

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ  
INFORMATION SYSTEM AND TECHNOLOGIES**

УДК 004.932.2

DOI: 10.18413/2518-1092-2022-7-4-0-1

Гайворонский В.А.<sup>1</sup>  
Трубицына Д.И.<sup>2</sup>**КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ФОРМИРОВАНИЯ  
ОБЪЕМНЫХ ПАНОРАМНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ**<sup>1</sup>) ООО «Промышленные электронные системы», ул. Михайловское шоссе 121а, г. Белгород, 308000, Россия<sup>2</sup>) Белгородский государственный национальный исследовательский университет,  
ул. Победы д. 85, г. Белгород, 308015, Россия*e-mail: vitalii.g@mail.ru***Аннотация**

В связи с развитием технологий панорамной съемки в рамках одного устройства сегодня существует достаточно ограниченный список устройств регистрации панорамных изображений, большинство из них производят только съемку отдельных кадров с каждого оптического модуля, а в последующем, сшивку производит либо специально обученный человек, или же специально разработанное программное обеспечение, работающее вне устройства съемки. Многокамерные системы позволяют получать панорамные фото и видео данные, на основе которых предполагается построение объемных моделей. Продемонстрированы существующие структуры хранения панорамных изображений. Рассмотрены устройства получения панорамных изображений. Представлены методы получения данных о глубине пространства. В данной статье предлагается проанализировать существующие методы и средства формирования объемного панорамного изображения и предложить их классификацию, которая в дальнейшем необходима при разработке устройств построения цифровой модели пространства в режиме реального времени.

**Ключевые слова:** техническое зрение; компьютерное зрение; панорамное изображение; карты глубины; стереозрение; многокамерные системы

**Для цитирования:** Гайворонский В.А., Трубицына Д.И. Классификация методов и средств формирования объемных панорамных изображений // Научный результат. Информационные технологии. – Т.7, №4, 2022. – С. 3-13. DOI: 10.18413/2518-1092-2022-7-4-0-1

Gaivoronskiy V.A.<sup>1</sup>  
Trubitsyna D.I.<sup>2</sup>**CLASSIFICATION OF METHODS AND MEANS  
OF FORMING THREE-DIMENSIONAL PANORAMIC IMAGES**<sup>1</sup>) Industrial Electronic Systems LLC, 121a Mikhailovskoe shosse, Belgorod, 308000, Russia<sup>2</sup>) Belgorod State National Research University, 85 Pobedy St., Belgorod, 308015, Russia*e-mail: vitalii.g@mail.ru***Abstract**

Due to the development of panoramic shooting technologies within a single device, today there is a fairly limited list of panoramic image recording devices, most of them only shoot individual frames from each optical module, and subsequently, the stitching is done either by a specially trained person, or by specially developed software working outside the shooting device. Multi-camera systems allow you to obtain panoramic photo and video data, on the basis of which it is assumed to build three-dimensional models. The existing structures for storing panoramic images are demonstrated. Devices for obtaining panoramic images are considered. Methods of obtaining data on the depth of space are presented. In this article, it is proposed to analyze the existing

methods and means of forming a three-dimensional panoramic image and propose their classification, which is necessary in the future when developing devices for constructing a digital model of space in real time.

**Keywords:** technical vision; computer vision; panoramic image; depth maps; stereo vision; multi-camera systems

**For citation:** Gaivoronskiy V.A., Trubitsyna D.I. Classification of methods and means of forming three-dimensional panoramic images // Research result. Information technologies. – Т.7, №4, 2022. – P. 3-13. DOI: 10.18413/2518-1092-2022-7-4-0-1

### АНАЛИЗ

Панорамным изображением называются все типы снимков подходящее под одно из следующих описаний:

- 1) Изображения с углом обзора, превышающие человеческий (чаще всего это снимки с углом обзора в 180 градусов и выше);
- 2) Снимки, с использованием «вытянутого» формата, где соотношение сторон соответствует 1х2, 1х3 и выше;
- 3) Изображения, полученные путем соединения отдельных кадров в общую панораму, где каждый кадр имеет стандартный угол обзора и соотношение сторон.

Далее панорамы подразделяются на два типа, это планарная панорама и виртуальная панорама.

