

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ И УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ

УДК 681.786.4+004.932.2

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВРЕМЕНИ РАССОГЛАСОВАНИЯ РЕГИСТРАЦИИ ДВУХ ВИДЕОКАМЕР ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ

Статья поступила в редакцию 02.02.2019, в окончательном варианте – 07.02.2019.

Митрофанов Игорь Викторович, войсковая часть 15650, 416507, Российская Федерация, Астраханская область, г. Ахтубинск-7,

кандидат технических наук, доцент, e-mail: volotovevgenii@gmail.com

Волотов Евгений Михайлович, филиал «Взлет» Московского авиационного института (национального исследовательского университета), 416501, Российская Федерация, Астраханская область, г. Ахтубинск, ул. Добролюбова, 5,

кандидат технических наук, доцент, e-mail: volotovevgenii@gmail.com

Болгов Анатолий Иванович, войсковая часть 15650, 416507, Российская Федерация, Астраханская область, г. Ахтубинск-7,

ведущий инженер, e-mail: volotovevgenii@gmail.com

Лосев Евгений Владимирович, войсковая часть 15650, 416507, Российская Федерация, Астраханская область, г. Ахтубинск-7,

ведущий инженер, e-mail: volotovevgenii@gmail.com

Данилов Владислав Валерьевич, войсковая часть 15650, 416507, Российская Федерация, Астраханская область, г. Ахтубинск-7,

начальник отдела, e-mail: volotovevgenii@gmail.com

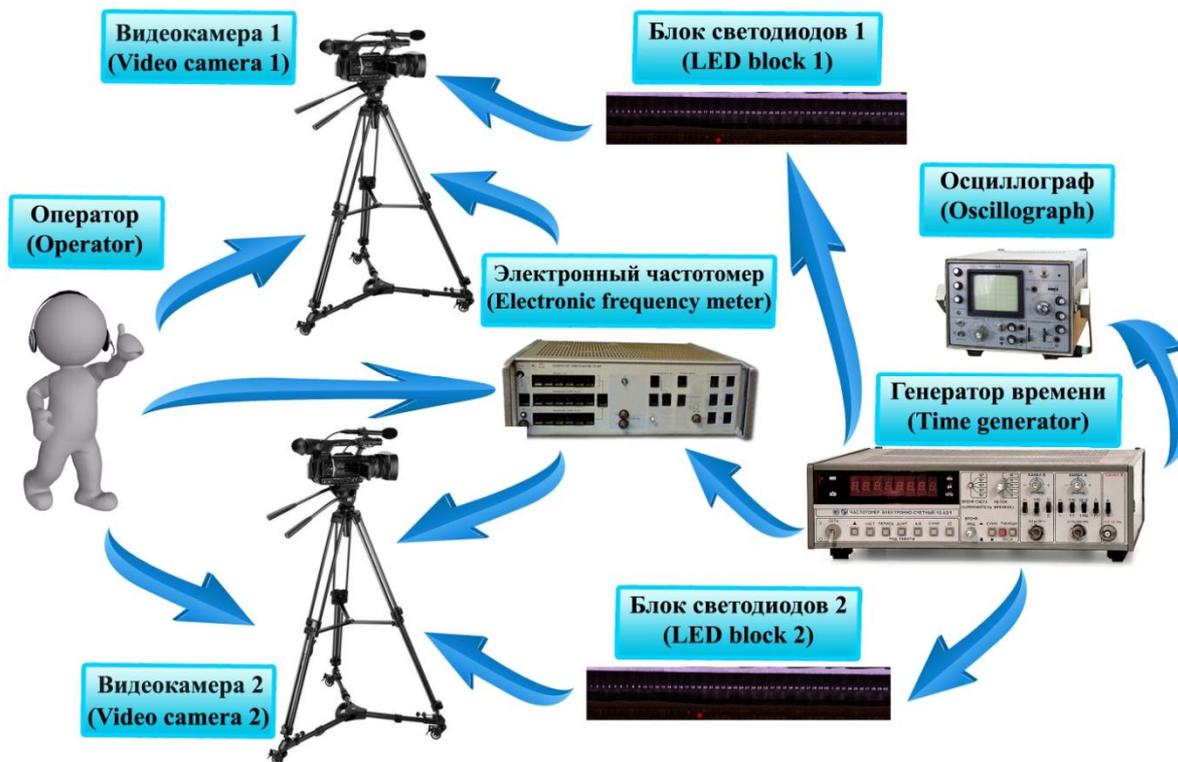
Кокорина Светлана Борисовна, войсковая часть 15650, 416507, Российская Федерация, Астраханская область, г. Ахтубинск-7,

