

Для підвищення точності автоматичного визначення параметрів руху відчепів на сортувальних гірках використано синтез двох класичних методів аналізу відеозображення: метод оптичного потоку та метод віднімання фону. Алгоритм поєднання методів апробовано на сортувальній гірці Одеса-сортувальна (Україна). Отримані результати передбачається використовувати для удосконалення та автоматизації процесів контролю розпуску на сортувальних гірках

Ключові слова: аналіз відеозображення, оптичний потік, віднімання фону, контроль параметрів руху відчепів, сортувальна гірка

Для повышения точности автоматического определения параметров движения отцепов на сортировочных горках использован синтез двух классических методов анализа видеозображения: метод оптического потока и метод вычитания фона. Алгоритм сочетания методов апробирован на сортировочной горке Одесса-сортировочная (Украина). Полученные результаты предполагается использовать для усовершенствования и автоматизации процессов контроля роспуска на сортировочных горках

Ключевые слова: анализ видео, оптический поток, вычитание фона, контроль параметров движения отцепов, сортировочная горка

ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РУХУ ВІДЧЕПІВ НА СОРТУВАЛЬНИХ ГІРКАХ МЕТОДАМИ ВІДЕОАНАЛІЗУ

С. В. Панченко

Доктор технічних наук, професор, ректор*

E-mail: panchenko@ukr.net

І. М. Сіроклин

Кандидат технічних наук, доцент*

E-mail: seroklin.iv@gmail.com

А. О. Лапко

Кандидат технічних наук*

E-mail: a_lapko@ukr.net

О. Ю. Каменєв

Кандидат технічних наук, доцент*

E-mail: alexstein@meta.ua

С. О. Змій

Кандидат технічних наук, доцент*

E-mail: onilsergey@yandex.ru

*Кафедра автоматики та

комп'ютерного телекерування рухом поїздів

Український державний університет залізничного транспорту

пл. Фейєрбаха, 7, м. Харків, Україна, 61050

1. Вступ

Комплекс систем автоматики та телемеханіки залізничного транспорту включає в себе велику кількість різноманітних датчиків. Оператор людина має можливість виконувати такі ж функції, що і система, спираючись здебільшого тільки на візуальне сприйняття інформації (черговий по станції, черговий по гірці, тощо). Розвиток математичної бази функціонування програмних засобів обробки відео зображення розкриває нові можливості по модернізації та розробки принципово нових систем контролю руху поїздів.

Для автоматичного визначення параметрів руху відчепів на сортувальних гірках доцільно використовувати класичні методи аналізу відеозображення: метод оптичного потоку та метод віднімання фону [1]. Однак, кожен з цих методів має недостатню точність для застосування в автоматизованих системах. Шляхом підвищення точності є поєднання методів. Отримані результати передбачається використовувати для удосконалення та автоматизації процесів контролю розпуску відчепів на сортувальних гірках.

2. Аналіз літературних даних і постановка проблеми

Задачі автоматичного виділення та супроводу об'єктів за ознакою їх руху на зображеннях, які отримують від різних відеореєстраторів, є досить актуальними не тільки на сортувальних гірках [1], а і для рішення задач автоведення поїздів [2], для попередження небезпечних ситуацій на переїздах [3], а також для спостереження за іншими об'єктами колійної інфраструктури [4]. Аналогічні дослідження ведуться в багатьох країнах світу [5–7].

Раніше [1] розглядався оригінальний метод міжкадрової різниці, який базувався на аналізі змін зображення щодо заданого фону (опорної точки). Тестування методу на відео показало високу ефективність цього підходу в умовах приміщень [1], але метод є дуже чутливим до змін основного фону, що не дозволяє визначати рух об'єктів при різних погодних умовах, також метод не дозволяє виключити виявлення руху дрібних об'єктів, вважаючи їх метою відеостеження (рухомим складом). Звідси випливає те, що система повинна забезпечувати можливість налаштування алгоритмів відстеження на велико-

середньо- і дрібнорозмірних об'єктів, залежно від завдання спостереження, поточних налаштувань відео-датчика і поля зору.