Планарная панорама может проецироваться целиком на экран монитора или распечатана на бумажном носителе. Для данной проекции используются прямолинейная панорама [1, 5, 7, 11].

Прямолинейная панорама – панорама, в которой сохраняется геометрия объектов, т.е. прямые линии остаются прямыми. Минусом данных панорам является угол обзора, поскольку при его увеличении, по краям происходит сильное искажение объектов. Угол зрения таких панорам составляет порядка 90-110 градусов (Рисунок 1).



*Рис. 1. Прямолинейная панорама  
Fig. 1. Rectilinear panorama*

Для получения таких панорам используются методы:

- 1) Выделение области кадра, не имеющей ярко выраженной дисторсии.
- 2) Панорамный фотоаппарат с объективом, не имеющим вращения.

В свою очередь, виртуальные панорамы предназначены для демонстрации панорамных изображений с использованием специальных устройств и программного обеспечения, которые, например, за счет очков виртуальной реальности с использованием встроенного гироскопа, позволяют пользователю за счет вращения головой управлять панорамой, достигая эффекта погружения. В основном такие панорамы имеют сферический и цилиндрический вид.

К виртуальным панорамам относятся следующие виды проекций: цилиндрическая, сферическая, кубическая.

Цилиндрическая проекция – проецирование на боковую часть цилиндра. Достигает охват по горизонтали до 360 градусов, по вертикали имеет более существенные ограничения, в основном зависящие от вертикального угла обзора камеры [3, 12].



а



б

Рис. 2. Цилиндрическая панорама, а – свернутая, б – развернутая

Fig. 2. Cylindrical panorama, a – collapsed, b – expanded

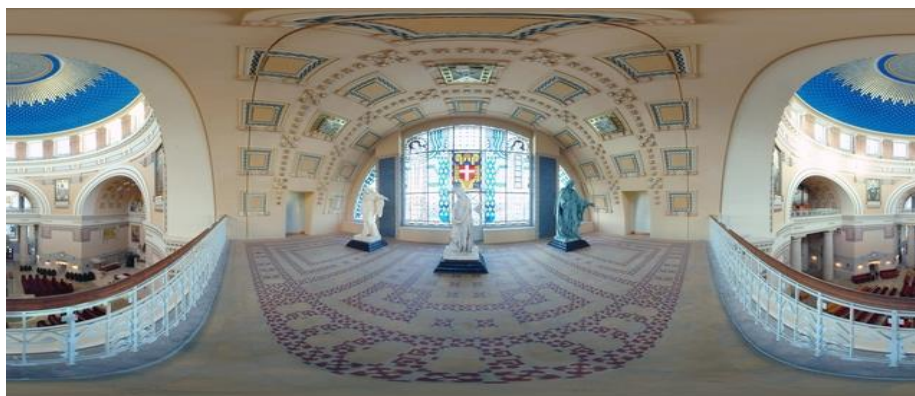
Отличительной особенностью таких панорам (Рисунок 2) является выгибание горизонтальных линий. Длинные прямые объекты в проекции будут иметь вид изогнутых, в следствии, в архитектурной съемке практически не применяются.

Ярко выраженным устройством, для съемки цилиндрических панорам является отечественный фотоаппарат «Горизонт», который, за счет вращения объектива, позволяет одним кадром получить цилиндрическую панораму. Минусом данного фотоаппарата является отсутствие возможности съемки с углом обзора в 360 градусов.

Сферическая (эквидистантная) проекция – следующий тип виртуальных панорам, получается за счет разворота сферы на плоскость. В основе данной проекции лежит собранное изображение, из отдельных кадров в эквидистантную (сферическая панорама, развернутая на плоскости) проекцию. Данная проекция позволяет отобразить изображение с охватом 360x360 градусов, но при этом на проекции будут видны существенные искажения. Данная проекция используется для демонстрации различных виртуальных туров, рекламной демонстрации павильонов и так далее.

Данный вид панорам позволяют снимать обычные фотоаппараты с использованием специального вращающегося штатива, все современные смартфоны поддерживают технологию съемки и последующей сшивки сферических панорам, а также использование специальных устройств, которые позволяют снимать сферическую панораму «одним щелчком», за счет использования большого количества объективов на устройстве.

Ниже (Рисунок 3) представлена развертка сферической панорамы.



