

БЕЗВЕСІЛЬНА О. М.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
ORCID ID: 0000-0002-6951-1242
e-mail: o.bezvesilna@gmail.com

НЕЧАЙ С. О.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
ORCID ID: 0000-0002-0056-6341
e-mail: prilad@ukr.net

ГОРЖИЙ І. В.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
e-mail: igor.vnz2016@gmail.com

МЕТОДИ СТАБІЛІЗАЦІЇ

Статтю присвячено аналізу методів стабілізації зображення фотоапаратів та відеокамер, перевагам і недолікам різних методів стабілізації з метою покращення якості фото- і відеозйомки. Система стабілізації камери типу Steadicam забезпечує плавний рух камери у різних площинах. Steadicam використовується в кіно- і відеозйомках. Цей пристрій дозволяє згладити наслідки вібрації і може бути пристосований для роботи з камерами різних типів і різної ваги. Для забезпечення високої точності стабілізації зображення застосовують оптичну систему стабілізації, елементи якої розташовані всередині об'єктиву. Вона застосовується для фото- і відеотехніки, а також у біноклях та прицілах.

Ключові слова: методи стабілізації, камера, фотозйомка, відеотехніка.

OLENA BEZVESILNA, SERHII NECHAY, IGOR GORJY

National Technical University of Ukraine 'Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute'

METHODS OF STABILIZATION

The article is devoted to the analysis of methods of stabilization of photo-video camera and image, advantages and disadvantages of different methods of camera stabilization in order to improve the quality of photo and video shooting.

The optical image stabilization system is an automated control system. In its composition, it must have a motion sensor, such as a gyroscope or accelerometer, analog or digital computing device and an actuator for motion compensation (motor). The purpose of such a control system is to maintain a fixed position relative to the inertial coordinate system, line of sight or light beam that passes through the camera lens and falls on the light-sensitive matrix. It is possible to realize it by means of the electric motor on the basis of the information from sensors. The electric motor rotates a certain stabilized optical unit, which in turn refracts the light beam. This unit is made with the possibility of rotation around the vertical and horizontal axes or the axes of the course and pitch. The optical unit rotates so that the projection of the image on the film or light-sensitive matrix fully compensates for camera shake during exposure. As a result, the projection always remains stationary with respect to the light-sensitive matrix for small oscillations of the camera. This provides the necessary image clarity. The steadic camera stabilization device provides smooth camera movement in different planes. Steadicams are used in film and video shooting, as it is the easiest way to get a quality picture in motion without shaking with minimal cost. To ensure high accuracy of image stabilization, it is proposed to use an optical stabilization system based on image stabilization. It can be used for photo and video equipment and even in systems such as binoculars and sights.

Key words: stabilization methods, camera, photography.

Постановка проблеми

Методи поліпшення якості відео мають все більший інтерес. Відеозйомка і відеофіксація стають все більш актуальними за рахунок зменшення їх вартості. Однак можливі випадкові вібрації основи значно знижують якість відеофіксації. Усунення подібних недоліків відео – актуальна задача обробки даних. Завдання системи стабілізації – усунення наслідків вібрації основи.

Аналіз останніх джерел

В останні десятиріччя були проведені численні дослідження у галузі стабілізації основи камери для зйомки відео [1–5, 9–18]. Її основна задача полягає у компенсації небажаної вібрації, викликаній оператором, що тримає камеру (або наслідок механічного тремтіння) і синтезу нової відеопослідовності, з використанням різних методів стабілізації камери. Однак, у вказаних літературних джерелах відсутні відомості щодо методів стабілізації зображення, їх особливостей, переваг та недоліків.

Метою даної статті є аналіз основних методів стабілізації зображення, їх переваг та недоліків.

Виклад основного матеріалу дослідження

Причину тремтіння камери найчастіше пов'язують з тремтінням рук оператора, з поривами вітру (стаціонарна камера) або з нерівномірним рухом об'єкту, на якому встановлено камеру.

Методи скасування вказаних вище недоліків наступні: механічна стабілізація; зміцнення камери жорстким об'єктивним каркасом, що значною мірою зменшує вплив пориву вітру; збільшення ваги всієї конструкції, зміщення центру ваги вниз; використання стабілізуючого карданова підвісу за зразком Steadicam [6–8].