Існує широкий спектр досліджень, спрямований на удосконалення використання методів аналізу відеозображення в різних сферах економіки [8], однак часто універсальні прийоми потребують урахування особливостей задач, що підлягають рішенню. В роботі [9] розглядаються алгоритми побудови оптичних потоків для вирішення завдання виділення зображень транспортних засобів. У роботі [10] використаний стандартний алгоритм Лукаса-Канаде, за допомогою якого обчислені вектори переміщень точок, і алгоритм Хорна-Шанке, що дозволив провести сегментацію за векторами переміщення. В роботі [11] запропоновані підходи до удосконалення методу оптичного потоку. Однак методи оптичного потоку досить погано відстежують об'єкти, що можуть зникати з кадру, або суттєво змінювати форму, наприклад при віддаленні відчепів.

В роботі [12] запропоновано способи і моделі оновлення кадру фону для методу виявлення рухомих об'єктів за міжкадровою бінарною маскою від різниці поточного і базового кадрів. Показано, що така модель швидко адаптується до плавної зміни яскравості пікселів сцени, що сприяє її адекватній роботі в умовах вулиці, при наявності поступової зміни освітлення, у присутності гілок дерев, що гоїдаються. Однак застосування методу в умовах, що розглядаються, не враховує наявність руху людей та тварин, що не повинні фіксуватися як об'єкти контролю.

В роботі [13] розглядалася побудова дерева фільтрів довільної структури, наприклад, для одночасного виведення обробленого відеозображення на екран монітора і збереження у файл. Фільтри перетворювачі, за допомогою яких можна обробляти кадри відеозображення. Так само розглядалася система індексування та пошуку відеоданих.

В результаті аналізу джерел інформації виявлено необхідність доопрацювання та деталізації процедур застосування методу або синтезу методів у випадку стеження за об'єктами складної форми на мінливому фоні з наявністю дрібних рухомих об'єктів, що не підлягають відстеженню.

3. Мета і завдання дослідження

Мета роботи – підвищення точності визначення параметрів руху відчепів на сортувальних гірках методами відеоаналізу.

Для досягнення мети роботи були поставлені наступні завдання:

- обрати метод або синтез методів, що дозволять з високою точністю визначати основні параметри руху відчепів на сортувальних гірках;

- визначити порядок використання обраного математичного апарату для контролю параметрів відчепів;

- за допомогою натурних випробувань отримати кількісні показники точності визначення параметрів відчепів.

4. Математичний апарат для автоматичного аналізу відеозображення

Найбільш часто відеопослідовність описується як $g(x, y, t)$, де (x, y) – точка на площині зображення, а t – час. Більшість методів оптичного потоку базуються на тому, що зображення об'єктів, рух яких відслідковується, не змінюється в часі:

$$f(x+u, y+v, t+1) = f(x, y, t), \quad (1)$$

де u, v називають зсувом поля.

Оскільки це не відповідає реальній ситуації, частіше використовують Гаусовське розмиття кожного кадру $K_p(x, y)$ і відслідковування зсуву деякої однорідної області потоку $(\nabla f = (f_x, f_y)^T)$. Так, в основі класичного методу Лукаса-Канаде лежить припущення, що невідомий вектор оптичного потоку постійний для деякої області ρ , і характеристики зсуву поля можна отримати шляхом мінімізації функції:

$$E_{LK}(u, v) = K_p \cdot \left((f_x u + f_y v + f_t)^2 \right). \quad (2)$$

Однак рішення цієї задачі не передбачає, що зображення може зникати з кадру на границі зображення, або суттєво змінювати форму, наприклад при віддаленні об'єкту.