*Рис. 3. Развертка сферической панорамы*  
*Fig. 3. Scan of a spherical panorama*

К преимуществам сферической проекции можно отнести полноту охвата пространства и возможное использование всего 2 широкоугольных оптических модулей, но при этом, при построении развертки (Рисунок 3) возможна потеря данных о пикселях, что усложнит процесс построения объемного изображения при использовании данного вида проекции.

Следующим типом является кубическая проекция (Рисунок 4). В данном виде проекции происходит отображение сферы на 6 граней куба, по факту, 6 кадров, снятых с использованием прямолинейной проекции. Сегодня это один из самых распространенных методов построения панорамы.



*Рис. 4. Кубическая проекция*  
*Fig. 4. Cubic projection*

Для просмотра данных проекции используются различные методы отображения панорамных изображений. Самым простым методом просмотра является отображение любого типа панорамы на экране устройства, без специальных устройств просмотра и обеспечения свертки панорам. Данный метод несет в себе большие искажения, что мешает пользователю понять реальную геометрию объектов [3, 5, 8].

Далее рассмотрим методы получения данных о глубине пространства. На сегодняшний день известно несколько методов реконструкции объемного объекта:

- построение на основе вращения оптического модуля вокруг объекта;
- построение на основе стереозрения;
- структуры из освещенности
- проецирование на объект;
- построение карт глубины на основе фокусировки (пленоптическая камера).

К активным методам относятся методы проецирования на объект (инфракрасная проекция, структурированный свет), к пассивным методам относятся методы на основе вращения, стереозрения и системы на основе фокусировки.

Системы проецирования на объект являются наиболее точными системами, суть их работы заключается в том, что на объект проецируется инфракрасная (Рисунок 6), лазерная сетка, или структурированный свет (Рисунок 5).

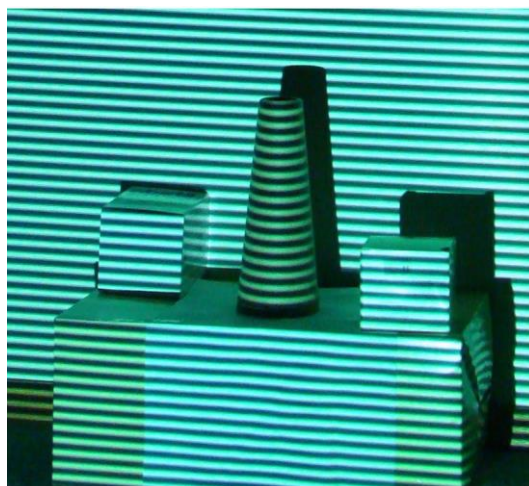
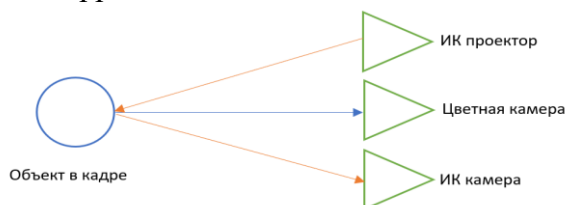
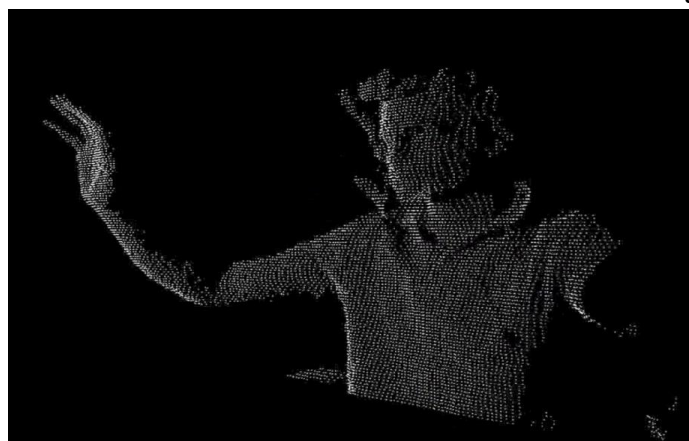


Рис. 5. Излучение структурированного света  
Fig. 5. Structured light emission

На объект проецируется инфракрасная сетка или шаблон из светлых и темных линий. На основе инфракрасной сетки, помимо снимка, передается информация о расположении точек в пространстве – глубина каждого пикселя. На основе данного метода построены такие популярные системы как Microsoft Kinect, Apple FaceID.



