

# РАЗРАБОТКА ПРОТОТИПА АППАРАТНО-ПРОГРАММНОГО УСТРОЙСТВА ПАНОРАМНОГО ОБЗОРА ДЛЯ СИСТЕМ БЕЗОПАСНОСТИ И СИТУАЦИОННОЙ ОСВЕДОМЛЕННОСТИ БЕСПИЛОТНОГО ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

Ващенко А.П.<sup>1</sup>, Гаврилов Д.А.<sup>2</sup>, Лапушкин А.Г.<sup>3</sup>

**Цель работы:** разработка и создание прототипа устройства панорамного обзора для беспилотного транспортного средства, позволяющего фиксировать окружающую обстановку максимально приближенно к возможностям человеческого зрения, а также разработка комплекса мер по обеспечению ситуационной осведомленности автономных устройств.

**Метод исследования:** Разработка основной базовой формы осуществлялась с помощью программного пакета SolidWorks. Программная часть прототипа выполнена в виде десктопного приложения, развернутого на компьютере под управлением системы Ubuntu 18.04. Выполнена математическая формализация и расчет параметров искажений.

**Результаты:** Выполнена концептуальная проработка конструкции «суперкамеры», осуществлен расчет компенсации искажений, включая тангенциальные и радиальные искажения, представлена физическая реализация прототипа устройства панорамного обзора.

**Ключевые слова:** радиальные искажения, тангенциальные искажения, бортовая суперкамера, панорамное изображение, управляемый фильтр, аппаратная реализация.

DOI:10.21681/2311-3456-2021-5-87-95

## Введение

Появление беспилотных транспортных средств в военных целях, а также на автомобильных дорогах общего пользования является закономерным этапом развития современных интеллектуальных транспортных систем. Оптико-электронные системы беспилотных транспортных средств требуют разработки технических решений, обеспечивающих осуществление поиска и наблюдения за целевыми объектами на различных дистанциях и в различных спектральных диапазонах, а также возможность последующей обработки комплексной информации о них в реальном масштабе времени [1,2]. Основными проблемами при создании безопасного автономного транспортного средства выступают необходимость разработки механизмов движения в условиях бездорожья, плохих погодных условий и др. Основной задачей является обеспечение безопасного движения по требуемому маршруту [2,3]. Важнейшую роль для успешного выполнения задания, а также в обеспечении безопасности играет ситуационная осведомленность беспилотных транспортных средств, при этом информация о дорожной сцене должна быть максимально точной [4].

Алгоритмы автономного движения определяют параметры устойчивости, управляемости и динамики движения при применении управляющих сигналов в зависимости от состояния дорожного покрытия, текущих параметров движения и технических параметров подсистем беспилотного транспортного средства, включая подсистемы наземного и воздушного мониторинга [5,6].

Как правило для обеспечения ситуационной осведомленности на беспилотных автомобилях используются радары, лидары, инерционные датчики и GPS навигаторы [7]. Обычно данного оборудования достаточно для комплексной оценки дорожной ситуации в стандартных условиях, тем не менее, в случае возникновения нештатных ситуаций, таких как боевое противодействие или дорожно-транспортные происшествия, аварии различного характера, отказ оборудования или неблагоприятные погодные условия появляется необходимость личного присутствия оператора, который может оценить ситуацию и временно взять управление на себя [8]. В таких случаях, кроме данных со всех имеющихся датчиков, оператору необходим полный визуальный контроль

1 Ващенко Андрей Петрович, кандидат технических наук, сотрудник ГЦ Минобороны России, г. Москва, Россия. E-mail: var-1973-06-11@yandex.ru

2 Гаврилов Дмитрий Александрович, кандидат технических наук, научный сотрудник отдела научно-технической подготовки производства, АО «Институт точной механики и вычислительной техники им. С.А. Лебедева РАН», заведующий лабораторией цифровых систем специального назначения, Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет), г. Москва, Россия, E-mail: gavrilov.da@mipt.ru

3 Лапушкин Андрей Георгиевич, аспирант кафедры радиоэлектроники, Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет), г. Москва, Россия. E-mail: apushkin.ag@mipt.ru

окружающей автомобиль обстановки. Решением проблемы может стать наличие бортовой камеры. Однако, существующие устройства получения и формирования изображений не эквивалентны глазам человека, как бы не был велик угол обзора бортовой камеры, отображение окружающей картины в естественном для человека виде достаточно проблематично. Установка нескольких бортовых камер может обеспечить получение панорамного изображения, но проблема синхронизации изображений и переключения камер в режиме реального времени создает дополнительные трудности.

Целью настоящей работы является разработка и создание прототипа устройства панорамного обзора, позволяющего фиксировать окружающую обстановку максимально приближенно к возможностям человеческого зрения, а также разработка комплекса мер по обеспечению ситуационной осведомленности автономных устройств.