Рішенням проблеми може стати синтез методу оптичного потоку з методом Хорна-Шанке, що дасть змогу дати обмеження аналізу потоку по деяким рамкам зображення. Метод Хорна-Шанке визначає невідомі функції $u(x, y, t)$ та $v(x, y, t)$ як результат мінімізації глобальної функції

$$E_{HS}(u, v) = \int_{\Omega} \left((f_x u + f_y v + f_t)^2 + \alpha (|\nabla u|^2 + |\nabla v|^2) \right) dx dy, \quad (3)$$

де розмір розмиття $\alpha > 0$ виступає параметром регуляції.

В той же час сам по собі метод Хорна-Шанке як інструмент визначення змін поточного кадру відносно опорного (фону) дає гарні результати в умовах приміщення зі стабільним освітленням [14, 15] і набагато гірші результати при зміні освітлення та умов навколишнього середовища [1].

5. Синтез методів відеоконтролю для автоматизації зчитування параметрів відчепів на сортувальних гірках

У результаті аналізу досліджень [1] і публікацій [9, 10], визначено, що об'єднання двох методів відстеження руху є більш якісним. Основною вимогою в процесі формування є низька трудомісткість застосовуваних алгоритмів, так як обробка даних повинна відбуватися досить швидко.

Для скорочення кількості обчислень пропонується оновлювати кадр фону лише раз на 240 кадрів. Це суттєво скорочує задіяні обчислювальні потужності, однак призводить до:

- 1) наявності значної часової затримки при фіксуванні змін, що відбуваються в базовому кадрі (наприклад, для швидкості зйомки 25 кадрів в секунду затримка становитиме майже 10 секунд);

2) нерівномірності обчислювального навантаження, оскільки в моменти поновлення базового кадру буде спостерігатися різке зростання кількості обчислень;

3) великим затратам пам'яті на зберігання тимчасової інформації.

Найбільш простим і швидким способом визначення переміщення є віднімання кадрів або міжкадрова різниця [2].

Результат, отриманий методом віднімання кадрів, не приніс належної якості обробки відеозображення [1], так як при використанні цього методу зчитувалися не тільки рух відчепу, а й дрібні зміни на відеокадрі.

Тому розглянуто другий метод, який полягає в побудові оптичного потоку матриці векторів, що відповідають переміщенню точок об'єкта на двох зображеннях [9].

Алгоритми побудови оптичного потоку поділяють на два типи:

- вектор переміщення обчислюють для кожної точки зображення;
- вектор переміщення будують тільки для деяких опорних точок.

В представлених дослідженнях за основу була взята базова модель, побудована на основі методу Хорна-Шанке, та її реалізація за допомогою програмного пакету MathLab, Tacking Cars Using Optical Flow (рис. 1).

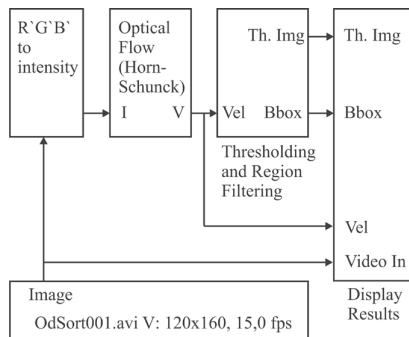


Рис. 1. Модель Tacking Cars Using Optical Flow

Представлений метод так само є чутливим до певних шумів. Моделювання за допомогою цього методу дало результати, що представлено на рис. 2.

Рівень шуму в умовах сортувальної гірки може істотно варіювати (дощ, сніг, туман, вітер і т. п.). Проведені серії апробації стандартних методів показали неприйнятно високу похибку їх застосування для визначення параметрів руху відчепів [1].

Як шлях підвищення точності пропонується використовувати різнично-накопичувальну процедуру, сенс якої в попередньому виділенні контурів рухомих об'єктів, за якими потім обчислюється оцінка оптичних потоків, використовувана на етапі простеження рухомих об'єктів [9, 10].