а



б

Рис. 6. а – Модель работы инфракрасного проецирования для получения данных о глубине (ИК проектор, оптический модуль, ИК камера), б – пример получения данных ИК проектора  
Fig. 6. a – Model of infrared projection operation for obtaining depth data (IR projector, optical module, IR camera), b – example of obtaining IR projector data

К преимуществам данного метода можно отнести скорость работы, точность построения и более низкие требования к вычислительным ресурсам. Недостатком метода является дальность использования, и активный метод проецирования, что исключает использование в системах безопасности и неприменимо при использовании оптических модулей без инфракрасного фильтра, так как проецируемая сетка будет отображаться на снимках.

При использовании структурированного света производится расчет на основе искривления линий. Так как известны начальные данные о шаблоне, на основе искривлений появляется возможность рассчитать форму объекта и расстояние до него. К недостаткам стоит отнести отсутствие работы данного метода при ярком освещении, и использование самого проектора.

Системы построения глубины на основе пленоптической камеры (Рисунок 7) позволяют получать данные о глубине за счет использования микролинз перед матрицей.

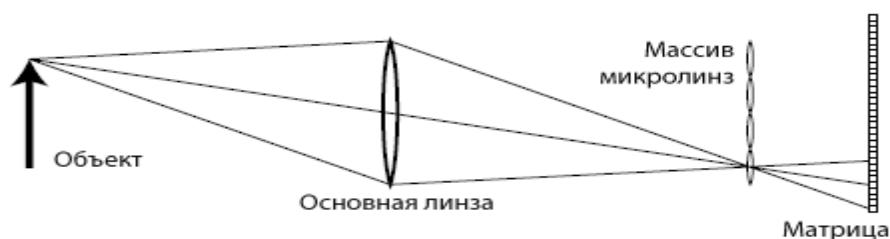
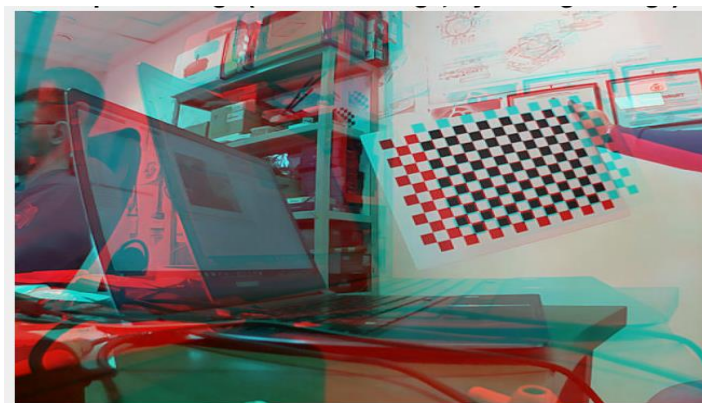


Рис. 7. Пример пленоптической камеры  
Fig. 7. Example of a plenoptic camera

В классической камере свет, приходящий с разных точек линзы в одну точку матрицы, интегрируется и сохраняется как значение яркости пикселя в этой точке. В пленоптической же камере перед матрицей стоит массив микролинз, каждая микролинза распределяет пришедшие в неё световые лучи в разные участки матрицы, за счет чего все объекты находятся в фокусе.

Недостатком данной системы является использование специальных оптических модулей, где точность построения обуславливается количеством микролинз, используемых в модуле для получения данных о глубине. Так, например, в современных устройствах чаще всего встречается массив линз, состоящий из двух элементов, позволяющий на близком расстоянии определить объект на переднем плане, но для получения корректных данных о глубине этого будет недостаточно. При использовании большего массива линзкратно возрастает цена конечного устройства [6, 9].

Стереозрение и системы на основе вращения являются наиболее интуитивными, схожими (так как вращение камеры является частным случаем стереозрения, где камеры расположены на дуге вращения). Данные методы интуитивно понятны и используют систему получения данных о глубине, схожей с человеческим зрением. Данный метод использует минимум две камеры, направленные на объект, необходимо знать расположение камер относительно друг друга, на основе пересечения на снимках, могут быть найдены соответствия на снимках, которые являются заведомо одним и тем же объектом в пространстве. Данные об объеме получаются за счет того, что объекты находятся на разном расстоянии от оптических модулей и имеют различное угловое смещение (Рисунок 8), чем ближе объект к оптическому модулю, тем больше смещение. Зная данные о камерах и их расположение можно рассчитать относительные расстояния от оптического модуля до каждого из объектов и построить карту глубины.