инженер, e-mail: volotovevgenii@gmail.com

В настоящее время все более широкое распространение получают различные системы регистрации, в которых применяются несколько видеокамер общего назначения. Они используются практически повсеместно, как в гражданской области: мониторинг дорожного движения, наблюдение за большими акваториями и транспортными потоками, аэрофотосъемка, создание современных карт и т.д., так и в военной: ведение разведки, оценка результатов применения различного вида боеприпасов и т.д. Поскольку применяемые в таких системах видеокамеры не являются какими-либо специализированными средствами регистрации, а могут быть обычными бытовыми и, кроме того, разнотипными, задача определения времени рассогласования в работе видеокамер системы регистрации является актуальной. Для определения времени рассогласования регистрации двух видеокамер используется метод регистрации в поле зрения каждой видеокамеры систем, связанных с задающим эталонную частоту генератором. Для реализации предлагаемого метода был разработан испытательный стенд. Апробация предлагаемого метода определения времени рассогласования регистрации двух видеокамер и разработанного для этой цели испытательного стенда проводилась в лабораторных условиях. Она показала, что погрешность определения времени рассогласования регистрации не превышала одной миллисекунды. Таким образом, предлагаемый метод и разработанный испытательный стенд позволяют довольно точно решить задачу определения времени рассогласования регистрации двух видеокамер.

Ключевые слова: объект наблюдения, тракторные параметры, система регистрации, видеокамера, время рассогласования, погрешность определения времени рассогласования, испытательный стенд

Графическая аннотация (Graphical annotation)



METHOD OF DEFINITION OF THE MISMATCH ON REGISTRATION TIME BETWEEN VIDEO CAMERAS

The article was received by editorial board on 02.02.2019, in the final version – 07.02.2019.

Mitrofanov Igor V., military unit 15650, Akhtubinsk-7, Astrakhan region, 416507, Russian Federation, Cand. Sci. (Engineering), Professor, e-mail: volotovevgenii@gmail.com

Volotov Evgenij M., branch «Vzlet» of Moscow Aviation Institute (National Research Institute), 5 Dobrolyubov St., Akhtubinsk, Astrakhan region, 416501, Russian Federation, Cand. Sci. (Engineering), Professor, e-mail: volotovevgenii@gmail.com

Bolgov Anatolij I., military unit 15650, Akhtubinsk-7, Astrakhan region, 416507, Russian Federation, Lead Engineer, e-mail: volotovevgenii@gmail.com

Losev Evgenij V., military unit 15650, Akhtubinsk-7, Astrakhan region, 416507, Russian Federation, Lead Engineer, e-mail: volotovevgenii@gmail.com

Danilov Vladislav V., military unit 15650, Akhtubinsk-7, Astrakhan region, 416507, Russian Federation, Head of Department, e-mail: volotovevgenii@gmail.com

Kokorina Svetlana B., military unit 15650, Akhtubinsk-7, Astrakhan region, 416507, Russian Federation, Engineer, e-mail: volotovevgenii@gmail.com

Nowadays, various registration systems, in which several general-purpose video cameras are used, are becoming increasingly widespread. They are used almost everywhere as in civilian areas: traffic monitoring, observation of large water areas and traffic flows, aerial photography, the creation of modern maps, etc., and in the military: reconnaissance, evaluation of the results of using various types of ammunition, etc. Since the video cameras used in such systems are not any specialized means of registration, but can be ordinary household and, moreover, of different types, the task of determining the discrepancy time in the operation of the video cameras of the registration system is relevant. To determine the time of mismatch of registration of two cameras, the method of registration in the field of view of each camera systems associated with the reference frequency generator is used. A test bench was developed to implement the proposed method. Approximation of the proposed method for determining the time of discrepancy between the registration of two cameras and the test bench developed for this purpose was carried out in the laboratory. It showed that the error in determining the time of mismatch did not exceed one millisecond. Thus, the proposed method and the developed test bench make it possible to quite accurately solve the problem of determining the discrepancy time of registration of two video cameras.

Key words: object of observation, trajectory parameters, system of registration, video camera, mismatch time, error of definition of time of a mismatch, test bench

Главной задачей обработки траекторной информации является определение прямоугольных координат объекта наблюдения (ОбН) с целью построения траектории его движения в пространстве [3, 4, 7]. При определении положения ОбН в пространстве с помощью оптических средств необходимо обеспечить синхронное поступление информации не менее чем от двух средств. В специализированных оптических средствах для решения этой задачи служит аппаратура системы единого времени [2, 5, 8, 11]. В системах регистрации информации, построенных на базе видеокамер общего назначения, использование аппаратуры системы единого времени не всегда представляется возможным.

