

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ШУМА НА ТЕЛЕВИЗИОННОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ СИСТЕМЫ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ В ПОМЕЩЕНИИ

*Тюкин А.Л., аспирант кафедры динамики электронных систем, Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова, e-mail: tyukin.alex@gmail.com;*

*Приоров А.Л., д.т.н., доцент, доцент кафедры динамики электронных систем, ЯрГУ им. П.Г. Демидова, e-mail: andcat@yandex.ru.*

## THE ESTIMATION OF THE NOISE INFLUENCE ON THE TELEVISION IMAGE OF THE INDOOR POSITIONING SYSTEM

*Tyukin A.L., Priorov A.L.*

*The article describes indoor positioning algorithm based on digital image processing. The image goes from industrial television system. Reference points are color beacons, which have a constant coordinates indoor. The paper describes the carried out estimation of the algorithm resistance to different types of noise influence on input television image.*

**Keywords:** industrial television system, digital image processing, mobile robotic platform, indoor positioning, color beacons, estimation of the noise influence.

**Ключевые слова:** прикладное телевидение, цифровая обработка изображений, мобильная роботизированная платформа, позиционирование в помещении, цветовой маяк, оценка влияния шума.

### Введение

В настоящее время для решения вопросов позиционирования в помещении создано больше количество систем, работающих на основе разных принципов и с использованием различных типов опорных точек. Но универсального решения, как в глобальной спутниковой радионавигации, пока не найдено. Причиной тому является сложность точного позиционирования в помещении с использованием радиоканала. Это связано с переотражениями радиосигналов и наложением их друг на друга. Установлено, что использование радиоканала для позиционирования в помещении имеет множество проблем [1–4].

С другой стороны, видимый диапазон электромагнитного спектра удобен для практического использования в зоне прямой видимости. Он позволяет четко ориентироваться в пространстве, обладает неплохой помехозащищенностью [5, 6]. Кроме того, для работы в данном диапазоне можно обойтись простой и недорогой цветной телекамерой. В такой системе для ориентации могут быть использованы специальные маяки с цветовой кодировкой [7].

Таким образом, мобильная роботизированная платформа (МРП) с установленной на ней телекамерой может ориентироваться в помещении, в котором находятся цветные маяки известного размера с заданными координатами. Такая монокулярная система прикладного телевидения может оценивать относительный размер маяка на входящем кадре путем цифровой обработки телевизионного изображения и расстояние до него [8, 9]. При нахождении в кадре минимум двух маяков возможно определение местоположения самой телекамеры, а, следовательно, и МРП.

*Рассматривается алгоритм позиционирования в помещении, основанный на цифровой обработке изображения, поступающего из системы прикладного телевидения. В качестве опорных точек предложено использовать цветные маяки, статично распрямленные в помещении с заданными координатами. Проводится оценка устойчивости алгоритма к влиянию различных типов шумов на входящее телевизионное изображение.*

Во многих случаях расчётный модуль, который проводит обработку входящей видеопоследовательности, целесообразно вынести за пределы МРП, что позволит упростить устройство самой платформы и заметно снизить её энергопотребление, которое часто является достаточно критическим параметром. Для обмена данными с расчётным модулем в этом случае необходим дополнительный приёмо-передающий модуль.

В результате передачи данных по каналу связи на полезный сигнал могут накладываться помехи, что, в итоге, может привести к появлению шума на полученном изображении. Кроме того, шумы на изображении в данном случае могут возникать при низкой освещенности сцены (за счёт возрастания параметров передаточной функции телекамеры) [10, 11], и в связи с внутренними шумами телекамеры (например, при высоком уровне теневого тока фотосенсора) [12].

Целью работы является разработка алгоритма позиционирования в помещении по маякам с цветовой кодировкой на основе цифровой обработки изображения, получаемого от системы прикладного телевидения. Рассматривается устойчивость разработанного алгоритма к шумам различного типа, существенно влияющим на качество телевизионного изображения.

### Краткое описание работы алгоритма позиционирования

Работа алгоритма позиционирования в помещении основана на цифровой обработке изображения, поступающего из системы прикладного телевидения. Данная

система включает в себя простую цветную телекамеру, установленную на МРП, расчётный модуль, проводящий обработку видеоизображения с телекамеры, и приёмно-передающий блок, обеспечивающий обмен данными между МРП и расчётным модулем. Для ориентации в помещении в качестве опорных точек предложено использовать специальные маяки с цветовой кодировкой (рис. 1). Преимущество таких маяков в сравнении с другими [1, 2] состоит в том, что они просты в изготовлении, экономичны и не требуют источников питания, что позволяет им оставаться работоспособными достаточно долгое время.

