі елементи з об'єктивом, наприклад фотокамери від мобільного телефону, покривши усю площу пошуку необхідною кількістю маленьких камер залежно від кута огляду об'єктива. Але цей метод потребує більш ємних програмно-апаратних затрат для зберігання і аналізу отриманих зображень від фотокамер.

Усі з наведених методів мають спільну мету – визначення кількості світла що потрапляє на світлочутливі елементи.

Експонування (опромінювання, засвічення) — процес опромінювання світлом. Кількість освітлення (світлової енергії), лм·с, що його дістає опромінюваний світлочутливий елемент дорівнює добутковій освітленості на час освітлення (виримку) (4).

$$Q = E * t, \quad (4)$$

де E – освітленість, лм, t – час, с [4].

Оскільки кількість світлової енергії, що потрапляє до світлочутливого елемента, залежить від часу освітлення, треба визначити час освітлення.

Експонування широко використовуються у фотографії як у традиційній, так і цифровій. Якщо витримка буде недостатньою, то все зображення світлини буде темне, а якщо витримка буде довгою, то буде надлишкове експонування і все зображення світлини буде світле. І у таких випадках відрізнити об'єкт пошуку на зображенні буде неможливо.

Метою даної роботи є визначення оптимального часу освітлення світлочутливого елемента.

Для даного комплексу вибрано перший метод для визначення наявності чи відсутності певних об'єктів у замкнутому середовищі, за умови ефективного визначення непрозорих елементів, оскільки у більшості випадків поштова кореспонденція складається з об'єктів, що мають прозорість, меншу, ніж вибраний еталон.

Одною з головних властивостей об'єкта, що визначається, є його прозорість (оптична густина). У галузі оптики прозорість середовища — це фізична властивість матеріалів пропускати світло наскрізь. Окрім цього, існує ще й напівпрозорість, особливістю якої є вибіркове поглинання променів світлового потоку із цілком певними електромагнітними характеристиками [12].

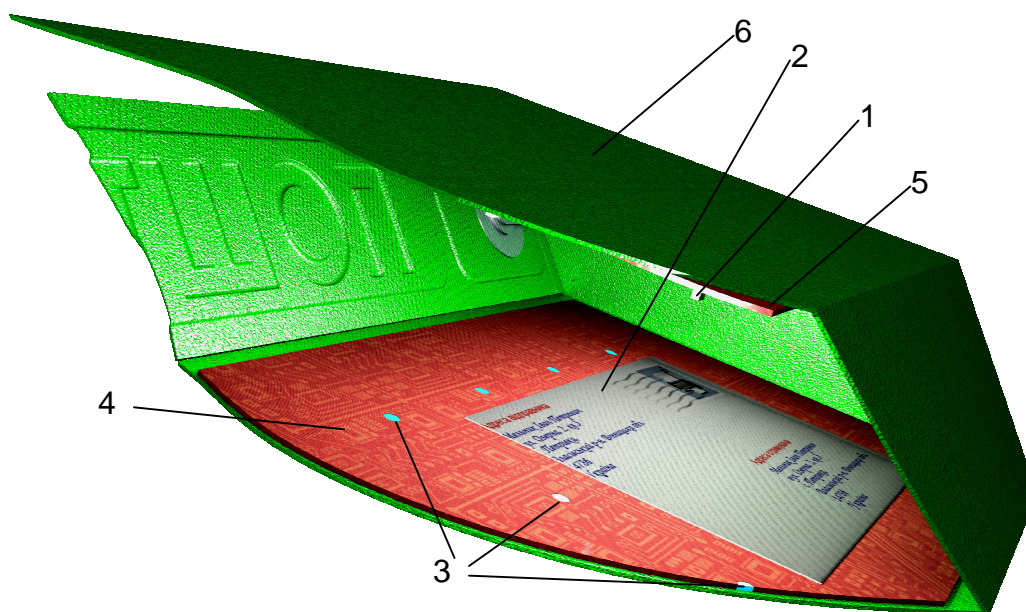


Рис. 6. Модель конструкції комплексу (поперечний переріз): 1 – джерело світла; 2 – об'єкт дослідження; 3 – світлочутливий елемент; 4 – електрична плата з матрицею світлочутливих елементів; 5 – електрична плата з джерелами світла; 6 – корпус поштової скриньки

Принцип роботи комплексу зображено на рис. 2, а на рис. 6 показано комп'ютерну модель конструкції комплексу у схематичному поперечному перерізу. Об'єкт дослідження розміщують над групою світлочутливих елементів які об'єднані на площині у логічну та геометричну матрицю (рис. 8). На висоті r (рис. 2) від площини розташовано джерело світла, котре вмикається на певний період часу освітлення.