### Концептуальная проработка конструкции устройства панорамного обзора окружающей обстановки

Концептуально конструкция устройства панорамного обзора, назовем его «суперкамера», представляет собой правильный восьмиугольник, на каждой стороне которого размечены посадочные места под камеры, направленные в разные стороны. В случае, если угол обзора каждой камеры составляет 60 градусов, возможно получение пересечения получаемых изображений (рис. 1).

Однако полное совмещение данных изображений представляет собой непростую задачу. Основные сложности возникают из-за смещения центров камер относительно друг друга. Обычной является ситуация, когда объекты, которые может запечатлеть камера расположены на разном расстоянии и не находятся ровно в точках пересечения углов растворов камер. Алгоритмическая сложность сшивки восьми изображений в таком случае слишком высока, так как необходимо, во-первых, обнаружить общие точки по краям соседних изображений, во-вторых, выявить их соответствие. Одной из важнейших задач систем технического зрения является оперативное преобразование визуальной информации в

аналитические данные в условиях высоких скоростей движения мобильных объектов сложной формы в различных фоновых обстановках. Требование высокой частоты обновления панорамного изображения диктует необходимость снижения алгоритмической сложности. Таким образом применение данного подхода невозможно в системах, работающих в реальном времени, в том числе для беспилотных автомобилей.

Кроме алгоритмических проблем, существует геометрическая неправдоподобность сшитого изображения. Сенсоры камер осуществляют съемку из разных точек, где они установлены, а это приводит к дополнительным искажениям.

Для устранения вышеперечисленных проблем концептуальная схема была модернизирована. Концепция восьмиугольника осталась нетронутой, однако расположение камер было изменено и дополнительно добавлено зеркало.

Первоначальное расположение камеры и зеркал предполагало совмещение мнимых центров камер в одной точке. В дальнейшем выяснилось, что совмещение мнимых центров в одной точке невозможно из-за наличия на краях зеркал некоторых дефектов. Неточности установки камеры, пропорций креплений и установки зеркал приводят к появлению на краях кадров узких полос шириной в несколько пикселей, создающих слепые зоны. Для избежания данного нежелательного эффекта мнимые центры камер были разнесены на некоторое малое расстояние. Данное решение позволило практически полностью убрать негативный эффект от различия углов раствора на расстоянии актуальном для наблюдения. Отсутствие слепых зон позволяет признать разработанную схему наилучшей и использовать ее в качестве базы для дальнейших исследований.

### Прототип устройства панорамного обзора окружающей обстановки

Основными требованиями при создании прототипа «суперкамеры» являлись технологичность конструкции, общая пригодность для использования в реальной обстановке, наибольшая дешевизна производства, а также относительная простота исполнения.

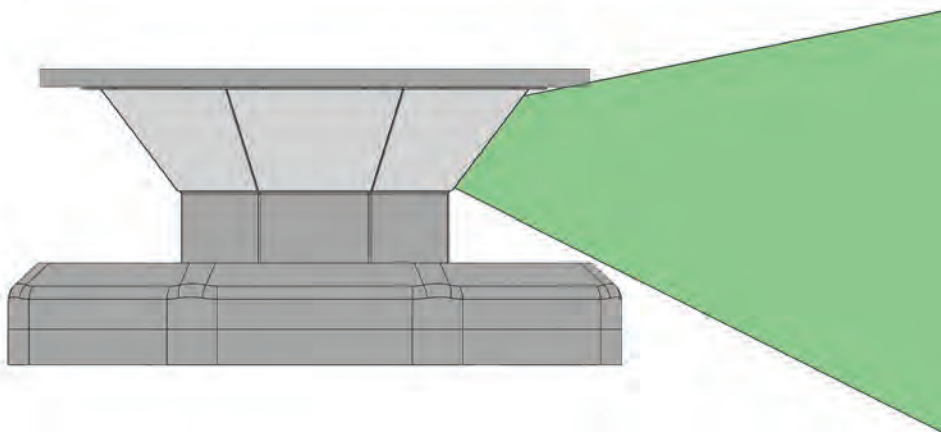


Рис.1. Угол обзора камеры

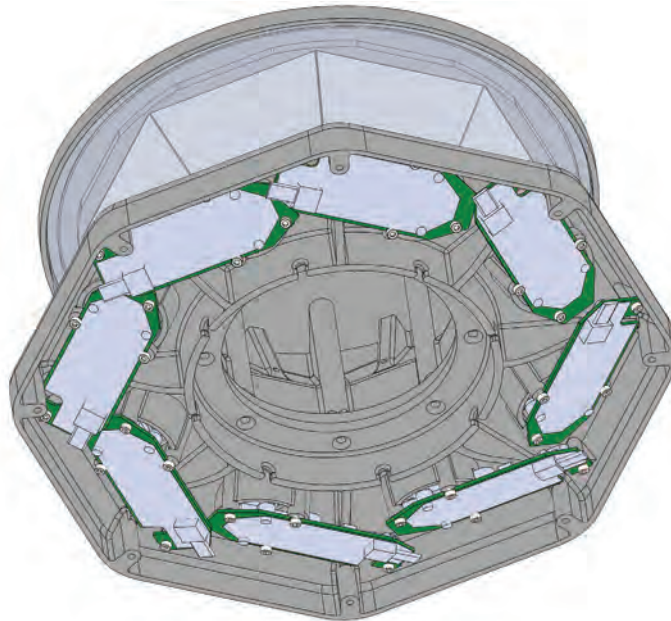


Рис.2.Схема макета «суперкамеры»

