

8. Щербаков А.С. Самоорганизация материи в неживой природе. – М.: Изд-во Моск. ун-та. 1990. – 112 с.

УДК 681.78, 004.932, 004.427

СИСТЕМЫ КРУГОВОГО ОБЗОРА И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛИЗА ПАНОРАМНОГО ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ ДЛЯ ПОМОЩИ ВОДИТЕЛЮ

Афанасьев И.М., к.т.н., доцент Университета “Иннополис”, г. Казань, Россия;
Масленникова Ю.С., к.ф.-м.н., исследователь Университета “Иннополис”, г. Казань, Россия;
Магид Е.А., д.т.н., профессор Университета “Иннополис”, г. Казань, Россия

THE SYSTEMS OF ALL-ROUND VIEW AND INTELLECTUAL ANALYSIS OF PANORAMIC CCTV FOR DRIVER'S ASSISTANCE

Afanasyev I.M., PhD, Assistant Professor, Innopolis University, Kazan, Russia;
Maslennikova Yu.S., PhD, Researcher, Innopolis University, Kazan, Russia;
Magid E.A., PhD, Full Professor, Innopolis University, Kazan, Russia

Аннотация

Статья посвящена актуальной проблеме улучшения обзорности невидимых для водителя областей вблизи транспортного средства (так называемых «мертвых» или «слепых» зон), представляющих существенный риск для безопасности дорожного движения. С этой целью рассматриваются применяемые на транспорте системы кругового обзора, анализируются методы сшивки панорамных изображений и обсуждаются перспективы использования интеллектуальных систем для распознавания и детектирования объектов (машин, препятствий, пешеходов и т.п.) в автоматическом режиме при панорамном видеонаблюдении в реальном времени.

Abstract

The paper is devoted to a timely problem of driver's visibility improvement for area around a vehicle (the so-called «dead or blind spots»), which presents a significant risk for the roadsafety. For this purpose, in this work we are reviewing the vehicles' all-round video monitoring systems and the methods of panoramic images merging. We also discuss the perspectives of implementation of intelligent systems for automatic object detection and identification (vehicles, obstacles, pedestrians, etc.) in real time panoramic video surveillance.

Ключевые слова: система кругового обзора, панорамное видеонаблюдение, интеллектуальные системы помощи водителю.

Key words: system of all-round view, panoramic video surveillance, intelligent driver assistance systems.

Введение

Проблема улучшения обзорности – одна из самых важных в активной безопасности транспортных средств, в первую очередь грузовиков, автобусов и легковых автомобилей. Наибольший риск для водителей, работающих в стесненных городских условиях, представляют непросматриваемые из-за габаритов транспортного средства участки дороги

(так называемые «мертвые» или «слепые» зоны). Несмотря на применяемые дополнительные меры (например, на установку в городских автобусах камер заднего и даже бокового обзора возле входных дверей), они не устраняют полностью «мертвые зоны», тем самым представляя угрозу для безопасности других участников движения, в том числе многочисленных пешеходов.

Решить эту проблему позволяют современные системы кругового обзора (СКО) и панорамного видеонаблюдения, применяемые в настоящее время в автобусах, грузовом автотранспорте, строительной технике, аварийно-спасательных автомобилях, а также в легковых автомобилях бизнес-класса, внедорожниках, и даже автомобилях эконом-класса. В современных автомобилях СКО являются вспомогательной системой активной безопасности [1], относятся к многоканальным системам видеонаблюдения, обеспечивающим круговой обзор в масштабе реального времени [2], и помогают водителю в безопасном вождении транспортного средства и выполнении маневрирования в стесненных условиях (таких как, например, параллельная и перпендикулярная парковки, движение в плотном потоке, выезд на «слепой» перекресток и т.п.).

