

УДК 656.25

В. В. МАЛОВІЧКО – к.т.н., доцент, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, malovichko_vv@mail.ru

Р. В. РИБАЛКА – к.т.н., Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, r.v.gybalka@gmail.com

І. О. БРОВАРНА – студентка 957-М групи, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, pegrina@meta.ua

РОЗРОБКА СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КОНТРОЛЮ ВІЛЬНОСТІ ПЕРЕГОНУ НА ДІЛЯНКАХ НАПІВАВТОМАТИЧНОГО БЛОКУВАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ВІДЕОСПОСТЕРЕЖЕННЯ

*Стаття рекомендована до публікації д. т. н., проф. А. Б. Бойніком (Україна),
д. фіз.-мат. н., проф. В. І. Гаврилюком (Україна)*

Вступ

Забезпечення високого рівня безпеки на залізничному транспорті є однією з пріоритетних задач держави та організацій, які здійснюють залізничні перевезення. Укрзалізницею прокладено 21626,11 км залізничної колії. З них 7394,96 км перегонів оснащені напівавтоматичним блокуванням (НАБ), серед яких: з релейною системою ГТСС – 6804,46 км, КБЦШ – 291,7 км, БПЛЦ – 298,8 км, електрожезловою системою – 471,3 км, інші – 359,6 км [1]. На Придніпровській залізниці 415 км перегону оснащено НАБ, на Львівській – 2488,5 км, з яких 229,1 км – НАБ з електрожезловою системою.

Вартість впровадження НАБ в 5–8 разів менша, порівняно з впровадженням систем автоматичного блокування (АБ). Перевагою НАБ є відсутність потреби у використанні рейкових кіл (РК) та прокладанні вздовж колії високовольтних ліній передач. Повне виключення ділянок з НАБ для заміни більш сучасними системами недоцільне для ділянок з неінтенсивним рухом.

В разі наявності на перегоні різких переломів профілю і кривих малого радіусу може відбутися обрив автозчеплення вагона. В системах НАБ, які експлуатуються на залізничному транспорті України, контроль прибуття поїзду в повному складі здійснюється черговим робітником візуально. Тому

потреба в автоматизації контролю прибуття поїзду в повному складі є актуальною задачею.

Мета

Метою даної статті є дослідження та розробка методів і засобів автоматизації контролю прибуття поїзду в повному складі з використанням відеозображень останніх вагонів, що дозволить збільшити безпеку руху поїздів на ділянках з НАБ.

Контроль прибуття поїзда в НАБ

В системах НАБ, що експлуатуються на залізничному транспорті України, контроль прибуття поїзду в повному складі здійснюється черговим робітником, який зобов'язаний вийти на колію прибуття та перевірити наявність хвостового знаку на останньому вагоні поїзда. Після чого черговий по станції натискає відповідну кнопку.

Таким системам НАБ властиві недоліки:

- людський фактор;
- значна часова затримка між прибуттям поїзда та фіксацією вільності перегону;
- недоцільність використання на даній ділянці залізниці системи диспетчерської централізації (через необхідність візуальної перевірки прибуття поїзда в повному складі).

Огляд існуючих систем контролю вільності перегону

Аналоги вказаної вище системи – релейні та на датчиках рахунку осей. Принцип роботи релейної системи НАБ ГТСС [2, 3] – прибуття поїзда в повному складі фіксується черговим по станції візуально за наявністю знаку хвостового вагону. Лише після цього інформація про підтвердження прибуття вноситься в систему.

На системі РПБ КБ ЦШ [2, 3] вперше реалізовано фіксацію прибуття поїзда в повному складі автоматично. Під час проходження над контрольною точкою колії індуктор, встановлений на останньому вагоні складу, передає сигнал «Прибуття» приладам, встановленим на колії. Керуючий сигнал прибуття поїзда в повному складі вводиться в систему вручну натисненням кнопки, або надходить в систему автоматично. Для цього необхідна додаткова система ув'язки та проектування імпульсного РК. Така методика фіксації прибуття поїзду у повному складі не знайшла широкого використання через ненадійність та додаткові економічні витрати на обслуговування.