Оптимизируя параметры, были выбраны следующие средства для исполнения проекта: сенсоры от USB веб камер фирмы *Logitech*, корпус, изготовлен с помощью трехмерной печати на основе ABS пластика, в качестве зеркал, использованы кварцевые пластины с алюминиевым напылением.

Для создания программного обеспечения для совмещения изображений использованы библиотеки с открытым исходным кодом *OpenCV* версии 4.5, *OpenGL* версии 4.2. Разработки основной базовой формы осуществлялась с помощью программного пакета *SolidWorks*. Программная часть прототипа выполнена в виде десктопного приложения, развернутого на компьютере под управлением системы *Ubuntu 18.04*. Схема макета «суперкамеры» представлена на рис.2.

На первом этапе, после загрузки специальное программное обеспечение получает в качестве параметров основные сведения о камере, а именно коэффициенты искажений и матрицу камеры. Затем создается контекст *OpenGL*, инициализируются ресурсы *GPU*, в том числе массивы для хранения текстур, вершинные буферы, шейдеры.

Поворот камеры осуществляется с помощью гироскопического сенсора, SDK платформы *Android* может предоставлять дельту поворота устройства, накопленную за определенное короткое время. Калибровка положения камеры осуществляется с помощью двойного короткого нажатия на экран. Программа запоминает текущий кватернион поворота камеры, находит сопряженный к нему и далее умножает накопленный поворот на сопряженный калибровочный кватернион, тем самым выставляя вращение камеры в ноль. Общая реализация данного программного комплекса выполнена с использованием языка C, что обеспечивает быстрое действие системы.

### Компенсация искажений

Расчет компенсации искажений осуществлялся для двух основных типов – радиальных и тангенциальных. Тангенциальные искажения возникают в основном из-за того, что линза [9,10] расположена не параллельно плоскости изображения. Под действием тангенциальных искажений изображение немного растягивается или сжимается. Пример тангенциальных искажений представлен на рис.3.

При радиальном искажении изображения прямых линий выглядят изогнутыми. Пример радиальных искажений представлен на рис.4.

Компенсация искажений осуществлялась за счет прорисовки кадров. Коэффициенты искажений рассчитывались и применялись на изображении каждый раз при прорисовке кадра. Расчет коэффициентов осуществлялся с помощью специально отснятых изображений, содержащих прямоугольные структур. Для этого использовались шахматные доски или специально напечатанные постеры. Образцы изображений для расчета искажений представлены на рис.5.

Радиальные искажения могут быть записаны следующим образом:

$$\begin{aligned}
 x_u &= x_d + (x_d - x_c)(K_1 r^2 + K_2 r^4 + \dots) + \\
 &\quad + (P_1(r^2 + 2(x_d + x_c)^2) \\
 &\quad + 2P_2(x_d + x_c)(y_d - y_c))(1 + P_3 r^2 + P_4 r^4 \dots) y_u \\
 &= y_d + (y_d - y_c)(K_1 r^2 + K_2 r^4 + \dots) + (2P_1(r^2 \\
 &\quad + 2(y_d + y_c)^2) + \\
 &\quad + P_2(r^2 + 2(y_d y_c)^2))(1 + P_3 r^2 + P_4 r^4 \dots),
 \end{aligned}$$

где  $x_d, y_d$  – точки искаженного изображения,  $x_u, y_u$  – точки неискаженного изображения,  $x_c, y_c$  – центр искажений,  $K_n = n^{th}$  – коэффициенты радиальных искажений,  $P_n = n^{th}$  – коэффициенты тангенциальных искажений,  $r = \sqrt{(x_d - x_c)^2 + (y_d - y_c)^2}$  – расстояние от центра до текущего пикселя.