Системы видеонаблюдения и видеорегистрации, как правило, включают в себя установленные по периметру автомобиля видеокамеры, бортовой компьютер с алгоритмами сшивки изображений (для получения панорамного обзора вокруг автомобиля) и систему отображения видеоинформации на дисплее приборной панели автомобиля в реальном времени. Такие СКО, как правило, используют видеокамеры типа «рыбий глаз», имеющие специальные объективы с несколькими отражающими поверхностями, позволяющие просматривать полусферу со «слепыми зонами», способствуя снижению вероятности возникновения дорожно-транспортных происшествий (ДТП). Основные достоинства применения СКО в том, что они позволяют избегать потенциально опасных ситуаций как на резких подъемах, спусках и крутых поворотах, так и при движении задним ходом, контролируя «слепые зоны» при маневрировании и парковке. При этом картина видеорегистрации, отображаемая на центральном дисплее автомобиля, может регулироваться многофункциональным переключателем на рулевом колесе и записываться в память бортового компьютера. С записью в память связано также применение СКО для видеорегистрации дорожной ситуации и видеонаблюдения на стоянке в режиме «охрана по периметру автомобиля».

При интеллектуальном анализе панорамного видеонаблюдения обработка информации от мультикамерной системы выполняется в автоматическом режиме посредством алгоритмов видеообработки для распознавания и детектирования объектов (машин, препятствий, пешеходов и т.п.). Обнаружение потенциально опасных объектов/предметов может сопровождаться специальным обозначением объекта на дисплее (например, рамка вокруг объекта или подсвечивание) и звуковым сигналом.

Таким образом, современные СКО находят широкое применение в транспортных системах, выполняя роль вспомогательной визуальной системы для водителя, при этом снижая риск ДТП. Появление интеллектуального автоматического анализа панорамного видеонаблюдения с выявлением возможных опасных объектов позволит улучшить безопасность эксплуатации транспортного средства. В следующем разделе мы подробнее рассмотрим наиболее популярные образцы таких систем, выявляя их преимущества и недостатки. В заключительном разделе мы представим обзор методов сшивки панорамных изображений.

Системы кругового обзора

Первоначально, когда производители автомобилей обратили внимание на технологию панорамного видеонаблюдения, они стали использовать её для демонстрации интерьеров своих новых моделей [3]. Позже компания Ferris Productions, специализирующаяся на технологиях виртуальной реальности, при коллаборации

с американской автомобильной корпорацией General Motors в 2000 г. разработала способ демонстрации автомобильной продукции в виде виртуальной пробной поездки (Virtual Test-drive), в которой круговой обзор обеспечивался с помощью панорамного видео [4]. Такая виртуальная поездка помогала создать для потенциального клиента иллюзию реальной поездки и лучше оценить достоинства автомобиля. При этом применялись специализированные видеокамеры, состоящие из нескольких объективов, изображения с которых автоматически сшивались в единый панорамный кадр.

Также в начале 2000-х системы панорамного видеонаблюдения компании Be Here стали устанавливаться на гоночные автомобили «Формула-1» для контроля положения автомобиля на трассе в реальном времени [3]. Немного позже разнообразные системы панорамного видеонаблюдения стали широко применяться в армейской, в первую очередь, бронетанковой технике [3]. Одним из лидеров в разработке таких СКО до сих пор является американская компания RemoteReality, разработавшая сперва видеосистему OmniTrack360, а позднее – HummingBird360, которые предназначены для установки на крыше военного транспортного средства в целях его удаленного контроля и навигации [5].

Подобные профессиональные СКО для кругового фотографирования местности в режиме реального времени широко применяются в целях фотограмметрии, а также отображения трехмерной проекции городов через Интернет (как, например, сервис Google Street View, запущенный в 2007 г. [6]). Как результат, такие СКО создают множество стереосферических панорам, привязанных к географическим координатам, с возможностью переключения между ними посредством интуитивно понятного интерфейса, создавая эффект присутствия и перемещения в пространстве.