*Рис. 8. Пример совмещенных снимков, полученных с двух камер*  
*Fig. 8. Example of combined images taken from two cameras*

Данный метод является оптимальным, так как он является пассивным, нет необходимости использовать дополнительные системы для получения данных о глубине, данный класс устройств уже широко представлен на рынке, при использовании разрабатываемого метода появляется возможность использовать потребительские системы для получения объемного изображения. Точность построения объемной модели можно повысить за счет увеличения количества оптических модулей, за счет расположения под разными углами относительно объекта и увеличение количества данных об объекте.

### **КЛАССИФИКАЦИЯ**

В ходе анализа были рассмотрены методы получения панорамных снимков. На основе анализа устройства для съемки сферических панорам подразделяются на несколько типов: устройства с широкоугольным объективом, смартфоны (с возможностью вести съемку за счет перемещения устройства, или многокамерные встроенные системы), камеры позволяющие производить съемку одним объективом и производить сшивку встроенным программным обеспечением, а также камеры, поддерживающие от двух и более оптических модулей с возможностью одновременной съемки (Рисунок 9) [2].

Ниже приведены сравнение характеристик и возможностей применения каждого из классов устройств.

К первому классу устройств относятся фото и видео аппаратура, с использованием широкоугольных объективов, более 110 градусов (угол зрения человека). Данные устройства предполагают достаточно простой сценарий использования, без каких-либо операций соединения полученных снимков в единую панораму. К плюсам данного класса устройств можно отнести:

- скорость работы;
- качество съемки;
- отсутствие дополнительной обработки.

К минусам следует отнести следующие факторы:

- невозможность получить полную сферическую панораму;
- искажение объектов за счет угла обзора;
- дороговизна устройств.