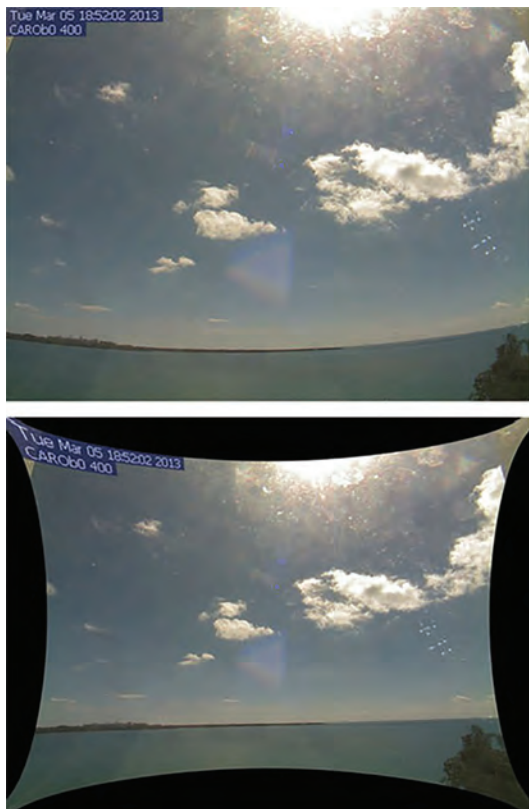


Рис.3. Пример тангенциальных искажений

Каждый пиксель смещается на определенную величину, которая зависит от расстояния от центра изображения и набора коэффициентов  $K_1, K_2, K_3, \dots$ , называемых коэффициентами радиальных искажений, и набора коэффициентов  $P_1, P_2, P_3, \dots$ , называемых коэффициентами тангенциальных искажений. Для того, чтобы найти коэффициенты радиального и тангенциального искажения необходимо решить обратную задачу, так как известны  $x_u, y_u$ . Для начала с помощью операций нахождения границ необходимо найти вершины всех клеток шахматной доски. Делается допущение, при котором считается, что линии доски совершенно прямые и нанесены без искажений.

Для компенсации искажений генерируется сетка размером 100 ячеек на 100 ячеек, умноженная на соотношение сторон изображения с камеры. Компенсации искажений с камеры осуществляется с помощью процедуры, входящая состав *OpenCV* (`cv::undistortPoints`). В качестве аргументов данная процедура принимает точки сетки, коэффициенты искажений, матрицу камеры, а в качестве результата возвращает набор точек, позиции которых компенсированы. Каждой вершине

полученной сетки назначается текстурная координата в пределах  $[0,0; 1,0]$ , где 0 по оси X – крайний левый пиксель изображения, а 1 – крайне правый пиксель. Данная операция проводится один раз, во время инициализации программы, далее все данные, полученные с камеры, накладываются на полученную сетку. Шаги сетки дискретны, но достаточно частые, что позволяет достаточно качественно компенсировать искажения. При этом в случае, если планируется использовать суперкамеру только для взаимодействия с оператором, сетка может иметь меньший шаг. В ходе экспериментов установлено, что искажения перестают быть заметными взгляду для сетки с количеством ячеек не менее 30.



Рис.4. Пример радиальных искажений

После компенсации искажений происходит опрос камер с помощью встроенного в *OpenCV* драйвера камеры. В результате захвата получаем объект типа `cv::Mat`, который содержит изображение попиксельно. Далее массив с пикселями в формате *CV\_8UC3* передается в буфер, расположенный в *GPU* памяти. Данная операция повторяется для всех восьми камер. В итоге по завершении происходит отрисовка всех сеток с натянутыми на них текстурами на экране. Для получения совмещенного изображения панорамы осуществляется отрисовка сцены в текстуру, имеющую фиксированные ширину, высоту и формат *GL\_RGB*. Полученный буфер, содержащий данные в формате *GL\_RGB*, копируется

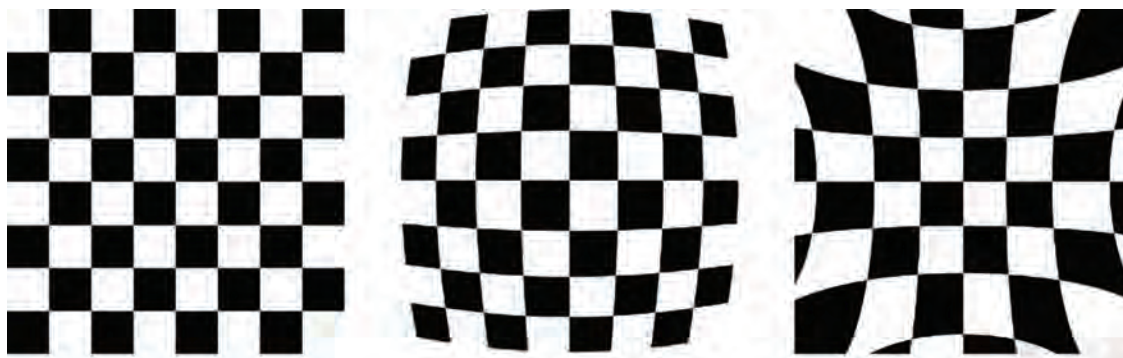


Рис.5. Образцы изображений для расчета искажений

в оперативную память. В дальнейшем попиксельное изображение сжимается в *JPEG* формат. Техническая реализация сервера дополняется алгоритмом, работающем в отдельном потоке, который с периодичностью один раз в несколько секунд отправляет в локальную сеть широковещательное *UDP* сообщение, которое информирует клиента об адресе и порте для возможного соединения. В качестве клиента используется приложение для платформы *Android*. Данное приложение подключается к серверу, принимает от него *JPEG* со сжатым изображением, декодирует его и отрисовывает в режиме виртуальной реальности. Режим виртуальной реальности представляет собой реализацию отрисовки с помощью стандарта *OpenGL*. В качестве фоновой поверхности используется сфера с достаточной мелкой сеткой дискретизации. Камера отрисовывает по очереди два изображения с некоторым смещением.

