

UDC 621.397

DOI 10.52171/2076-0515_2024_16_04_89_95

Improving the Photometric Accuracy of a CCD Television Camera

R.M. Bayramov, A.T. Rahimov

Azerbaijan National Academy of Aviation (Mardakan ave., 30, Baku, AZ1045, Azerbaijan)

For correspondence:

Bayramov Ramiz / e-mail: rbayramov@naa.edu.az

Abstract

In the paper, we consider improving the photometric accuracy of the tele-measuring system (TIS) by eliminating the influence of defects in the charge coupled device (CCD) matrix, by restoring the information lost due to this. One of the possible methods of increasing the photometric accuracy of a CCD television sensor may be the method of optical conversion in the optical path of a TV camera, i.e. when projecting an optical image onto the plane of a photoelectric converter. This particular method has been developed in this work.

Keywords: telemetry, photometric accuracy, television, optical conversion, photoelectric converter.

Received 18.03.2024

Revised 11.12.2024

Accepted 16.12.2024

For citation:

R.M. Bayramov, A.T. Rahimov

[Improving the Photometric Accuracy of a CCD Television Camera]

Herald of the Azerbaijan Engineering Academy, 2024, vol. 16, № 4, pp. 89-95 (in Russian)

Yük əlaqəli cihaz (YƏC) üzərində yığılmış televiziya kamerasının fotometrik dəqiqliyinin artırılması

R.M. Bayramov, A.T. Rəhimov

Azərbaycan Milli Aviasiya Akademiyası (Mərdəkan prospekti 30, Bakı, AZ1045, Azərbaycan)

Xülasə

Məqalədə itirilən məlumatların bərpa edilməsi ilə YƏC (yük əlaqəli cihaz) matrisinin defektlərinin təsirini aradan qaldıraraq teleölçmə sisteminin (TÖS) fotometrik dəqiqliyinin artırılması nəzərdən keçirilir. YƏC matrisi üzərində bir televiziya sensorunun fotometrik dəqiqliyini artırmağın mümkün üsullarından biri, TV kamerasının optik traktındakı optik çevrilmə metodu ola bilər, yəni optik təsvirin fotoelektrik çeviricinin müstəvisinə proyeksiya etməsi baş verir. Bu işdə məhz belə bir metod hazırlanmışdır.

Açar sözlər: teleölçmə, fotometrik dəqiqlik, televiziya, optik çevrilmə, fotoelektrik çevirici.

Повышение фотометрической точности телевизионной камеры на приборах зарядовой связи (ПЗС)

Р.М. Байрамов, А.Т. Рагимов

Азербайджанская Национальная академия авиации (Мардакянский проспект, 30, Баку, AZ1045, Азербайджан)

Аннотация

В работе рассматривается метод повышения фотометрической точности телеизмерительной системы (ТИС) за счет устранения дефектов матрицы прибора зарядовой связи (ПЗС) путем восстановления утраченной информации. Одним из возможных методов повышения фотометрической точности телевизионного датчика на ПЗС может быть метод оптического преобразования в оптическом тракте ТВ камеры, т. е. при проецировании оптического изображения на плоскость фотоэлектрического преобразователя.

Ключевые слова: телеметрия, фотометрическая точность, телевидение, оптическое преобразование, фотоэлектрический преобразователь.

Введение

Схема оптического тракта телевизионной камеры организована следующим образом: световой поток поля объекта попадает во входной зрачок объектива телевизионной камеры, пройдя через клиновидную призму (1), входящую в состав специального коммутатора (рис. 1).

Клиновидная призма (1) снабжена электрическим приводом (2), перемещающим ее перпендикулярно оптической оси системы, в любом заранее принятом направлении. При этом происходит смещение проекции изображения вдоль плоскости матричного преобразователя.