Релейним системам властиві такі недоліки: висока матеріаломісткість; значний рівень експлуатаційних витрат та витрат на будівництво при зміні маршрутизації; наявність людського фактору під час фіксації прибуття; низька пропускна здатність; відсутність вбудованих засобів діагностики,

протоколювання та архівування інтерфейсів з сучасними каналами зв'язку. Вказане робить подальше впровадження таких систем малоефективним.

Системи на датчиках рахунку осей УКП СО та ЕССО [4] відповідають вимогам безпеки руху і призначені для вирішення проблем контролю вільності перегону (КВП) і автоматичного контролю прибуття поїзда на станцію у повному складі. Принцип дії оснований на порівнянні кількості осей складу, що виходить зі станції на перегін, та складу, що прибуває на сусідню станцію цього ж перегону. В разі рівності кількості осей складу, отриманих з пристроїв на станціях, що обмежують перегін, формується сигнал вільності перегону.

Системи КВП на датчиках рахунку осей значно ефективніші за релейні системи. Їх головним недоліком є те, що при збої системи (наприклад, перекошування датчику) для перевірки прибуття поїзду в повному складі необхідно задіяти черговий персонал.

Система КВП з використанням пристроїв відеоспостереження

В даній статті запропонована система КВП з використанням відеозображень хвостового вагону (КВПВ), що отримуються за допомогою засобів відеоспостереження. Передбачено два різновиди системи КВПВ: з двома (рис. 1) та з одним пристроєм відеоспостереження.

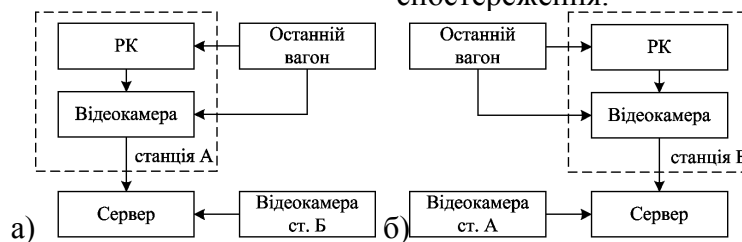


Рис. 1. Система КВПВ з двома пристроями відеоспостереження:
а) апаратура станції відправлення; б) апаратура станції прибуття

Функціонування КВПВ з двома пристроями відеоспостереження. Поїзд відправляється зі ст. А до ст. Б. Вихід зі ст. А фіксується РК станції (рис. 1-а). Відповідний сигнал з поста електричної централізації (ЕЦ)

надходить на пристрій відеоспостереження ст. А, який фіксує у визначений момент часу зображення хвостового вагону.

Момент виходу поїзду з ділянки наближення до ст. Б фіксує РК даної ділян-

ки (рис. 1-б). За відповідним сигналом пристрій відеоспостереження ст. Б у визначений момент часу фіксує зображення хвостового вагону.

Зображення з пристроїв відеоспостереження ст. А та Б надходять на віддалений сервер. В результаті порівняння зображень виносяться рішення щодо наявності знаку на хвостовому вагоні (прибуття на ст. Б поїзда у повному складі).

Система КВПВ з одним пристроєм відеоспостереження відрізняється від попередньої відсутністю відеоспостереження на станції відправлення. Процес отримання зображення з пристрою відеоспостереження на станції прибуття аналогічний. Зображення надходить на віддалений сервер, на якому виконується розпізнавання знаку хвостового вагону.

В обох системах КВПВ зображення та остаточне рішення з сервера надходять до бази даних, доступ до якої забезпечується з терміналу автоматизованого робочого місця оператора (поїзний диспетчер). З метою підвищення безпеки запропонованих систем поїзний диспетчер може дистанційно корегувати рішення про наявність знаку на хво-

стовому вагоні, шляхом суб'єктивного візуально аналізу зображень.