Для корректного отображения панорамного изображения применяется наиболее естественный и интуитивно понятный подход, при котором для каждого изображения создается своя дискретная сетка, которая искажается необходимым для каждой камеры образом. Далее изображение с камеры в виде текстуры накладывается на сетку. Благодаря конструктивным особенностям «суперкамеры» изображения, лишенные искажений, могут быть просто совмещены друг с другом без программной сшивки.

#### Физическая реализация «суперкамеры»

Компьютерная модель макета реализована в среде *SolidWorks*. Материальная реализация технически представляет собой восьмиугольник, изготовленный с помощью трехмерной печати. Для печати использовался пластик *PLA*, модель напечатана с помощью сопла диаметром 0,4 мм. В общей сложности печать заняла 48 часов. Для изготовления макета потребовалось 600 метров пластиковой лески диаметром 1,75 мм. Для обеспечения высокого качества печати использовалось стопроцентное заполнение объема детали, цельность модели обеспечена с помощью вспомогательных поддерживающих элементов. Для крепления зеркал использованы винты диаметром 3,5 мм. Фотография прототипа представлена на рис.6.



Рис.6. Фотография прототипа «суперкамеры»

#### Алгоритмическая реализация

Одной из важнейших задач систем, решаемых с помощью технического зрения разрабатываемого аппаратно-программного устройства панорамного обзора, является оперативное преобразование визуальной информации в аналитические данные в условиях высоких скоростей движения мобильных объектов сложной формы в различных фоноцелевых обстановках. Решение данной задачи требует разработки уникальных оптимальных алгоритмов, поскольку универсальные способы и алгоритмы решения задач обнаружения, ло-

кализации и классификации объектов пока не найдены. Разрабатываемые решения являются адаптивными за счет использования комплексных методов анализа окружающей обстановки, включающих в себя как нейросетевые, так и классические слои, позволяющие максимально предметно настраивать систему под различные задачи технического зрения [1,11].

Специализированные камеры, используемые в системах технического зрения, как правило, формируют изображения с разрядностью 12 бит. При этом стандартом качества для высококачественных цифровых изображений является разрядность 8 бит. Использование камер, обеспечивающих получение изображений 12 битной разрядности, дает возможность осуществлять преобразования яркости без потери информативности. При преобразовании 12-битного изображения в 8-ми битное происходит отбрасывание избыточной и не значимой для системы распознавания информации [12].

Для решения проблемы сжатия динамического диапазона разработан модуль обработки цифровых изображений с аппаратной реализацией на программной логике на кристалле XC7Z020-2CLG400I семейства ZYNQ-7000 от Xilinx, позволяющей осуществлять сжатие HDR-изображения без потери детализации изображения и с высокой скоростью обработки [13]. На первом этапе разработан алгоритм сжатия динамического диапазона изображения (с 12-ти бит до 8 бит), позволяющий сохранять детали и границы объектов изображения, а также обеспечивающий отсутствие артефактов и минимизацию потери детальности изображения. На втором этапе выполнена реализация управляемого фильтра в программируемой логике и дальнейшая его оптимизация для увеличения скорости работы алгоритма и уменьшения расхода ресурсов модуля на кристалле семейства Zynq-7000 для осуществления возможности обработки изображения в режиме реального времени.

Для решения задач сглаживания и выделения краев, удаления шумов и артефактов, а также сжатия HDR-изображения использован управляемый фильтр. Сложность его исполнения составляет  $O(1)$ , отсутствуют проблемы с «инверсией знака». Управляемый фильтр является более быстрым алгоритмом с линейным сглаживающим эффектом с сохранением границ, который не зависит от размера ядра и диапазона интенсивности [10].

Согласно [14] управляемый фильтр определяет линейную зависимость каждого пикселя с координатами  $i$  выходного изображения  $q$  от опорного изображения  $I$  в каждом окне  $\omega_k$  с центральным пикселем  $k$ , которые перекрывают данный пиксель ( $i \in I_k$ ) (рисунки 2,3), по следующей формуле:

$$q_i = \bar{a}_i I_i + \bar{b}_i = \frac{1}{|I|} \sum_{k \in I_k} (a_k I_i + b_k)$$

где  $|I|$  – количество пикселей в заданном окне  $\omega_k$  (при радиусе окна равным  $r$ ,  $|I| = 4r^2$ );  $\bar{a}_i$  и  $\bar{b}_i$  – средние значения линейных коэффициентов  $a_k$  и  $b_k$  во всех ок-