За період часу освітлення на різні світлочутливі елементи потрапляє різна кількість світла.

Ця кількість залежить від об'єкта дослідження:

- затінений світлочутливий елемент об'єктом дослідження чи ні;

- чи є об'єкт дослідження непрозорим або напівпрозорим.

Світлочутливі елементи, що не затінені об'єктом дослідження, отримують найбільшу кількість світлової енергії і більше за все змінюють свої електричні властивості. Світлочутливі елементи, що затінені об'єктом дослідження, отримують найменшу кількість світлової енергії і менше за все змінюють свої електричні властивості.

Апаратна частина комплексу реєструє значення електричних властивостей світлочутливих елементів, що пропорційні освітленості – еквівалент освітленості. З отриманих значень створюється цифрове зображення, де за один піксель прийнято значення, отримане від одного світлочутливого елемента, а програмна частина комплексу аналізує ці значення і робить висновки.

Освітленість — освітлення поверхні, що створюється світловим потоком, який падає на поверхню. Освітленість прямо пропорційна силі світла джерела світла. При віддаленні його від освітлюваної поверхні, її освітленість зменшується обернено пропорційно до квадрата відстані. Коли проміння світла падає похило до освітлюваної поверхні, освітленість збільшується пропорційно косинусу кута падіння проміння:

$$E = \frac{I}{r^2} \cos i, \quad (5)$$

де E – освітленість; r – відстань від джерела до об'єкта; I – сила світла точкового джерела; i – кут падіння променів відносно нормалі до поверхні [14].

Якщо використати одне точкове джерело світла, відповідно до закону (5), центральна частина матриці світлочутливих елементів отримає більшу частину світлової енергії, ніж віддалені від центру світлочутливі елементи схеми. Чим менше відстань r від джерела освітлення, тим більше кут падіння променів i (5) і в результаті менше освітленість у крайніх зонах освітлення.

За таких умов формується нерівномірність отриманих значень від світлочутливих елементів. Ця нерівномірність збільшується з можливими відхиленнями значень кожного з екземплярів світлочутливих елементів, а також додатковим освітленням від навколишнього середовища. Зменшити цю нерівномірність можна, створивши більш рівномірне освітлення, збільшивши кількість точкових джерел світла над площиною фоторезисторів, зменшити вплив зовнішнього середовища і використовувати світлочутливі елементи з однієї партії одного виробника.

Пошук об'єктів проводили аналізом цифрового зображення, порівнюючи значення еквіваленту освітленості кожного пікселя з граничними значеннями. Діапазон граничних значень визначає, чи є об'єкт пошуку чи ні.

У випадку пошуку непрозорого об'єкта достатньо мати одне граничне значення. Якщо значення еквіваленту освітленості для пікселя, нижче цього значення, то вважається, що об'єкт присутній, якщо вище, – то об'єкт відсутній. Це граничне значення визначають експериментально, зробивши заміри при затіненні світлочутливих елементів непрозорим об'єктом. Для пошуку напівпрозорого об'єкта граничне значення визначається затіненням непрозорим об'єктом. Як найпрозоріший об'єкт використано еталон. Якщо значення еквіваленту освітленості пікселя нижче цього значення, то вважається, що об'єкт присутній і є або непрозорим, або напівпрозорим, якщо значення вище, то об'єкт відсутній або прозоріший, ніж еталон.

Для непрозорого об'єкта кількість світлової енергії Q , що потрапляє до світлочутливого елемента, мало залежить від часу освітлення t (4), оскільки можна

вважати, що освітленість E після проходження світла непрозорого об'єкта з великою оптичною густиною A (2) близька до нуля.

А ось для напівпрозорого об'єкта з оптичною густиною A кількість світлової енергії Q , що потрапляє до світлочутливого елемента, більше залежить від часу освітлення t (4). Так, кількість світлової енергії Q , що потрапляє до світлочутливого елемента, може бути однаковою для напівпрозорих об'єктів з різною оптичною густиною A , і різним часом освітлення t (4), що не дозволяє однозначно визначити об'єкт пошуку.