Методи стабілізації зображення. Стабілізація зображення (IS – Image Stabilization) – технологія, що використовують для зменшення розмиття зображення, викликаного тремтінням камери при фотографуванні або відеозйомці. Система стабілізації (СС) компенсує незначні горизонтальні зміщення та кутові нахили камери. СС використовується у біноклях, фото- та відеокамерах, в астрономічних телескопах. У фотоапаратах тремтіння камери негативно впливає на якість знімків і найбільше проявляється при тривалих витримках або при великих значеннях фокусних відстаней у телеоб'єктивах (рис. 1).



Рис. 1. Знімок, виконаний без стабілізації зображення (зверху) та зі стабілізацією (знизу)

Оптична стабілізація зображення (optical image stabilizer) або OIS, IS, OS – механізм, дія якого полягає у регулюванні оптичного шляху до приймача зображення. Такий механізм вбудовується або в об'єктив, або у корпус камери, де рухомою робиться сама матриця, як фінальний елемент оптичного шляху. Ключовою особливістю будь-яких систем оптичної стабілізації є те, що вони стабілізують зображення, спроектоване на матрицю, ще до того, як матриця перетворить його на цифровий сигнал.

Довгий час у фототехніці оптичними системами стабілізації зображення оснащували лише високоякісні телеоб'єктиви для дзеркальних фотоапаратів, а також деякі моделі камер з незмінною оптикою. Сьогодні ж з різними системами стабілізації зображення ми все частіше стикаємося у порівняно недорогих компактних цифрових апаратах, забезпечених, наприклад, всього лише 3-кратними об'єктивами.

Як відомо, зображення на світлочутливому елементі (платівці, плівці або матриці) формується у результаті впливу на нього світлового потоку, який регулюється у фотоапаратах двома параметрами – витримкою і діафрагмою. Величина витримки вказує, скільки часу буде надходити світло на елемент, діафрагма визначає площу поперечного перерізу світлового потоку. Процес впливу світла на світлочутливий матеріал називають експонуванням, а конкретні значення витримки і діафрагми, встановлені в той чи інший момент зйомки, – експопарами. Очевидно, що при різних експопарах результат експонування може бути однаковий (при незмінному значенні світлочутливості приймача зображення). Наприклад, кількість світла, що пройшло через об'єктив при діафрагмі $f/2,8$ за $1/250$ с, буде приблизно такою ж, що і при витримці $1/30$ с і відносному отворі $f/8$. Однак, у багатьох випадках експопара впливає на характер знімка. Так, при довгих витримках рухомі об'єкти на знімках розмиті, а великі значення діафрагми істотно збільшують глибину різко зображуваного простору.

Основною причиною неякісних розмитих знімків, особливо в умовах недостатньої освітленості, є тремтіння камери у руках під час зйомки. Це явище повністю не вдасться виключити. Для того? щоб отримувати чіткі фотографії, знімаючи з рук, прийнято дотримуватися простого правила: витримка повинна бути менше або дорівнює величині, зворотної фокусної відстані об'єктива. Так, при зйомці об'єктивом з фокусною відстанню 50 мм необхідна витримка хоча б $1/50$ с, для 200 мм – $1/200$ с, для 500 мм – $1/500$ с та ін. При фотографуванні на вулиці при яскравому сонячному світлі отримати потрібну швидкість затвора не складно. Але коли зйомка відбувається у похмурий день, в сутінках або у приміщенні зі штучним освітленням, дотримуватися згаданого правила не завжди можливо. Поки відкритий затвор, в кадр потрапляє зображення, причому зображення відносно рухомих предметів зміщується і в результаті виглядає змазаним, розмитим.

Тремтіння камери складається із трьох складових: елементарні обертання апарату навколо поперечної і поздовжньої уявної осей та оптичної осі об'єктива. Початок координат знаходиться у точці заднього фокусу, тобто у центрі кадру (див. рис. 2).

