УДК 535.317.2

ПАНОРАМНАЯ ВИДЕОКАМЕРА

© 2007 г. **В. А. Соломатин**, доктор техн. наук

Московский государственный университет геодезии и картографии, Москва

E-mail: vsolomatin@mail.ru

Панорамная видеокамера разработана с целью демонстрации возможностей построения систем кругового обзора, в которых используется панорамный зеркально-линзовый объектив (панорамная кольцевая линза). Панорамные фото- и видеосистемы могут найти применение при контроле полостей (труб, колодцев, шахт), при обнаружении и регистрации быстропротекающих процессов (пусков ракет, взрывов), в системах ориентации и навигации космических летательных аппаратов и при решении многих других задач, в которых требуется обзор пространства в области, близкой к полусфере.

Коды OCIS: 110.0100.

Поступила в редакцию 16.07.2007.

Расширение углового поля объектива, дающего декартово плоское изображение пространства, ограничено в том числе (а может быть и прежде всего) проекционными соображениями, поскольку линейное поле оптической системы в пространстве изображения неограниченно (тангенциально) возрастает при увеличении углового поля в пространстве предметов. Но идея создания оптической системы, способной обозревать полусферу, более ста лет занимает оптиков и была впервые реализована в виде кольцевой отражающей линзы Манжена. Оптическая ось объектива обычно перпендикулярна декартовым плоскостям пространства предметов и пространства изображения. Так, например, строится изображение в объективе, известном как "рыбий глаз" [1, 2]. В линзе Манжена оптическая ось, проходящая через центры сферических или асферических поверхностей, повернута на 90° по отношению к направлению визирования. Такая оптическая система "смотрит боком" и имеет угловое поле, дающее изображение пространства в форме кольца (кольцевое поле). Идея Манжена была развита в конструкциях зеркально-линзовых объективов, предложенных Д. Бучеллом (D. Buchele), Я. Повеллом (I. Powell) и П. Грегуссом (P. Greguss), получивших название "панорамные кольцевые линзы" (PAL-линзы).

Один из оригинальных вариантов конструкции панорамного зеркально-линзового объектива был предложен и в Московском государственном университете геодезии и картографии [3]. В отличие от известных систем разработанный нами объектив не имеет асферических поверхностей и обладает большим угловые полем. Оптическая схема объектива с ходом двух главных лучей приведена на рис. 1. Объектив представляет собой моноконструкцию, ограниченную четырьмя поверхностями: первая поверхность – сферическая преломляющая, вторая и третья поверхности – сферические отражающие, четвертая – плоская преломляющая. Луч **Q** ($\mathbf{Q}_1$, $\mathbf{Q}_2$, $\mathbf{Q}_3$, $\mathbf{Q}_4$) идет под максимальным углом (близким к горизонту), луч **T** ($\mathbf{T}_1$, $\mathbf{T}_2$, $\mathbf{T}_3$, $\mathbf{T}_4$) – под минимальным углом (близким к надиру).

Угловое поле в пространстве предметов составляет 360° по азимуту и может достигать 75°–80° по углу места в зависимости от конструкции объектива. Глубина изображаемого пространства простирается от первой поверхности объектива до бесконечности. Кольцевое изображение формируется внутри объектива, и для анализа изображения требуется оптическая система переноса изображения, например, на фотопленку или ПЗС-камеру. Поэтому панорамный зеркально-линзовый объектив обычно является лишь одним из компонентов панорамной оптической или оптико-электронной системы (будем называть его далее панорамным зеркально-линзовым компонентом – ПЗЛК). В этом состоит одна из особенностей ПЗЛК. Другими являются, как уже отмечалось, кольцевая форма изображения, беско-

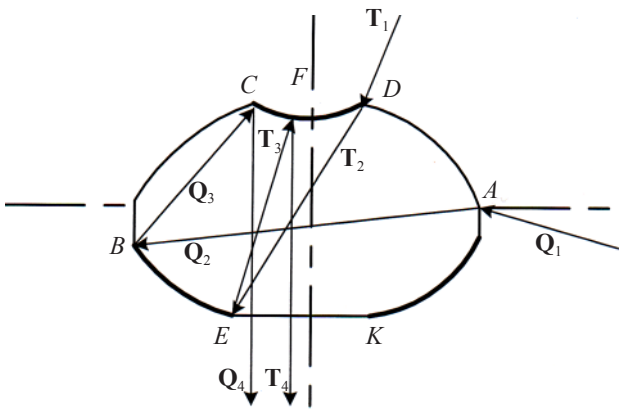


Рис. 1. Оптическая схема панорамного компонента с ходом лучей.