Обнаружение маяков и оценка их относительного размера на входном телевизионном изображении позволяют системе оценить их относительные координаты, а зная априорно заданные абсолютные координаты цветных маяков, можно с заданной точностью определить местоположение телекамеры (абсолютные координаты телекамеры) [13]. Структурная схема соответствующего алгоритма представлена на рис. 2.



Рис. 1. Маяк с цветовой кодировкой

Для решения задачи распознавания на маяки накладываются три основных ограничения [14, 15]:

1. Все три цвета на маяке должны быть визуально хорошо различимы.
2. Центры цветных областей должны располагаться на одной прямой и должны быть равноудалены друг от друга.
3. Поверхность маяков должна быть матовой (не должна бликовать).

Первое ограничение связано с использованием фильтрации по цвету каналов HSV изображения: для оттенка (Hue) применяется гауссов колокол с варьируемой дисперсией [16]:

$$f(x) = 255 \exp\left(-\frac{(x-m)^2}{2D}\right), \quad (1)$$

а для насыщенности и яркости – логистический сигмоид с варьируемой кривизной и смещением:

$$f(x) = \frac{255}{1 + \exp(-k(x - m + \Delta))}, \quad (2)$$

где  $D$  – дисперсия значения оттенка пикселя,  $m$  – значение, соответственно, оттенка, насыщенности или яркости одной из трёх цветных областей маяка,  $x$  – значение анализируемого пикселя,  $k$  – кривизна логистического сигмоида,  $\Delta$  – смещение.

Второе ограничение отбраковывает сторонние цветные области, соответствующие по цвету одной из трёх областей маяка [13]. Третье ограничение позволяет избежать искажения цвета области из-за возможного возникновения бликов при ярком освещении.

После применения функций (1) и (2) получаются три изображения (для  $H$ ,  $S$  и  $V$  каналов), которые попиксельно усредняются для получения одного изображения для отдельного цвета [13]. Усреднение проводилось с помощью среднего геометрического взвешенного:

$$\bar{x} = x_H^{w_H} \cdot x_S^{w_S} \cdot x_V^{w_V}, \quad (3)$$

где  $w_H + w_S + w_V = 1$ ,  $w$  – вес. Данный выбор сделан в связи с тем, что при таком способе усреднения учитываются особенности цвета, а именно – оттенок берется с большим весом, чем насыщенность и яркость ( $w_H > w_S, w_V$ ), а последние – с весами, равными:  $w_S = 2 w_V$ . Это сделано потому, что цвет – главный критерий работы алгоритма детектирования, который в системе HSV кодируется двумя значениями цветности: оттенком  $H$  и насыщенностью  $S$ . Оттенок характеризует цвет области, насыщенность – чистоту цвета. Яркость характеризует интенсивность света и связана с параметрами источника света, а не свойствами поверхности.

Для полученных областей вычисляются геометрические центры. После определения всех возможных центров цветных областей маяков, находящихся в кадре, вычисляются длины и углы наклона (относительно вертикали) векторов, соединяющих центры залитых областей (рис. 3).

Относительные координаты маяков определяются, исходя из их относительного размера во входном изображении. В этом случае камера имеет нулевые координаты на относительной карте [17]. Для расчёта относительных координат маяка используются формулы:

$$d = \frac{R/2}{\operatorname{tg}(\psi/2)} \cdot \frac{h}{h_{\text{пикс}}}, \quad (4)$$

$$x = x_{\text{пикс}} \frac{h}{h_{\text{пикс}}}, \quad z = z_{\text{пикс}} \frac{h}{h_{\text{пикс}}}, \quad (5)$$

где  $d$  – расстояние от камеры до плоскости, в которой расположен маяк (координата  $y$ ),  $m$ ;  $R$  – разрешение камеры по вертикали, пиксель;  $\psi$  – апертура объектива по вертикали, градус;  $h$  – реальная высота маяка,  $h_{\text{пикс}}$  – относительная высота маяка на изображении, пиксель;  $x_{\text{пикс}}$  и  $z_{\text{пикс}}$  – смещение центра маяка от оптической оси телекамеры по горизонтали и по вертикали соответственно,

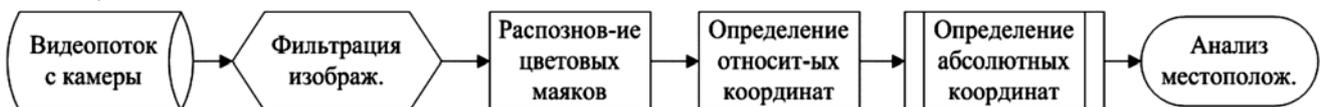


Рис. 2. Структурная схема алгоритма

пиксель;  $x$  и  $z$  – соответствующие координаты маяка.