Оскільки світлочутливі елементи мають власні фізико-електричні властивості, такі, як час відгуку, чутливість до певного спектра світлового діапазону, треба експериментально визначити час освітлення з використанням еталонного напівпрозорого об'єкта з певною товщиною і оптичною густиною A (2).

Освітленість світлочутливих елементів після проходження джерела світла через напівпрозорий об'єкт залежить від багатьох чинників, таких, як прозорість об'єкта дослідження (оптичної густини) у різних діапазонах світлового спектра, геометричного розташування від точкового освітлення, дифузійних, поляризаційних властивостей об'єкта дослідження, тощо.

Алгоритм експериментального визначення оптимального часу освітлення світлочутливого елемента складається з таких етапів:

1. Експериментальне визначення еквівалента освітленості світлочутливого елемента без освітлення впродовж часу t (4).
2. Експериментальне визначення еквівалента освітленості світлочутливого елемента з освітленням впродовж часу t (4).
3. Визначення відносного значення еквівалента освітленості з освітленням від значення еквівалента освітленості без освітлення.

За таким алгоритмом отримується еквівалент освітленості зі зменшеним впливом додаткового освітлення від зовнішнього середовища.

Світлочутливий елемент накривається еталонним об'єктом, і етапи вимірювання повторюються. Отримані значення вимірювань зводяться до електронних таблиць.

Потім, збільшується час освітлення t (4), і вимірювання починаються з п.1, доки час освітлення не набере значення, максимального для даних вимірювань. У межах даної роботи час освітлення t (4) змінюється від 5 до 1000 мс.

Закінчивши вимірювання, створюють додаткові проміжні електронні таблиці, за якими будують графіки:

1. Залежності відносного значення еквівалента освітленості від часу без еталонного об'єкта.
2. Залежності відносного значення еквівалента освітленості від часу з еталонним об'єктом.
3. Залежності різниці відносних значень еквівалентів освітленості від часу без еталонного об'єкта із еталонним об'єктом.

Графоаналітичним методом за графіком визначають оптимальний час освітлення t (4) при якому різниця відносних значень еквівалентів освітленості має найбільше значення.

За отриманим значенням оптимального часу освітлення t (4) та графіками знаходять граничні умови відносного значення еквівалента освітленості без еталонного об'єкта, таї з еталонним об'єктом. За граничними значеннями приймають

рішення про наявність або відсутність об'єкта пошуку над одним пікселем цифрового зображення. Отримані граничні значення зберігаються для кожного з світлочутливих елементів або групи елементів, щоб зменшити вплив нерівномірності.

Для визначення наявності непрозорих об'єктів дослідження на всій площі пошуку необхідно послідовно отримати цифрове зображення із всіх світлочутливих елементів за його аналізом, використовуючи граничні значення, визначають наявність об'єкта або об'єктів пошуку над всією площею пошуку.

Апаратна частина збудована за електричною схемою (рис. 7), у ролі датчиків, чутливих до освітлення, використовують фоторезистори. Фоторезистор — елемент електричного кола, який змінює свій опір при освітленні. Принцип дії фоторезистора оснований на явищі фотопровідності — зменшенні опору напівпровідника при збудженні носіїв заряду світлом [11].

За алгоритмом проводиться сканування матриці елементів для визначення еквівалента електричного опору фоторезисторів у вигляді напруги у діапазоні від 0 до $V_{pp}/2$.

Визначення еквівалента електричного опору фоторезисторів проводиться за допомогою аналого-цифрового перетворювача (АЦП), що вбудований у мікропроцесор. АЦП даної схеми має розрядність 8 біт, який дозволяє теоретично виміряти значення у діапазоні від 0 до 256. Але оскільки за схемним рішенням визначається тільки діапазон від 0 до $V_{pp}/2$, то і виміряні значення АЦП будуть у діапазоні від 0 до 127. Таким чином, можна вважати, що отримане цифрове зображення матиме максимальну глибину кольору – 7 біт. Це може визначити до 127 градацій одного кольору.

Вимірювання проводять у таких варіантах:

- без освітлення і без об'єкта дослідження;
- освітлено без об'єкта дослідження;
- без освітлення з об'єктом дослідження;
- освітлено з об'єктом дослідження.