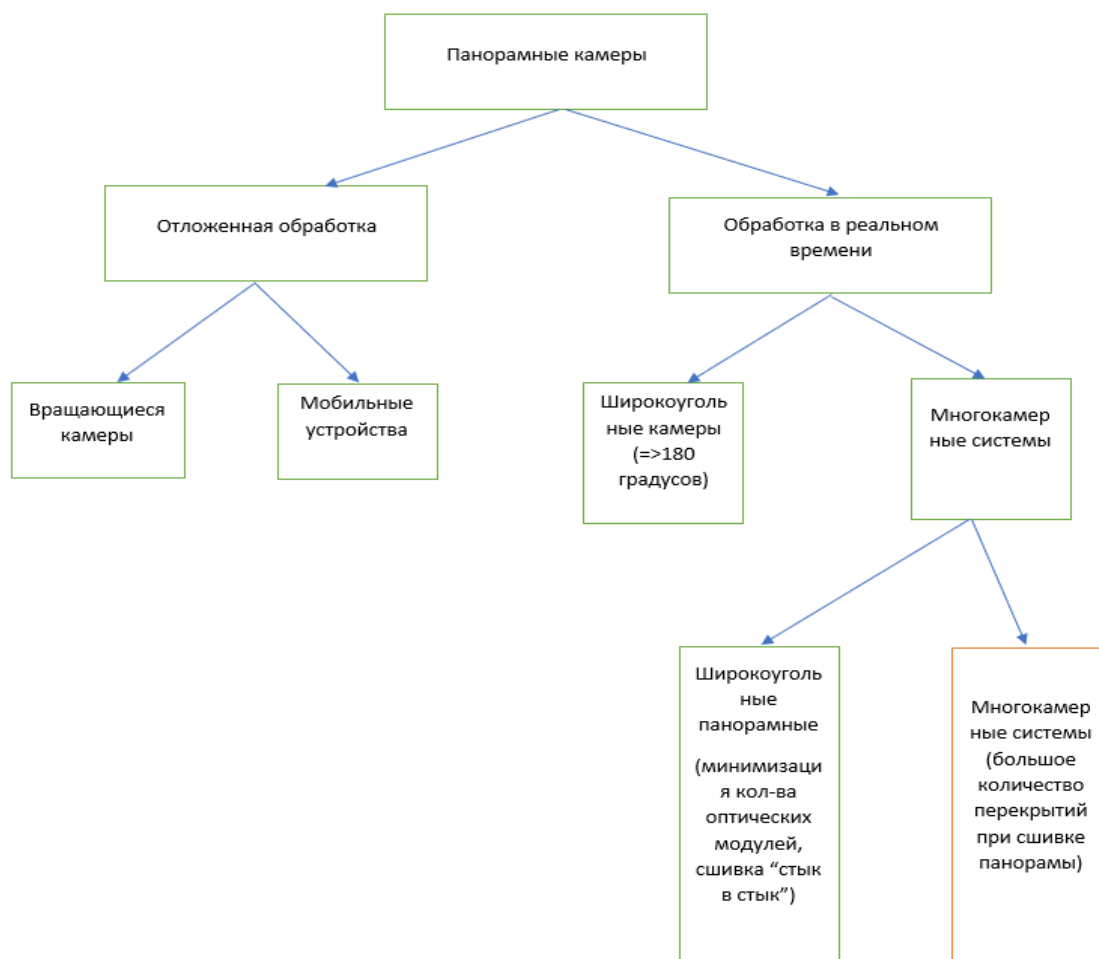


Рис. 9. Классификация устройств регистрации панорамных изображений  
Fig. 9. Classification of panoramic image recording devices

Вторым классом устройств являются смартфоны и камеры с возможностью сшивки полученных снимков за счет встроенного программного обеспечения. Данный класс устройств на данном этапе является самым массовым на рынке, каждый потенциальный пользователь имеет возможность производить панорамную съемку имея лишь смартфон и специальное программное обеспечение.

Основной идеей этого класса устройств является ПО, которое делает большое количество снимков, размещая их внутри плоскости цилиндра, тем самым сшивая их за счет показаний гироскопа (он позволяет точно обозначить в каком положении устройства был произведен снимок, для его правильного размещения).

Плюсами являются:

- доступность технологии;
- отсутствие специальных навыков съёмки;
- отсутствие привязки к устройству.

К минусам следует отнести:

- отсутствие режима видеосъемки;
- панорама снимается в течение длительного времени (из-за использования одного оптического модуля);
- качество полученного снимка.



Третий класс устройств является достаточно молодым и на сегодняшний день только развивается, порой не имея конкурентов по определенным параметрам. Данные устройства имеют от двух оптических модулей, обычно при использовании минимального количества оптических модулей, используются максимально широкие углы обзора – 180 градусов, при этом, используя большее количество оптических модулей, снижается необходимость использовать широкоугольные объективы, и как было сказано ранее, снижаются искажения, полученные им же.