Для получения местоположения МРП строится абсолютная карта. Переход к абсолютным координатам телекамеры обеспечивается через использование трехмерного преобразования относительных координат маяков. Абсолютная карта – это изображение с планом помещения или пространства, по которому движется автономная МРП. К ней жестко «привязывается» декартова система координат [16].

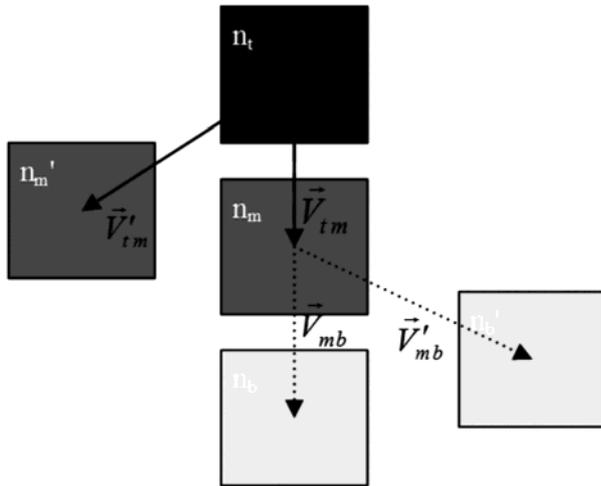


Рис. 3. Всевозможные комбинации векторов

В алгоритме позиционирования используются два метода преобразования координат: метод трехмерных аффинных преобразований (поворот координатной плоскости, масштабирование и параллельный перенос) и метод градиентного спуска (параллельный перенос, поворот по достижению минимума СКО, масштабирование по достижению минимума СКО) [13].

### Изучение влияния шума на работу алгоритма

На работу алгоритма позиционирования могут влиять шумы различной природы. Они могут возникать на разных этапах работы системы. Степень зашумленности зависит от интенсивности и вида помех [18]. При проектировании системы позиционирования необходимо учесть возможное влияние подобных факторов.

Для надежного функционирования алгоритма позиционирования важными параметрами являются его устойчивость к шуму и величина ошибки измерений, вызванная шумами различной интенсивности и природы. На сегодняшний день наиболее используемым показателем оценки качества является пиковое отношение сигнал/шум (для изображений с 256 возможными значениями яркости):

$$ПОСШ = 10 \lg \frac{255^2}{СКО}, \quad (6)$$

$$СКО = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - y_i)^2, \quad (7)$$

где  $N$  – число пикселей изображения,  $x_i$  и  $y_i$  – значения пикселей исходного и зашумленного изображений соответственно, а СКО – среднеквадратичная ошибка [19].

Знание причины возникновения шумов, визуальный анализ зашумленных кадров помогают в построении модели шума и оценке его статистических характеристик

[20, 21]. Для исследования влияния шума на предложенный алгоритм позиционирования исследованы следующие модели шумов:

– Аддитивный белый гауссовский шум (АБГШ). Такая модель может быть описана соотношением зашумленного изображения:  $g(x, y) = f(x, y) + \eta(x, y)$ , где  $f(x, y)$  – исходное изображение,  $\eta(x, y)$  – независимый от сигнала АБГШ.

– Мультипликативный шум. Такой тип шума описывается выражением  $g(x, y) = f(x, y) \cdot \eta(x, y)$ .

– Шум «соль и перец» представляется выражением  $g(x, y) = (1 - p)f(x, y) + p \cdot i(x, y)$ , где  $i(x, y)$  – модель импульсного шума,  $p$  – бинарный параметр со значениями 1 и 0, который и отражает максимальные и минимальные значения пикселя – «соль» и «перец».

При расположении двух маяков в объективе телекамеры проведены исследования зависимости величины дисперсии абсолютных координат камеры от ПОСШ. Для этого записывалась видеопоследовательность длительностью 180 с, на которой присутствовали два маяка. При этом изображение оставалось статичным на всем протяжении эксперимента (ни маяки, ни камера не двигались), а освещенность – постоянной. На первом этапе эксперимента для преобразования относительных координат маяков в абсолютные координаты камеры применялся метод аффинных преобразований.