Для всіх варіантів проведено вимірювання зі змінення часу освітлення від 5 до 1000 мс, зі зростаючим кроком від 5 мс для згущення сітки вимірювань у зоні до 500 мс. Для даного експерименту вимірювання обмежено одним стовпцем і трьома рядками матриці фоторезисторів. Виводи з фоторезисторів під'єднані до трьох каналів АЦП. Загальна кількість вимірювань становить: $804 = 3$ рядки датчиків $\times 4$ варіанти освітлення $\times 67$ часових проміжків.

Математично вираховують абсолютну різницю значень у стані без освітлення та в освітленому стані як з об'єктом дослідження, так і без нього. Ці значення можна описати як відносні значення освітленого стану від неосвітленого стану.

Потім вираховується різниця відносних значень як з об'єктом дослідження, так і без нього. На основі отриманих даних будуються таблиці та графіки. На графіках відображаються середні значення, а також за середніми значеннями будується графік тенденції значень, використовуючи поліномний тип регресії у 5 градусів.

Графоаналітичним методом визначають оптимальне значення часу освітлення за максимальним значенням (рис. 12).

Геометричний розмір матриці та кількість її елементів залежить від мінімальних і максимальних розмірів об'єктів, що мають бути виявлені, та точності визначення. Для даного комплексу метою є визначення об'єкта або групи об'єктів з мінімальним розміром 70×70 мм і максимальним розміром, який обмежений тільки розмірами замкнутого середовища 370×220 мм (рис. 8). За цими значеннями попе-

тливістю у діапазоні 560 нм (спектр зелено-жовтого кольору), час відгуку: зростання – 20 мс, загасання – 30 мс.

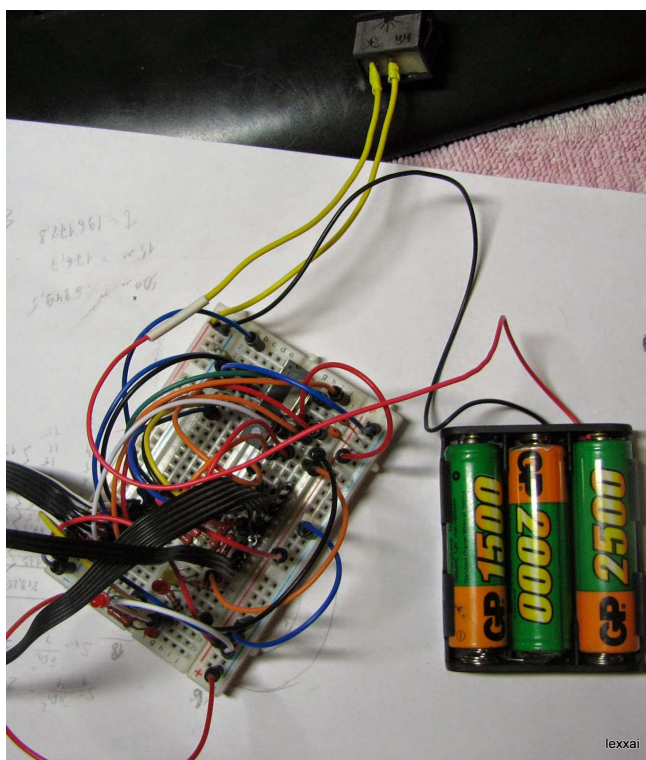


Рис. 9. Експериментальний макет електричної частини комплексу

За цих умов отримано цифрове зображення з розмірами у 18 пікселів та з 127 градаціями еквівалента освітленості у спектрі зелено-жовтого кольору. Для зберігання такого зображення мінімально потрібно $18 \times 7 = 126$ біт, але з урахуванням конструктивних особливостей мінімальна величина зберігання становить 1 байт, або 8 біт, тому для зберігання потрібно мати $18 \times 8 = 144$ біти, або 18 байт.

Як джерело світла використано групу світлодіодів (LED) білого кольору, видимої частини спектра світла від кишенькового ліхтарика на висоті $h = 150$ мм.