нах, которые перекрывают пиксель  $i$  ( $\bar{a}_i = \frac{1}{|I|} \sum_{k \in I_i} a_k$ ,

$$\bar{a}_i = \frac{1}{|I|} \sum_{k \in I_i} a_k$$

);  $a_k$  и  $b_k$  – линейные коэффициенты для

каждого окна  $\omega_k$ , зависящие от входного изображения  $p$  и равные соответственно [14]:

$$a_k = \frac{1}{|\omega|} \frac{\sum_{i \in \omega_k} I_i p_i + \mu_k \bar{p}_k}{\sigma_k^2 + \varepsilon},$$

$$b_k = \frac{1}{|\omega|} \sum_{i \in \omega_k} p_i - a_k \mu_k = \bar{p}_k - a_k \mu_k,$$

где  $\mu_k$  и  $\sigma_k^2$  – среднее значение и дисперсия опорного изображения  $I$  в окне  $\omega_k$ ;  $\bar{p}_k$  – среднее значение входного изображения  $p$  в окне  $\omega_k$ ;  $\varepsilon$  – параметр регуляризации.

Для реализации управляемого фильтра на аппаратной части, требовалось минимизировать задействованные им ресурсы. Количество DSP-блоков, выполняющих арифметические расчеты, было уменьшено, что позволило минимизировать нагрузку на BRAM. Для ускорения расчета суммарной интенсивности заданной области в каждом окне  $\omega_k$  использовано интегральное представление изображения. Интегральное изображение представляет собой двумерный массив, размерность которого совпадает с размерностью исходного изображения. Элементы этого массива содержат сумму пикселей выше и левее, включая текущий пиксель, и рассчитываются по формуле:

$$LL(x, y) = \sum (L(i, j)),$$

где  $(L(i, j))$  – интенсивность пикселя исходного изображения.

Таким образом, каждый элемент интегрального изображения  $LL(x, y)$  содержит в себе сумму пикселей изображения в прямоугольнике от  $(0, 0)$  до  $(x, y)$ .

Интегральное изображение используется для быстрого вычисления суммы яркостей заданных прямоугольных участков изображения и позволяет найти сумму элементов любого скользящего окна (ядра фильтра) за четыре обращения к памяти и три математических операции:

$$(ABCD) = LL(A) + LL(C) - LL(B) - LL(D).$$

Для уменьшения количества используемых BRAM используются сокращение разрядности и интегральное изображение, при этом для вычисления суммы пикселей в скользящем окне хранятся только 2 строки интегрального изображения, обрамляющие фильтр. Благодаря упрощениям требуется хранить 8 строк входного изображения, 2 строки интегрального изображения (10 бит целая часть, 12 бит дробная часть), 2 строки интегрального изображения квадратов (14 бит целая часть, 12 бит дробная часть).

Уменьшенное количество ресурсов и реализация конвейерного подхода при вычислении средних значе-

ний позволяют достичь скорости обработки до 200 кадров в секунду для изображений 1024×768.

### Заключение

В работе представлен прототип устройства панорамного обзора, позволяющего фиксировать окружающую обстановку максимально приближенно к возможностям человеческого зрения.

Выполнена концептуальная проработка конструкции «суперкамеры», осуществлен расчет компенсации искажений, включая тангенциальные и радиальные искажения, представлена физическая реализация прототипа устройства панорамного обзора.

Разработан модуль обработки цифровых изображений аппаратно-программного устройства панорамного обзора. Разработан алгоритм сжатия HDR-изображения (с 12-ти бит до 8 бит), обеспечивающий сохранение качества исходного изображения и отсутствие артефактов, основанный на управляемом фильтре. Выполнена реализация управляемого фильтра в программируемой логике и дальнейшая его оптимизация для увеличения скорости работы алгоритма и уменьшения расхода ресурсов модуля на кристалле семейства Zynq-7000 для осуществления возможности обработки изображения в режиме реального времени.