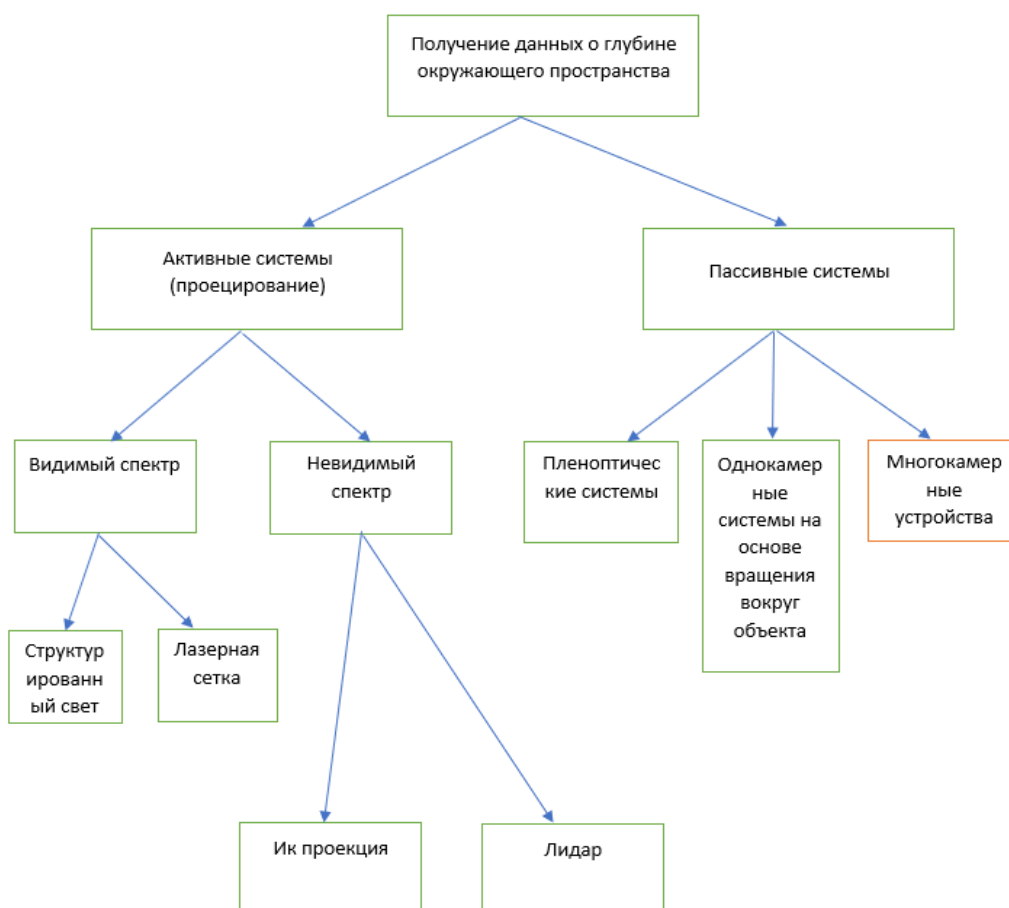
Плюсами данных устройств являются:

- компактность;
- простота использования;
- отсутствие постобработки (на некоторых моделях);
- полная сферическая панорама.

Но в связи с недавним появлением, данный класс устройств имеет и достаточно весомые минусы:

- не все устройства умеют снимать в высоком качестве;
- съемка и сшивка видео производится не внутри устройства;
- необходимы навыки обработки и сшивки полученных изображений.

Далее, на основании анализа методов получения данных о пространстве, проведена классификация, представленная на рисунке 10.



*Рис. 10. Классификация методов получения данных глубины пространства  
Fig. 10. Classification of methods for obtaining space depth data*

На основе анализа и классификации для решения поставленных задач наиболее приемлемым является пассивный метод получения данных о пространстве на основе многокамерных систем. Данный метод является оптимальным, так как он является пассивным, нет необходимости

использовать дополнительные системы для получения данных о глубине, данный класс устройств уже широко представлен на рынке, при использовании разрабатываемого метода появляется возможность использовать потребительские системы для получения объемного изображения. Точность построения объемной модели можно повысить за счет увеличения количества оптических модулей, за счет расположения под разными углами относительно объекта и увеличение количества данных об объекте.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

На основе проведенного анализа была построена классификация устройств получения данных о пространстве, были выявлены их недостатки и преимущества и был выбран подход, основанный на использовании пассивного метода получения данных о пространстве, за счет применения исключительно оптических модулей многокамерной системы и отсутствия активных источников получения данных о пространстве. Исходя из методов получения данных о пространстве, выделяются два метода: активный и пассивный. Активный метод является наиболее простым, так как данные о глубине берутся непосредственно из отдельного устройства, но при этом, главным недостатком является невозможность использования в устройствах без активного датчика (лидар, проектор и т.д.) и не применим в различных сценариях, например, нельзя использовать в системах безопасности, так как активная система будет сразу визуально определена. Пассивные системы позволяют использовать существующие устройства, при приемлемой точности, при этом сохраняя как “невидимость” для пользователя, так и уменьшая себестоимость конечного устройства.

Были так же классифицированы системы получения панорамных изображения, для исследования возможности их применения для построения данных о пространстве. Был сделан вывод, что многокамерные системы, наиболее подходящий класс устройств, для получения данных о пространстве в реальном масштабе времени, так как при использовании таких систем данные со всех источников принимаются одновременно, тем самым позволяя организовать синхронизации снимков и организовать их параллельную обработку.