Рис. 2 демонструє стан камери під час зйомки, вибраний фотографом, – бажано, щоб він не змінювався, поки відкритий затвор. У реальності ж це положення відповідає самому початковому моменту відкриття затвора, коли промінь світла, відбившись від точки А, фокусується у точці В на поверхні плівки або матриці без кутових відхилень. У результаті тремтіння камера починає зміщуватися у різні боки щодо об'єкта фотографування. У наступні моменти промінь потраплятиме в інші точки. На рис. 3 представлена ситуація, коли камера трохи змінила своє становище і образ точки А вже змістився у точку В'. Навряд чи у подальшому він співпаде зі своєю первісною позицією, промінь у такт тремтіння рук почне зміщатись в кадрі. У результаті отримуємо розмите зображення.

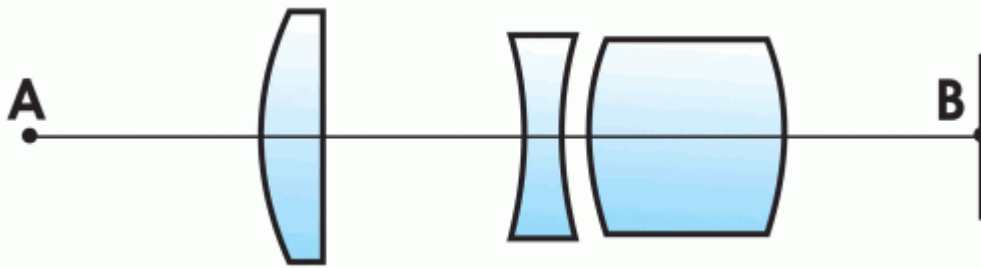


Рис. 2. Стан камери під час зйомки

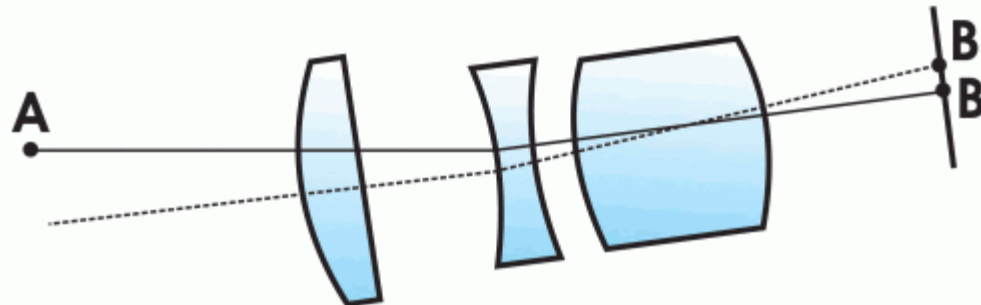


Рис. 3. Камера змінила свій стан і образ точки А змістився у точку В'

Величини кутів відхилення камери при зйомці від фіксованих позицій викликаються тремтінням камери. Дана величина у новачків становить 5 град/с, у професіоналів – 2 град/с. Можливе інше формулювання: при використанні об'єктива з фокусною відстанню 400 мм і витримкою 1/100 с при кутовий швидкості 2 град/с точка фокусування променя на світлочутливій поверхні буде зміщуватись у межах 140 мкм. Іншими словами, відстань між точками В і В' складе 0,14 мм. Якщо за допомогою 5-мегапіксельної світлочутливої матриці з діагоналлю 2/3" маємо задачу отримати фото розміром 3072 × 2048 пікселів, то зсув по ній променя на 0,14 мм дасть радіус розмитості приблизно у 30 пікселів.

Для усунення цих негативних явищ використовуються наступні методи стабілізації зображення.

Стабілізація за допомогою переміщення групи лінз. На рис. 4 зображена вже знайома нам схема, але з деякими поправками: середня група увігнутих лінз зміщена у бік відхилення, завдяки чому промінь світла, відбитий від об'єкта, знову фокусується у точці В. Для отримання бажаного результату необхідно, щоб зміщення цієї групи лінз, названої стабілізуючою, були максимально синхронізовані і узгоджені з рухами камери. Найменше відхилення камери у будь-яку сторону має викликати відповідну реакцію стабілізуючою групи в реальному часі, що забезпечить постійне коригування ходу променя світла від об'єкта і правильне його фокусування. Для вирішення даного завдання використовують спеціальні сенсори руху (що реєструють відхилення камери від початку зафіксованих осей) і двигуни (що зміщують у потрібних напрямках стабілізуючу групу лінз), а також мікроконтролер, що підтримує взаємодію цих двох елементів у реальному часі.