Передбачено два види функціонування систем КВПВ:

- в якості допоміжної, разом з НАБ (відмова КВПВ не призведе до виникнення небезпечної ситуації);
- в якості основної, для заміни релейних систем НАБ.

Система КВПВ передбачає зменшення, або повне усунення людського фактору шляхом автоматичної фіксації вільності.

Апріорний аналіз зображень останніх вагонів

Множина аналізуємих зображень $V = \{v_i\}$, $i = 1, 2, \dots, 97$ представляє собою 97 кольорових фотознімків v_i (в кольоровому просторі RGB – через червоний, зелений та синій адитивні компоненти) хвостових вагонів вантажних поїздів за різних погодних умов (сніг, туман), ракурсів, кольорів фонів вагонів тощо.

Приклади зображень хвостових вагонів з різними кольорами приведені на рис. 2.

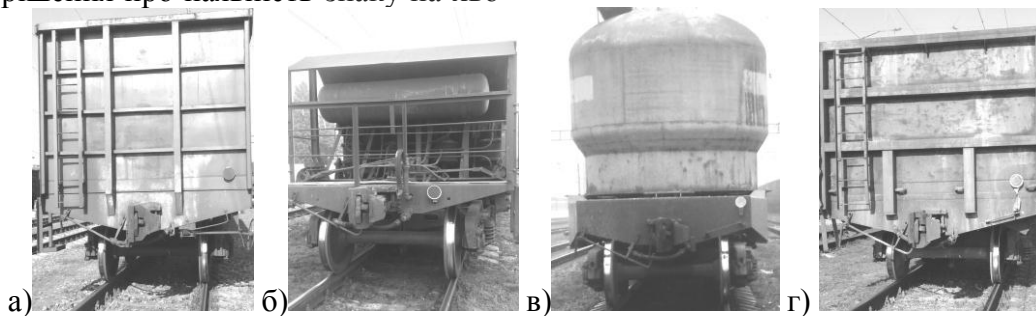


Рис. 2. Зразки зображень зі знаком хвостового вагону на фонах з різними кольорами а) зелений (день); б) червоно-коричневий (сутінки); в) сірий (туман); г) близький до червоного на сигнальному знаці (день)

Відповідно до [5], хвіст вантажного і вантажно-пасажирського поїзда під час руху на одноколійних та на двоколійних ділянках позначається вдень і вночі – червоним диском зі світловідбивачем біля буферного бруса з правого боку. Т.ч. шуканий об'єкт p (червоний диск) на зображенні представлений сукупністю пікселів, що характеризується кольором, формою та розміщенням на вагоні.

Оскільки датчиком, що фіксує проїзд поїзда повз пристрій відеоспостереження в КВПВ, є РК, то (за умови однакового розташування та кута спостереження пристрою) розкид розташування p на v_i є обмеженим. Невеликі відхилення відстані до вагону від пристрою відеоспостереження в момент отримання зображення зумовлює незначні зміни в розмірі p . Вказане спрощує вимоги

до програмно-апаратного комплексу, що розпізнаватиме p , за такими характеристиками як чутливість до масштабу та розташування p .

В наступних розділах приведена методика та результати дослідження зображень хвостових вагонів з метою формулювання принципів попередньої обробки зображень.

Виділення шуканого об'єкту за кольоровою ознакою

Наявність завад (шум апаратури, погодні умови, неоднорідність кольору в середині червоного диску, подібність кольорів вагону та диску тощо) на зображеннях з V обгрунтовує необхідність дослідження v_i на предмет виділення p за кольоровою ознакою. Подальше моделювання виконане за допомогою MATLAB.