Пропонується послідовне виконання двох операцій:

1. Визначення рухомих елементів зображення на основі оцінки накопиченого оптичного потоку.
2. Міжкадрове простеження рухомих об'єктів як стійких в часі пов'язаних груп елементів зображення, що однаково рухаються.

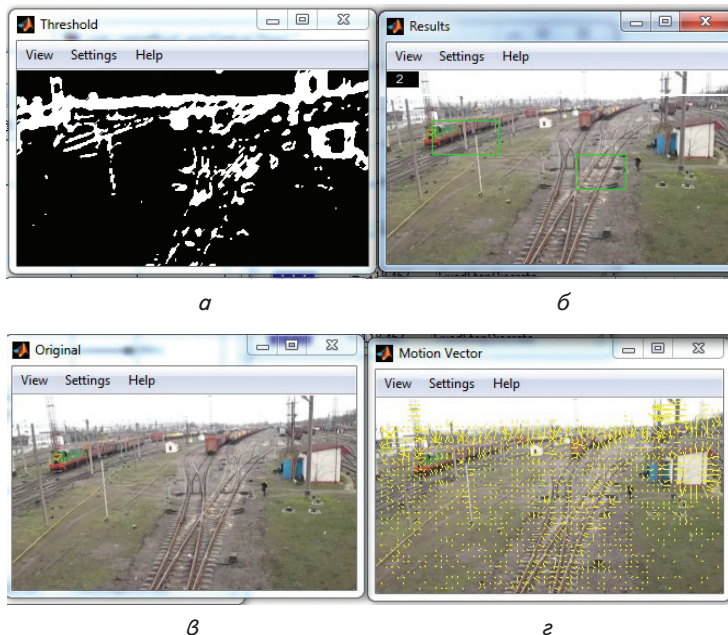


Рис. 2. Моделювання за методу Хорна-Шанке: а – напівтонеове зображення; б – виявлення руху; в – початкове зображення; г – векторна сітка

У якості первинних рухомих об'єктів будемо приймати, наприклад, квадратні піксельні блоки розміром $W \times W$. Припустимо, що піксельний квадрат $W \times W$ вважається рухомим, якщо сума модулів швидкостей точок сітки, що входять в квадрат, буде більше деякого числа u . Дане число можна підібрати емпірично, наприклад, підрахувавши медіану модулів швидкостей точок за кілька перших кадрів.

При розподілі зображення на елементарні осередки поверх сітки оптичного потоку буде формуватися більш проріджена підсітка осередків. При цьому розмір осередку буде дорівнювати добутку розміру сітки h на сторону квадрата W . Сторона квадрата підбирається в залежності від очікуваного розміру рухомих об'єктів.

Позначимо матрицю ідентифікаторів руху квадратів через R , кожен її елемент буде або 0 або 1 (нерухомий та рухомий відповідно). Для формування областей, які можуть вважатися єдиним об'єктом, що рухається, узятий наступний алгоритм в три кроки:

Крок перший. Цей крок призначений для видалення «проблеми апертури». Оптичний потік добре визначається на межах об'єкта, але у випадку однотонного об'єкта може дорівнювати 0 в центрі об'єкта. Тобто може виникнути така ситуація, коли сусідні для квадрата R квадрати – рухомі, а сам квадрат вважається нерухомим. Рішенням для цієї проблеми є присвоювання нерухомому квадрату значення 1, і якщо K квадратів були прийняті за рухомі, то константу K краще підібрати емпірично (оптимальними значеннями є 4 і 5).

Крок другий. Переглядаючи матрицю R , починаючи з першого, присвоюємо значення $Q=1$ кожному рухомому квадрату, де Q -матриця номерів рухомих квадратів, тієї ж розмірності, що і матриця R .

Величина k вибирається у відповідності з номером сусідніх пікселів.

Послідовність дій, що пропонується для різних ситуацій, така.

Якщо всі сусідні квадрати є нерухомими областями зображення, то квадрату, що рухається, присвоюється новий номер, що на даний момент не використовувався.

