

<https://doi.org/10.31891/2219-9365-2023-76-33>

УДК 621:681.7

Вячеслав СТАДНІЧУК

Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"
v.stadnichuk@kpi.ua

Валентин КОЛОБРОДОВ

Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

СТАБІЛІЗАЦІЯ ЗОБРАЖЕНЬ В ТЕЛЕВІЗІЙНИХ СИСТЕМАХ КЕРУВАННЯ АВТОМОБІЛЕМ

Розвиток і мініатюризація споживчих пристроїв, призначених для отримання зображень, призводить до зростання попиту на надійні та ефективні рішення в області стабілізації зображення. Ця потреба виникає з двох основних факторів: ускладнення можливості уникнути небажаного руху камери при використанні портативних пристроїв, таких як смартфони, та збільшення часу витримки через зменшення площі пікселів на датчиках зображення та підвищення роздільної здатності. Зменшення площі пікселя вимагає збільшення часу витримки для досягнення високоякісних результатів.

Завданням даної статті є дослідження та аналіз технічних аспектів програмної стабілізації зображення в контексті телевізійних систем управління автомобілем. Проблема стабілізації зображення в автомобільній галузі є актуальною з моменту впровадження телевізійних систем у автомобілі. Її виникнення в основному обумовлене необхідністю проектування зображення на приймач випромінювання протягом обмеженого часу, що отримало назву "час витримки". Рух камери під час цього часу призводить до зміщення зображення, яке проектується на приймач, і це впливає на якість зображення, що відомо як рухоме розмиття.

Стабілізація зображення є ключовим елементом в системах управління автомобілем, допомагаючи водіям паркувати автомобіль, маневрувати та вчасно виявляти перешкоди на дорозі. Новітні автомобільні системи вже використовують цю технологію для підвищення безпеки та комфорту під час руху.

В підсумку, програмна стабілізація зображення в системах управління автомобілем грає важливу роль у забезпеченні стабільності та якості відеозображень, забезпечуючи безпеку та комфорт водіїв і пасажирів.

Ключові слова: телевізійні камери, стабілізація зображення, алгоритм компенсації зміщення зображення, якість зображення.

Vyacheslav STADNICHUK, Valentin KOLOBRODOV
ational Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

IMAGE STABILIZATION IN TV CAR CONTROL SYSTEMS

The development and miniaturization of consumer imaging devices leads to a growing demand for reliable and effective solutions in the field of image stabilization. This need arises from two main factors: the difficulty of avoiding unwanted camera movement when using portable devices such as smartphones, and the increase in shutter speed due to the reduction in pixel area on image sensors and the increase in resolution. A reduction in pixel area requires an increase in exposure time to achieve high-quality results.

The task of this article is research and analysis of technical aspects of software image stabilization in the context of television car control systems. The problem of image stabilization in the automotive industry has been relevant since the introduction of television systems in cars. Its occurrence is mainly due to the need to project the image onto the radiation receiver within a limited time, which was called "exposure time". Camera movement during this time causes the image projected onto the receiver to shift, affecting image quality, known as motion blur.

Image stabilization is a key element in car control systems, helping drivers to park the car, maneuver and detect road obstacles in time. The latest automotive systems already use this technology to increase safety and comfort while driving.

In conclusion, software image stabilization in car control systems plays an important role in ensuring the stability and quality of video images, ensuring the safety and comfort of drivers and passengers.

Keywords: television cameras, image stabilization, image offset compensation algorithm, image quality.

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Проблема стабілізації зображення є актуальною в галузі автомобілебудування з самого початку застосування телевізійних систем в автомобілі. Її виникнення головним чином пов'язане з обставинами, що впливають із необхідності кожного сучасного засобу реєстрації зображення, а саме приймача випромінювання, вимагати проектування зображення на нього протягом певного інтервалу часу, який отримав назву "час витримки". У разі будь-якого руху камери під час цієї операції виникає зміщення зображення, яке проектується на приймач, і це призводить до погіршення якості кінцевого зображення, відомого як рухоме розмиття.