Апаратна частина комплексу збудована з використанням 8-розрядного мікроконтролера фірми «Microchip» – «PIC16F716» [15]. Мікроконтролер має 35 команд, один такт виконується за 200 нс. Мікроконтролер має чотирьохканальний 8-бітний АЦП, флеш-пам'ять для програм розміром 3,5 КБ і оперативну пам'ять розміром 128 байт. Працює мікроконтролер у діапазоні напруг від 2 до 5,5 В.

Керуюча програма написана мовою програмування C з використанням середовища розробки MPLAB X IDE v2 та компілятора XC8 для отримання програмного коду мікропроцесора. З використанням додаткових функцій програматора «PICkit 2» результат роботи передається до персонального комп'ютера через програмно емульований інтерфейс RS-232 підпрограмою «send_serial_byte».

Програма зберігає масиви даних для двох цифрових зображень в освітленому та затемненому станах, для чого використано $18 \times 2 = 36$ байт оперативної пам'яті.

Результатом роботи програми є вивід послідовних даних у шістнадцятиричному форматі до консолі через інтерфейс RS-232 до персонального комп'ютера. Дані обробляються на персональному комп'ютері спеціальними маленькими програмами (скриптами). Результат передається до електронних таблиць, дані обро-

блялися за допомогою додаткових формул з конвертації до десяткової системи числення і т. ін. За результатами збудовано графіки залежності відносних значень вимірювань без об'єкта дослідження від часу освітлення (рис. 10), залежності відносних значень вимірювань з напівпрозорим об'єктом дослідження від часу освітлення (рис. 11), залежності різниці відносних значень вимірювань без об'єкта та з об'єктом дослідження від часу освітлення (рис. 12), де R_0 , R_1 , R_2 – абсолютні результати різниці вимірювань АЦП для фоторезисторів відповідних рядків матриці, Avg – середнє значення відповідних рядків матриці, t – час освітлення, мс, AD value – оброблені значення від АЦП.

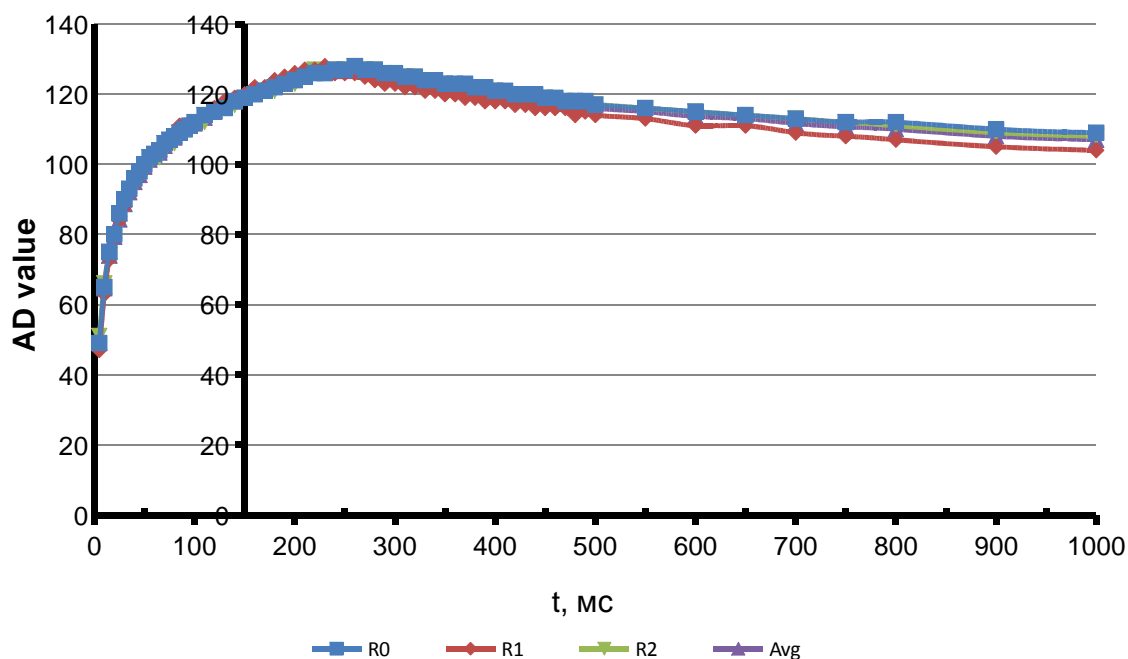


Рис. 10. Залежність відносних значень вимірювань без об'єкта дослідження від часу освітлення

За графіком (рис. 12) графоаналітичним методом визначено, що оптимальний час освітлення, при якому спостерігається максимальна різниця (екстремуму функції полінома середнього значення) вимірювань без об'єкта дослідження та з напівпрозорим об'єктом дослідження, становить 150 мс.