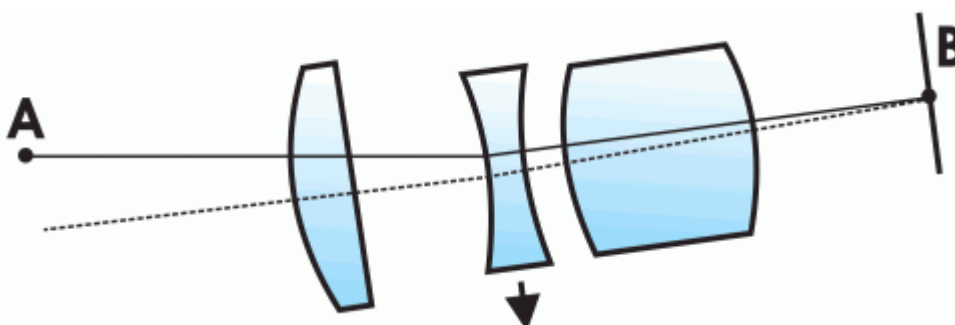


Рис. 4. Схема стабілізації за допомогою переміщення групи лінз

Найвідоміші об'єктиви, обладнані подібною СС, в кінці ХХ століття були представлені у продуктивних лінійках компаній Canon і Nikon. Це оптика Canon IS (Image Stabilizer) і Nikon VR (Vibration Reduction). Саме ці технології і були адаптовані згаданими брендами для застосування у відповідних компактних камерах з незмінною оптикою. Тепер і інші фототоварники використовують СС в об'єктивах. У відеокамерах схожий тип стабілізації зображення вже третій десяток років зустрічаємо у фірм Sony, Canon, Panasonic.

На рис. 5 видно основні елементи СС, вбудовані безпосередньо в об'єктив. Сенсори руху реєструють обертання камери навколо осей Y (1) і X (6). Їх сигнали фіксуються мікрокомп'ютером. Він враховує такі параметри, як поточна фокусна відстань і положення стабілізуючих лінз в об'єктиві (3 і 5), передає керуючі команди на мікропривід (2), який, у свою чергу, зміщує відповідні лінзи в стабілізуючій

групі (4) у потрібних напрямках на необхідну відстань. Ці елементи знаходяться у постійному взаємозв'язку, і на одну операцію (зчитування даних з сенсорів, розрахунок, зміщення лінз) йде 1/1000 секунди. Таким чином, в об'єктиві йде безперервне коригування ходу променів перед попаданням їх на світлочутливу поверхню. У результаті можна уникнути згаданого вище жорсткого співвідношення витримки і фокусної відстані оптики при зйомці з рук. Швидкість спрацьовування затвора при цьому можна зменшувати у 4–8 разів.

