

Аппаратная реализация метода улучшения различимости объектов на изображениях, полученных в условиях недостаточной видимости

Ю. П. Михайлюк, Д. В. Начаров

Севастопольский государственный университет (СевГУ)

Аннотация: В исследовании кратко охарактеризованы особенности искажений и способы улучшения изображений, полученных в условиях недостаточной видимости, предложен вариант аппаратной реализации метода улучшения различимости объектов на цифровых изображениях, полученных в условиях недостаточной видимости. В качестве результатов приведены описания аппаратных блоков, необходимых для реализации метода, и структурная схема, включающая блоки видеокамеры, монитора, оперативной памяти и набор модулей, реализуемых с помощью программируемой логической интегральной схемы. Приведены RTL-схемы и фрагменты Verilog-описаний аппаратных модулей системы.

Ключевые слова: обработка изображений, аппаратная реализация алгоритмов, Verilog, видимость, контраст, линейное контрастирование, туман, дымка, ПЛИС, улучшение качества.

Для цитирования: Михайлюк Ю. П., Начаров Д. В. Аппаратная реализация метода улучшения различимости объектов на изображениях, полученных в условиях недостаточной видимости // Вестник СибГУТИ. 2025. Т. 19, № 1. С. 65–79. <https://doi.org/10.55648/1998-6920-2025-19-1-65-79>.



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0
License

© Михайлюк Ю. П., Начаров Д. В., 2025

Статья поступила в редакцию 11.05.2023;
переработанный вариант – 16.05.2024;
принята к публикации 08.09.2024.

1. Введение

Одной из перспективных задач современной техники является создание различных беспилотных транспортных средств, включая безэкипажные суда. Ключевым фактором, сдерживающим повсеместное внедрение безэкипажных судов, является обеспечение безопасности судоходства. Для решения задач маневрирования и контроля надводной обстановки в режимах дистанционного управления либо в автономном режиме на беспилотном судне должны быть установлены системы локации.

Еще одним источником информации об окружающем судно пространстве может выступать система видеонаблюдения (видеомониторинга). Системы видеонаблюдения на сегодняшний день являются неотъемлемой частью систем безопасности и удаленного контроля обстановки. Преимуществами видеосистем по сравнению с РЛС являются лучшие массогабаритные характеристики, низкая стоимость, способность обнаружения объектов с малой отражательной способностью в радиодиапазоне, например, неметаллических. Кроме того, изображение с видеокамеры представлено в естественном для восприятия человеком виде.

Современное развитие вычислительной техники и методов цифровой обработки сигналов и изображений позволяет реализовывать в видеосистемах сложные алгоритмы обнаружения и распознавания объектов, что особенно актуально в задачах управления беспилотными аппаратами и безэкипажными судами.

Успешность обнаружения и распознавания объектов на видеоизображениях при визуальном анализе оператором либо при использовании автоматических алгоритмов определяется главным образом контрастностью получаемого цифрового изображения, которая, в свою очередь, при съемке вне помещений обусловлена освещенностью и метеорологическими условиями в пространстве сцены. Снижение контраста объектов на изображениях происходит в туманах и дымках в связи с наличием в атмосфере аэрозольных частиц.

Повышение вероятности обнаружения и распознавания объектов в сложных метеоусловиях, ограничивающих видимость, может быть достигнуто путем предварительной контрастной коррекции цифровых изображений в видеосистемах. Таким образом, представляется актуальной разработка методов повышения различимости объектов на цифровых телевизионных изображениях, полученных в сложных метеоусловиях, а также в других условиях недостаточной видимости. Поскольку ключевым параметром изображения, определяющим различимость объектов сцены, является контраст, задача может быть решена средствами контрастной коррекции.

Методы контрастной коррекции по способу учета пространственных свойств изображения можно разделить на глобальные, в основе которых лежит одинаковое для всех пикселей преобразование шкалы яркости, и адаптивные, в которых величина изменения яркости пикселя зависит от окружающей его окрестности, а по виду применяемых преобразований – на линейные и нелинейные. Преимуществом глобальных методов, к которым относятся линейное контрастирование и нелинейные методы, такие как γ -коррекция и соляризация, является простота реализации и возможность обработки видеопоследовательностей в реальном масштабе времени. При этом недостатком глобальных методов является низкая эффективность повышения локального контраста при неравномерном пространственном распределении слабоконтрастных областей на изображении, что наблюдается, в частности, на изображениях, полученных в условиях дымки и тумана.

Особенностью изображений, полученных в условиях дымки и тумана, является неравномерность динамических диапазонов и соответственно контрастов областей изображений, которые располагаются на различном расстоянии до устройства регистрации изображения. Поэтому для коррекции подобных искажений следует применять локально адаптивные методы контрастной коррекции [1], согласно которым параметры преобразования частей изображения могут различаться.

Актуальность задачи улучшения качества изображений, полученных в условиях недостаточной видимости, подтверждается значительным интересом многих исследователей. Среди существующих методов можно выделить метод, предполагающий оценку глубины сцены и параметров атмосферного аэрозоля по элементу, имеющему минимальную яркость по всем цветовым каналам (Dark Channel Prior) [2], метод, предполагающий использование геометрических моделей, построенных на основе данных о месте установки видеокамеры [3], применяемые в системах помощи водителю (ADAS – Advanced driver-assistance systems)), подходы, основанные на применении нелинейных моделей [4] и искусственных нейросетей [5].

Как правило, реализация локально адаптивных методов обработки изображения требует больших вычислительных ресурсов либо большего времени, затрачиваемого на обработку изображения. Поэтому более сложные алгоритмы обработки изображений целесообразно реализовывать аппаратно, например, средствами программируемых логических интегральных схем (ПЛИС) [6]. В статье предлагается способ аппаратной реализации метода коррекции изображений [1], полученных в условиях недостаточной видимости.

2. Структурная схема системы аппаратной реализации метода коррекции изображений, полученных в условиях недостаточной видимости

Структурная схема блоков системы, аппаратно реализующей метод, ранее предложенный авторами в [1], показана на рисунке 1.