### **Список литературы**

1. Анисимов Б.В., Курганов В.Д., Злобин В.К. 1983. Распознавание и цифровая обработка изображений. М.: Высшая школа.
2. Гайворонский В.А. 2022. Подход к созданию объемного панорамного изображения на основе пассивных методов определения карт глубины. Информационные системы и технологии. с. 24-29.
3. Гонсалес Р., Вудс Р. 2006. Цифровая обработка изображений. М.: Техносфера.
4. Журавель И.М. 1999. Краткий курс теории обработки изображений. М.
5. Кравченко В., Басараб М., Волосюк В., Горячкин О., Зеленский А., Ксендзук А., Кутуза Б., Лукин А., Тоцкий А., Яковлев В. 2007. Цифровая обработка сигналов и изображений. М.: ФИЗМАТЛИТ.
6. Красильников Н.Н. 2011. Цифровая обработка 2D- и 3D-изображений: Учебное пособие. СПб.: БХВ-Петербург.
7. Рудаков П.И., Сафонов И.В. 2000. Обработка сигналов и изображений. М.: Диалог-МИФИ.
8. Савельева И.П. 2011. Панорамное фото. М.
9. Сергиенко А.Б. 2002. Цифровая обработка сигналов: Учебное пособие для студентов вузов. СПб.: Питер.
10. Шапиро Л., Стокман Дж. 2006. Компьютерное зрение. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний.
11. Яншин В.В. 1995. Анализ и обработка изображений: принципы и алгоритмы. М.: Машиностроение.
12. Konstantinov I.S., Lazarev S.A., Rubcov K.A., Maslakov Y.N. 2016. Algorithms in Portable Digital Device UHDTV Panoramic Image Formation. Application of information and communication - AICT2016: Conference proceedings. Baku, Azerbaijan. P. 449-451.

13. Konstantinov I.S., Lazarev S.A., Rubcov K.A., Maslakov Y.N., Gaivoronskiy V.A. 2018. Method For Improving Image Recognition In Portable Panoramic Video Capture Devices. Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems, Volume 10, Issue 10 Special Issue. P. 1871-1878.

### References

1. Anisimov B.V., Kurganov V.D., Zlobin V.K. 1983. Recognition and digital image processing. Moscow: Higher School.
2. Gaivoronskiy V.A. 2022. An approach to creating a three-dimensional panoramic image based on passive methods for determining depth maps. Information systems and technologies. pp. 24-29.
3. Gonzalez R., Woods R. 2006. Digital image processing. Moscow: Technosphere.
4. Zhuravel I.M. 1999. A short course in the theory of image processing. M.
5. Kravchenko V., Basarab M., Volosyuk V., Goryachkin O., Zelensky A., Ksenzuk A., Kutuza B., Lukin A., Totsky A., Yakovlev V. 2007. Digital signal and image processing. M.: FIZMATLIT.
6. Krasilnikov N.N. 2011. Digital processing of 2D and 3D images: A textbook. St. Petersburg: BHV-Petersburg.
7. Rudakov P.I., Safonov I.V. 2000. Signal and image processing. Moscow: Dialog-MEPhI.
8. Savelieva I.P. 2011. Panoramic photo. M.
9. Sergienko A.B. 2002. Digital signal processing: A textbook for university students. St. Petersburg: Peter.
10. Shapiro L., Stockman J. 2006. Computer vision. M.: BINOM. Laboratory of knowledge.
11. Yanshin V.V. 1995. Image analysis and processing: principles and algorithms. M.: Mechanical Engineering.
12. Konstantinov I.S., Lazarev S.A., Rubcov K.A., Maslakov Y.N. 2016. Algorithms in Portable Digital Device UHD TV Panoramic Image Formation. Application of information and communication – AICT2016: Conference proceedings. Baku, Azerbaijan. P. 449-451.
13. Konstantinov I.S., Lazarev S.A., Rubcov K.A., Maslakov Y.N., Gaivoronskiy V.A. 2018. Method For Improving Image Recognition in Portable Panoramic Video Capture Devices. Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems, Volume 10, Issue 10 Special Issue. P. 1871-1878.

**Гайворонский Виталий Александрович**, инженер-программист

**Трубицына Диана Игоревна**, кандидат технических наук, доцент кафедры информационно-телекоммуникационных систем и технологий

**Gaivoronskiy Vitaliy Alexandrovich**, software engineer

**Trubitsyna Diana Igorevna**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Information and Telecommunication Systems and Technologies