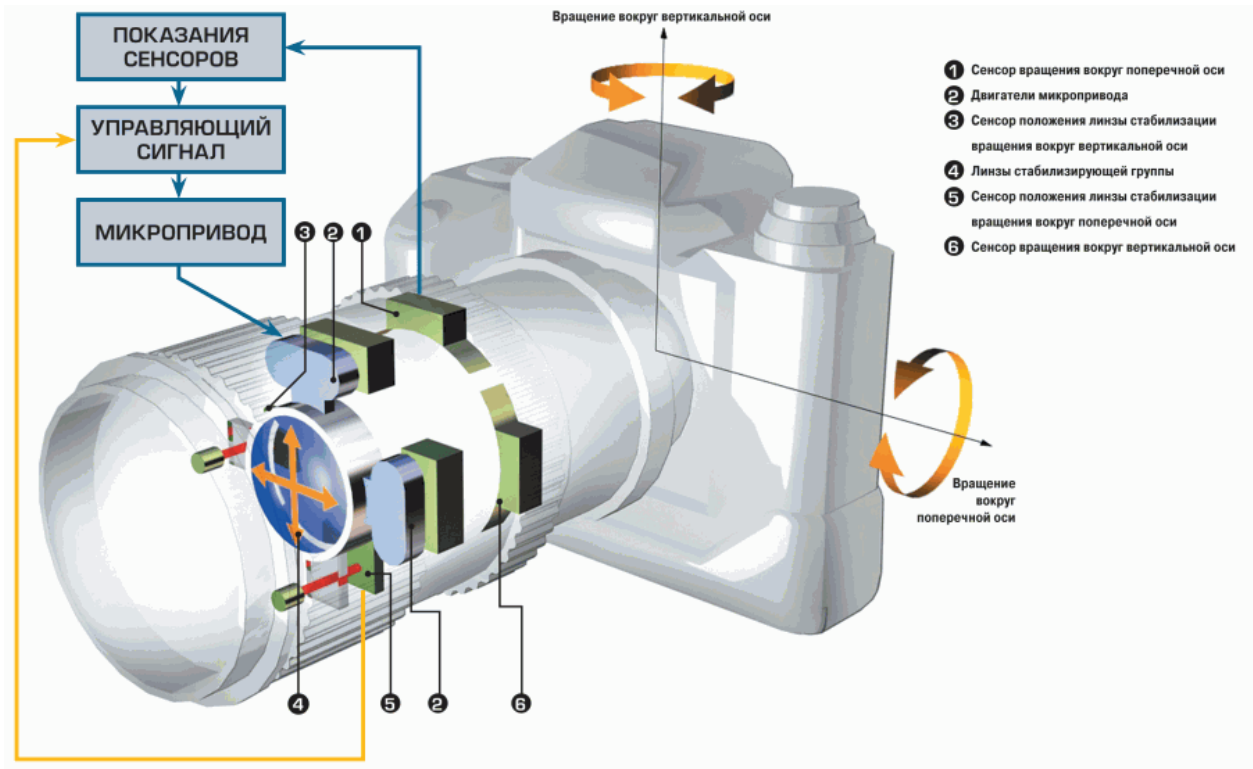


Рис. 5. Основні елементи СС

Проте подібні СС мають і недоліки. Це підвищене енергоспоживання (для користувачів цифрових фотоапаратів це особливо важливо). Правда, існує режим економії енергії, при якому СС зображення включається тільки під час зйомки (після неповного натискання на кнопку спуску). Другий недолік – відносно мала швидкість автофокусування. Це пов'язано з тим, що СС враховує поточне значення фокусної відстані і при зміні останнього відбувається перерахунок.

Стабілізація за допомогою переміщення матриці. Інший спосіб усунення ефекту тремтіння: переміщати саму світлочутливу поверхню у потрібному напрямку (рис. 6) (точку В переводити в положення В'). Для аналогової камери здійснити це складно, адже разом з поверхнею кадру потрібно пересувати і весь механізм перемотування плівки. Очевидно, така система буде коштувати дорого. Але у цифровому фотоапараті для реєстрації світлового потоку застосовується спеціальний сенсор порівняно малих розмірів і ваги, що надає кращу можливість для реалізації цього типу СС. Саме цю властивість цифрових камер вперше у промисловості використовували для стабілізації зображення розробники Konica Minolta (рис. 7). У системі Anti-Shake допоміжні стабілізуючі елементи пов'язані не з групою лінз в об'єктиві, а зі світлочутливою матрицею. Згодом саме таку схему взяла на озброєння компанія Pentax (назвавши її Shake Reduction, або скорочено SR), Sony ж технологія Anti-Shake, очевидно, дісталася у спадок від фірми Konica Minolta.