Методика дослідження v_i за кольоровою ознакою:

1. обрати кольоровий зразок $c_{\text{ет.}} = [r_{\text{ет.}} \quad g_{\text{ет.}} \quad b_{\text{ет.}}]$, де $r_{\text{ет.}}$, $g_{\text{ет.}}$ та $b_{\text{ет.}}$ – червона, зелена та синя складові (0,1...255) кольору, який відповідає вимогам [5], на зображенні, що містить p , в межах $p \subset v_i$;
2. встановити границі відхилення від $c_{\text{ет.}}$ за кожною зі складових кольору на величину c_{Δ} , тобто $c_{\text{ет.}} \pm c_{\Delta}$;
3. отримати \hat{v}_i шляхом встановлення кольору пікселів v_i , що потрапили в діапазон $c_{\text{ет.}} \pm c_{\Delta}$, рівний деякому кольору c_0 (обирається з множини кольорів, що не відповідають вимогам [5]);
4. виконати суб'єктивний аналіз областей виділених пікселів у \hat{v}_i ;
5. обчислити \hat{s} (частина виділених пікселів у \hat{v}_i , %) та порівняти з $s_{\text{ет.}}$ (частина пікселів, що приходить на $p \subset v_i$).

З метою спрощення вимог до апаратної та програмної частини КВПВ аналізувалися зображення v_i у відтінках сірого (8 біт/піксель). Для цього над кольоровими зображеннями з V виконане відповідне перетворення і в результаті отримана множина V_c .

Застосування описаної методики дослідження до V_c дало незадовільні результати. Через видалення інформації про колір значні множини кольорів представлені як близькі відтінки сірого. Це призвело до виділення значних побічних областей (на рис. 3 позначені білим кольором, $c_0 = [255 \quad 255 \quad 255]$).



Рис. 3. Хвостовий вагон зеленого кольору з V_c

На рис. 3 зображений вагон зеленого кольору з однорідним червоним диском (рис. 2-а), що представлений у відтінках сірого. Як видно з рис. 3, окрім області знаку хвостового вагону в заданий діапазон $c_{\text{ет.}} \pm c_{\Delta}$ потрапила також частина фону вагону. Недолік подібного аналізу зображень у відтінках сірого: на вагонах рудих і червоних відтінків сигнальний диск зливається з фоном вагона.

Подальше моделювання виконане з множиною кольорових зображень V . Застосування описаної методики дослідження до V дає кращі результати ніж під час аналізу V_c . Недоліки: при фіксованому c_{Δ} виділені пікселі v_i значно залежать від обраного $c_{\text{ет.}}$. Особливо явно це спостерігається на зображенні вагонів рудих і червоних відтінків, а також при неоднорідному забарвленні сигнального диска.

Попередня обробка зображень

Через наявність вказаних завад, зображення з V перед розпізнаванням знаку хвостового вагону потребують попередньої обробки. В даній статті пропонується застосування лінійної обробки зображень з V у вигляді цифрового фільтра нижніх частот (ФНЧ) зі скінченною імпульсною характеристикою (ІХ). Це дозволить отримати більш однорідне забарвлення сигнального знаку. Види розглянутих ФНЧ [6]:

- простий усереднюючий (average);
- кругоподібний (disk);
- гаусоподібний (gaussian).

ІХ розглянутих просторових ФНЧ представляють собою квадратні матриці $N \times N$ дійсних чисел. Їх робота супроводжується розмиттям зображення.

ІХ ФНЧ average

$$h[i, j] = \frac{1}{MN},$$

де M, N – кількість стовбців та рядків матриці (ядра фільтру), відповідно; $i = 1, 2, \dots, N, j = 1, 2, \dots, M$.

ФНЧ disk – усереднюючий з кругоподібною ІХ, вписаною в квадратну матрицю зі

стороною R – радіус круга. Через громіздкість алгоритму обчислення вираз для даної ІХ не приведений.

ІХ ФНЧ gaussian [6]

$$h_g[i, j] = e^{-\frac{(i^2+j^2)}{2\sigma^2}},$$

$$h[i, j] = h_g[i, j] / \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M h_g[i, j],$$

де σ – середньоквадратичне відхилення.