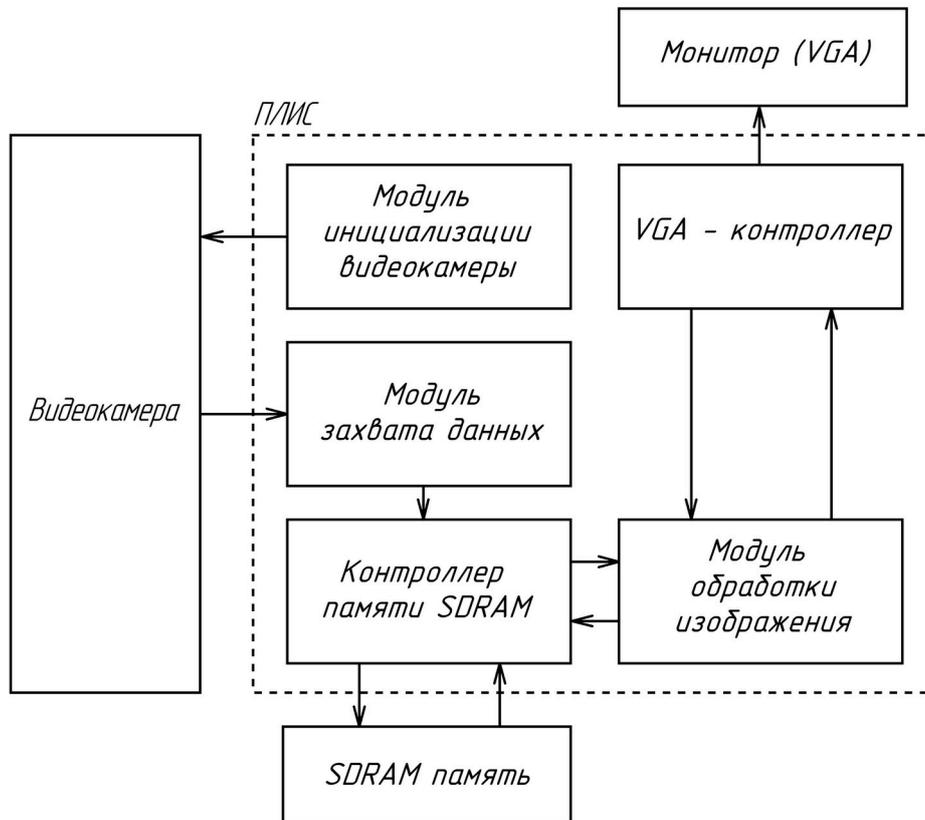


Рис.1 Структурная схема аппаратной реализации метода [1]

Основным компонентом аппаратной реализации является ПЛИС семейства Cyclone V [7].

Блок контроллера VGA (Video Graphics Array) осуществляет преобразование входных сигналов цветовой информации для последующего формирования изображений на устройстве вывода.

Схема подключения VGA-коннектора к ПЛИС показана на рисунке 2.

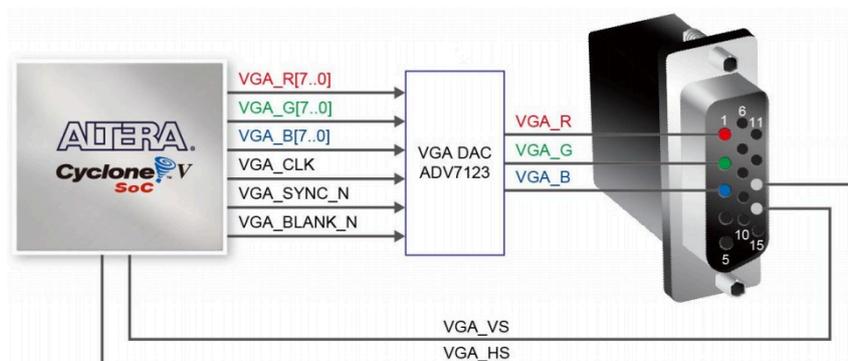


Рис. 2. Схема соединения ПЛИС и VGA-коннектора

Подключение VGA-коннектора к ПЛИС осуществляется через десятиразрядный цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП) ADV7123 [8].

Временные параметры сигналов VGA-контроллера определяются в соответствии со спецификацией, приведенной в таблице 1.

В качестве базового было выбрано разрешение 640×480 пикселей, соответствующее максимальному разрешению видеокamеры OV7670.

Тактирование VGA-контроллера сигналом с частотой 25,175 МГц осуществляется с помощью аппаратного модуля фазовой автоподстройки частоты (PLL – phase locked loop), реализованного на основе IP блока Altera PLL [9].

Таблица 1. Временные характеристики VGA-сигнала 640×480 промышленного стандарта

Частота обновления экрана, Гц	Частота тактирования пикселей, МГц	Горизонтальная синхронизация, кол-во тактов				Полярность
		Видимая область	Передний порог	Синхроимпульс	Задний порог	
60	25,175	640	16	96	48	“0”
Вертикальная синхронизация, кол-во тактов						Полярность
Видимая область		Передний порог	Синхроимпульс	Задний порог		
480	10	10	2	33		

Модуль захвата данных осуществляет прием и преобразование данных камеры, формирует сигналы записи для контроллера памяти SDRAM (Synchronous Dynamic Random Access Memory).

Контроллер памяти SDRAM осуществляет буферизацию кадров. При этом он формирует сигналы управления внешней памяти SDRAM. Используемая микросхема памяти IS4216320D имеет предельную частоту работы 143 МГц, 16-битную шину данных, 12-битное адресное поле.

При реализации блока контроллера памяти SDRAM использовался PLL модуль ПЛИС, работающий на частоте 100 МГц [7]. Данные в память поступают посредством блочной предзагрузки в ячейки on-chip памяти, организованной по принципу FIFO (First In First Out) [10].

Загрузка в FIFO память осуществляется на частоте 12 МГц (частота загрузки данных одного пикселя от видеокamеры) по сигналу разрешения записи от блока захвата данных камеры, вывод данных также осуществляется через выходную FIFO память с частотой тактирование VGA-контроллера 25,175 МГц по сигналу запроса чтения блока вывода VGA. Загрузка в SDRAM осуществляется по готовности FIFO модуля. Так как частота кадров, передаваемая камерой, составляет 30 Гц, а частота обновления экрана 60 Гц, память согласует блоки по частоте посредством повторного чтения уже записанных ранее данных в кадровый буфер.

С помощью внутренних регистров камеры модуль инициализации видеокamеры осуществляет выбора и настройку режима отображения видеoinформации. Загрузка данных выполняется по интерфейсу SCCB (аналог I2C), для загрузки данных используется два сигнала вывода: сигнал тактирования последовательного интерфейса SIOC (SCL) и информационный сигнал (данных) SIOD.

Тактирование цифрового модуля SCCB-интерфейса выполняется с помощью PLL-модуля, вырабатывающего сигнал тактирования VGA-контроллера (25,175 МГц).

Тактирующий сигнал подается на предделитель, преобразующий входной сигнал в сигнал, допустимый для тактирования SCCB-интерфейса – 100 кГц (SIOC).

Структурная схема модуля инициализации показана на рисунке 3.