### Литература

1. Пунь А.Б., Гаврилов Д.А., Щелкунов Н.Н., Фортунатов А.А. Нейросетевой алгоритм автоматического обнаружения и сопровождения объекта интереса в видеосигнале // Тр. 16-й Нац. конф. по искусственному интеллекту (24 – 27 сентября 2018 г.) В 2-х томах/ ФИЦ ИУ РАН. – Т.2 – М. РКП, 2018. – С.188 – 190.
2. Гаврилов Д.А. Нормативно-технические вопросы разработки безопасных автоматизированных интеллектуальных систем // Вопросы кибербезопасности. – 2020. – т.40, №6. – С. 63 – 71. DOI:10.21681/2311-3456-2020-6-63-71
3. Гаврилов Д.А., Щелкунов Н.Н. Возможности применения автоматизированной оптико-электронной системы наземно-воздушного мониторинга в деятельности ОВД // Сб. ст. межд. научно-практич.конф. «Искусственный интеллект (большие данные на службе полиции) (28 ноября 2019, Москва). – М. Академия управления МВД РФ, 2019. – С. 59–64.
4. Бегалиев Е.Н. О перспективах применения беспилотных летательных аппаратов в ходе производства отдельных следственных действий // Вестник Восточно-Сибирского института МВД России. – 2019. – №2 (89). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/o-perspektivah-primeneniya-bes>.
5. Ловцов Д.А., Гаврилов Д.А., Макаренко Г.И. Защищенная переработка визуальной информации в АОЭС НКМ // Тр. 10-й Междунар. науч.-техн. конф. «Безопасные информационные технологии» (3 – 4 декабря 2019 г.) / МГТУ им. Н.Э. Баумана. – М. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2019. – С. 254 – 260.
6. Евдокименков В. Н., Красильщиков М. Н., Себряков Г.Г. Распределенная интеллектуальная система управления группой беспилотных летательных аппаратов: архитектура и Программно-математическое обеспечение // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2016. – №1 (174). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/raspredelennaya>.
7. Лохин В. М., Манько С. В., Романов М. П., Гарцев И. Б., Евстигнеев Д. В., Колядин К.С. Интеллектуальная система управления автономным беспилотным летательным аппаратом // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2006. – №3. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/intellektualnaya-sistema-upravleniya-avtonomnym-bespilotnym-letatelnyim-apparatom>.
8. Охотников А.Л. Ситуационное беспилотное управление // ИТНОУ: информационные технологии в науке, образовании и управлении. – 2019. – №3 (13). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/situatsionnoe-bespilotnoe-upravlenie>.
9. Крапчатова Т.В., Филиппов М.В. Метод восстановления смазанных изображений по двум кадрам // Инженерный журнал: наука и инновации. – 2013. – вып. 6. – URL: <http://engjournal.ru/catalog/it/hidden/767.html>.
10. Крапчатова Т.В., Филиппов М.В. Анализ эффективности алгоритмов билатеральной фильтрации // Электронный журнал “Наука и образование”. – 2012. – Т. 2. – С. 45 – 56.
11. Гаврилов Д.А. Семантическая сегментация и классификация изображений с помощью нейросетей // Информатика, вычислительная техника и управление Сб. науч. тр. – Вып. 9 / Под ред. А. В. Князева, Д. А. Ловцова. – М. ИТМиВТ РАН, 2018. – С. 57 – 66. Инв. 2698.
12. Yang Q., Tan K.-H., Ahuja N. Real-time O(1) bilateral filtering // Proc. IEEE Conf. Comput. Vis. Pattern Recognition. – 2009. – P. 557 – 564.
13. Пунь А.Б., Гаврилов Д.А., Щелкунов Н.Н., Фортунатов А.А. Алгоритм адаптивной бинаризации объектов в видеопоследовательности в режиме реального времени // Успехи современной радиоэлектроники. – 2018. – №8. – С. 40 – 48.
14. He K., Sun J., Tang X. Guided Image Filtering BT // Link.Springer.Com. – 2010. – Vol. 6311, № 1. – P. 1 – 14.

# DEVELOPMENT OF A PROTOTYPE OF A HARDWARE AND SOFTWARE DEVICE FOR PANORAMIC VIEWING FOR SECURITY SYSTEMS AND SITUATIONAL AWARENESS OF AN UNMANNED VEHICLE

Vashchenko A.P.<sup>4</sup>, Gavrilov D.A.<sup>5</sup>, Lapushkin A. G.<sup>6</sup>

## Abstract

**Purpose of the article:** development and creation of a prototype of a panoramic viewing device for an unmanned vehicle that allows recording the surrounding stop as close as possible to the capabilities of human vision, as well as the development of a set of measures to ensure situational awareness of autonomous devices.

**Method used:** The development of the basic basic form was carried out using the SolidWorks software package. The software part of the prototype is made in the form of a desktop application deployed on a computer running Ubuntu 18.04. Mathematical formalization and calculation of distortion parameters are performed.

**Results:** A conceptual study of the design of the "super camera" was carried out, the calculation of distortion compensation, including tangential and radial distortions, was carried out, the physical implementation of the prototype of the panoramic viewing device was presented.

**Keywords:** situational awareness, unmanned vehicle, radial distortions, tangential distortions, on-board camera, panoramic image, controlled filter, hardware implementation.