Поступовий розвиток та зменшення розмірів споживчих електронних пристроїв, здатних зафіксувати зображення, значно збільшує потребу в розробці надійних та ефективних методів стабілізації зображення. Ця потреба обумовлена двома основними чинниками:

➤ Ускладнення можливості уникнути небажаного руху камери під час використання портативних пристроїв, таких як смартфони з камерами.

➤ Потребою у подовженні часу витримки через зменшення площі пікселів, що є результатом мініатюризації сучасних фотодатчиків і збільшенням роздільної здатності зображення. Зменшення площі пікселя призводить до зменшення кількості фотонів, які можуть бути зафіксовані пікселем протягом одної секунди, і, отже, для досягнення високоякісних результатів вимагається подовжений час витримки.

Проблема стабілізації цифрового зображення була досліджена в минулому. У [1] запропоновано систему стабілізації повної цифрової обробки сигналу, яка оцінює глобальний рух шляхом кореляції локальних векторів руху на основі блоків. У [2,3] запропоновано оцінку глобального руху на основі ізольованості та стабільності локальних векторів руху, визначених узгодженням країв. У [4] для згладжування руху використовується фільтр низьких частот.

Для відео, знятих цифровими відеокамерами, коливання рук або панорамування камери вводять глобальний рух між послідовними кадрами. Однак швидкість погойдування рук набагато вища, ніж панорамування камери. Таким чином, індукований глобальний рух може бути відфільтрований низькочастотним фільтром у часовій області, щоб зменшити вплив погойдування рук на послідовності зображень та згладити панорамування камери. Стабілізація зображення досягається переміщенням вікна дисплея в межах вихідного зображення, щоб компенсувати частину руху зображення, викликаного коливаннями рук. Але для телевізійних систем керування автомобілем такий підхід не є прийнятним через швидку періодичну вібрацію автомобіля.

Для телевізійних систем керування автомобілем, які локалізують дорожні знаки або дорожню розмітку, важливим фактором є точність локалізації об'єкту. Але через значні вібрації під час руху автомобіля точність локалізації не є високою. Через тряску зображення дорожнього знаку «розмивається» та алгоритми локалізації працюють хибно.

Основна ідея цього дослідження – поєднати алгоритм калібрування телевізійної системи керування автомобілем та алгоритм стабілізації зображення для підвищення загальної точності. Калібрування камери дає змогу підвищити точність локалізації об'єктів на краю поля зору, а стабілізація підвищить точність компенсуючи тряску.

Науковою новизною цього дослідження є застосування алгоритму стабілізації зображень для телевізійної системи керування автомобілем. Даний підхід дозволяє підвищити точність на існуючих системах (камерах), не потребує значних обчислювальних потужностей та є дешевим аналогом дорогих систем калібрування та стабілізації зображень в телевізійних системах керування автомобілем.

1. ПРИНЦИП РОБОТИ СТАБІЛІЗАЦІЇ

На Рисунок 1 можна спостерігати схему розробленої цифрової системи стабілізації зображення. Для обчислення поля руху між послідовними кадрами використовується метод оцінки руху на основі блоків, що є широко вживаним у багатьох методах відеокодування. Отримані оцінки руху подаються на вхід модулю, який відповідає за прийняття рішення щодо глобального руху з метою визначення загального переміщення шляхом здійснення процесу кластеризації. Після цього для кожного кадру послідовно застосовується фільтр низьких частот для гладкої корекції глобального руху з метою зменшити неконтрольований рух камери. Завершальним етапом є компенсація руху поточного кадру шляхом відповідного коригування вікна відображення залежно від відмінності між згладженим глобальним рухом та вихідним станом.