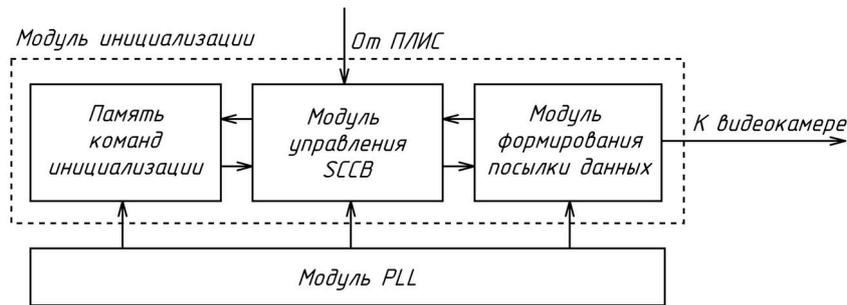


Рис. 3. Структурная схема блока инициализации видеокамеры

Блок памяти команд хранит последовательность посылок с адресом регистра инициализации и данными настройки. Модуль формирования посылки осуществляет формирование последовательности сигналов посылки, несущих информацию об адресе устройства, адресе регистра, данных регистра и сигналов подтверждения.

Модуль обработки изображения осуществляет яркостное преобразование пикселей, считываемых из внешней SDRAM памяти. Модуль обработки изображения включает в себя пространственный фильтр и блок коррекции яркости. Пространственный фильтр используется для поиска локального контраста и определения подпороговой области [1]. Схема включения сдвиговых регистров для операции поиска среднего значения с ядром размера 3×3 пикселя приведена на рисунке 4 [11].

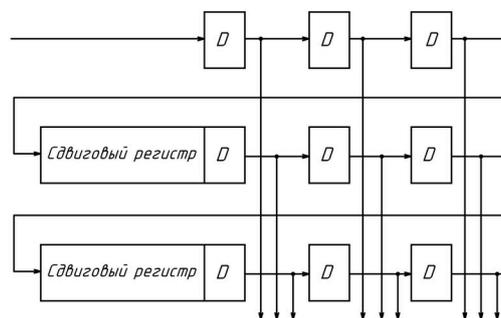


Рис. 4. Схема включения сдвиговых регистров для операции поиска среднего значения с ядром размера 3×3 пикселя

3. Аппаратная реализация модуля обработки изображения

Согласно [1] для увеличения различимости объектов сцены, расположенных на разном удалении друг от друга, предлагается осуществлять разделение исходного изображения на поддиапазоны больших яркостей (дальняя сцена) и малых яркостей (ближняя сцена). Полученные в результате операции деления на поддиапазоны изображения подвергаются линейному контрастированию на весь возможный динамический диапазон яркостей. После чего выполняется процесс совмещения сцен и пост-обработка, заключающаяся в степенном преобразовании яркостей.

В качестве границы разделения поддиапазонов яркости ближней и дальней сцен используется среднее значение яркости исходного изображения, определяемое без учета так называемой подпороговой области – области изображения, локальный контраст в которой не превышает пороговой контрастности зрительной системы человека.

Особенностью аппаратной реализации операции поиска среднего значения в видеопотоке является то, что данные поступают последовательно, тем самым, исключая возможность работать с изображением целиком (получать доступ к любой из областей изображения независимо от состояния загрузки). В таком случае расчет может осуществляться для каждого из кадров по проведению последовательного анализа всех пикселей предыдущего кадра. При таком расчете изменение средней яркости при частоте кадровой синхронизации, равной 30 Гц и выше, будет слабо уловимо человеческим глазом.

Для разделения изображения на участки (кратные размеру исходного изображения) может использоваться сдвиговый регистр. Стоит отметить, что, чем меньше выбранная область, тем более точно будет определяться подпороговая область. Исходя из этого положения, была выбрана минимально возможная область 2×2 пикселя. В таком случае размер сдвигового регистра при разрешении изображения 640×480 будет составлять 1280 байт (в полутоновом режиме, при 8-ми битном представлении цвета). Схема блока сдвигового регистра, представленная на уровне регистровых передач (RTL-вид), показана на рисунке 5.

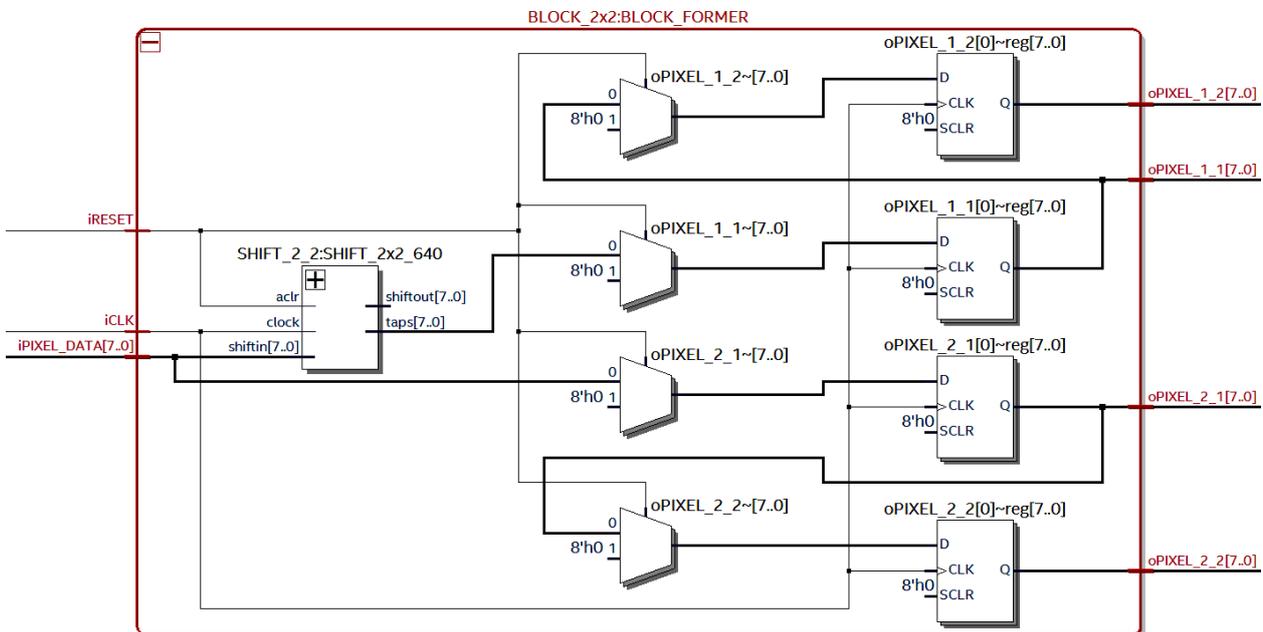


Рис. 5. RTL-вид блока сдвигового регистра, используемого для определения средней яркости изображения

Так как определение локального контраста области осуществляется в реальном времени, расчет контраста выполняется каждый пиксельный такт. Для данных целей используется цепь из компараторов. RTL-вид блока сравнения изображен на рисунке 6.