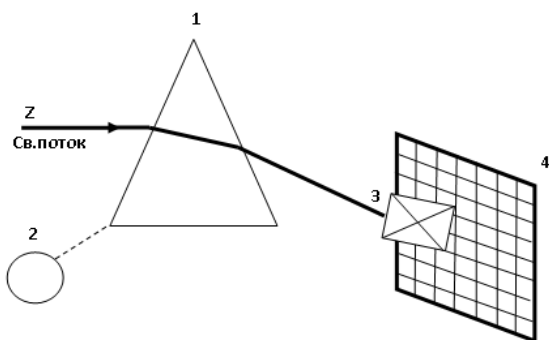


Рисунок 1 – Схема оптического тракта телевизионной камеры

Figure 1 – Diagram of the optical path of a television camera

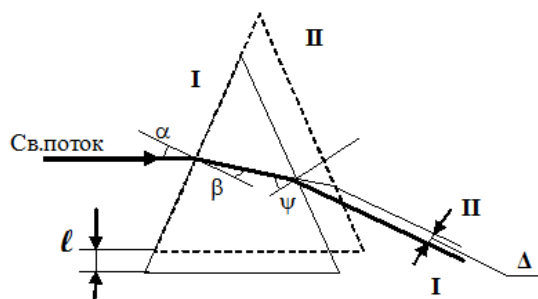


Рисунок 2 – Механизм действия клиновидной призмы

Figure 2 – The mechanism of action of a wedge-shaped prism

Механизм действия клиновидной призмы показан на рис. 2. Из приведенного чертежа ясно, что величина перемещения изображения на выходе призмы:

$$\Delta = l \cdot \operatorname{tg} \left(\arcsin \frac{1}{n} \right) \cdot \operatorname{tg} \alpha \quad (1)$$

где α - угол призмы, n - коэффициент преломления стекла призмы, l - величина смещения призмы (сдвиг призмы).

Выбор величины сдвига призмы определяется в зависимости от решаемой задачи. Электрический привод призмы обеспечивает его синхронную работу совместно с развертками телевизионной камеры [1]. В качестве электропривода призмы применена система из двух электромагнитов, в магнитную цепь которых включен якорь, связанный механически оправой клиновидной призмы. Разработанная схема электропривода обладает значительным временем переходных процессов, ограничивающих быстродействие в целом всей системы.

Цель работы – выявить метод повышения фотометрической точности телевизионного датчика на ПЗС в оптическом тракте ТВ камеры.

В настоящее время в качестве преобразователей свет-сигнала широко применяются приборы зарядовой связи (ПЗС). Однако существующие матрицы и линейки ПЗС имеет так называемые «дефекты», которые представляют собой нечувствительные или сверхчувствительные элементы по полю матрицы, что приводит к утрате информации об участках изображения объекта. В тех случаях, когда телевизионный датчик используется в прикладных задачах, такое выпадение приводит к ошибочной оценке состояние объекта, т.е. к снижению

фотометрической точности телевизионной измерительной системы (ТИС).

Метод исследования

Не вдаваясь в подробное перечисление дефектов матриц, отметим лишь один дефект – нечувствительные пятна, размеры которых, даже в центральной зоне (0-zone) матрицы могут быть в интервале от 3 до 10 элементов, при этом светочувствительность этих пятен такова, что они генерируют сигнал с амплитудой по сравнению с сигналом насыщения порядка 8%, т. е. практически являются «черными» пятнами. Помимо таких пятен, нужно отметить и элементы матриц, которые создают эффект «факела», т. е. обладают сверхчувствительностью. Наличие таких дефектов приводит при использовании матриц ПЗС к утрате части информации и, зачастую, к существенным ошибкам в оценке состояния объекта. Однако в системе анализа поля грануляции солнечной фотосферы этот вид дефектов не приводит к ощутимому искажению картины.

С целью устранения влияния дефектов матрицы на картину наблюдаемого поля используется специализированная телевизионная система, структурная схема которой изображена на рис. 3.

Идея такой системы изложена авторами в [2] и заключается в том, что с помощью клиновидной призмы, изображенной на рис. 4, устанавливаемой перед объективом телевизионной камеры, изображение анализируемого поля сдвигается по горизонтали на величину, определяемую распределением пятен на матрице ПЗС. Величина сдвига задается оператором и вводится в ЭВМ.

Сдвиг диска, состоящего из четырех клиновидных призм, осуществляется электроприводом, управляемым ЭВМ. Поскольку анализируемое изображение практически не меняется, период сдвига призмы выбирается кратным частоте кадров ТВ системы.



Рисунок 3 – Структурная схема специализированной телевизионной измерительной системы

Figure 3 – Block diagram of a specialized television measuring system



Рисунок 4 – Диск с клиновидными призмами
Figure 4 – A disk with wedge-shaped prisms

Время перемещения призмы из одного состояния в другое состоит из времени трогания

$$t_{tp} = 2,04 \cdot 10^{-1} \frac{F_n \delta}{P} K_3 \cdot \ln \frac{K_3}{K_3 - 1} \quad (2)$$

времени движения:

$$t_{g\beta} = 0,14 \sqrt{\frac{G \cdot S}{F_a - F_n}} \quad (3)$$

Здесь: F_n - сила противодействия перемещению, δ - воздушный зазор между якорем и керном электромагнита в см, P - потребляемая электромагнитом мощность в Вт, коэффициент K_3 , равный 0.6, S - путь движения якоря в см, G - сила тяжести якоря в кг.