Для исключения погрешностей во временной привязке обрабатываемых видеокадров необходимо обеспечить синхронную работу видеокамер или определить рассогласование по времени регистрации между видеокамерами. Синхронная работа видеокамер может быть обеспечена наличием у них входа для подключения внешнего генератора кадровых импульсов, которые синхронно поступают на видеокамеры. Кроме того, синхронная работа видеокамер может быть обеспечена аппаратной синхронизацией с использованием встроенного в видеокамеру генератора временного кода, который синхронизируется с внешним генератором. Однако такие возможности есть не у всех видеокамер, используемых в системах регистрации траекторной информации. Можно использовать ручной вариант синхронизации видеокамер для старта записи, но он дает низкую точность. Поэтому задача определения времени рассогласования в работе видеокамер системы регистрации является актуальной [1, 6, 9, 10]. Под временем рассогласования (ВР) работы видеокамер будем понимать разницу во времени регистрации начального момента одного и того же события.

Для определения ВР видеосъемки двух и более видеокамер можно использовать следующие методы:

- регистрацию в поле зрения каждой видеокамеры выходных устройств систем единого времени или систем, связанных с задающим эталонную частоту генератором;
- по событию;
- инженерный анализ.

Под событием понимается характерное явление, зарегистрированное всеми используемыми видеокамерами, входящими в систему регистрации по видео или звуковому каналу. В качестве такого явления можно выбрать какие-либо эволюции ОбН на земле или в воздухе, отделения от него каких-либо элементов или звуковой сигнал, зарегистрированный всеми используемыми видеокамерами.

Если характерных явлений системой регистрации на базе видеокамер общего назначения не зарегистрировано, то на основе инженерного анализа взаимного положения элементов ОбН или положения ориентиров и ОбН в кадре можно выполнить увязку видеоизображений по времени между собой.

Второй и третий из указанных методов дают достаточно низкую точность (до половины временного интервала между кадрами). Поэтому для определения ВР видеорегистрации двух видеокамер предлагается использовать метод регистрации в поле зрения каждой видеокамеры систем, связанных с задающим эталонную частоту генератором. Для его реализации был разработан испытательный стенд (рис. 1). В состав стенда входят две видеокамеры, электронная часть испытательного стенда и измерительная часть испытательного стенда.

Внешний вид электронной части испытательного стенда, состоящего из двух станций – командной и исполнительной, представлен на рисунке 2.

В состав измерительной части стенда (рис. 3) входят: генератор времени, который вырабатывает импульсы с частотой 1000 Гц; электронный частотомер, который отображает время прихода сигнала от генератора времени; осциллограф, который предназначен для контроля прохождения импульсов от генератора времени. Показания частотомера служат эталоном при вычислении погрешности определения ВР работы видеокамер. Кроме того, от генератора времени сигнал подается на два блока светодиодов. Блок светодиодов состоит из 40 светодиодов (рис. 4), каждый из которых включается на одну миллисекунду. По этим блокам определяется время рассогласования работы видеокамер. Частотомер и блоки светодиодов подключаются по линиям связи к генератору.



Рисунок 1 – Испытательный стенд для определения ВР видеорегистрации двух видеокамер: 1, 2 – видеокамеры; 3 – электронная часть испытательного стенда; 4 – измерительная часть испытательного стенда