Так система визуализации Ladybug5 USB 3.0 [7] канадской компании Point Grey Research состоит из системы сферического зрения Ladybug®5 [8] и комплекта программного обеспечения для разработки Ladybug5 SDK (рис. 1). Сферическая система визуализации имеет разрешение 30 мегапикселей (МП) с охватом 90% полной сферы и скоростной интерфейс USB 3.0 со скоростью 5 Гбит/с, что позволяет в реальном времени передавать и обрабатывать большие объемы видеоданных. Система может устанавливаться на автомобиле в целях проведения фотограмметрии, а также для вспомогательной безопасности. Разрешение 30 МП достигается с помощью шести объективов Sony ICX655 CCD (по 5 МП каждый) с затвором Sony Super HAD Technology, получая высокий уровень детализации знаков дорожного движения, коммерческих и жилых зданий, инфраструктуры, пешеходов и т.п. с одновременной стабилизацией изображений. Такая система позволяет регистрировать 12-битные неискаженные изображения с шести высокочувствительных ПЗС матриц Sony, причем благодаря 12-битному формату несжатого файла достигается широкий динамический диапазон света и теней на изображении, что может быть ценно на стадии пост-обработки. Передача 30 МП 12-битных изображений через скоростной интерфейс USB 3.0 дает возможность калибровать и настраивать систему в режиме реального времени. Программное обеспечение разработчика Ladybug5 SDK включает в себя программу LadybugCapPro с драйверами камер и API библиотеками, что удобно для взаимодействия с GPS устройствами и добавлением NMEA протоколов данных в изображения. Позже эти протоколы, как метки, могут использоваться для получения HTML данных (с возможностью отображения в Google Map) или данных KML (для загрузки в Google Earth). Эффективная сшивка изображений, полученных с шести камер, достигается за счет точной калибровки всех камер и объективов.



Рис. 1. Система сферического зрения Point Grey Research [8]

Подобную СКО на базе 50-МП камеры iSTAR для быстрого и легкого проведения 360-градусной панорамной съемки разработала шотландская компания NCTech [9] (рис. 2). Особенностью камеры является возможность обработки отснятых изображений прямо внутри камеры, без использования компьютера для сшивки и последующей обработки изображений. NCTech iSTAR способна получать точную информацию о координатах GPS и обеспечивать регистрацию изображений с высоким динамическим диапазоном для пространственно-ориентированных фотографий. Эта система также располагает множеством дополнительных функций, таких как полноцветный сенсорный экран, Wi-Fi, USB выход, захват координат GPS и данных цифрового компаса с маркировкой изображений, сферическое видео-превью в режиме реального времени.

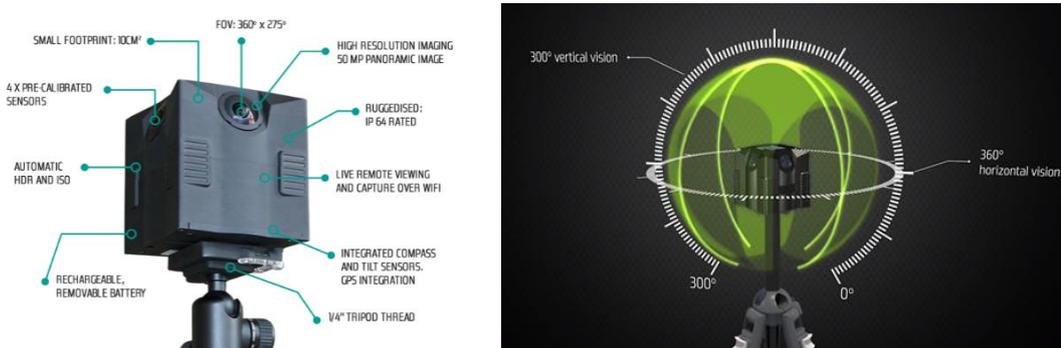


Рис. 2. Система 360-градусной панорамной съемки iSTAR [9]

Переходя к бортовым СКО, встраиваемым в транспортные средства, следует отметить, что появились они сравнительно недавно. Так, первая автомобильная СКО была применена компанией Nissan в 2007 году [1]. В настоящее время данные системы имеют в своем арсенале многие ведущие автопроизводители, например, Around View Monitor (AVM) на автомобилях Nissan; Surround Camera System (SCS) на автомобилях Land Rover; Area View на автомобилях Volkswagen [1], а также Toyota, Nissan, Ford и др. Многообразие СКО для создания панорамного видеонаблюдения объясняется отсутствием единого стандарта на эти системы, поэтому разные производители выбирают различные конфигурации мультикамерных систем.

Ниже будут рассмотрены некоторые образцы современных СКО для безопасного управления транспортными средствами.