При такому часі освітлення, якщо різниця еквівалента значення освітленості (від затемненого до освітленого) становить більше 110..115 (рис. 10), то непрозорий або напівпрозорий об'єкт дослідження відсутній; якщо значення менше 80...90 (рис. 11), то непрозорий або напівпрозорий об'єкт присутній (з урахуванням допустимих відхилень можливих значень, отриманих від АЦП).

При вмиканні схеми мікропроцесор завдяки запрограмованому у нього програмного коду отримує масив даних цифрових зображень для двох станів методом послідовного опитування фоторезисторів (сканування). Використовуючи граничні значення для визначення станів, після сканування визначається наявність затієних пікселів цифрового зображення непрозорим або напівпрозорим об'єктом. Якщо виявляється хоч один такий піксель, схема сигналізує про це періодичним спалахом світлодіода "LED4" за електричною схемою (рис. 7) і комплекс вимикається для зменшення споживання енергії.

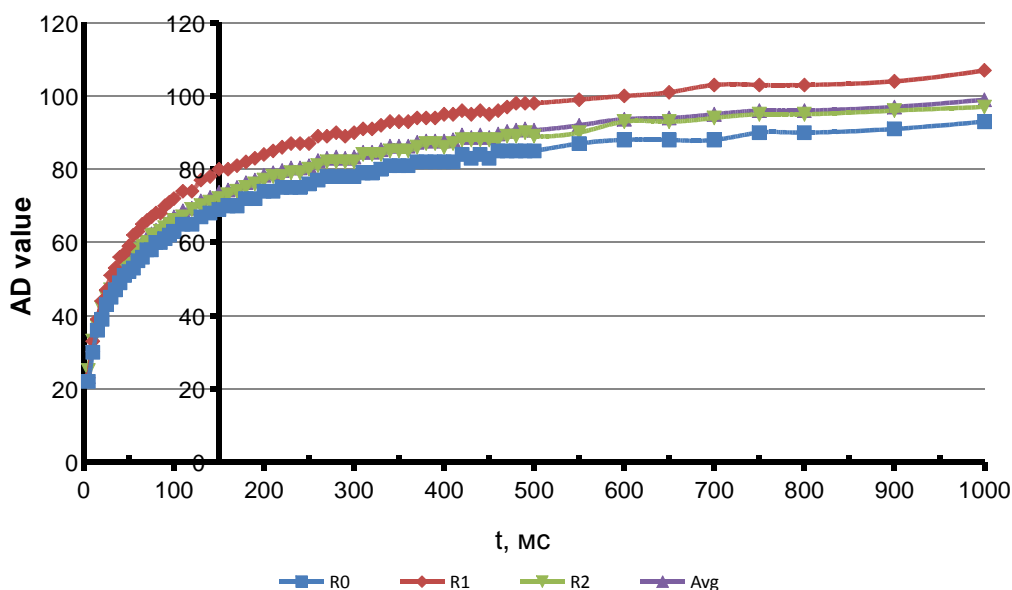


Рис. 11. Залежність відносних значень вимірювань з напівпрозорим об'єктом дослідження від часу освітлення