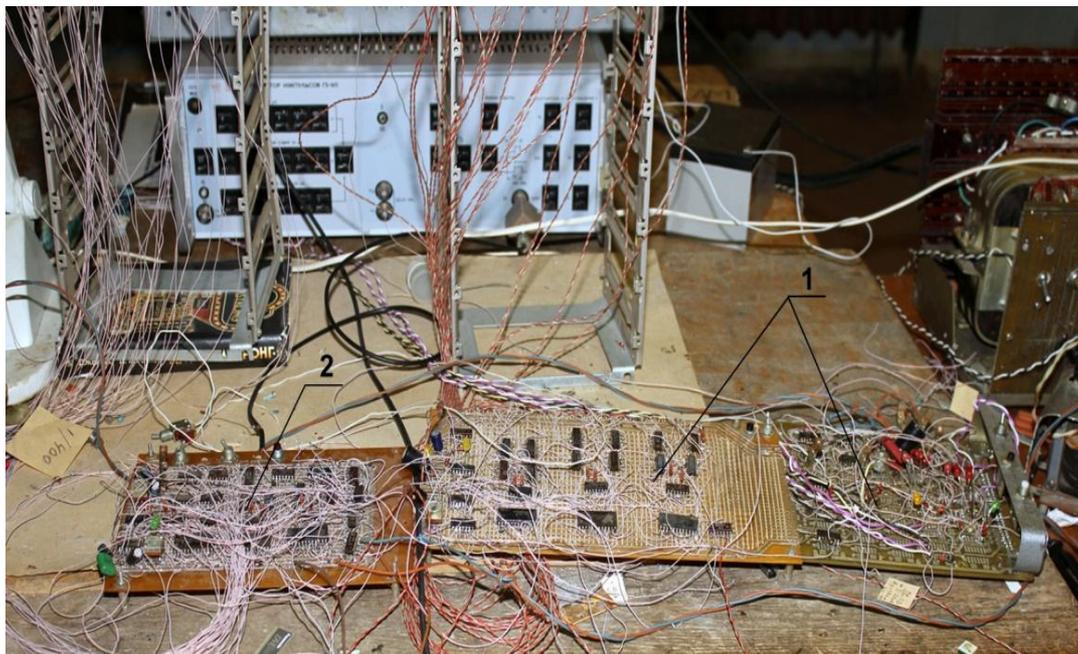


Рисунок 2 – Электронная часть испытательного стенда: 1 – командная станция; 2 – исполнительная станция

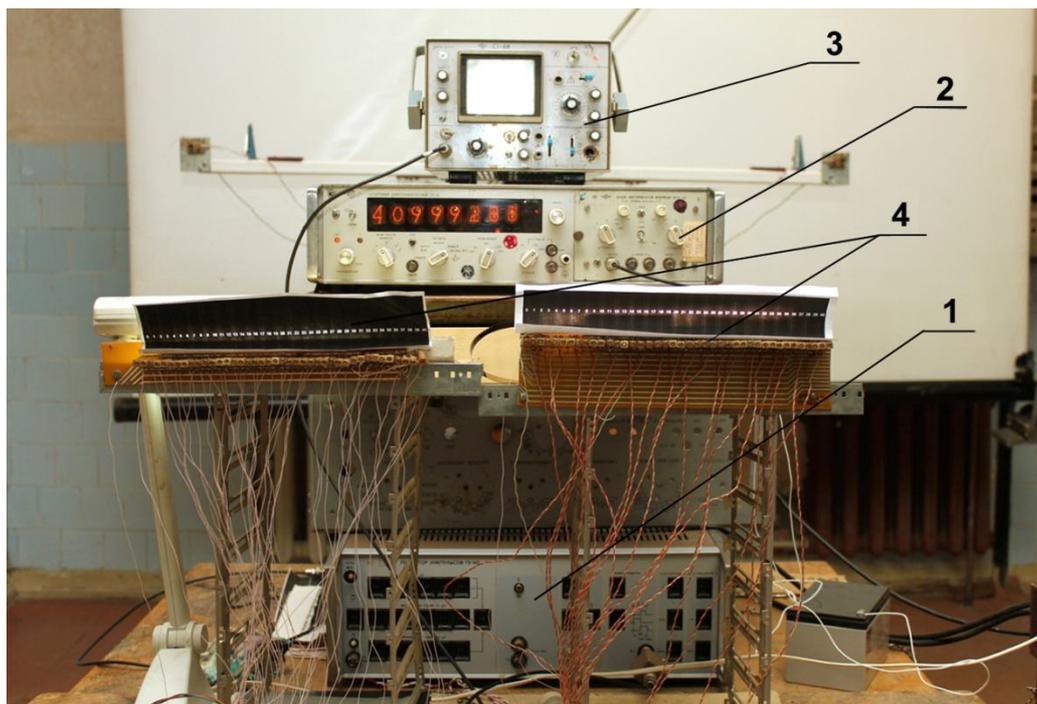


Рисунок 3 – Измерительная часть испытательного стенда: 1 – генератор времени; 2 – электронный частотомер; 3 – осциллограф; 4 – светодиодные блоки