## References

1. Pun' A.B., Gavrilov D.A., Shchelkunov N.N., Fortunatov A.A. Nejrosetevoj algoritm avtomaticheskogo obnaruzheniya i soprovozhdeniya ob"ekta interesa v videosignale // Tr. 16-j Nac. konf. po iskusstvennomu intellektu (24 – 27 sentyabrya 2018 g.) V 2-h tomah/ FIC IU RAN. – T.2 – M. RKP, 2018. – S.188 – 190.
2. Gavrilov D.A. Normativno-tehnicheskie voprosy razrabotki bezopasnyh avtomatizirovannyh intellektual'nyh sistem // Voprosy kiberbezopasnosti. – 2020. – t.40, №6. – S. 63 – 71.
3. Gavrilov D.A., Shchelkunov N.N. Vozmozhnosti primeneniya avtomatizirovannoj optiko-elektronnoj sistemy nazemno-vozdushnogo monitoringa v deyaetel'nosti OVD // Sb. st. mezhd. nauchno-praktich.konf. «Iskusstvennyj intellekt (bol'shie dannye na sluzhbe policii) (28 noyabrya 2019, Moskva). – M. Akademiya upravleniya MVD RF, 2019. – S. 59–64.
4. Begaliev E.N. O perspektivah primeneniya bespilotnyh letatel'nyh apparatov v hode proizvodstva otdel'nyh sledstvennyh dejstvij // Vestnik Vostochno-Sibirskogo instituta MVD Rossii. – 2019. – №2 (89). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/o-perspektivah-primeneniya-bes>.
5. Lovcov D.A., Gavrilov D.A., Makarenko G.I. Zashchishchennaya pererabotka vizual'noj informacii v AOES NKM // Tr. 10-j Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. «Bezopasnye informacionnye tekhnologii» (3 – 4 dekabrya 2019 g.) / MGTU im. N.E. Bauman. – M. MGTU im. N.E. Bauman, 2019. – S. 254 – 260.
6. Evdokimenkov V. N., Krasil'shchikov M. N., Sebyakov G.G. Raspredeleonnaya intellektual'naya sistema upravleniya gruppoy bespilotnyh letatel'nyh apparatov: arhitektura i Programmno-matematicheskoe obespechenie // Izvestiya YUFU. Tekhnicheskie nauki. – 2016. – №1 (174). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/raspredeleonnaya>.
7. Lohin V. M., Man'ko S. V., Romanov M. P., Garceev I. B., Evstigneev D. V., Kolyadin K.S. Intellektual'naya sistema upravleniya avtonomnym bespilotnym letatel'nyim apparatom // Izvestiya YUFU. Tekhnicheskie nauki. – 2006. – №3. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/intellektualnaya-sistema-upravleniya-avtonomnym-bespilotnym-letatelnyim-apparatom>.
8. Ohotnikov A.L. Situacionnoe bespilotnoe upravlenie // ITNOU: informacionnye tekhnologii v nauke, obrazovanii i upravlenii. – 2019. – №3 (13). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/situacionnoe-bespilotnoe-upravlenie>.
9. Krapchatova T.V., Filippov M.V. Metod vosstanovleniya smazannyh izobrazhenij po dvum kadram // Inzhenernyj zhurnal: nauka i innovacii. – 2013. – vyp. 6. – URL: <http://engjournal.ru/catalog/it/hidden/767.html>.
10. Krapchatova T.V., Filippov M.V. Analiz effektivnosti algoritmov bilateral'noj fil'tracii // Elektronnyj zhurnal "Nauka i obrazovanie". – 2012. – T. 2. – S. 45 – 56.

4 Andrey Vashchenko, Ph.D., Russian Defense Ministry employee, Moscow, Russia. E-mail: var-1973-06-11@yandex.ru

5 Dmitry Gavrilov, Ph.D., Researcher of the Department of Scientific and Technical Preparation of Production, JSC «Institute of Precision Mechanics and Computer Engineering named after S.A. Lebedev RAS», Head of the Laboratory of Digital Systems of Special Purposes of the Moscow Institute of Physics and Technology a (National Research University), Moscow, Russia. E-mail: gavrilov\_da@mipt.ru

6 Andrey Lapushkin, postgraduate student of the Department of Radio Electronics, Moscow Institute of Physics and Technology (National Research University), Moscow, Russia. E-mail: apushkin@mirt.ru



11. Gavrilov D.A. Semanticheskaya segmentaciya i klassifikaciya izobrazhenij s pomoshch'yu nejrosetej // Informatika, vychislitel'naya tekhnika i upravlenie Sb. nauch. tr. – Vyp. 9 / Pod red. A. V. Knyazeva, D. A. Lovcova. – M. ITMiVT RAN, 2018. – S. 57 – 66. Inv. 2698.
12. Yang Q., Tan K.-H., Ahuja N. Real-time  $O(1)$  bilateral filtering // Proc. IEEE Conf. Comput. Vis. Pattern Recognition. – 2009. – P. 557 – 564.
13. Pun' A.B., Gavrilov D.A., SHCHelkunov N.N., Fortunatov A.A. Algoritm adaptivnoj binarizacii ob"ektov v videoposledovatel'nosti v rezhime real'nogo vremeni // Uspekhi sovremennoj radioelektroniki. – 2018. – №8. –S. 40 – 48.
14. He K., Sun J., Tang X. Guided Image Filtering BT // Link.Springer.Com. – 2010. – Vol. 6311, № 1. – P. 1 – 14.