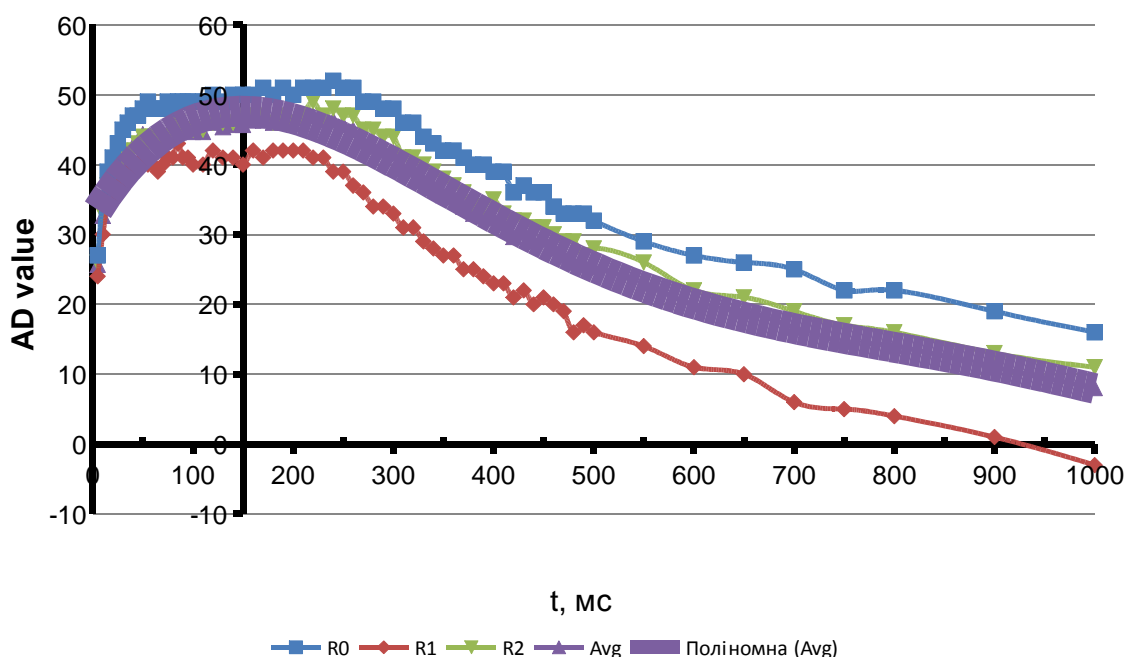


Рис. 12. Залежність різниці відносних значень вимірювань без об'єкта й з об'єктом дослідження від часу освітлення

Додатково комплекс може бути інтегрований до системи керування – "розумний дім". Для інтеграції необхідно удосконалити електричну схему і змінити тип мікропроцесора. З'єднати комплекс і систему керування можна за допомогою послідовної шини даних I²C [16]. Комплекс підключається як підлеглий (англ. slave) пристрій. За періодичним запитом від головного контролера системи керування (англ. master) комплекс може сповіщати про наявність поштової кореспонденції, а контролер, в свою чергу, – сповіщати людину за допомогою текстових повідомлень у мобільному телефоні (SMS) або електронним повідомленням через мережу Інтернет.

Отримані експериментальні дані для оптимального часу освітлення є специфічними для конкретного експериментального зразка та умов експерименту, тому остаточні дані потрібно визначати на реальному зразку, виконуючи калібрування сталих значень для світлочутливих елементів або їх груп.