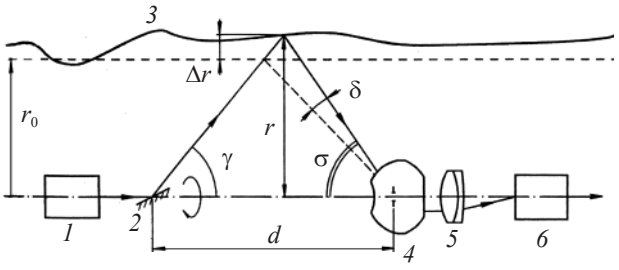


Рис. 2. Схема контроля полостей методом сечений. 1 – лазер, 2 – вращающееся зеркало, 3 – полость, 4 – ПЗЛК, 5 – объектив, 6 – ПЗС-камера.

нечная глубина изображаемого пространства, и к ним следует добавить практическую афокальность ПЗЛК и малые размеры входного зрачка (при габаритном диаметре ПЗЛК порядка 60 мм входной зрачок может иметь диаметр около 2 мм и относительное отверстие 1:1,5–1:2). Эти особенности определяют довольно обширные области использования ПЗЛК в системах различного назначения. Вот лишь несколько примеров.

Наиболее очевидным применением ПЗЛК являются системы контроля полостей. Действительно, "боковое зрение", цилиндрическая проекция, отсутствие дефицита потока при подсветке полости, практически бесконечная глубина изображаемого пространства, компактность конструкций – все это позволяет применять ПЗЛК в системах визуального контроля внутренних поверхностей труб, колодцев, дымоходов, шахт. Возможна, например, диагностика стыков труб, обнаружение коррозии, повреждений, дефектов, что часто необходимо при технической эксплуатации атомных электростанций, нефте- и газопроводов, ракетных двигателей, где многие компоненты должны периодически осматриваться во избежание аварий. Проблема миниатюризации, актуальная во многих случаях, может решаться, например, путем использования волоконно-оптических систем.

В том случае, когда требуется исследовать профиль полости (задача профилометрии), можно использовать предложенный нами метод сечений, схема реализации которого показана на рис. 2. Лучом лазера сканируется профиль полости, при этом траектория луча наблюдается с помощью ПЗС-камеры, снабженной ПЗЛК. Через углы γ, σ и δ может быть определено отклонение Δr профиля от номинального размера r_0 как функция угла поворота зеркала *2*.

Другой возможной областью применения ПЗЛК являются системы обнаружения и измерения координат импульсных целей, таких как факел при пуске ракеты или взрыв. Системы такого рода должны либо включать обзорную сканирующую систему, либо состоять из нескольких каналов, перекрывающих в совокупности требуемое угловое поле. В первом случае быстродействие механических или оптико-механических сканирующих систем может оказаться недостаточным и при этом возрастает вероятность пропуска цели. Второй путь – построение многоканальных систем – чреват проблемами стыковки угловых полей и обычно приводит к громоздким конструкциям. Системы с ПЗЛК лишены этих недостатков, однако их использование ограничено энергетическими соотношениями. Когда же таких ограничений нет, преимущества систем с ПЗЛК становятся очевидными. Нам удалось рассчитать оптическую систему с ПЗЛК, имеющую входной зрачок диаметром 14 мм, что в определенных случаях достаточно даже для слабых источников излучения.

Отказ от сканирования при обзоре полусферы позволяет использовать ПЗЛК в быстродействующих системах астроориентации по звездам и Солнцу, в построителях местной вертикали для орбитальных систем ориентации космических летательных аппаратов. Пример возможного использования ПЗЛК в системах астроориентации приведен в [4]. Важно, что построители местной вертикали с ПЗЛК могут работать в большом диапазоне высот орбит, так как масштабирование изображения легко достигается оптической системой переноса изображения с ПЗЛК на приемник излучения.