Электромагнитная сила, перемещающая якорь, равна:

$$F_{\gamma} = \frac{B^2 \cdot S_k}{2 \cdot \mu_0} \quad (4)$$

где B - индукция в зазоре электромагнита в Тл, S_k - сечение керна в м, F_{γ} - сила в Н. Ампер-витки электромагнита определяются из формулы:

$$1 \cdot W_k = \frac{\Phi \cdot \delta}{\mu_0 \cdot S_k} \quad (5)$$

где Φ - магнитный поток, I - ток в обмотке электромагнита в А, W_k - число витков электромагнита.

Расчеты показали, что при числе ампер-витков электромагнитов, равном 1000, время переключения оптического коммутатора равно приблизительно 4 мс, т. е. более чем в два раза превышает время обратного хода кадровой развертки [3, 4]. В связи с этим телевизионная камера переводится в малокадровый режим (имеется в виду режим засветки ПЗС).

Задача данной разработки состоит в создании телевизионного устройства, обеспечивающего повышенную фотометрическую точность преобразования, в

частности, исключение влияния дефектов матрицы, ее неоднородности [5].

В соответствии с задачей разработки принят следующий алгоритм работы ТВ камеры:

Режим засветки ПЗС - преобразователь засвечивается постоянным световым потоком поля объекта независимо от положения клиновидной призмы оптического коммутатора, накопление же зарядовых пакетов и секции накопления происходит лишь в течение двух полукадров, когда призма остановлена (скорость призмы $U_{\text{приз.}}$ равна 0). Диаграмма работы оптического коммутатора и секции накопления ПЗС показана на рис. 5.

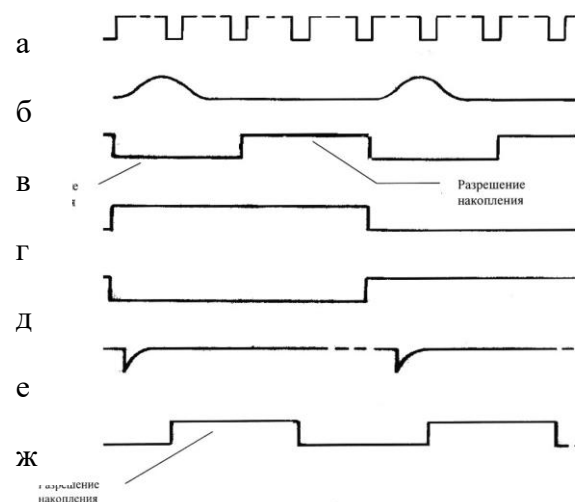


Рисунок 5 – Диаграмма работы оптического коммутатора и секции накопления ПЗС

Figure 5 – Diagram of the operation of the optical switch and the CCD accumulation section

На диаграмме «а» - гасящие импульсы частоты полей; «б» - диаграмма скорости перемещения призмы; «в» - импульсы управления накоплением; «г» - импульс тока в электромагните Э - левое положение призмы; «д» - ток электромагнита Э - правое положение призмы; «е» - импульс запуска камеры в режиме «пра-

вого» изображения; «ж» - импульс накопления ПЗС для «правого» изображения.

Величина сдвига изображения может быть установлена различной, путем регулировки оптического коммутатора. Сравнение сумматорного изображения с одиночными левым или правым показывает рост разрешающей способности ТВ камеры при суммировании изображений, однако оно легко может быть реализовано и электрическим путем с применением устройств памяти на кадр [6, 7]. С другой стороны, существующие матрицы ПЗС имеют достаточно большие «слепые» участки в виде межэлементных зазоров, вертикальных и горизонтальных (рис. 6.)

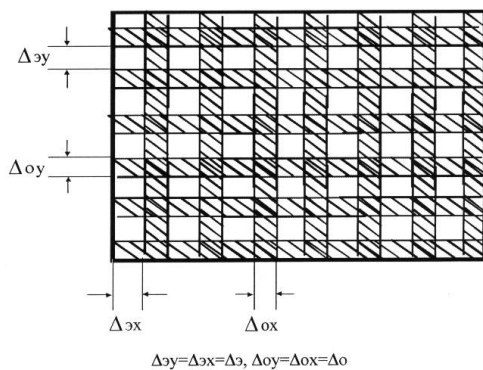


Рисунок 6 – Большие «слепые» участки на матричных ПЗС
Figure 6 – Large "blind" areas on matrix CCD