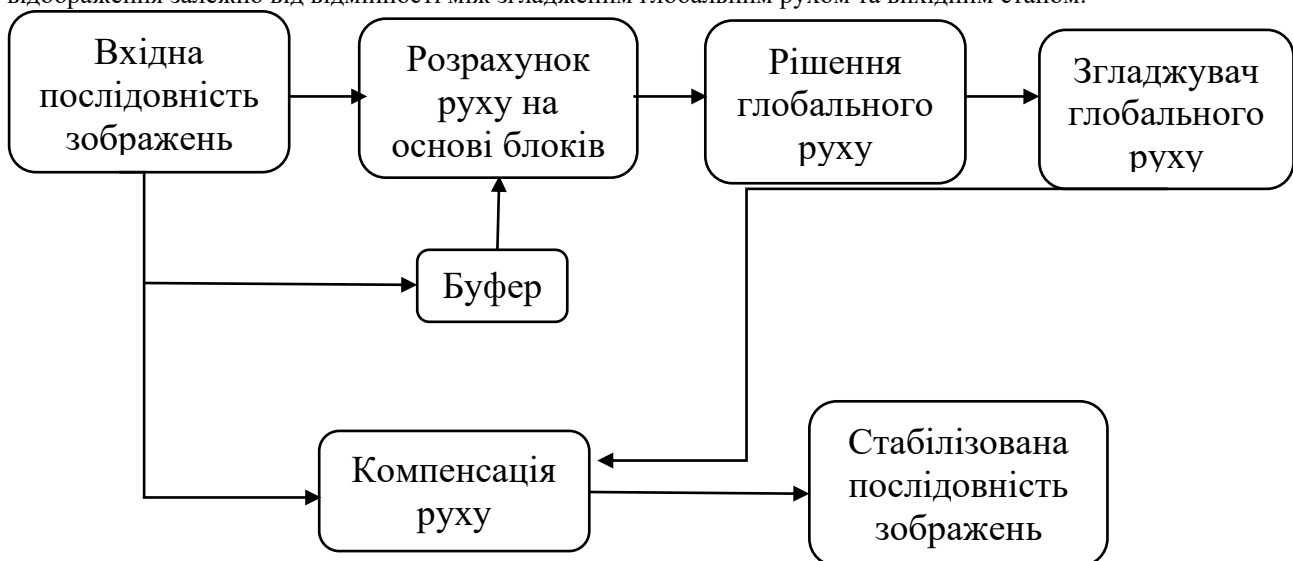


Рис. 1. Архітектура програмної стабілізації зображень

1.1 Оцінка загального руху

Як правило, рух фонових блоків обумовлений рухом камери. Поки сцена не характеризується переважаючим рухом одного об'єкта, кластер, що відповідає фоновим блокам, отримує найвищу кількість голосів під час процедури кластеризації. Середнє значення векторів руху в цьому кластері визначається як глобальний рух.

Основний рух послідовностей зображень, зафіксованих телевізійною системою, в основному складається з обертання, трансляції та трансформації масштабу, тоді як тремтінню кадру в основному сприяють високочастотним обертанням і трансляціями. Таким чином, чотири параметричну модель перетворення подібності вибрано для представлення міжкадрового глобального руху системи наведення зображення. Матриця перетворення подібності T має вигляд

$$T = \begin{bmatrix} s \cos \theta & -s \sin \theta & dx \\ s \sin \theta & s \cos \theta & dy \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

де θ - кут повороту, S - масштабний коефіцієнт, dx і dy - трансляції горизонтального та вертикального напрямку відповідно. Таким чином, відповідні характерні точки в двох сусідніх кадрах можуть бути представлені як

$$\begin{bmatrix} x_1^n \\ y_1^n \\ 1 \end{bmatrix} = T * \begin{bmatrix} x_1^{n-1} \\ y_1^{n-1} \\ 1 \end{bmatrix}$$

де (x_1^{n-1}, y_1^{n-1}) є місцем розташування характерної точки i в попередньому кадрі, а (x_1^n, y_1^n) є розташуванням відповідної характерної точки в поточному кадрі [2].

Тоді глобальний рух від першого кадру до поточного кадру можна виразити як:

$$X_n = T_n X_{n-1} = T_n (T_{n-1} X_{n-2}) = \dots = (\prod_{i=1}^{n-1} T_i) \cdot X_1,$$

де $X_n = (x_1^n, y_1^n)^T$ представляє розташування характерної точки в поточному кадрі, $X_{n-1} = (x_1^{n-1}, y_1^{n-1})^T$ є розташування характерної точки в попередньому кадрі, а T_n представляє матриця перетворення від X_{n-1} до X_n .