После формирования видеозаписи на неё накладывался шум различной природы и интенсивности. Снимались значения ПОСШ и дисперсии абсолютных координат камеры. По полученным данным строились графики (рис. 4).

Видно, что при уровне ПОСШ больше 16 дБ все три вида шума оказывают на алгоритм позиционирования примерно одинаковое влияние. Установлено, что граница работоспособности алгоритма при наложении гауссова шума равна 16 дБ. При меньшем значении ПОСШ алгоритм не способен распознать маяк.

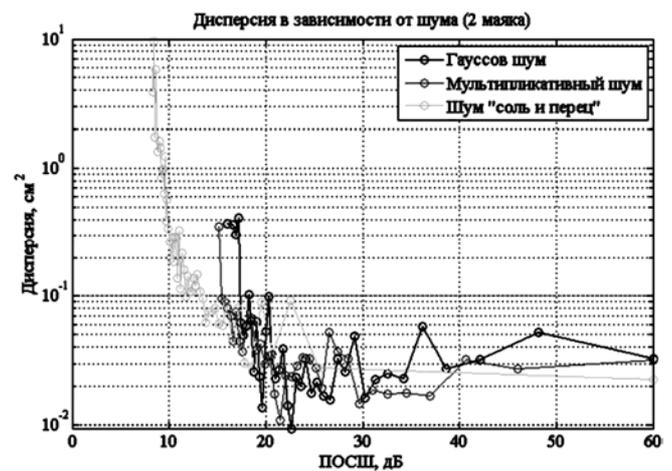


Рис. 4. Зависимость дисперсии абсолютных координат камеры от шума при использовании метода аффинных преобразований и детектировании 2 маяков

При воздействии мультипликативного шума алгоритм дольше сохраняет способность распознавания маяка. Граница работоспособности смещается до уровня 15,1 дБ. Однако при таком ПОСШ дисперсия резко возрастает (примерно на порядок).

К шуму «соль и перец» алгоритм оказался наиболее устойчив. Граница работоспособности составила 8,3 дБ, но и дисперсия при таком ПОСШ максимальна (примерно на два порядка больше средней).

На втором этапе исследования для преобразования координат использовался метод градиентного спуска (рис. 5).

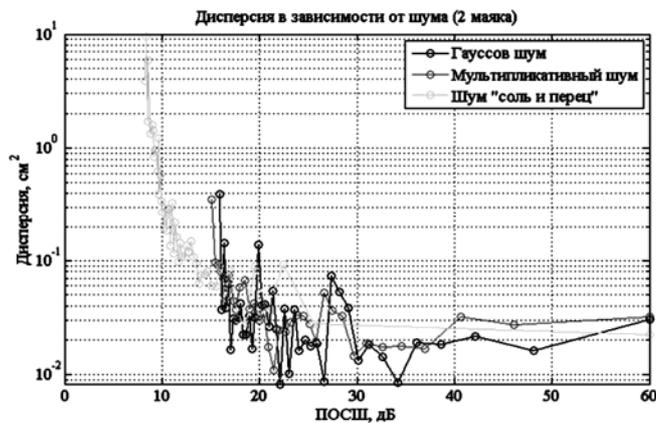


Рис. 5. Зависимость дисперсии абсолютных координат камеры от шума при использовании метода градиентного спуска и детектировании 2 маяков

Также эксперимент проведен и при распознавании трёх маяков. Полученные результаты для двух и трёх маяков с применением различных методов преобразования координат приведены в табл. 1. Для сравнения здесь добавлены результаты эксперимента по зависимости дисперсии координат центра маяка от ПОСШ при распознавании одного маяка в кадре.

Из анализа полученных результатов исследования установлено, что при увеличении количества маяков в кадре ситуация качественно не изменяется и устойчивость к влиянию шума существенно не увеличивается. Следовательно, для повышения устойчивости алгоритма к влиянию шума использовать четыре и более маяков для позиционирования нецелесообразно, поскольку это приведет в большей степени лишь к понижению производительности алгоритма [22].

Выяснено, что алгоритм наименее устойчив к влиянию гауссова шума, и при уровне ПОСШ ниже 16,6 дБ теряет работоспособность. При влиянии мультиплика-

тивного шума границей работоспособности является уровень 15,9 дБ. Наиболее низкий порог работоспособности алгоритм показал при воздействии на него шума «соль и перец» – 9,1 дБ при детектировании трёх маяков. Причём, высокая устойчивость к воздействию шума «соль и перец» сопровождается резким возрастанием дисперсии абсолютных координат камеры. Значение дисперсии на пороге работоспособности более чем на порядок превышает среднее значение дисперсии при различных уровнях ПОСШ.