Якщо є один сусідній квадрат, що рухається, з нульовим номером, присвоюємо цей номер рухомому квадрату.

Якщо поряд з областю зображення більше, ніж один квадрат, що рухається, тоді присвоюємо цій області номер будь-якого з сусідніх вже пронумерованих рухомих квадратів.

Якщо номери сусідів різняться, – відбувається так зване зіткнення номерів, – зберігаємо номери пари як еквівалентні. Отримані при проході матриці пари зберігаємо в окремій структурі даних.

Крок третій. Всі рухомі квадрати пронумеровані в результаті першого кроку, але деякі області залишаються з різними номерами в результаті зіткнення номерів. Переглядаємо всю матрицю знову і перенумеровуємо рухомі квадрати, використовуючи наявну інформацію про номери в структурі даних. В результаті сформується матриця Q номерів, рухомих квадратів і по ній можна відновити контур об'єкта.

Переходимо до другої операції, а саме – міжкадрове простеження рухомих об'єктів як стійких в часі пов'язаних груп елементів зображення, що однаково рухаються. Під рухомих об'єктом будемо розуміти зв'язну область пікселів, яка рухається в площині зображення з певною швидкістю і характеризується параметрами: час простеження, час втрати області на відеопослідовності.

Нехай на кожному кадрі на вхід надходить набір областей, складених по матриці Q . Позначимо його як вектор областей. Нехай також є набір раніше виявлених об'єктів з відповідними об'єктам областями. Позначимо його через Ω . Необхідно виявити відповідність областей Q областям Ω , які були приписані вже наявним об'єктам. Можливі випадки:

1) Новій області w не відповідає жодна наявна область Ω . В даному випадку область w сприймається як нова і для неї в списку створюється новий об'єкт.

2) Наявній області Ω не відповідає жодна нова область w . Тут об'єкт з областю Ω вважається втраченим на кадр. Якщо кількість кадрів, на яких об'єкт втрачений, перевищує деяку задану максимально допустиму кількість кадрів N , то об'єкт видаляється з набору.

3) Новій області w відповідає декілька областей $\Omega_{j1}, \dots, \Omega_{jk}$. Даний ефект можна назвати ефектом «колізії». Шляхи рішення даної проблеми: або вважати області $\Omega_{j1}, \dots, \Omega_{jk}$ однаковими, але відповідними різним об'єктам, або використовувати при подальшому спостереженні область з найменшим номером. Недоліком першого підходу є те, що після цього всі k (можливо різних) об'єктів будуть простежуватися, як один. Недоліком другого є те, що доволно видаляється той об'єкт, який згодом може відокремитися і бути сприйнятий як новий.

Для оцінки якості запропонованих теоретичних рішень виконано моделювання за допомогою програми MathLab пакету Simulink. В процесі проведеної роботи використано відеозаписи розпуску рухомого складу на сортувальній гірці. Записами зафіксовано розпуск 162 вагонів, сформованих в 60 відцепів. Всього пропущено 32 цистерни, 28 платформ та 102 вагона інших конструкцій. Запис відеофрагментів виконано на фотокамеру Canon EOS 600D, в день при похмурій погоді.

Камера закріплюється на щоглі гіркового світлофора в сторону колій підгіркового парку. Загальний час відеозаписів склав 68 хвилин 12 секунд, загальний об'єм файлів 781 Мб, використовувані формат аві.

На рис. 3 наводиться приклади застосування запропонованого підходу для виділення і простеження габаритного рухомого об'єкта. Нижче показано вихідне зображення поточного оброблюваного кадру відеопослідовності. Зверху наводиться відповідна нормалізована різниця накопичених зображень, поверх якої відображається оцінка обчисленого оптичного потоку і осяжні прямокутники, що обмежують виділені рухомі об'єкти.