Існує багато різних методів виділення оптичного потоку з послідовностей зображень, серед яких алгоритм оптичного потоку Лукаса-Канаде (LK) [3] є одним із широко застосовуваних алгоритмів оптичного потоку, оскільки він має меншу обчислювальну вартість із прийнятною точністю [4,5]. Враховуючи передумови цієї технології, алгоритм оптичного потоку LK може бути недейсним у разі швидкого руху, а помилка алгоритму оптичного потоку LK буде швидко накопичуватися, якщо відео об'єкти рухаються надто швидко. Щоб відстежувати ціль, яка швидко рухається, і зменшити сукупну помилку алгоритму оптичного потоку LK, для вирішення цієї проблеми введемо алгоритм оптичного потоку піраміди LK [6].

За допомогою пірамідного алгоритму оптичного потоку LK можна виконати збіг ключових точок між сусідніми кадрами. Алгоритм RANSAC використовується для усунення невідповідних ключових точок і відповідних пар об'єктів переднього плану.

Для визначення зміщень між кадрами використовуються різні методи, включаючи аналіз точок відсилання, виявлення рухомих об'єктів та аналіз опорних точок на зображенні. Одним з поширених методів є алгоритм оптичного потоку, який вимірює швидкість руху об'єктів на кадрі та визначає зміщення камери.

1.2 Компенсація зміщень

Після визначення зміщень, система використовує отримані дані для компенсації руху камери. Це включає в себе пересування кожного кадру назад на відповідну відстань, щоб згладити ефекти руху.

Для цього можуть застосовуватися різні методи інтерполяції та екстраполяції, залежно від точності та ресурсів системи. Переважно використовуються методи лінійної та білінійної інтерполяції, а також методи роботи з векторами переміщення [7].

Загалом метод передбачає відстеження кількох характерних точок між двома послідовними кадрами. Ці відстежувані точки функції дозволяють оцінити рух між кадрами та компенсувати його. Що стосується вибору точки функції для відстеження, бібліотеки комп'ютерного зору мають детектор опорних точок, який визначає точки, ідеальні для відстеження. На Рис.2 приведений приклад відстежуваних точок.

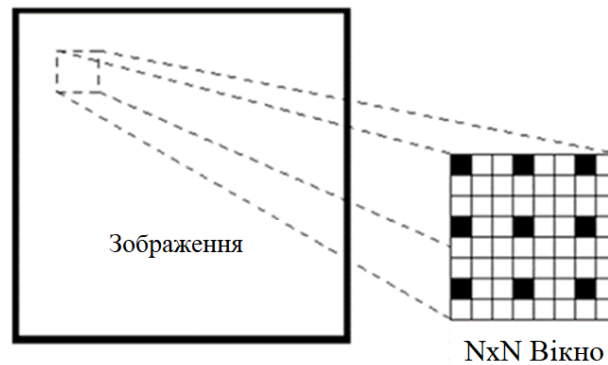


Рис. 2. Приклад відстежуваних точок функції

1.3 Стабілізація зображення

Остаточним етапом програмної стабілізації є стабілізація зображення. Цей процес спрямований на покращення якості отриманого зображення та забезпечення комфортного перегляду на телевізійному екрані.

Для цього використовуються фільтри низьких частот, які відфільтровують зсуви та тремтіння, зберігаючи деталі та контрастність зображення. Фільтри низьких частот дозволяють плавно згладити рух і зменшити вібрації, що допомагає створити стабільне та якісне зображення.

Після того, як опорні точки виявлені в одному кадрі, вони відстежуються в наступному кадрі за допомогою алгоритму пірамідального Lucas-Kanade. Піраміда зображення в комп'ютерному зорі використовується для обробки зображення в різних масштабах або роздільній здатності.

Іншими словами, розташування опорних точок у поточному кадрі було виявлено, і, як показано вище, відомі розташування точок у попередньому кадрі. Ці два набори точок можна використовувати для пошуку жорсткого (евклідового) перетворення, яке відображає попередній кадр у поточний кадр.