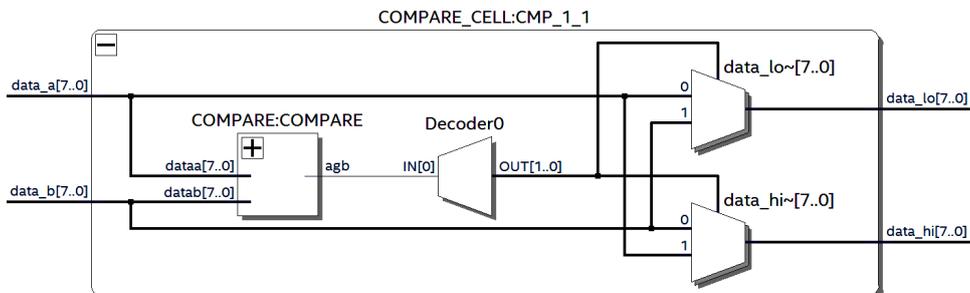


Рис. 6. RTL-вид блока сравнения

На вход цепи компараторов подается значение всех пикселей выбранной области, хранящихся в сдвиговом регистре. После нахождения соответствующих значений максимальной $I_{\max, l}$ и минимальной $I_{\min, l}$ яркости в области, выполняется оценка локального контраста K_l .

$$K_l = \frac{I_{\max, l} - I_{\min, l}}{L},$$

где $L = 256$ – число градаций яркости изображения.

RTL-вид схемы поиска максимального и минимального значения области показан на рисунке 7.

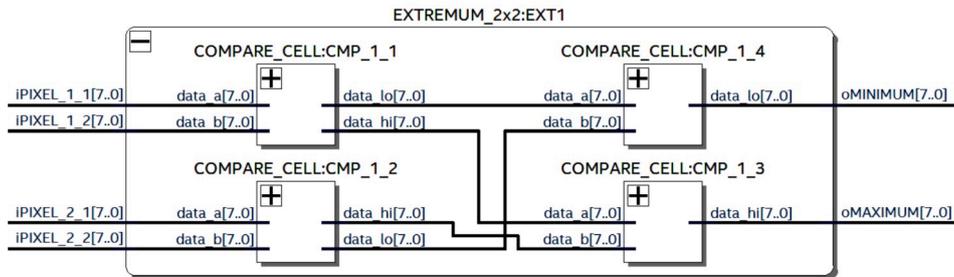


Рис. 7. Схема поиска экстремумов локальной области

На основе сравнения локального контраста области с пороговой контрастностью зрительной системы человека, равной 0,02, принимается решение о включении данной области в расчет средней яркости, после чего аппаратный блок ожидает поступления следующих 4 пикселей изображения. После оценки всех локальных контрастов, среднее значение рассчитывается как среднеарифметическое во время срабатывания сигнала вертикальной синхронизации по окончании текущего кадра. Одновременно с определением среднего значения яркости определяются максимальное и минимальное значения путем последовательного сравнения поступающих в течение кадра пикселей. RTL-вид схемы расчета среднего значения яркости и поиска экстремумов яркости изображения приведен на рисунке 8.

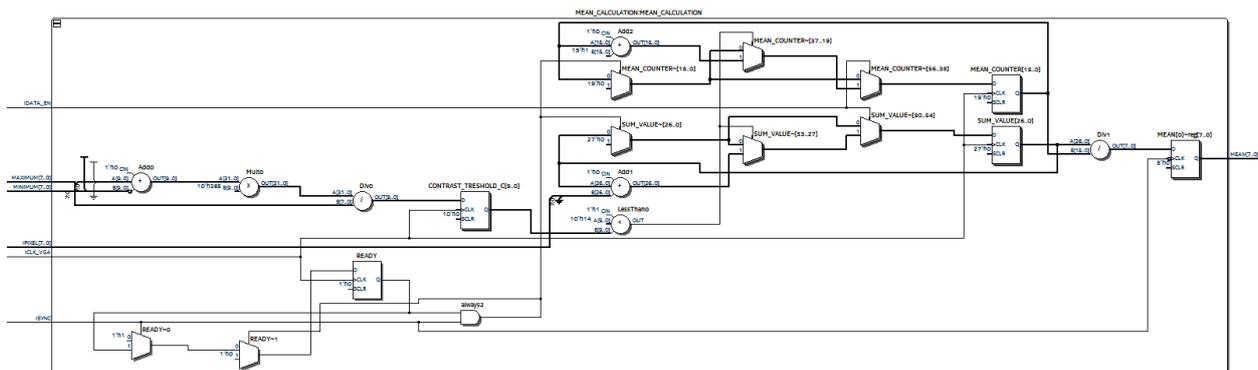


Рис. 8. Схема расчета среднего значения яркости

Для экономии вычислительных ресурсов можно увеличить размер делимого окна, без ущерба точности рассчитываемого значения средней яркости. Схема поиска экстремумов локальной области размером 4×4 приведена на рисунке 9.