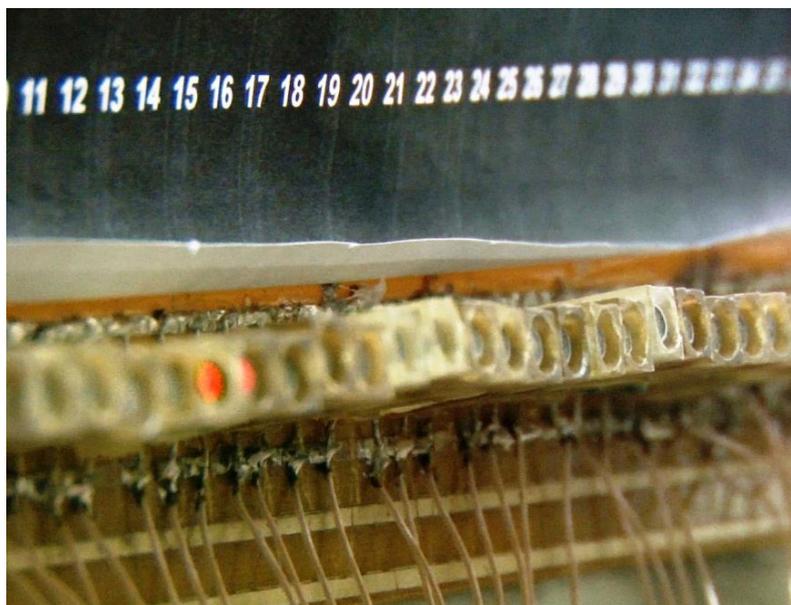


Рисунок 4 – Блок светодиодов

Схема проведения эксперимента по определению времени рассогласования работы двух видеокамер представлена на рисунке 5.

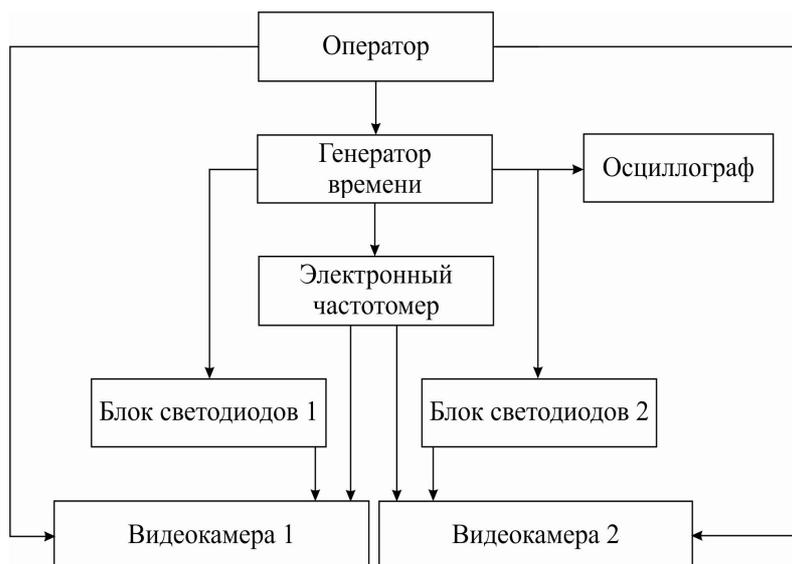


Рисунок 5 – Схема проведения эксперимента по определению времени рассогласования работы двух видеокамер

Во время проведения эксперимента каждая видеокамера устанавливается так, чтобы в ее видеокатод были видны индикаторный блок электронного частотомера и один блок светодиодов. Оператором включается генератор времени, на котором устанавливается начальное время, и начинается отсчет времени через одну миллисекунду. Затем включаются видеокамеры, которые регистрируют показания частотомера и работу блока светодиодов (рис. 6).



Рисунок 6 – Проведение эксперимента

Апробация предлагаемого метода определения ВР видеорегистрации двух видеокамер и разработанного для этой цели испытательного стенда проводилась в лабораторных условиях. Всего было проведено семь сеансов регистрации по несколько минут каждый.

Обработка результатов регистрации с каждой видеокамеры проводилась в три этапа:

- 1) просмотр результатов регистрации видеосъемки;
- 2) выбор видеок кадров для анализа;
- 3) анализ результатов и составление таблиц с выходными данными.

На этапе просмотра каждого сеанса регистрации анализировались показания частотомера на каждом видеок кадре. Установлено, что видеок кадры следовали стабильно с интервалом в 40 миллисекунд,

т.е. с частотой 25 кадров в секунду. Рассогласование по времени у видеокамер было постоянным и сохранялось на всех временных участках сеансов измерений. Поэтому для определения ВР работы видеокамер можно выбрать любой участок видеосъемки.

На этапе выбора видеокадров для анализа из каждого сеанса регистрации отбирались шесть начальных видеокадров.