Continental ProViu ASL360 [10]. Немецкая компания Continental AG разработала систему ProViu ASL360 с углом обзора в 360 градусов, включающую четыре камеры с широкоугольным объективом типа «рыбий глаз», устанавливаемые по периметру транспортного средства для устранения «мертвых зон». Водитель при этом получает возможность просматривать пространство вокруг автомобиля в формате 2D, воспринимая

его как бы с высоты птичьего полета (рис. 3). Особенностью СКО Continental ProViu ASL360 является то, что она не интегрирована в транспортное средство, а потому может быть смонтирована на автобусах, грузовиках и строительной технике, уже функционирующих на дорогах.



Рис. 3. Система кругового обзора Continental ProViu ASL360 [10]

360 Wrap-Around Video Imaging Technology [11] – это технология японской компании Fujitsu, синтезирующая изображения с четырех видеокамер, воссоздавая тем самым «истинный» 3D вид окрестности вокруг автомобиля. Технология обеспечивает гибкий всенаправленный мониторинг окрестности вокруг автомобиля с динамически определяемой перспективой и точкой наблюдения. Тем самым Fujitsu улучшает безопасность транспортных средств, обеспечивая водителя дополнительной визуальной информацией об окружающем пространстве. В обычных мультикамерных системах использование технологии склейки двумерных изображений часто приводит к искажению истинных изображений. Однако компании Fujitsu удалось при помощи усовершенствованных алгоритмов плавно объединить изображения с каждой камеры, обеспечивая бесшовный и незашумлённый обзор в 360°. Современные технологии Fujitsu также предлагают проектировщикам систем беспрецедентную возможность использования динамического выбора «произвольной точки наблюдения», это позволяет изменить отображаемую перспективу для дальнейшей оптимизации вида (рис. 4). Такое 360-градусное трехмерное изображение улучшает видимость водителя во время маневрирования и при прохождении поворотов, а также устраняет «слепые зоны», недоступные при анализе двумерных изображений.

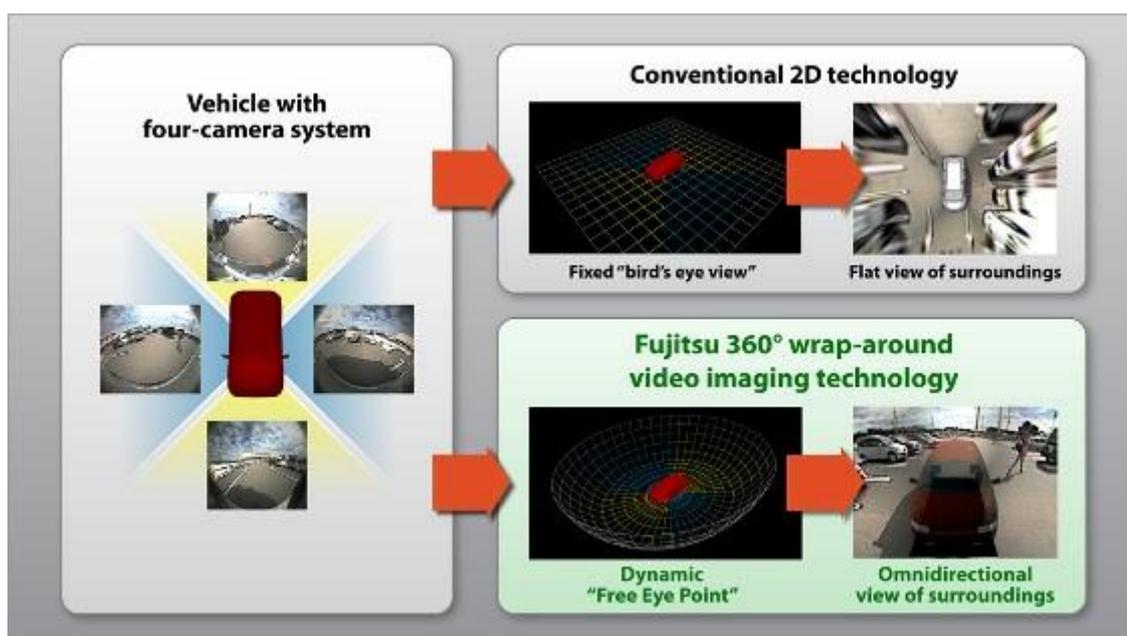


Рис. 4. Преимущества технологии кругового обзора Fujitsu 360° Wrap-AroundVideoImagingTechnology [10]

В набор поставки Fujitsu 360° Wrap-Around Video Imaging Technology входят видеокамеры «рыбий глаз», контроллер системы и программное обеспечение, включая библиотеки и драйвера устройств, которые все вместе образуют СКО, функционирующую в реальном времени стрехмерным графическим отображением панорамной видеоинформации (рис. 5).