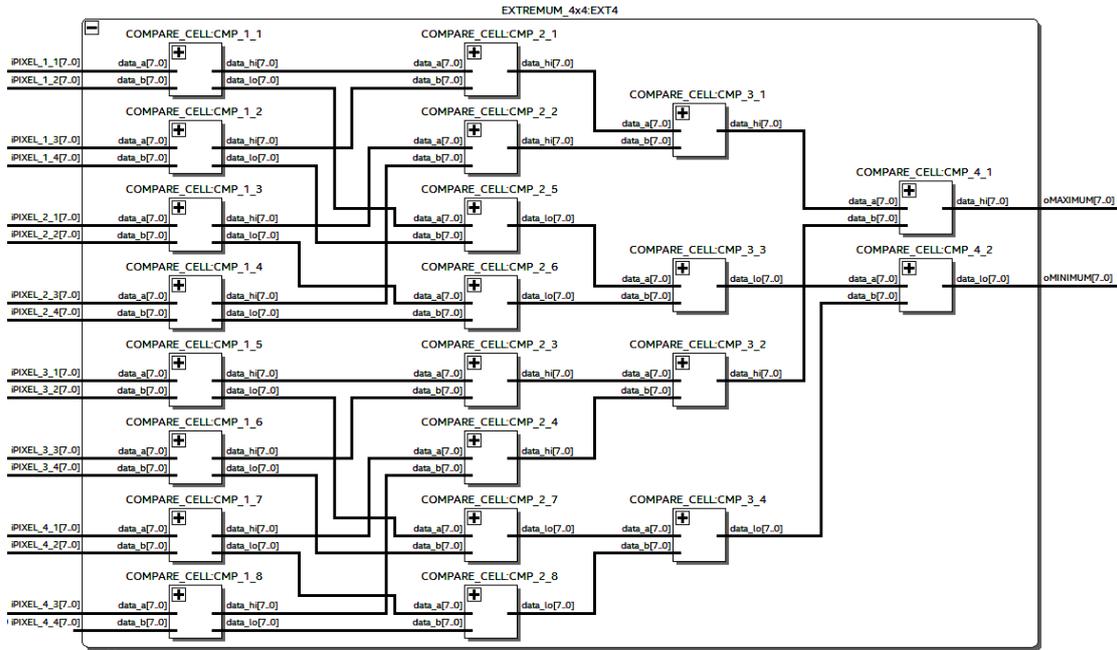


Рис. 9. Схема поиска экстремумов локальной области размером локальной области 4×4

Для коррекции дальней сцены требуются вычитание значения средней яркости из всех яркостей изображения и получение разностного изображения, на котором уровни яркости исходного изображения превышающие среднее значение, сдвигаются в начало диапазона. Для увеличения динамического диапазона яркости разностного изображения умножаются на масштабный коэффициент [1].

Яркость разностного изображения s_d описывается выражением

$$s_d = k_m (I - I'_{mean});$$

$$k_m = \frac{I_{max}}{I_{max} - I'_{mean}},$$

где k_m – масштабный коэффициент; I – яркость исходного изображения; I'_{mean} – средняя яркость исходного изображения без учёта подпороговой области; I_{max} – максимальная яркость исходного изображения.

Результатом вычитания средней яркости и умножения на масштабный коэффициент будет увеличение динамического диапазона объектов дальней сцены, в то же время объекты ближней сцены, имеющие яркость ниже среднего значения, на разностном изображении будут отсутствовать. RTL-вид блока коррекции дальней сцены изображения приведен на рисунке 10.

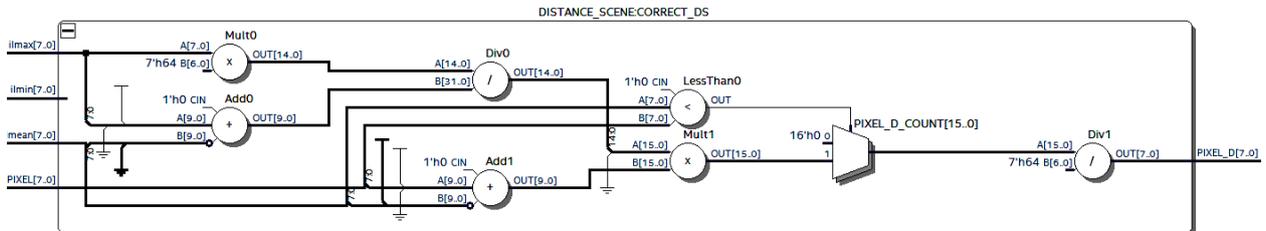


Рис. 10. RTL-вид блока коррекции дальней сцены изображения

Повышения эффективности данной операции можно достичь за счёт использования всего диапазона яркостей, применив операцию линейного контрастирования разностного изображения, при этом ограничив уровень яркости наиболее распространенными

значениями. Для определения значений яркости ограниченного диапазона используется нормированная количеству пикселей изображения гистограмма яркости $p(s_d)$ и интегральная функция распределения $F(s_d)$ яркостей

$$F(s_{dj}) = \sum_{j=1}^L p(s_{dj}).$$

Значением интегральной функции распределения яркостей от j -го уровня яркости s_d является количество пикселей, яркость которых находится в диапазоне $0 \dots s_{dj}$. Таким образом, ограничив диапазон яркости разностного изображения 99 % наиболее часто встречающимися значениями, можно значительно увеличить динамический диапазон яркостей. RTL-вид схемы коррекции дальней сцены с линейным контрастированием приведен на рис. 11.

При аппаратной реализации описанного блока для экономии ресурсов поиск значения, ограничивающего диапазон разностного изображения, осуществляется по нормированной гистограмме яркостей. В течение процесса загрузки пикселей наряду с поиском максимального и минимального значения яркости осуществляется инкрементирование счетного регистра, соответствующего каждому из значений яркости. При этом размер выделяемой памяти составит 576 байт, что равно 18×256 бит (при полутоновом режиме отображения), где 18 – разрядность максимального количества пикселей, равного 307200, 256 – количество градаций яркости полутонового изображения. После загрузки последнего пикселя кадра по сигналу кадровой синхронизации осуществляется поиск граничного значения яркости. Значение 1 % пикселей, что составляет 3072 единицы, записывается в счетный регистр перед циклом поиска требуемого значения, затем осуществляется последовательное вычитание значений регистров гистограммы яркости из счетного регистра значения 1 % пикселей. При этом вычитание осуществляется от значения 255 (максимальное значение) до 0 (минимальное значение), и записывается в память то значение, которое больше либо равно значению счетного регистра. Направление цикла обусловлено характером частотного распределения яркости разностного изображения, где, как правило, количество значений яркости ниже среднего I_{mean} , равно нулю после преобразования, больше 1 % от количества всех пикселей. По окончании поиска порогового значения память, хранящая данные частотного распределения, очищается для загрузки новых данных.