Третий этап обработки результатов регистрации проводился следующим образом:

- регистрировались показания частотомера в миллисекундах с каждой видеокамеры и записывались в таблицу;

- регистрировался номер светящегося светодиода в блоке светодиодов для каждой видеокамеры и заносился в таблицу. При этом отслеживались три варианта в показаниях блока светодиодов. Первый вариант: если на анализируемом кадре с видеокамеры горел один светодиод, то его порядковый номер заносился в таблицу. Второй вариант: если на кадре с видеокамеры два светодиода горели с разными яркостями, то в таблицу заносился номер более яркого. Третий вариант: если на кадре с видеокамеры горели два светодиода с одинаковой яркостью, то в таблицу заносились их номера через дробь;

- эталонное время рассогласования работы видеокамер определялось как разность показаний частотомера, зарегистрированных двумя видеокамерами;

- экспериментальное время рассогласования работы видеокамер определялось как разность номеров светящихся светодиодов, зарегистрированных двумя видеокамерами;

- погрешность определения ВР работы двух видеокамер определялась как разность между эталонным и экспериментальным ВР работы видеокамер.

Результаты апробации предлагаемого метода определения ВР видеорегистрации двумя видеокамерами приведены в таблице.

Таблица – Результаты апробации предлагаемого метода

№ сеанса	Видеокамера 1		Видеокамера 2		Эталонное время рассогласования, мс	Экспериментальное время рассогласования, мс	Погрешность определения времени рассогласования, мс
	Показания частотомера, мс	Номера светодиодов	Показания частотомера, мс	Номера светодиодов			
1	4423	6/7	4413	16	10	9/10	1
	4463	6/7	4453	16	10	9/10	1
	4503	5/6	4493	15	10	9/10	1
	4543	5/6	4533	15	10	9/10	1
	4583	4/5	4573	14	10	9/10	1
	4623	3/4	4613	13	10	9/10	1
2	51503	20	51493	10	10	10	0
	51543	19	51533	8/9	10	9/10	1
	51583	18	51573	7/8	10	9/10	1
	51623	17	51613	6/7	10	9/10	1
	51663	16	51653	5/6	10	9/10	1
	51703	15	51693	4/5	10	9/10	1
3	94944	1	94934	31/32	10	9/10	1
	94984	1	94974	31	10	10	0
	95034	39/40	95024	29/30	10	9/10	1
	95064	39	95054	28/29	10	9/10	1
	95104	38	95094	27/28	10	9/10	1
	95144	36/37	95134	27	10	9/10	1
4	13700	33	13694	27	6	6	0
	13740	32	13734	26	6	6	0
	13780	31	13774	25	6	6	0
	13820	30	13814	24	6	6	0
	13860	29	13854	23	6	6	0
	13900	28	13894	22	6	6	0
5	176533	15	176538	20	5	5	0
	176573	14	176578	18/19	5	4/5	1
	176613	13	176618	18	5	5	0
	176653	12	176658	16/17	5	4/5	1
	176693	11	176698	15/16	5	4/5	1
	176733	10	176738	14/15	5	4/5	1

Продолжение таблицы

6	342498	17/18	342486	6	12	11/12	1
	342538	16/17	342526	5	12	11/12	1
	342578	15/16	342566	4	12	11/12	1
	342618	14/15	342606	3	12	11/12	1
	342658	13/14	342646	2	12	11/12	1
	342698	12/13	342686	1	12	11/12	1
7	96839	21/22	96822	4/5	17	16/17	1
	96879	20/21	96862	4	17	16/17	1
	96919	19/20	96902	3	17	16/17	1
	96959	18/19	96942	2	17	16/17	1
	96999	17/18	96982	1	17	16/17	1
	97039	16/17	97022	40	17	16/17	1

Апробация предлагаемого метода определения ВР видеорегистрации двух видеокамер показала, что во всех семи сеансах регистрации время рассогласования работы двух видеокамер было определено и составило от 5 до 17 миллисекунд, а погрешность определения времени рассогласования не превышала одной миллисекунды.

Вывод. Обоснована актуальность решения задачи определения времени рассогласования в работе видеокамер системы регистрации. Для определения времени рассогласования регистрации двух видеокамер предложен метод регистрации в поле зрения каждой видеокамеры систем, связанных с задающим эталонную частоту генератором. Для реализации предлагаемого метода был разработан испытательный стенд. Предлагаемый метод и разработанный испытательный стенд позволяют довольно точно решить задачу определения времени рассогласования видеорегистрации двух, даже разнотипных, видеокамер общего назначения.