Рис. 5. Аппаратно-программный комплекс кругового обзора Fujitsu 360° Wrap-Around VideoImaging Technology [10]

Обзор методов сшивки панорамных изображений

Наиболее полный обзор методов склейки панорамных изображений представлен в обзоре Richard Szeliski [12], в котором сперва рассматриваются различные виды трансформаций изображений, затем представлены методы так называемого прямого выравнивания (Direct pixel-based alignment), включающие в себя различные метрики ошибок, алгоритм выравнивания на основе Фурье анализа, иерархические оценки движения и многое другое. Далее рассмотрены методы на основе регистрации особых точек (Feature-based registration) и приводится сравнение методов прямого выравнивания и методов с использованием особых точек.

Синтез панорамных изображений широко представлен в литературе [12-15]. При синтезе панорамного изображения весьма важно найти соответствия и оценить геометрическое преобразование между изображениями. Поэтому в исследовательской литературе уделяется повышенное внимание методам автоматического поиска соответствий между изображениями на базе поиска особых ключевых точек (ОКТ). Давид Лоуе (David G.Lowe) предложил алгоритм для выделения особых точек, инвариантных к изменению масштаба, поворотам, изменению яркости и положению камеры [16, 17]. Такой алгоритм получил название SIFT (Scale Invariant Feature Transform), согласно которому основным моментом в детектировании ОКТ является построение пирамиды гауссианов и разностей гауссианов. В каждом изображении из пирамиды разности гауссианов ищутся точки локального экстремума. При этом каждая точка текущего изображения из пирамиды сравнивается с 8-9 соседними точками, находящимися на уровень выше и ниже [18]. Если точка больше (меньше) соседних значений, то она принимается за точку локального экстремума. Локальный минимум еще не является особой точкой, поэтому требуется провести еще несколько дополнительных проверок пригодности точки на роль ОКТ и проверку точки на большой изгиб (т.е. на одну из компонент второй производной) [18].

После определения локальных особых точек надо вычислить, какая точка одного изображения соответствует особой точке другого изображения. Для этого вводится понятие идентификатора особой точки – дескриптора, выделяющего ее из остальной

массы особых точек. Чтобы дескриптор обеспечил инвариантность нахождения соответствия между точками, выбирается небольшая окрестность около ОКТ, так как на маленькие области меньшее влияние оказывают эффекты искажений. Дескриптором в методе SIFT является вектор [17]. Как и направление особой точки, дескриптор вычисляется на гауссиане, ближайшем по масштабу. Перед вычислением дескриптора окно поворачивается на угол направления ключевой точки, чем и достигается инвариантность относительно поворота. Поиск соответствующих точек (ОКТ) на изображениях осуществляется через вычисление Евклидова расстояния между дескрипторами всех ОКТ.

В указанных выше работах по синтезу панорамных изображений для оценки параметров геометрического преобразования по набору особых точек применяется метод RANSAC [19, 20]. Это устойчивый метод оценки параметров модели на основе случайных выборок, однако соответствие ОКТ на изображениях не всегда определяется точно. Причиной этого может быть зашумленность исходных данных, несовершенство дескрипторов ОКТ, разница масштабов изображений. Эти и другие факторы сказываются на точности оценки модели ГП. Из сказанного выше весь набор найденных ключевых точек можно разделить на два типа: хорошие точки, удовлетворяющие оцененной модели, и ложные точки. В работе [17] предлагается новый метод с совместным использованием метода RANSAC и кластеризующего слоя Кохонена. Использование данного метода дает уменьшение ошибки при оценке параметров геометрического преобразования и позволяет получить более точную склейку панорамного изображения.