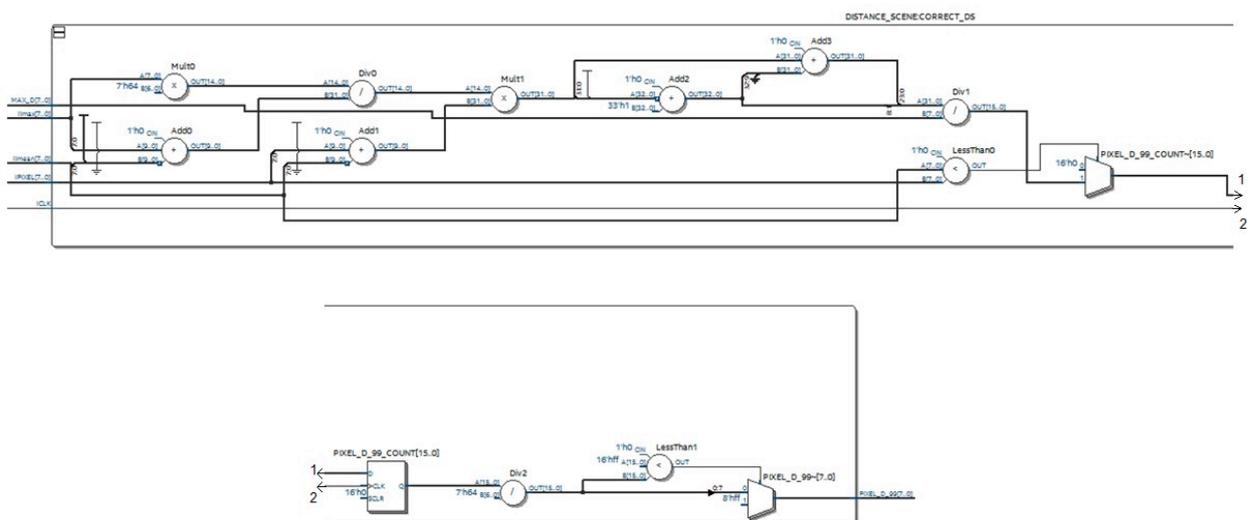


Рис. 11. RTL-вид схемы коррекции дальней сцены с линейным контрастированием

Особенностью реализации на языке Verilog цикла поиска порогового значения яркости частотного распределения является использование неблокирующего присваивания ко всем операциям цикла, кроме очистки, для корректной синхронизации операции поиска.

Фрагмент Verilog-описания операции построения гистограммы яркости разностного изображения дальней сцены показан на рисунке 12.

```

always @(posedge iCLK_VGA)
begin
if(!iSYNC)
begin
for (j = 0; j < 255; j = j + 1)
begin
FREQUENCY_D[j][18:0] <= 18'b000000000000000000;
end
end
if(iDATA_EN)
begin
index_d <= PIXEL_D;
FREQUENCY_D[index_d][18:0] <= FREQUENCY_D[index_d][18:0] + 1'b1;
end
end
end

```

Рис. 12. Фрагмент Verilog-описания операции построения гистограммы яркости разностного изображения дальней сцены

Описанный фрагмент загружает в счетные регистры количество пикселей соответствующей яркости и очищает их для повторной загрузки по сигналу кадровой синхронизации. Фрагмент Verilog описания операции вычисления порогового значения гистограммы яркости приведен на рисунке 13. Значение MAX_D является пороговым и ограничивает верхнее значение входных яркостей разностного.

```

always @(negedge iSYNC)
begin
FIND_D = 1'b0;
TRESHOLD_D = 3072;
for (j = 255; j > 0; j = j - 1)
begin
if (FREQUENCY_D[j][18:0] < TRESHOLD_D)
begin
if (!FIND_D)
begin
TRESHOLD_D = TRESHOLD_D - FREQUENCY_D[j][18:0];
end
end
else
begin
if(!FIND_D)
begin
MAX_D = j;
FIND_D = 1'b1;
end
end
end
end
end
end

```

Рис. 13. Фрагмент Verilog описания вычисления порогового значения гистограммы яркости изображения дальней сцены

Аналогично с процессом коррекции дальней сцены, для повышения эффективности операции линейного контрастирования ближней сцены используется весь диапазон яркостей, путём ограничения уровня яркости наиболее распространёнными значениями.

Линейное контрастирование динамического диапазона ближней сцены описывается выражением

$$s_n = \begin{cases} \frac{I}{I'_{mean} - I_{min}}, & \text{при } I_{min} < I < I'_{mean}; \\ 1, & \text{при } I \geq I'_{mean}, \end{cases}$$

где s_n – яркость изображения ближней сцены.

Аппаратная реализация коррекции ближней сцены схожа с реализацией блока коррекции дальней сцены и также использует нормированную гистограмму яркостей. Главным отличием является то, что вычитание значений гистограммы яркостей из счётного регистра 1 % пикселей осуществляется в направлении от 0 (минимальное значение яркости гистограммы) до 255 (максимальное значение яркости гистограммы) и записывается в память то значение, которое больше либо равно значению счётного регистра.

Направление цикла обусловлено характером гистограммы яркости разностного изображения ближней сцены, где, как правило, количество значений яркости выше среднего I'_{mean} (равные после преобразования 1), больше 1 % от количества всех пикселей. По окончании поиска порогового значения память, хранящая данные гистограммы яркости, очищается для загрузки новых данных.

После синтеза операции коррекции ближней сцены был получен RTL-вид, приведенный на рисунке 14. Процесс построения гистограммы яркости разностного изображения ближней сцены аналогичен процессу построению для дальней сцены. Фрагмент Verilog-описания операции вычисления порогового значения гистограммы яркости показан на рисунке 15.

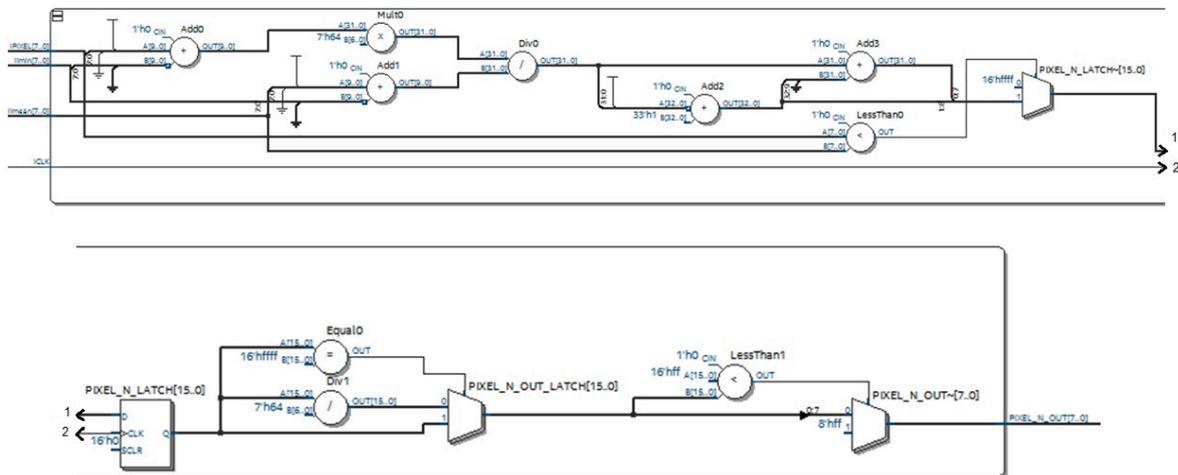


Рис. 14. RTL-вид блока коррекции ближней сцены

Значение MIN_N является пороговым и ограничивает нижнее значение входных яркостей разностного изображения для операции линейного контрастирования.