Библиографический список

1. Волотов Е. М. Автоматизированная обработка траекторной информации системы регистрации на базе видеокамер общего назначения / Е. М. Волотов, С. В. Нестеров, И. В. Митрофанов, С. Б. Кокорина, Е. И. Митрофанов // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Экономика. Информатика. – 2018. – Т. 45, № 4. – С. 782–788.
2. Додонов А. Г. Наземные оптические, оптико-электронные и лазерно-телевизионные средства траекторных измерений / А. Г. Додонов, В. Г. Путятин // Математичні машини і системи. – 2017. – № 4. – С. 30–56.
3. Жданюк Б. Ф. Основы статистической обработки траекторных измерений / Б. Ф. Жданюк. – М. : Советское радио, 1978. – 384 с.
4. Крупский К. А. Методика оценивания параметров движения объекта испытаний на конечном участке траектории полета / К. А. Крупский, Н. В. Радионов // Труды Военно-космической академии имени А. Ф. Можайского. – 2018. – № 661. – С. 53–60.
5. Митрофанов Е. И. Модель оптического средства траекторных измерений в информационном обеспечении процесса испытаний авиационной техники и вооружения / Е. И. Митрофанов, Е. М. Волотов, И. В. Митрофанов // Моделирование авиационных систем : материалы Всероссийской научно-практической конференции. – 2013. – С. 100.
6. Митрофанов Е. И. Система обработки информации материалов видеорегистрации при испытаниях образцов авиационной техники и вооружения / Е. И. Митрофанов, Е. М. Волотов, Н. А. Ефимов, И. В. Митрофанов // Надежность и качество : труды международного симпозиума. – Пенза : Пензенский государственный университет, 2014. – Т. 2. – С. 10–15.
7. Огороднийчук Н. Д. Обработка траекторной информации. Часть I: Методы реализации пространственной (структурной, параметрической) избыточности измерений при решении нелинейных задач контроля недетерминированных траекторий / Н. Д. Огороднийчук. – Киев : Изд-во КВВАИУ, 1981. – 141 с.
8. Чернуха В. Н. Основы испытаний авиационной техники. Часть вторая / В. Н. Чернуха, Ю. В. Новокшенов, С. И. Пляскога. – М. : Издание ВВИА им. проф. Н. Е. Жуковского, 1994. – 334 с.
9. Чулахин А. П. Погрешности видеоаппаратуры при проведении траекторных измерений / А. П. Чулахин, Ю. И. Луцков // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2014. – № 9–1. – С. 120–126.
10. Чулахин А. П. Оценка скорости полета малых летательных аппаратов с помощью видеоаппаратуры / А. П. Чулахин, М. Л. Савин // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2014. – № 9–1. – С. 126–130.
11. Шибанов Г. П. Испытания авиационной техники / Г. П. Шибанов // Проблемы безопасности полетов. – 2008. – № 4. – С. 36–44.

References

1. Volotov E. M., Nesterov S. V., Mitrofanov I. V., Kokorina S. B., Mitrofanov E. I. Avtomatizirovannaya obrabotka traektornoy informatsii sistemy registratsii na baze videokamer obshchego naznacheniya [Automated processing of trajectory data of system of registration based on general purpose cameras]. *Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Ekonomika. Informatika* [Scientific Statements of Belgorod State University. Series: Economics. Information Technologies], 2018, vol. 45, no 4, pp. 782–788.

2. Dodonov A. G., Putyatin V. G. Nazemnye opticheskie, optiko-elektronnye i lazerno-televizionnye sredstva traektornykh izmereniy [Land optical, optical-electronic and laser and television means of trajectory measurements]. *Matematicheskiye mashiny i sistemy* [Mathematical Cars and Systems], 2017, no. 4, pp. 30–56.

3. Zhdanyuk B. F. *Osnovy statisticheskoy obrabotki traektornykh izmereniy* [Fundamentals of statistical processing of trajectory measurements]. M., Sovetskoe radio Publ., 1978. 384 p.

4. Krupskiy K. A. Radionov N. V. Metodika otsenivaniya parametrov dvizheniya obekta ispytaniya na konechnom uchastke traektorii poleta [Methods of estimation of motion parameters of the test object in the terminal phase of trajectory]. *Trudy Voenno-kosmicheskoy akademii imeni A.F. Mozhayskogo* [Proceedings of Military Space Academy of A.F. Mozhaysky], 2018, no. 661, p. 53–60.