Сравнение результатов работы алгоритмов преобразования координат показывает, что при использовании метода градиентного спуска система ведет себя более стабильно и показывает низкие значения дисперсии определения координат в сравнении с результатами при использовании метода аффинных преобразований.

### Заключение

В работе описан разработанный алгоритм позиционирования в помещении по маякам с цветовой кодировкой. Для работы алгоритма на мобильную роботизированную платформу устанавливается телекамера для фиксации окружающего пространства и распознавания цветowych маяков. Такая система прикладного телевидения оценивает относительный размер маяка на входящей видеопоследовательности, а зная его реальные размеры, определяет расстояние до маяка. Телевизионное изображение для цифровой обработки передается по каналу связи на расчётный модуль. В связи с этим и другими внешними причинами на изображение в процессе работы системы могут накладываться помехи.

В работе проведено исследование влияния шума на работоспособность алгоритма. Установлено, что количество маяков в кадре телевизионного изображения существенно не влияет на устойчивость системы к влиянию шумов. Алгоритм показал наибольшую устойчивость к влиянию шума «соль и перец» – порог работоспособности при ПОСШ 9,1 дБ. Наименьшая устойчивость зафиксирована при влиянии гауссова шума – порог ПОСШ 16,6 дБ.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 15 08-99639-а).

Таблица 1. Границы работоспособности алгоритма

Кол-во маяков	Метод преобразования	Гауссов шум (ПОСШ/дисперсия)	Мультипликативный (ПОСШ/дисперсия)	«Соль и перец» (ПОСШ/дисперсия)
1	-	16 дБ / 0,073 пикс. <sup>2</sup>	15,1 дБ / 0,22 пикс. <sup>2</sup>	7,8 дБ / 1,2 пикс. <sup>2</sup>
2	Метод аффинных преобразований	16 дБ / 0,38 см <sup>2</sup>	15,1 дБ / 0,35 см <sup>2</sup>	8,3 дБ / 9,6 см <sup>2</sup>
2	Метод градиентного спуска	16 дБ / 0,39 см <sup>2</sup>	14,9 дБ / 0,064 см <sup>2</sup>	8,6 дБ / 1,2 см <sup>2</sup>
3	Метод аффинных преобразований	16,3 дБ / 0,34 см <sup>2</sup>	15,1 дБ / 0,33 см <sup>2</sup>	8,3 дБ / 9,7 см <sup>2</sup>
3	Метод градиентного спуска	16,6 дБ / 0,33 см <sup>2</sup>	15,9 дБ / 0,062 см <sup>2</sup>	9,1 дБ / 0,9 см <sup>2</sup>