Щоб знайти траєкторію руху, диференціальний рух, оцінений на попередньому кроці, кумулятивно додається. Після отримання траєкторії руху крива згладжується за допомогою функції ковзаючого середнього, яка згладжує криву. Як випливає з назви, фільтр ковзного середнього замінює значення функції в цій точці, використовуючи середнє значення її сусідів, визначених вікном.

Однак реальна траєкторія часто містить небажаний рух камери, тому фільтр Калмана використовується для стабілізації цього руху камери. Фільтр Калмана оцінює віртуальну траєкторію за допомогою методу руху Гауса, а потім згортає віртуальну траєкторію над реальною траєкторією для створення оптимальної траєкторії. На рисунку нижче показано приклад оптимального стану:

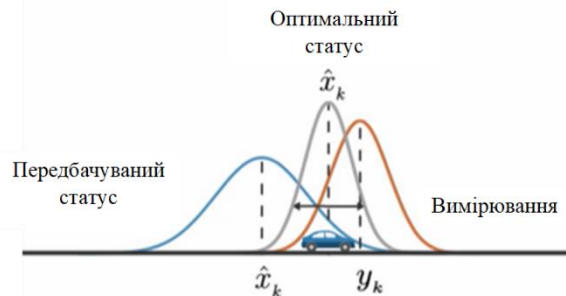


Рис. 3. Приклад оптимального стану телевізійної системи

Нарешті, створюється нове зображення на оптимальній траєкторії. Послідовність вихідних кадрів є стабілізованим відео.

2. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

В [8] емпірично встановлено залежність між розміром пікселя та фокусною довжиною. Як видно з графіку, зі збільшенням фокусної відстані, зменшується кут поля зору та зменшується роздільна здатність пікселя. Для телевізійних систем керування автомобілем потрібна велика фокусна відстань та велика роздільна здатність, але при цьому зображення будуть не чіткими, оскільки розмір пікселя малий. Отримання чіткого зображення можна досягти за допомогою стабілізації зображення.

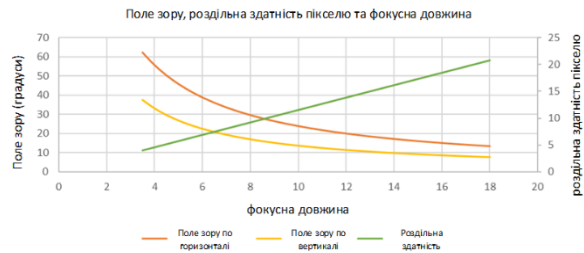


Рис. 4. Залежність між розміром пікселя та фокусною довжиною [8]

Для перевірки гіпотези щодо стабілізації зображень було проведено моделювання роботи алгоритму локалізації дорожнього знаку телевізійної системи керування автомобілем. Для цього було взято відео фрагмент з відео реєстратора, на якому наявні дорожні знаки та проведено процедуру локалізації дорожнього знаку без стабілізації та із стабілізацією. В якості кількісної оцінки точності локалізації було обрано метрику Precision-Recall, як найбільш влучну для цієї задачі. Вона дозволяє отримати оцінку саме точності локалізації та повноти знаходження об'єкту.

Дослідження показали, що точність локалізації дорожніх знаків телевізійною системою керування автомобілем підвищилась після додавання стабілізації. До стабілізації середня точність локалізації дорожнього знаку складає 82%, а після стабілізації середня точність складає 94%. На Рис. 5 приведено приклад локалізації дорожнього знаку до стабілізації, на Рис. 6 наведено приклад локалізації дорожнього знаку після стабілізації.



Рис. 5. Приклад локалізації дорожнього знаку до стабілізації



Рис. 6. Приклад локалізації дорожнього знаку після стабілізації

На Рис. 7 наведено графік Precision-Recall для локалізації дорожнього знаку до застосування стабілізації. На Рис. 8 наведено графік Precision-Recall для локалізації дорожнього знаку після застосування стабілізації.