В настоящее время в программе MATLAB реализован метод склейки панорамных изображений с использованием особых точек (Feature Based Panoramic Image Stitching). Пример использования данной функции для синтеза панорамного изображения доступен в источнике [21]. При создании библиотек была использована работа Matthew Brown and David G. Lowe [22].

Стоит отметить, что панорамная съемка получила широкое распространение для встроенных приложений, работающих с камерой в большинстве смартфонов и планшетов [23]. Приложения, создающие панорамные изображения, получают на входе несколько изображений, находят совпадающие элементы и сшивают их. В основном производители устройств стремятся разработать собственные быстрые методы для сшивания. Однако существуют также альтернативные решения с открытым исходным кодом. Среди них известна свободная кроссплатформенная программа Hugin [24], работающая на базе идей Хельмута Дерша (Helmut Dersch), которые он заложил в набор бесплатных инструментов под названием Panorama Tools. Hugin не только позволяет автоматизировать процесс сшивания панорамных фотографий, но и дает возможность вручную изменять параметры, что зачастую дает преимущество перед программами, обеспечивающими только автоматизированную сшивку. Другим бесплатным инструментарием является библиотека OpenCV – это крупный проект, содержащий множество библиотек по обработке изображений с обширной базой пользователей [25].

Для имеющихся СКО с панорамными видеоданными могут применяться алгоритмы, осуществляющие интеллектуальный анализ панорамного изображения в реальном времени на предмет попадания нежелательных объектов (машин, препятствий, пешеходов и т.п.) в «слепую зону». В этом случае задача интеллектуальной системы – распознать объект (что может быть непростой задачей при наличии дефектов дорожного покрытия, луж, снега, наличия рисунков, разметки, газонов и т.п.) и оповестить водителя (например, подсвечиванием объекта на дисплее или подачей звукового сигнала). Технология интеллектуального автоматического анализа панорамного видеонаблюдения позволит сделать эксплуатацию транспортного средства более безопасной и удобной (при парковке, маневрировании и т.п.).

Заключение

В данной обзорной статье представлена актуальная проблема наличия вблизи транспортного средства «мертвых зон», не наблюдаемых водителем, которые представляют потенциальную опасность для безопасности дорожного движения. С этой целью рассматриваются применяемые на транспорте современные решения по наблюдению этих «слепых зон» с помощью систем кругового обзора. В статье также обзорно рассмотрены методы сшивки панорамных изображений и обсуждаются перспективы использования интеллектуальных систем для распознавания и детектирования объектов (машин, препятствий, пешеходов и т.п.) в автоматическом режиме при панорамном видеонаблюдении в реальном времени.

Данные обзоры могут быть полезны при осуществлении исследований по разработке алгоритмов автоматического распознавания нежелательных объектов, попадающих в реальном времени в поле зрения системы панорамного видеонаблюдения, с последующим оповещением водителя о возможной опасности. Подводя итог, можно сделать выводы, что системы кругового обзора находят широкое применение в транспортных системах, помогая водителю лучше ориентироваться в сложной обстановке. Появление интеллектуального автоматического анализа панорамного видеонаблюдения позволит улучшить безопасность при эксплуатации транспортного средства, снижая вероятность ДТП.