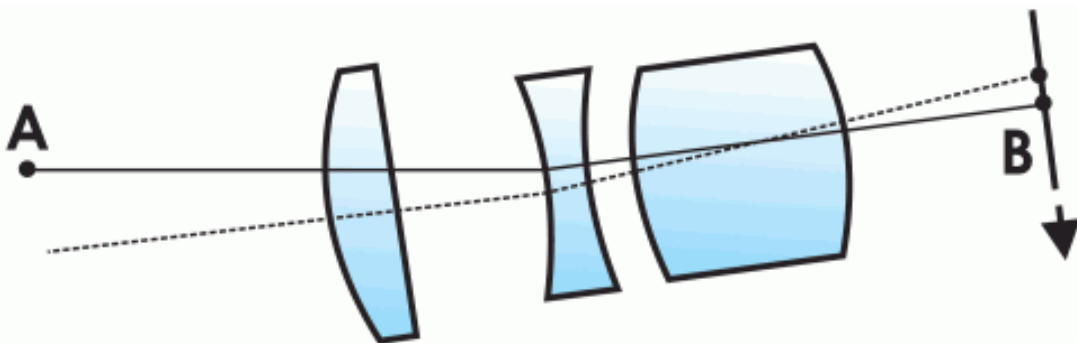


Рис. 6. Схема стабілізації шляхом переміщення матриці

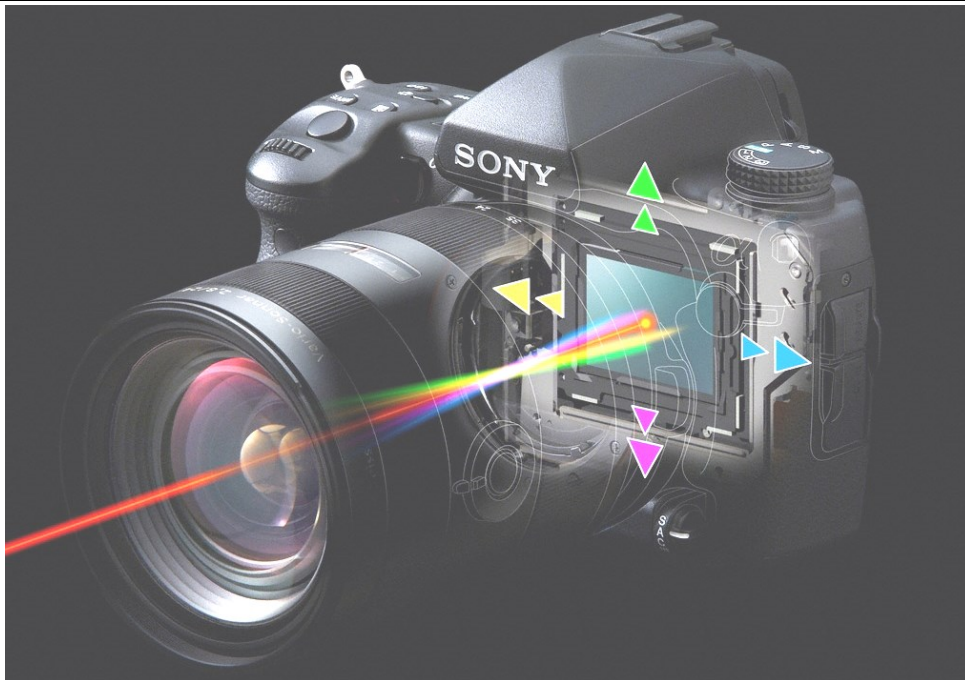


Рис. 7. Технологія Anti-Shake

Такі СС дуже перспективні, адже в них можна закласти дані про всі об'єктиви, які застосовуються у камерах і забезпечити стабілізацію кадру з будь-якою оптикою. Крім того, для пересування маленької матриці витрачається набагато менше енергії, ніж для переміщення групи лінз. Зауважимо, що система Anti-Shake дозволяє, при необхідності у 3–4 рази збільшувати час витримки без істотного погіршення якості результату.

Стабілізаційні фільтри. Багато нелінійних систем редагування використовують програмні стабілізаційні фільтри, здатні виправити нестабілізовану картинку, спостерігаючи за рухом окремих пікселів на кожному кадрі та коригуючи зображення шляхом зміщення меж рамки кадру. У випадку обробки за допомогою таких фільтрів програмі недоступні кадри більшого формату. Тому фільтр або обрізає краї зображення (створює з них резерв для роботи аби приховати видимість руху), або намагається відтворити втрачене за рамками зображення, застосовуючи просторову або часову екстраполяцію.

Матриці ПЗЗ із ортогональним переносом. Прилад із зарядовим зв'язком ПЗЗ (Charge-coupled device, CCD) – матриця ПЗЗ із ортогональним переносом (OTCCD) - використовується в астрономії. Зображення зміщується у межах самої CCD-матриці у той час, коли робиться знімок. Метод базується на аналізі наявного руху яскравих зірок. Це рідкісний приклад цифрової стабілізації для фотокамер. Прикладом використання такої технології має стати гігапіксельний телескоп Pan-STARRS (Гаваї).