Если Δ_z - размер элемента матрицы (принимая, что размеры элемента по горизонтали и по вертикали равны), а Δ_o - ширина столбца и колонки, N - число элементов по горизонтали, Z - число элементов по вертикали, то число активных элементов матрицы, участвующих в преобразовании изображения, равно NZ , а число эквивалентных элементов на «слепых» промежутках:

$$\frac{N+Z}{K^2}, \quad \text{где } K = \frac{\Delta_z}{\Delta_o}$$

Количество информации, получаемой в результате проецирования изображения на матрицу, равно:

$$I = \left(N \cdot Z - \frac{N+Z}{K^2} \right) \log_2 m \quad (6)$$

При сдвиге изображения по матрице на величину $l = n\Delta_o$ и описанной выше обработке сигналов результирующее количество информации возросло бы на величину:

$$\Delta I = \frac{N+Z}{K^2} \log_2 m; m = 1, 2, 3, \dots \quad (7)$$

Однако на результирующее количество информации оказывает влияние неоднородность топологии матрицы, погрешности в величине сдвига изображения, вызванные несовершенством и нестабильностью механизма оптического коммутатора.

Известно, что для механических систем функция ошибок:

$$G\left(\frac{\delta}{\sigma}\right) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{\delta/\sigma} e^{-\frac{t^2}{2}} \cdot dt \quad (8)$$

где σ - величина погрешности сдвига.

Тогда результирующая величина количества информации:

$$I_{\text{полн}} = \left(N \cdot Z + G\left(\frac{\delta}{\sigma}\right) \frac{N+Z}{K^2} \right) \log_2 m \quad (9)$$

Для матричного преобразователя, применяемого в камере КТП-79, потери количества информации в среднем равны 10 проц. Такую же оценку можно получить, пользуясь методикой определения пеленгационной характеристики ТВ устройства на ПЗС для точечных объектов.

Таким образом, разработанный метод сдвинутых изображений может дать существенный эффект в системах обна-

ружения точечных объектов, а также в тех случаях, когда неоднородности матрицы сказываются на точности оценки анализируемого светового поля.

Заключение

Разработан алгоритм ТИС для компенсации дефектов матрицы при наблюдении анализируемого поля изображения, в данном случае грануляционной картины солнечной фотосферы. В соответствии с принятым алгоритмом разработана функциональная схема ТИС. Разработана и реализована программа обработки изображе-

ния с целью повышения фотометрической точности анализа картины поля. Разработан метод оптической коммутации изображения объекта на поле матрицы ПЗС со сдвигом, позволяющим получать видеосигналы «левого» и «правого» изображений, тем самым исключается влияние дефектов матрицы на результаты анализа изображения.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, связанных с публикацией данной статьи.

REFERENCES

1. **Efendiev Ch.A., Ragimov A.T. i dr.** Ustrojstvo korrekcii videoinformacii ot tverdotel'noj TV kamery na PZS s tekhnologicheskim defektom matricy. Avt. svid. SSSR. №4660472.09.034360 ot 19.10.1990 (*in Russian*)
2. **Kerimbekov M.B., Rumyancev A.A., Efendiev Ch.A.** O metodah, primenyaemyh dlya izucheniya prirody solnechnykh yavlenij. Baku: Elm. 2005. (*in Russian*)
3. **Bykov P.E., Frajer P., Mancvetov A.A. i dr.** Cifrovoe preobrazovanie izobrazhenij / Pod red. profesora R. E. Bykova. - M.: Goryachaya liniya - Telekom, 2003. - 228s. (*in Russian*)
4. **Petrakov A.V.** Sovmeshchenie raznospektrozonalnyh i precizionnyh televizionnyh rastrov. - M.: Radiosoft, 2009. – 208 s. (*in Russian*)
5. **Bachevskij S.V., Ivanova L.A., Pyatkov V.V., Resovskij V.A.** Metodika analiza dinamicheskikh oshibok v kombinirovannyh televizionnyh sledyashchih sistemah // Voprosy radioelektroniki, ser. «Tekhnika televideniya», 2010, №1, s. 84-89. (*in Russian*)
6. **Berezin V.V., Umbitaliev A.A., Fahmi Sh.S., Cyculin A.K., Shipilov N.N.** Tverdotelnaya revolyuciya v televidenii. - M.: Radio i svyaz. - 2006. - 312 s. (*in Russian*)
7. **İsmayılov İ.M., Binnətəliyeva T.V.** Uçuş aparatlarının bort sistemlərində uçuş verilənlərinin intellektual analizi // *Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının Xəbərləri*. Bakı, 2021, cild 13, №1, s.7-13 (*in Azerbaijani*)