5. Mitrofanov E. I., Volotov E. M., Mitrofanov I. V. Model opticheskogo sredstva traektornykh izmereniy v informatsionnom obespechenii processa ispytaniy aviacionnoy tekhniki i vooruzheniya [Model of optical means of trajectory measurements in the information support of the process of testing aircraft and weapons]. *Modelirovanie aviacionnykh sistem materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferencii* [Modeling aircraft systems materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference], 2013, p. 100.

6. Mitrofanov E. I., Volotov E. M., Efimov N. A., Mitrofanov I. V. Sistema obrabotki informatsii materialov video-registratsii pri ispytaniyakh obraztsov aviatsionnoy tekhniki i vooruzheniya [The system of information processing of materials of video registration when testing samples of the aircraft equipment and arms]. *Nadezhnost i kachestvo : trudy mezhdunarodnogo simpoziuma* [Reliability and quality: Proceedings of the International Symposium], 2014, no. 2, pp. 10–15.

7. Ogorodniy chuk N. D. *Obrabotka traektornoy informatsii. Chast I: Metody realizatsii prostranstvennoy (strukturnoy, parametricheskoy) izbytochnosti izmereniy pri reshenii nelineynykh zadach kontrolya nedeterminirovannykh traektoriy* [Processing of trajectory information. Part I: Methods for implementing spatial (structural, parametric) measurement redundancy in solving nonlinear control problems of non-deterministic trajectories]. Kiev, 1981. 141 p.

8. Chernukha V. N., Novokshonov Yu. V., Plyaskota S. I. *Osnovy ispytaniy aviatsionnoy tekhniki. Chast vtoraya* [Basics of aeronautical engineering testing. Part two]. Moscow, VVIA named after prof. N.E. Zhukovsky, 1994. 334 p.

9. Chupahin A. P., Luckov Yu. I. Pogreshnosti videoapparatury pri provedenii traektornykh izmereniy [Video equipment errors when carrying out trajectory measurements]. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki* [News of the Tula State University. Technical Science], 2014, no. 9–1, pp. 120–126.

10. Chupahin A. P., Savin M. L. Otsenka skorosti poleta malyykh letatelnykh apparatov s pomoshchyu videoapparatury [Assessment of the speed of flight small flying devices by means of a videoapparatus]. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki* [News of the Tula State University. Technical Science], 2014, no. 9–1, pp. 126–130.

11. Shibanov G. P. Ispytaniya aviatsionnoy tekhniki [Tests of aviation technology]. *Problemy bezopasnosti poletov* [Problems of Flight Safety], 2008, no. 4. pp. 36–44.

УДК 004.942+681.5

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ СТАБИЛИЗАЦИИ ШАГАЮЩЕГО РОБОТА НА ОСНОВЕ ОБРАТНОГО МАЯТНИКА С ТРЕМЯ СТЕПЕНЯМИ СВОБОДЫ¹

Статья поступила в редакцию 29.01.2019, в окончательном варианте – 12.02.2019.

Рядчиков Игорь Викторович, Кубанский государственный университет, 350040, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. Ставропольская, 149,

кандидат физико-математических наук, руководитель лаборатории робототехники и мехатроники, https://elibrary.ru/author_items.asp?authorid=734544, e-mail: igorriyadchikov@gmail.com

Наряду с развитием мобильной робототехники в направлении летающих и колесных конструкций, в последнее время активно ведутся исследования в области шагающих устройств. Это вызвано широкой областью их применения: перемещение с преодолением препятствий и по сложным траекториям; необходимость перемещения робототехнического устройства в труднодоступные места. Особенностью шагающих роботов является то, что в моменты перемещения «ног» необходимо стабилизировать неустойчивую систему. Существует два подхода к стабилизации. Первый заключается в попытке стабилизировать объект по аналогии с движениями человека или животного, второй – использование неантропоморфных методов. В данной работе рассмотрена неантропоморфная конструкция шагающей робототехнической платформы, стабилизируемой с применением вращающихся маховиков. В статье решена задача стабилизации рассматриваемого устройства с использованием модели обратного трехмерного маятника. Приведены результаты сравнения решения указанной задачи с известным аналитическим решением. Представлены аналитические, численные и экспериментальные результаты.

Ключевые слова: шагающий робот, проблемы стабилизации, обратный трехмерный маятник, аналитические решения, экспериментальные результаты, имитационное моделирование

¹ Работа выполнена в рамках госзадания Министерства образования и науки Российской Федерации (проект № 8.2321.2017/ПЧ «Разработка и адаптация систем управления компенсацией динамических отклоняющих воздействий на мобильные объекты, находящиеся в состоянии динамического равновесия»).