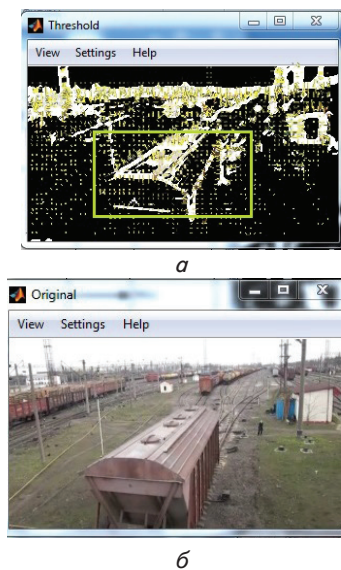


Рис. 3. Результати моделювання: a – різниця накопичених зображень b – початкове зображення

На першому етапі відеозаписи оброблено за допомогою базової моделі методом Хорна-Шанке, що дало такі результати: кількість вірно визначених вагонів – 72 од.; кількість визначених рухомих об'єктів – 130 од.; кількість не визначених вагонів – 90 од. Умовну імовірність коректної роботи використаного методу можна визначити як 0,44. Відсоток браку складає – 57 %.

Наступним етапом відеозапис оброблено за допомогою удосконаленої моделі, що поєднує метод Хорна-Шанке з методом міжкадрової різниці. Отримані такі результати: кількість вірно визначених вагонів – 159 од.; кількість визначених рухомих об'єктів – 191 од.; кількість не визначених вагонів – 3 од. Умовну імовірність коректної роботи використаного методу можна визначити як 0,8332.

Проведена робота дозволяє стверджувати, що синтез методів оптичного потоку та віднімання фону дозволяють підвищити точність визначення відцепів на сортувальній гірці. Умовна імовірність коректної роботи такого підходу – 0,8332, в порівнянні з 0,44 в випадку використання класичного методу Хорна-Шанке в тих же умовах. До недоліків відноситься те, що отримана імовірність коректної роботи не достатня, для широкого практичного використання результатів досліджень. Окрім того, практичний інтерес представляють такі параметри руху відцепів як: швидкість, номер колії, категорія вагонів відцепу та інше, а отримані кількісні результати відносяться тільки до ідентифікації відцепу як такого.

Тим не менше, проведені дослідження – необхідний крок до розробки повноцінної системи автоматичного відеоконтролю руху відцепів на сортувальній гірці. Така система дасть змогу суттєво удосконалити контроль розпуску та попередження пошкодження вагонів та вантажів внаслідок зіштовхування.

Подальше підвищення точності визначення параметрів руху відцепів на сортувальній гірці можливе лише при суттєвому підвищенні точності визначення відцепу як такого. Деталізація параметрів руху потребує прив'язки руху відцепу до координатної сітки спускної частини гірки та врахування перспективи при віддаленні відцепу від відеокамери. Отримання більш точних результатів можливе при автоматичному аналізі відеопотоку з декількох камер з побудовою 2D або 3D моделі руху відцепів.

5. Висновки

1. Визначено синтез методів оптичного потоку та віднімання фону, як основний інструмент підвищення

точності визначення параметрів руху відцепів на сортувальних гірках. Таке поєднання робить результати отримані методом оптичного потоку більш стійкими до зміни проекції об'єктів спостереження та дає можливість конкретизувати розміри зон спостереження методом віднімання фону, що стає дієвим інструментом адаптації до умов використання.

2. Деталізовано процедури реалізації синтезу методів з урахуванням використання на сортувальній станції для розпізнавання відцепів. Деталізація описує порядок вибору розміру зон контролю, а також аналізу сумісного руху цих зон, що дає можливість ідентифікувати рух одного відцепу навіть якщо відцеп сформовано з різних категорій вагонів.

3. Проведено апробацію запропонованих алгоритмів на сортувальній гірці Одеса-сортувальна (Україна). Отримані кількісні характеристики точності розпізнавання відцепів показують, що умовна імовірність коректної роботи запропонованого підходу склала 0,8332, в порівнянні з 0,44 в випадку використання класичного методу Хорна-Шанке за тих же умов.