## Литература

1. Lashkari A.H., Parhizkar B. and others. WiFi-Based Indoor Positioning System // Computer and Network Technology (ICCNT). 2010 Second International Conference. 23–25 April 2010. pp. 76–78.
2. Frost C. and others. Bluetooth Indoor Positioning System Using Fingerprinting. In: J. Del Ser, E. Axel Jorswieck, J. Miguez, M. Matinmikko, D.P. Palomar, S. Salcedo-Sanz, S. Gil-Lopez (eds.) Mobile Lightweight Wireless Systems. Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering, Springer Berlin Heidelberg, 2012. vol. 81. pp. 136–150.
3. Щекотов М.С., Кашевник А.М. Сравнительный анализ систем позиционирования в помещениях, основанных на технологиях связи, поддерживаемых смартфонами // Тр. СПИИРАН. 2012. Вып. 23. С. 459–471.
4. Абдрахманова А.М., Намиот Д.Е. Использование двумерных штрихкодов для создания системы позиционирования и навигации в помещении // Прикладная информатика. 2013. № 1. С. 31–39.
5. Кий К.И., Смирнов А.М. Автономная навигация в помещениях робота «Амур» по цветовым меткам // Электронный научно-технический журнал «Техническое зрение». 2013. Вып. 2. С. 30–36.
6. Бабаян П.В., Алпатов Б.А. Выделение движущихся объектов в условиях геометрических искажений изображений // Цифровая обработка сигналов. 2004. № 4. С. 9–14.
7. Белобрюхов М.С., Романенко А.В. Система машинного зрения для киберфутбола // Доклады ТУСУРа. Декабрь. 2011. № 2 (24). часть 2. С. 200–203.
8. Дворкович В.П., Дворкович А.В. Метрологическое обеспечение видеоинформационных систем. – М.: Техносфера, 2015. – 784 с.
9. Лебедев И.М., Тюкин А.Л., Приоров А.Л. Разработка и исследование системы навигации внутри помещений для мобильного робота, с возможностью детектирования препятствий // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2015. Т. 13, № 1. С. 53–61.
10. Джакония В.Е. Телевидение. – М.: Горячая линия – Телеком, 2002. – 640 с.
11. Дворкович В.П., Дворкович А.В. Цифровые видеоинформационные системы (теория и практика). – М.: Техносфера, 2012. – 1009 с.
12. Костильов В.П., Слусар Т.В., Суший А.В., Черненко В.В. Про покращення чутливості кремнієвих фотосенсорів // Прикладна радіоелектроніка: наук.- техн. журнал. 2012. Т. 11, № 3. С. 440–444.
13. Tyukin A., Lebedev I., Priorov A. The development and research of the indoor navigation system for a mobile robot with the possibility of obstacle detection // Open Innovations Association (FRUCT16). 2014. 16th Conference of, pp. 115–122. 27–31 Oct. 2014.
14. Тюкин А.Л., Лебедев И.М., Приоров А.Л. Разработка и оценка качества работы алгоритма цифровой обработки телевизионных изображений для задач позиционирования в замкнутом пространстве // Нелинейный мир. 2014. Т. 12, № 12. С. 26–30.
15. Priorov A., Tumanov K., Volokhov V. Efficient Denoising Algorithms for Intelligent Recognition Systems. In: Favorskaya M., Jain L.C. (eds.) Computer Vision in Control Systems 2, Intelligent Systems Reference Library, Vol. 75, Springer International Publishing, Switzerland, 2015. pp. 251–276.
16. Шапиро Л., Стокман Дж. Компьютерное зрение. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. 752 с.
17. Бабаян П.В., Алпатов Б.А. Методы обработки и анализа изображений в бортовых системах обнаружения и сопровождения объектов // Цифровая обработка сигналов. 2006. № 2. С. 45–51.
18. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. – М.: Техносфера, 2005. 1104 с.
19. Апальков И.В. Усовершенствование алгоритмов удаления шума из изображений на основе модифицированных критериев оценки качества: автореф. дис. к-та тех. наук: 05.12.04 / И.В. Апальков. М., 2008. 24 с.
20. Приоров А.Л., Куйкин Д.К., Хрящев В.В. Детектирование и фильтрация импульсного шума со случайными значениями импульсов // Цифровая обработка сигналов. 2010. № 1. С. 18–22.
21. Волохов В.А. Подавление гауссовского шума в изображениях на основе анализа главных компонент и нелокальной обработки: автореф. дис. к-та тех. наук: 05.12.04 / В.А. Волохов. Владимир, 2012. 19 с.
22. Тюкин А.Л. О скорости цифровой обработки телевизионного изображения для алгоритма позиционирования в помещении // Докл. междунар. конф. «Радиоэлектронные устройства и системы для инфокоммуникационных технологий – РЭУС-2015». 2015. С. 300–304.

## НОВЫЕ КНИГИ

**Авиационные системы радиовидения** / Под ред. Г.С. Кондратенкова. – М.: Изд-во «Радиотехника», 2015г. – 648 с.: ил.

Дано систематическое изложение основ теории авиационных систем радиовидения (амплитудные, фазовые, скоростные и поляризационные портреты, многопозиционные системы, обратное синтезирование). Приводятся примеры реализации и эффективности различных методов радиовидения. Книга написана с использованием открытых опубликованных трудов научной школы «Радиовидение» ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского.

Для научных работников и инженеров, а также преподавателей, аспирантов и студентов высших учебных заведений радиотехнического профиля.

**Лавров А.А. Авиационные обзорные радиолокаторы. Методы и алгоритмы пространственно-временной обработки сигналов.** Монография. – М.: Изд-во «Радиотехника», 2015 г. – 224 с.: ил.

Рассмотрены принципы построения, методы и алгоритмы обработки сигналов, использующих пространственно-временную обработку сигналов. Показаны их возможности при обзоре земной и морской поверхности в режимах синтезирования апертуры антенны и формирования скоростного портрета. Приведены алгоритмы формирования изображения, технические требования к аппаратуре и характеристики создаваемых портретов – пространственная разрешающая способность и точность измерения скорости.