Список літератури

1. Вилесов, Л. Д. Обнаружение-измерение параметров объектов на изображении / Л. Д. Вилесов // Информационно-управляющие системы. – 2004. – №1. – С. 22 – 29.
2. Пат. 45893 України МПК G01N 21/47 G01N 21/55 Пристрій для визначення оптичних властивостей об'єктів / Д. В. Ботвиновський, А. В. Ярич, М. О. Безуглий; заявник та патентовласник Нац. техн. ун-т України "Київський політ. ін-т". – №u200907371; заявл. 13.07.2009; надрук. 25.11.2009, Бюл. № 22, 2009 р.
3. Пат. 101462 України МПК G01J 5/54 G01N 21/17 G02F 1/00 Спосіб визначення оптичних властивостей напівпрозорих матеріалів / К. І. Луданов; заявник та патентовласник К. І. Луданов – №a201206751; заявл. 25.03.2013; надрук. 25.03.2013, Бюл. № 6.
4. Пат. 63510 України МПК G01N 21/89 G01N 33/36 Спосіб визначення характеристик оптичних властивостей текстильних матеріалів / М. Л. Рябчиков, В. В. Залкінд, О. І. Косенко; заявник та патентовласник Українська інж.-пед. ак-я. – №u201103315; заявл. 21.03.2011; надрук. 10.10.2011, Бюл. № 19, 2011 р.
5. Матеріал з Вікіпедії — вільної енциклопедії. Розумний дім [Електронний ресурс] / — Режим доступу: http://uk.wikipedia.org/wiki/Розумний_дім
6. Mann William C. The state of the science. Smart technology for aging, disability and independence / Mann William C. – John Wiley and Sons, 2005. - [ISBN 0-471-69694-3](http://www.wiley.com/go/9780471696943).
7. Спектральний аналіз. Спектроскопія у видимій і ультрафіолетовій області. Розділ медицина // @ textreferat.com [Електронний ресурс] / — Режим доступу: <http://ua.textreferat.com/referat-16070-1.html>
8. Наконечна, М. С. Використання інфрачервоного випромінювання в теплоенергетичних установках / М.С. Наконечна // Донецький нац. техн. ун-т. [Електронний ресурс] / <http://www.masters.donntu.edu.ua/2013/fmf/nakonechna/diss/indexu.htm>
9. Матеріал з Вікіпедії — вільної енциклопедії. Піксель [Електронний ресурс] / — Режим доступу: <http://uk.wikipedia.org/wiki/Піксель>
10. Матеріал з Вікіпедії — вільної енциклопедії. Глибина кольору [Електронний ресурс] / — Режим доступу: http://uk.wikipedia.org/wiki/Глибина_кольору
11. Матеріал з Вікіпедії — вільної енциклопедії. Фоторезистор [Електронний ресурс] / — Режим доступу: <http://uk.wikipedia.org/wiki/Фоторезистор>
12. Матеріал з Вікіпедії — вільної енциклопедії. Прозорість середовища [Електронний ресурс] / — Режим доступу: http://uk.wikipedia.org/wiki/Прозорість_середовища
13. Матеріал з Вікіпедії — вільної енциклопедії. Фотопровідність [Електронний ресурс] / — Режим доступу: <http://uk.wikipedia.org/wiki/Фотопровідність>
14. Матеріал з Вікіпедії — вільної енциклопедії. Освітленість [Електронний ресурс] / — Режим доступу: <http://uk.wikipedia.org/wiki/Освітленість>
15. PIC16F716 - 8-bit PIC® Microcontrollers. [Електронний ресурс] / — Режим досту-

- пу: <http://www.microchip.com/wwwproducts/Devices.aspx?product=PIC16F716>
16. Матеріал з Вікіпедії — вільної енциклопедії. I²C [Електронний ресурс] / —
Режим доступу: <http://uk.wikipedia.org/wiki/I2C>

Рецензент: д.т.н., проф., зав. каф. О. Г. Гребеніков, Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського "ХАІ", Харків

Поступила до редакції: 31.05.2014

**Метод определения оптимального времени освещения
светочувствительного элемента при обработке цифрового
изображения в программно-аппаратном комплексе
для определения наличия непрозрачных или полупрозрачных
объектов**

Проанализированы существующие решения в области оптического обнаружения малых геометрических объектов. Рассмотрены возможные методы выявления объектов в условиях разрабатываемого комплекса. На основе анализа проведён выбор оптимального метода, разработан алгоритм поиска. Спроектирована электрическая схема комплекса для получения цифрового изображения. Созданы действующий прототип электронной схемы, программный код для микроконтроллера. Проведен ряд экспериментальных измерений с помощью комплекса. По результатам построены графики, выявлено оптимальное значение времени освещения светочувствительного элемента.

Ключевые слова: оптическое обнаружение малых геометрических объектов, цифровое изображение, микропроцессор, «умный дом», матрица, пиксель, аналого-цифровое преобразование, разрешение, экспонирование, освещенность, фоторезистор, последовательная шина данных I²C, последовательный интерфейс RS-232, программирование.

**Method of determination of optimal time for illumination
of the photosensitive element while processing the digital image
in hardware and software solution for determination of existence
of opaque or translucent objects**

The analysis of existing solutions in the field of optical detection of small geometrical objects was carried out. Possible methods of identification of objects in the conditions of a developed solution were considered. According to the analysis the choice of an optimal method was carried out, the algorithm of search was developed. The electric circuit of solution for obtaining the digital image was designed. The working prototype of the electronic scheme was constructed, the program code for the microcontroller was developed. A number of experimental measurements by means of solution was carried out. According to the results the diagrams were constructed, optimal value of time for illumination of a photosensitive element was revealed.

Keywords: optical detection of small geometrical objects, digital image, microprocessor, smart home, matrix, pixel, analog-digital conversion, resolution, exhibiting, illumination, photoresistor, consecutive tire of data of I²C, consecutive RS-232 interface, programming.