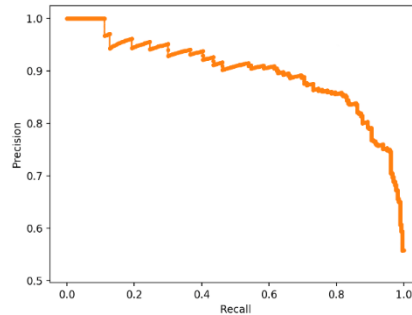


Рис. 7. Графік Precision-Recall для локалізації дорожнього знаку до застосування стабілізації

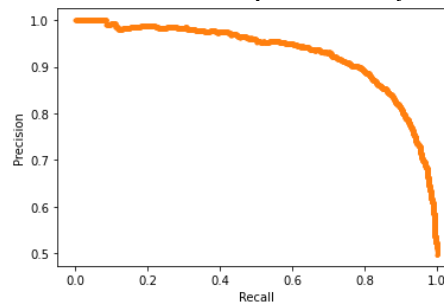


Рис. 8. Графік Precision-Recall для локалізації дорожнього знаку після застосування стабілізації

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

У статті докладно розглянуто технічні аспекти програмної стабілізації зображення в контексті телевізійних систем управління автомобілем. Принципи роботи цієї технології включають визначення зміщень, компенсацію зміщень та стабілізацію зображення, що разом створюють стабільний та високоякісний відеоряд, навіть у рухомому автомобілі та у складних умовах на дорозі.

Важливим аспектом є визначення зміщень, яке вимагає аналізу руху об'єктів на зображенні та використання алгоритмів відстеження об'єктів чи аналізу опорних точок для точного визначення зміщень. Після цього відбувається компенсація цих зміщень за допомогою методів інтерполяції та екстраполяції, що дозволяє плавно та без помітних артефактів коригувати рух камери. Останнім етапом є стабілізація зображення за допомогою фільтрів низьких частот, які видаляють тремтіння та зберігають деталі і контрастність зображення.

Програмна стабілізація зображення має велике практичне застосування в автомобільних системах. Вона допомагає водіям паркуватися, маневрувати та виявляти перешкоди під час руху. Ця технологія забезпечує безпеку та комфорт на дорозі та має обширний потенціал для майбутнього розвитку автомобільних систем управління.

У підсумку, програмна стабілізація зображення важлива технологія, яка допомагає забезпечувати стабільність та якість відеозображень у телевізійних системах управління автомобілем, сприяючи безпеці та комфорту водіїв і пасажирів.

Запропонований алгоритм, на відміну від інших, має високу швидкодію, не вимогливий до обчислювальних потужностей та підвищує точність роботи телевізійних систем керування автомобілем.

References

1. Uomori, Kenya, et al. "Automatic image stabilizing system by full-digital signal processing." *IEEE Transactions on Consumer Electronics* 36.3 (2010): 510-519.
2. Paik, Joon Ki, Yong Chul Park, and Sung Wook Park. "An edge detection approach to digital image stabilization based on tri-state adaptive linear neurons." *IEEE Transactions on Consumer Electronics* 37.3 (2011): 521-530.
3. ki Paik, Joon, Yong Chul Park, and Dong Wook Kim. "An adaptive motion decision system for digital image stabilizer based on edge pattern matching." *IEEE Transactions on Consumer Electronics* 38.3 (2012): 607-616.
4. Ertuerk, Sarp. "Image sequence stabilization by low-pass filtering of interframe motion." *Visual Communications and Image Processing 2001*. Vol. 4310. SPIE, 2000.
5. Liang, Chia-Kai, et al. "The effect of digital image stabilization on coding performance [video coding]." *Proceedings of 2004 International Symposium on Intelligent Multimedia, Video and Speech Processing, 2004.. IEEE, 2004.*
6. Engelsberg, Andreas, and G. Schmidt. "A comparative review of digital image stabilising algorithms for mobile video communications." *IEEE Transactions on Consumer Electronics* 45.3 (1999): 591-597.
7. Liang, Chia-Kai, et al. "The effect of digital image stabilization on coding performance [video coding]." *Proceedings of 2004 International Symposium on Intelligent Multimedia, Video and Speech Processing, 2004.. IEEE, 2004.*
8. <https://www.edge-ai-vision.com/2017/09/use-a-camera-model-to-accelerate-camera-system-design/>