В даному розділі обирається ФНЧ для попередньої обробки зображення. Для результатів обробки різними ФНЧ обчислюється оцінка

$$\varepsilon = |s_{\text{ет.}} - \hat{s}|,$$

де $s_{\text{ет.}}$ – еталонне значення частини зображення (для кожного v_i – окремо); \hat{s} – виділена (за описаною методикою) частина пікселів. Оптимальним вважається ФНЧ, в якого для меншого c_{Δ} забезпечується мінімальне значення оцінки ε . Деякі результати використання ФНЧ та описаної раніше методики приведені на рис. 4.

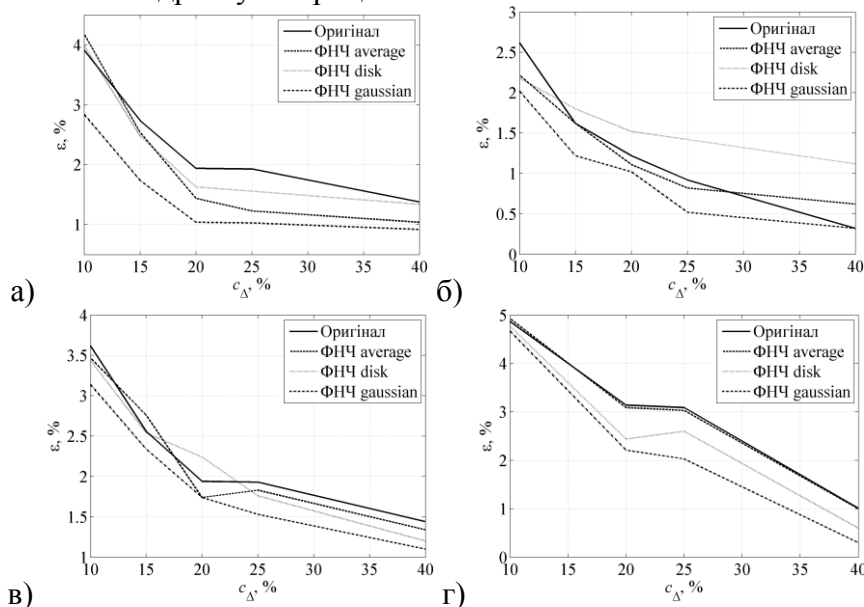


Рис. 4. Залежність ε від c_{Δ} для зображень хвостових вагонів

а) зелений (день); б) червоно-коричневий (сутінки); в) сірий (туман); г) близький до червоного на сигнальному знакові (день)

На рис. 4 зображені залежності оцінок ε від c_{Δ} для зображень, що на рис. 2. Із залежностей на рис. 4 видна тенденція до зменшення ε зі зростанням c_{Δ} в діапазоні приблизно до $c_{\Delta} \leq 40$ %. Ненульове початкове значення ε пояснюється неоднорідністю забарвлення червоного диску.

Стійке зменшення ε зі зростанням c_{Δ} спостерігається для зображень зі значною різницею між кольорами вагону та сигнального знаку (рис. 2-а) приблизно до $c_{\Delta} \leq 90$ %. Для зображень, в яких колір вагону подібний до червоного, починаючи зі значення $c_{\Delta} \approx 60$ % спостерігається зростання ε за рахунок виділення областей поза межами сигнального знаку.

В результаті проведеного моделювання виявлено, що значення c_{Δ} , яке достатнє для виділення області червоного диску (p), практично в усіх зображеннях з V складає близько 25 %. Вказане дозволяє встановити границі за кольоровими складовими RGB на рівні 25 % від середнього значення $c_{ст.}$, що будуть однаковими для всіх аналізованих зображень при різних погодних умовах, зафарбуванні вагонів тощо. Запас між межами кольорів сигнального знаку та вагону за даних умов складає близько 35 % від середнього $c_{ст.}$.

Також з рис. 4 видно, що використання попередньої фільтрації за допомогою ФНЧ gaussian, у всіх випадках дає найменше ε . Додатково враховуючи те, що ФНЧ gaussian призводить до меншого розмиття границь в зображенні (краще збереження форми), саме ФНЧ gaussian обраний в якості ФНЧ для попередньої обробки зображення.