Література

1. Сіроклін, І. М. Використання методів аналізу відео зображення для контролю розпуску на сортувальних гірках. Частина 1 [Текст] / І. М. Сіроклін, А. А. Бражник, В. О. Фоміна // ScienceRise. – 2015. – Т. 1, № 2 (6). – С. 16–21. doi: 10.15587/2313-8416.2015.35869
2. Иванов, Ю. А. Технологии компьютерного зрения в системах автоведения [Текст] / Ю. А. Иванов // Автоматика, связь, информатика. – 2011. – № 6. – С. 46–48.
3. Гасимов, Р. Ч. Программный комплекс для видеомониторинга железнодорожного переезда [Текст]: сб. док. / Р. Ч. Гасимов // Научная сессия ГУАП. Ч. 2. Технические науки, 2011. – С. 10–12.
4. Иванов, Ю. А. Технологии компьютерного зрения для наблюдения за объектами путевой инфраструктуры [Текст] / Ю. А. Иванов // Пром. трансп. XXI. – 2011. – № 5-6. – С. 35–38.
5. Rodrigues, T. M. A novel approach to rail crossing protection using computer vision and radio communications [Text] / T. M. Rodrigues // Graph. And Vision. – 2011. – Vol. 20, Issue 1. – P. 41–71.
6. Иванов, Ю. А. Технологии компьютерного зрения [Текст] / Ю. А. Иванов // Железнодорожный транспорт. – 2012. – № 12. – С. 49
7. Dufour, J.-Y. Intelligent video surveillance systems [Text] / J.-Y. Dufour. – Printed and bound in Great Britain by CPI Group (UK) Ltd., Croydon, Surrey CR0 4YY, 2013. – 322 p.
8. Chamasemani, F. F. Systematic Review and Classification on Video Surveillance Systems [Text] / F. F. Chamasemani, L. S. Affendey // Information Technology and Computer Science. – 2013. – Vol. 5, Issue 7. – P. 87–102. doi: 10.5815/ijitcs.2013.07.11
9. Sun, D. Secrets of optical flow estimation and their principles [Text] / D. Sun, S. Roth, M. J. Black // 2010 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2010. doi: 10.1109/cvpr.2010.5539939
10. Bruhn, A. Lucas/Kanade Meets Horn/Schunck: Combining Local and Global Optic Flow Methods [Text] / A. Bruhn, J. Weickert, C. Schnörr // International Journal of Computer Vision. – 2005. – Vol. 61, Issue 3. – P. 211–231. doi: 10.1023/b:visi.0000045324.43199.43
11. Baker, S. A Database and Evaluation Methodology for Optical Flow [Text] / S. Baker, D. Scharstein, J. P. Lewis, S. Roth, M. J. Black, R. Szeliski // International Journal of Computer Vision. – 2011. – Vol. 92, Issue 1. – P. 1–31. doi: 10.1007/s11263-010-0390-2
12. Shapiro, L. M. Computer Vision [Text] / L. M. Shapiro, J. P. Stockman // Knowledge Laboratory. – 2006. – Vol. 2. – P. 752.
13. Nagy, A. T. Super-Resolution for Traditional and Omnidirectional Image Sequences [Text] / A. T. Nagy, Z. M. Vamossy. – Institute of Software Technology, 2007. – P. 117–129.
14. Сіроклін, І. М. Використання методу аналізу оптичного потоку для контролю параметрів пасажиропотоку [Текст] / І. М. Сіроклін // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2012. – Т. 6, № 6/3(60). – С. 33–36. – Режим доступу: <http://journals.urau.ua/eejet/article/view/5507/4949>
15. Сіроклін, І. М. Апробація методу автоматичного контролю пасажиропотоку з використанням технічного зору [Текст] / І. М. Сіроклін // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті: науково-технічний журнал. – 2012. – № 6. – С. 22–25.