Стабілізація корпусу камери. Метод стабілізації всього корпусу камери не вимагає будь-яких додаткових характеристик комплексу «корпус-об'єктив». Цього досягають шляхом наявності гіроскопу, приєднаного до корпусу камери (зазвичай з використанням кріплення для штативу, вбудованого у конструкцію камери). Це дозволяє зовнішньому гіроскопу стабілізувати камеру. Використовується цей метод для фотографування із транспортних засобів під час руху у тому випадку, коли об'єктив чи камера із іншим типом стабілізації зображення недоступні або є неефективними (рис. 8).



Рис. 8. Стабілізатор відеокамери

Така технологія була інтегрована у відеокамери, даючи можливість комплекту «об'єктив + матриця» зміщувати свою позицію відносно корпусу камери.

Іншою технологією для стабілізації корпусу відео- чи кінокамери, є система Steadicam, яка ґрунтується на відокремленні пристрою від оператора за допомогою спеціального жилета-упряжі, а випадковим нахилам камери запобігають противаги.

Висновки

У статті проаналізовано основні найбільш відомі методи оптичної стабілізації зображення фотоапаратів та відеокамер, викладено переваги і недоліки різних методів стабілізації з метою покращення якості фото і відеозйомки. Серед них наступні: стабілізація за допомогою переміщення групи лінз; стабілізація за допомогою переміщення матриці; стабілізаційні фільтри; матриці ПЗЗ із ортогональним переносом; стабілізація корпусу камери.

Для забезпечення високої точності стабілізації зображення може бути застосована комбінація оптичної системи стабілізації різних типів (для них характерні досить ефективна робота у високочастотній області з невеликими амплітудами) та системи стабілізації корпусу камери для компенсації більш плавних коливань великої амплітуди.

Література

1. Бесекерский В.А. Динамический синтез систем гироскопической стабилизации / Бесекерский В.А., Фабрикант Е.А. – Судостроение, 1968.
2. Кулешов А.В. Гиросtabilizatory киноаппаратуры (опыт разработки и применения) / А.В. Кулешов. – 2013.
3. Пономаренко С. Д. Расчет упругих элементов машин и приборов / Пономаренко С. Д., Андреева Л. Е. – М. : Машиностроение, 1980. – 326 с.
4. Справочник конструктора точного приборостроения / под ред. Явленского К. Н. – Л. : Машиностроение, 1989. – 784 с.
5. Гжиров Г. И. Справочник конструктора / Гжиров Г. И. – Л. : Машиностроение, 1985. – 464 с.
6. David Sachs, Steven Nasiri, Daniel Goehl, 2007. Image Stabilization Technology Overview. URL: http://www.invensense.com/mems/gyro/documents/whitepapers/ImageStabilizationWhitepaper_051606.pdf [Accessed December, 2013].
7. Greg Scoble, “Understanding Optical & Digital Image Stabilization”. Available. URL: http://camcorders.about.com/od/camcorders101/a/optical_vs_digital_image_stabilization.htm [Accessed December, 2013].
8. Minolta introduces next generation single lens-reflex (slr)-type 5 megapixel digital camera, 2003. URL: <http://www.dpreview.com/news/2003/8/7/dimagea1> [Accessed December, 2013].
9. Дорф Р. Современные системы управления / Р. Дорф, Р. Бишоп // Лаборатория базовых знаний. – 2012.
10. Филонов М.П. Система стабилизации оптического изображения повышенной точности / Филонов М.П. – Тульский государственный университет, 2003. – 230 с.
11. Нечай С.О. Дослідження ефективності систем стабілізації зображення фотокамер / С.О. Нечай, Т.В. Хильченко // Вісник Національного технічного університету ХПІ. Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – 2015. – № 22. – С. 35–38.
12. Татарников Е. В. Проектирование стабилизатора видеокамеры / Е. В. Татарников // Инженерия для освоения космоса : сборник научных трудов IV Всероссийского молодежного Форума с международным участием / Томский политехнический университет. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2016. – 327 с.
13. Карпухин И. В. Способы стабилизации изображения / И. В. Карпухин // Евразийский научный журнал. – 2016. – № 2. – С. 1967–1978.
14. Смирнов В.А. Система стабилизации и управления линии визирования подвижных объектов, построенная на трехстепенном гироскопе : дис. ... канд. техн. наук : 05.13.01 / Смирнов Владимир Александрович ; Тульский государственный университет, 2000. – С. 24–31.
15. Лысов А.Н. Теория гироскопических стабилизаторов : учебное пособие / А.Н. Лысов, А.А. Лысова. – Челябинск Издательский центр ЮУрГУ, 2009. – 117 с.
16. Гироскопические системы. Проектирование гироскопических систем : учебное пособие : в 3-х кн. Т. 2. Гироскопические стабилизаторы / под ред. Д.С. Пельпора. – М. : Высшая школа, 1977. — 223 с.
17. Ишлинский А.Ю. Механика гироскопических систем : монография / А.Ю. Ишлинский. – М. : Изд-во АН СССР, 1963. – 362 с.
18. Пельпор Д.С. Гироскопические системы ориентации и стабилизации : справ. пособие / Д.С. Пельпор. – М. : Машиностроение, 1982. – 165 с.