Задача совмещения изображений ближней и дальней сцен заключается в представлении диапазонов яркостей этих двух изображений в одном общем диапазоне яркостей обработанного изображения. Простейшим вариантом совмещения изображений ближней и дальней сцен является их суммирование. Однако, поскольку оба изображения имеют максимальный динамический диапазон, при их суммировании необходимо каждое из них умножить на весовой коэффициент. Таким образом, яркость суммарного изображения s_{Σ} будет описываться выражением

$$s_{\Sigma} = w_g s_d + (1 - w_g) s_n,$$

где $w_g = 0,5$ – весовой коэффициент, значение которого одинаково для всех пикселей.

Изображение, полученное в результате совмещения, далее подвергается пост-обработке, заключающейся в проведении γ -коррекции. Яркость изображения после пост-обработки s_{post} описывается выражением

$$s_{post} = T(s_{\Sigma}) = s_{\Sigma}^{\gamma}.$$

Показатель степени γ может выбираться с использованием следующего выражения

$$\gamma = \frac{\log [0,5 T(s_{\Sigma \min})]}{\log [T(s_{\Sigma \min})]};$$

$$s_{\Sigma \min} = s_{\Sigma}, \text{ при } F(s_{\Sigma}) = 0,01,$$

где $s_{\Sigma \min}$ – уровень яркости изображения $s_{\Sigma}(x, y)$, для которого значение интегральной функции распределения яркости составляет 0,01.

То есть, в результате пост-обработки динамический диапазон малых яркостей, представленный 1 % пикселей изображения, будет сжат в 2 раза. За счёт такого преобразования достигается сжатие динамического диапазона малых яркостей и растяжение диапазона средних и больших яркостей изображения $s_{\Sigma}(x, y)$.

```

always @(negedge iSYNC)
begin
    FIND_N = 0;
    FIND_SUM = 0;
    TRESHOLD_N = 3072;
    TRESHOLD_SUM = 3072;
    for (i = 0; i < 128; i = i + 1)
        begin
            if (FREQUENCY_N[i][18:0] < TRESHOLD_N)
                begin
                    if (FIND_N == 0)
                        TRESHOLD_N = TRESHOLD_N - FREQUENCY_N[i][18:0];
                    end
                end
            else
                begin
                    if (FIND_N == 0)
                        begin
                            MIN_N = i;
                            FIND_N = 1;
                        end
                    end
                end
        end
    end
end

```

Рис. 15. Фрагмент Verilog-описания вычисления порогового значения гистограммы яркости изображения ближней сцены

При аппаратной реализации пост-обработки сложность вызывает вычисление чисел с дробной степенью. Реализация данной функции требует значительных вычислительных ресурсов ПЛИС, осложнение вызывает тот факт, что вычисление должно осуществляться за один такт контроллера VGA. При использовании IP (intellectual property) блоков Altera, вычисление натурального логарифма займёт 21 такт. Поэтому целесообразно использовать табличные значения расчёта γ для всех возможных значений интегральной функции (256 значений, для полутонового режима). Таким же способом вычисляются значения

яркости, соответствующие посчитанной γ . При аппаратной реализации блок представляет участок оперативной памяти типа M10K.

Для визуальной оценки эффективности предложенной коррекции на рисунке 16 показаны изображения до и после применения аппаратной реализации алгоритма [1].

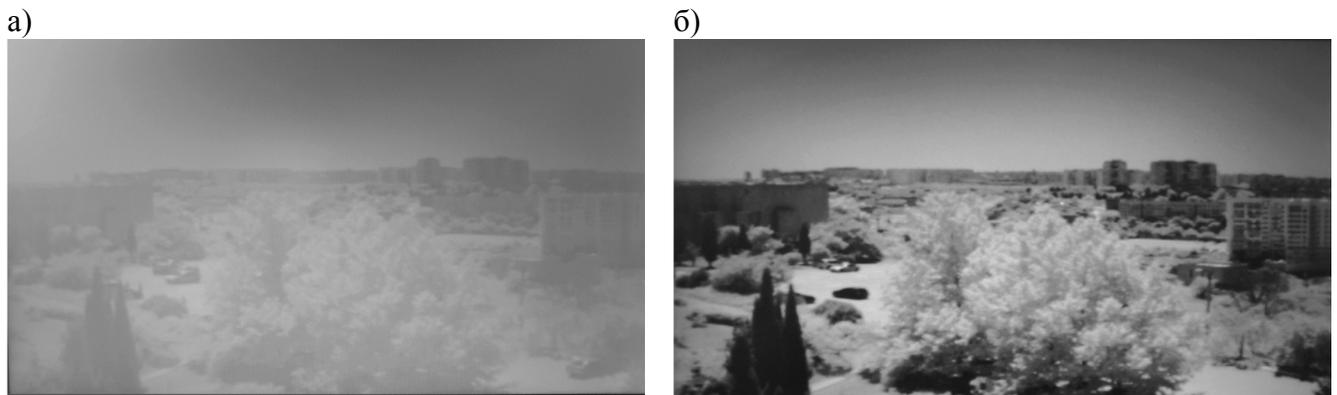


Рис. 16. Исходное малоконтрастное изображение (а) и изображение, полученное в результате аппаратной реализации алгоритма [1], (б)

4. Заключение

Таким образом, предложен вариант аппаратной реализации метода повышения различимости объектов на изображениях. Приводится структурная схема системы аппаратной реализации метода коррекции изображений, полученных в условиях недостаточной видимости. Приведены RTL-схемы и фрагменты Verilog-описаний аппаратных модулей системы.

Литература

1. Михайлюк Ю. П., Начаров Д. В. Метод улучшения различимости объектов на цифровых изображениях, полученных в условиях недостаточной видимости // Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]. 2015. №6.
2. He K., Sun J., Tang X. Single Image Haze Removal Using Dark Channel Prior // Proc. of the 2009 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2009. P. 1956–1963.
3. Tarel J. -P., Hautiere N., Caraffa L., Cord A., Halmaoui H., Gruyer D. Vision Enhancement in Homogeneous and Heterogeneous Fog // IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine. 2012. V. 4, Is. 2, P. 6–20.
4. Duminil A., Tarel J. -P., Brémond R. Single Image Atmospheric Veil Removal Using New Priors // Proc. of the 2021 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP). 2021. P. 1719–1723.
5. Zhang J., Li F., Kang M., Luo X., Zhao J., Xiao Ch., Du H., Wang H. A Method of Image Dehazing Based on Atmospheric Veil Prediction by ResNet // Proc. of the 2nd Workshop on User-centric Narrative Summarization of Long Videos. 2023. P. 17–24.
6. Varalakshmi J., Jose D., Kumar P. N. FPGA Implementation of Haze Removal Technique Based on Dark Channel Prior // Computational Vision and Bio-Inspired Computing (ICCVBIC 2021), 2021. P. 624–630.
7. Cyclone V Device Overview : technical description [Электронный ресурс]. URL: https://www.altera.com/en_US/pdfs/literature/hb/cyclone-v/cv_51001.pdf (дата обращения: 20.04.2023).
8. ADV7123 technical description [Электронный ресурс]. URL: <http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADV7123.pdf> (дата обращения: 20.04.2023).