Метод, що використовуватиметься під час виявлення знаку хвостового вагону, залежить від різновиду системи КВПВ. Наприклад, у КВПВ з двома пристроями відеоспостереження доцільне використання комбінації блочного та піксельного методів порівняння зображень зі станцій відправлення та прибуття [7].

Висновки

В Україні системою НАБ обладнано 7394,96 км перегонів. Заміна НАБ більш сучасними системами АБ недоцільна для ділянок з неінтенсивним рухом. Значним недоліком НАБ є відсутність автоматизації контролю прибуття поїзду в повному складі. Існуючим системам, призначеним для вирішення вказаної проблеми, властиві певні недоліки, що обумовлює її актуальність.

В даній статті запропонована система контролю вільності перегону з використанням відеозображень хвостового вагону (з двома та одним пристроєм відеоспостереження). Перевагою запропонованої системи є зменшення людського фактору шляхом автоматичної фіксації вільності перегону. Додатково для поїзного диспетчера передбачена можливість дистанційного корегування рішення про наявність знаку на хвостовому вагоні, шляхом суб'єктивного візуального аналізу зображень на терміналі автоматизованого робочого місця оператора.

В результаті апріорного аналізу множини зображень хвостових вагонів виявлено, що особливості функціонування запропонованої системи дозволяють спростити вимоги до розпізнавання сигнального знаку, за чутливістю до його розміру та розташування. Виконане дослідження виділення сигнального знаку за кольоровою ознакою виявило потребу в попередній обробці зображень за допомогою ФНЧ (обрано ФНЧ gaussian). Межі діапазону для виділення пікселів за кольором складають близько 25 % від середнього еталонного зразку з червоного сигнального знаку. Використання запропонованої попередньої обробки зображень в системі КВПВ з двома засобами відеоспостереження та порівнянням зображень дозволить автоматизувати виявлення знаку хвостового вагону.

Бібліографічний список

1. Звідна таблиця техоснащеності служби Ш. Міністерство інфраструктури України. Державна адміністрація залізничного транспорту. – 2014.
2. Котляренко, Н. Ф. Путевая блокировка и авторегулировка: учеб. для вузов [Текст] / Н. Ф. Котляренко, А. В. Шишляков, Ю. В. Соболев и др. – Москва: Транспорт, 1983. – 408 с.
3. Системы интервального регулирования движения поездов на перегонах [Текст]: учебное пособие / А. Б. Бойник. – Харьков: УкрГАЗТ, 2005. – 256 с.
4. Кириленко, А. Г. Счетчики осей в системах железнодорожной автоматики и телемеханики [Текст]: учебное пособие / А. Г. Кириленко, А. В. Груша. – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2003. – 398 с.
5. Інструкція з сигналізації на залізницях України. ЦШ-0001 [Текст]: Затв.: Наказ Мінтрансу та зв'язку України 23.06.08.

- № 747 / Мін-во трансп. та зв'язку України. – К., 2009. – 82 с.
6. Рудаков, П. И. Обработка сигналов и изображений [Текст] / В. И. Сафонов, П. И. Рудаков. – Москва: ДИАЛОГ-МИФИ, 2004. – 420 с.
 7. Лукьяница, А. А. Цифровая обработка видеоизображений [Текст] / А. А. Лукьяница, А. Г. Шишкин. – Москва: Ай-Эс-Эс Пресс, 2009. – 518 с.

Ключові слова: напівавтоматичне блокування, відеоспостереження, сигнальний знак, хвостовий вагон.

Ключевые слова: полуавтоматическая блокировка, видеонаблюдение, сигнальный знак, хвостовой вагон.

Keywords: semi-automatic blocking, video surveillance, signal sign, rear-end car.

Надійшла до редколегії 07.11.2014

Прийнята до друку 17.11.2014