References

1. Besekersky V.A., Fabrikant E.A. Dynamic synthesis of gyroscopic stabilization systems. Sudostroenie, 1968.
2. Kuleshov A.V. Gyrostabilizers of cinema equipment (development and application experience), 2013.
3. Ponomarenko S. D., Andreeva L. E. Calculation of elastic elements of machines and devices. Moscow: Mashinostroenie, 1980. 326 p.

4. Handbook of the designer of precision instrument making. Ed. Yavlensky K.N. L.: Mashinostroenie, 1989. 784 p.
5. Gzhiron G.I. Handbook of the designer. L.: Mechanical Engineering, 1985. 464 p.
6. David Sachs, Steven Nasiri, Daniel Goehl, 2007, Image Stabilization Technology Overview. Available at: http://www.invensense.com/mems/gyro/documents/whitepapers/ImageStabilizationWhitepaper_051606.pdf [Accessed December, 2013].
7. Greg Scoble, "Understanding Optical & Digital Image Stabilization". Available at: http://camcorders.about.com/od/camcorders101/a/optical_vs_digital_image_stabilization.htm [Accessed December, 2013].
8. Minolta introduces next generation single lens-reflex (slr) -type 5 megapixel digital camera, 2003, Available at: <http://www.dpreview.com/news/2003/8/7/dimage1> [Accessed December, 2013].
9. Dorf R., Bishop R. Modern control systems. Laboratory of Basic Knowledge, 2012.
10. Filonov M.P. High-precision optical image stabilization system, Tula State University, 2003. 230 p.
11. Nechai S.O., T.V. Khilchenko Additional efficiency of camera image stabilization systems. Journal "Bulletin of the National Technical University of KhPI" Series: Mechanical and technological systems and complexes. 2015. No. 22. S. 35-38.
12. Tatarnikov E.V. Designing a video camera stabilizer. Engineering for Space Exploration: Collection of Scientific Papers of the IV All-Russian Youth Forum with International Participation. Tomsk Polytechnic University. Tomsk: Publishing house of the Tomsk Polytechnic University, 2016. 327 p.
13. Karpukhin I. V. Methods of image stabilization. Eurasian scientific journal. 2016. No. 2. S. 1967-1978.
14. Smirnov V.A. The system of stabilization and control of the line of sight of moving objects, built on a three-degree gyroscope: dis. ... cand. tech. sciences: 05.13.01 / Smirnov Vladimir Aleksandrovich; Tula State University, 2000. 24-31 p.
15. Lysov A.N., Lysov A.A. Theory of gyroscopic stabilizers: textbook. Chelyabinsk Publishing Center SUSU, 2009. 117 p.
16. Gyroscopic systems. Design of gyroscopic systems: tutorial: in 3 books. T. 2. Gyroscopic stabilizers. ed. D.S. Pelpora. M.: Higher school, 1977. 223 p.
17. Ishlinsky A.Yu. Mechanics of gyroscopic systems: monograph. M.: Publishing house of the Academy of Sciences of the USSR, 1963. 362 p.
18. Pelpor D.S. Gyroscopic systems of orientation and stabilization: ref. allowance. M.: Mashinostroenie, 1982. 165 p.

Рецензія/Peer review : 21.11.2021

Надрукована/Printed :30.12.2021