Список литературы

1. Суслинников А. Система кругового обзора. [Electronic resource] // SystemAuto. 2015. – URL: http://systemsauto.ru/active/round_review.html.
2. Шевченко Д.Н., Багдасарова О.В., Багдасаров А.А. Панорамные системы кругового обзора // ИНТЕРЭКСПО ГЕО-СИБИРЬ. – 2015. – Vol. 5. – № 2.
3. Шляхтина С. В мире трехмерного панорамного видео. // КомпьютерПресс. 2006. – Vol. 2.
4. USA: Ferris Productions Takes Virtual Reality to a New Level for General Motors. [Electronic resource]. URL: http://www.just-auto.com/news/ferris-productions-takes-virtual-reality-to-a-new-level-for-general-motors_id77547.aspx.
5. RemoteReality | products: HummingBird360. [Electronic resource]. URL: <http://www.remotereality.com/products/>.
6. Anguelov D. et al. Google Street View: Capturing the World at Street Level. // Computer. 2010. Vol. 43, № 6. P. 32–38.
7. Ladybug5 360 Degree USB3: Spherical Camera Systems. [Electronic resource]. URL: <https://www.ptgrey.com/ladybug5-360-degree-usb3-spherical-camera-systems>.
8. Point Grey Product Catalog and Sensor Review. [Electronic resource] // Catalog. 2014. URL: <http://www.ptgrey.com/support/downloads/10291>.
9. iSTAR systems. [Electronic resource] // NCTech. URL: <https://www.nctechimaging.com/istar/>.
10. ProViu@ASL360: Set package. [Electronic resource] // GMC Technology. 2014. URL: http://www.gmctechnology.de/fileadmin/Kundendaten/pdf/Automotive/Set_Package-ASL360-10072014-V03.pdf.
11. Fujitsu 360° Wrap-Around Video Imaging Technology. [Electronic resource]. URL: <http://www.fujitsu.com/us/products/devices/semiconductor/gdc/products/omni.html>.
12. Szeliski R. Image Alignment and Stitching: A Tutorial. Technical Report: MSR-TR-2004-92. [Electronic resource] // Microsoft Research. 2006. URL: <http://research.microsoft.com/apps/pubs/default.aspx?id=70092>.

13. Brown M., Lowe D.G. Recognising panoramas. // Ninth IEEE International Conference on Computer Vision, 2003. Proceedings. 2003. P. 1218–1225 vol.2.
14. Brown M., Szeliski R., Winder S. Multi-image matching using multi-scale oriented patches. // IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2005. CVPR 2005. 2005. Vol. 1. P. 510–517 vol. 1.
15. Szeliski R., Shum H.-Y. Creating Full View Panoramic Image Mosaics and Environment Maps. // Proceedings of the 24th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques. New York, NY, USA: ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co., 1997. P. 251–258.
16. Lowe D.G. Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints. // Int J Comput Vis. 2004. Vol. 60, № 2. P. 91–110.
17. Загидуллин Б.А., Бочкарев В.В. Синтез панорамных изображений с использованием метода SIFT и кластеризующего слоя Кохонена. [Electronic resource] // 35-я конференция молодых ученых и специалистов «Информационные технологии и системы-2012», 19-25 августа, Петрозаводск, Россия. 2012. URL: <http://itas2012.iitp.ru/pdf/1569605373.pdf>.
18. Колдаев В.Д. Создание панорамных изображений в системах технического зрения. [Electronic resource] // Современные информационные технологии / 3. Программное обеспечение. Национальный исследовательский университет «МИЭТ», Россия. 2015. – URL: http://www.rusnauka.com/5_NITS_2015/Informatica/3_186623.doc.htm.
19. Fischler M.A., Bolles R.C. Random Sample Consensus: A Paradigm for Model Fitting with Applications to Image Analysis and Automated Cartography // Commun ACM. 1981. Vol. 24, № 6. P. 381–395.
20. Конушин А. Устойчивые алгоритмы оценки параметров модели на основе случайных выборок [Electronic resource] // Компьютерная Графика и Мультимедиа. Сетевой журнал. 2010. – URL: <http://cgm.computergraphics.ru/content/view/47>.
21. Feature Based Panoramic Image Stitching – MATLAB & Simulink Example. [Electronic resource] // MathWorks. 2015. – URL: <http://www.mathworks.com/help/vision/examples/feature-based-panoramic-image-stitching.html>.
22. Brown M., Lowe D.G. Automatic panoramic image stitching using invariant features. // Int. J. Comput. Vis. 2007. Vol. 74, № 1. P. 59–73.
23. Потанина Д. Быстрое шивание панорамы. [Electronic resource] // Intel® Developer Zone. 2015. URL: <https://software.intel.com/ru-ru/articles/fast-panorama-stitching>.
24. Hugin – Panorama photo stitcher. [Electronic resource] // sourceforge.net. 2015. URL: <http://hugin.sourceforge.net/>.
25. Stitching. Images stitching – OpenCV 2.4.12.0 documentation. [Electronic resource] // OpenCV.org. 2015. URL: <http://docs.opencv.org/2.4/modules/stitching/doc/stitching.html>.