9. Altera Phase-Locked Loop IP Core User Guide : technical description [Электронный ресурс] URL: https://www.altera.com/en_US/pdfs/literature/ug/altera_pll.pdf (дата обращения: 20.04.2023)
10. Kumar A. K., Jeevaratnam N., Patnaik S. On-Chip Memory for Image Processing Applications Based on FPGA // Proc. of the International conference on Signal Processing, Communication, Power and Embedded System, 2016. P.1598–1602.
11. Licciardo G. D., Cappetta C., Di Benedetto L. FPGA Optimization of Convolution-based 2D Filtering Processor for Image Processing // Proc. of the 8th Computer Science and Electronic Engineering Conference, 2016. P.180–185.

Михайлюк Юрий Петрович

к.т.н., доцент, заведующий кафедрой «Электронная техника», Севастопольский государственный университет (СевГУ, 299053, Севастополь, ул. Университетская, д. 33), тел. +7 978 746 6370, e-mail: ypmikhailyuk@sevsu.ru, ORCID ID: 0000-0002-6829-3474.

Начаров Денис Владимирович

к.т.н., доцент кафедры «Электронная техника», Севастопольский государственный университет (СевГУ, 299053, Севастополь, ул. Университетская, д. 33), тел. +7 978 811 4624, e-mail: d.v.nacharov@sevsu.ru, ORCID ID: 0000-0003-2445-1140.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад соавторов: Каждый автор внес равную долю участия как во все этапы проводимого теоретического исследования, так и при написании разделов данной статьи.

Hardware Implementation of a Method for Improving Object Discernibility In Poor Visibility Conditions Images

Yuri P. Mickhayluck, Denis V. Nacharov

Sevastopol State University (SevSU)

Abstract: Introduction: Poor visibility conditions images key features and ways of their improvement are briefly described. Main part: hardware implementation of poor visibility conditions images improvement method is presented. Results: hardware units utilized for image improvement methods are described; block diagram of hardware implementation includes video camera, display, random access memory and module set that is implemented with field programmable gate arrays; RTL-view and Verilog descriptions of hardware modules are presented.

Keywords: image processing, algorithm hardware implementation, Verilog, visibility, contrast, linear contrast enhancement, fog, mist, FPGA, quality improvement.

For citation: Mickhayluck Yu. P., Nacharov D. V. Apparalnaya realizaciya metoda uluchsheniya razlichimosti ob'ektov na izobrazheniyakh, poluchennykh v usloviyakh nedostatochnoi vidimosti [Hardware Implementation of a Method for Improving Object Discernability In Poor Visibility Conditions Images]. *Vestnik SibGUTI*, 2025, vol. 19, no. 1, pp. 65–79. <https://doi.org/10.55648/1998-6920-2025-19-1-65-79>.



Content is available under the license
Creative Commons Attribution 4.0
License

© Mickhayluck Yu. P.,
Nacharov D. V., 2025

The article was submitted: 11.05.2023;
revised version: 16.05.2024;
accepted for publication 08.09.2024.

References

1. *Mickhayluck Yu. P., Nacharov D. V.* Metod uluchsheniya razlichimosti ob'ectov na cifrovyykh izobrajeniyakh, poluchennykh v usloviyakh nedostatochnoi vidimosti [Objects discernibility improvement on the digital images recorded in poor visibility conditions]. *Jurnal radioelektroniki*. 2015. no. 6.
2. *He K., Sun J., Tang X.* Single Image Haze Removal Using Dark Channel Prior. *Proc. of the 2009 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2009. pp. 1956–1963.
3. *Tarel J. -P., Hautiere N., Caraffa L., Cord A., Halmaoui H., Gruyer D.* Vision Enhancement in Homogeneous and Heterogeneous Fog. *IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine*. 2012. vol. 4, iss. 2, pp. 6–20.
4. *Duminil A., Tarel J. -P., Brémond R.* Single Image Atmospheric Veil Removal Using New Priors. *Proc. of the 2021 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*. 2021. pp. 1719–1723.
5. *Zhang J., Li F., Kang M., Luo X., Zhao J., Xiao Ch., Du H., Wang H.* A Method of Image Dehazing Based on Atmospheric Veil Prediction by ResNet. *Proc. of the 2nd Workshop on User-centric Narrative Summarization of Long Videos*. 2023. pp. 17–24.
6. *Varalakshmi J., Jose D., Kumar P. N.* FPGA Implementation of Haze Removal Technique Based on Dark Channel Prior. *Computational Vision and Bio-Inspired Computing (ICCVBIC 2021)*, 2021. pp. 624–630.
7. Cyclone V Device Overview: technical description, available at: https://www.altera.com/en_US/pdfs/literature/hb/cyclone-v/cv_51001.pdf (accessed 20.04.2023).
8. ADV7123: technical description, available at: <http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADV7123.pdf> (accessed 20.04.2023).
9. Altera Phase-Locked Loop IP Core User Guide: technical description, available at: https://www.altera.com/en_US/pdfs/literature/ug/altera_pll.pdf (accessed 20.04.2023)
10. *Kumar A. K., Jeevaratnam N., Patnaik S.* On-Chip Memory for Image Processing Applications Based on FPGA. *Proc. of the International conference on Signal Processing, Communication, Power and Embedded System*, 2016. pp.1598–1602.
11. *Licciardo G. D., Cappetta C., Di Benedetto L.* FPGA Optimization of Convolution-based 2D Filtering Processor for Image Processing. *Proc. of the 8th Computer Science and Electronic Engineering Conference*, 2016. pp.180–185.

Yuri P. Mickhayluck

Cand. Of Sci. (Engineering), docent, head of “Electronic Engineering” department, Sevastopol State University (Sevsu, 299053, Sevastopol, Universitetskaya Str. 33), phone: +7 978 746 6370, e-mail: ypmikhaylyuk@sevsu.ru, ORCID ID: 0000-0002-6829-3474.

Denis V. Nacharov

Cand. Of Sci. (Engineering), docent of “Electronic Engineering” department, Sevastopol State University (Sevsu, 299053, Sevastopol, Universitetskaya Str. 33), phone: +7 978 811 4624, e-mail: d.v.nacharov@sevsu.ru, ORCID ID: 0000-0003-2445-1140.