При использовании ПЗЛК в контрольно-измерительных системах существенно, что азимутальный угол в пределах 360° передается без искажений, а высотный угол однозначно связан с радиальной координатой. Это обстоятельство указывает на возможность построения углоизмерительных систем и преобразователей угловых перемещений при условии разработки концептуально новых многоэлементных приемников излучения с чувствительной областью в виде кольца. Такие преобразователи могут стать недорогими и компактными устройствами, используемыми в контрольно-измерительной технике и робототехнике. В [5] описана система навигации радиоуправляемых мобильных роботов, в которой управление осуществляется на двух уровнях: "грубая" навигация основана на использовании GPS, а "точная" базируется на видеосистеме с ПЗЛК, дающей изображение предметов на расстоянии в несколько метров.

Заманчивой представляется разработка фото- и видеосистем, позволяющих получить "обычное", а не кольцевое панорамное изображение. Принципиально преобразование "кольца в прямоугольник" трудностей не представляет и возможно в реальном времени, но, очевидно, требует применения соответствующих технических средств, например, вклю-



Рис. 3. Панорамное фотоизображении.

чения в видеокамеру определенных компьютерных блоков.

Примеры возможных применений ПЗЛК можно было бы продолжить, но во всех случаях приходится говорить лишь о возможностях, а не о реальном использовании. Объяснение этому найти трудно, хотя можно предположить, что некоторые материалы просто не публикуются. И если в зарубежных изданиях время от времени появляются статьи о проектах систем с ПЗЛК, об исследованиях макетных или экспериментальных образцов, то в России нам приходится сталкиваться с некоторым скептическим отношением к возможностям построения таких систем и перспективам их использования и выслушивать доводы в том смысле, что “бумага все терпит”, а реальных образцов пока не существует. Чтобы разубедить скептиков, мы разработали несколько вариантов ПЗЛК в качестве насадок к фотоаппаратам и видеокамерам. На рис. 3 представлена фотография панорамы Гороховского переулка в Москве, где находится здание Московского государственного университета геодезии и картографии (особняк Демидовых, арх. М. Казаков). Фотография получена фотоаппаратом “Зенит”, снабженным ПЗЛК-насадкой. Кольцевое изображение панорамы развернуто в прямоугольное.

Более широкие функциональные возможности имеет видеокамера SONY, для которой нами разработана ПЗЛК-насадка. Камера позволяет получать панорамное изображение в реальном времени, осуществлять масштабирование, фокусировку, делать цифровые снимки, т. е. реализовывать все возможности камеры в режиме панорамной съемки. На рис. 4 представлена видеокамера на штативе, на



Рис. 4. Видеокамера на штативе.

рис. 5 – пример изображения, полученного с помощью видеокамеры. Текст “Панорамная видеокамера” написан на листе бумаги, которая затем была свернута в трубку. Надпись свободно “читается” камерой, помещенной внутрь бумажной трубки. Видеокамера SONY с ПЗЛК-насадкой не предназна-

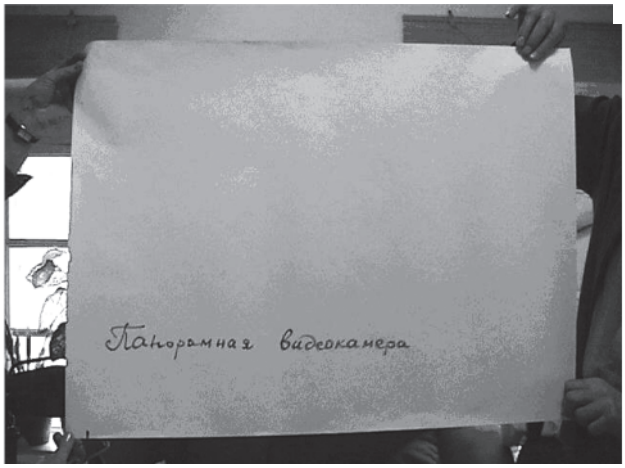




Рис. 5. Пример изображения полости.

чена для конкретного использования, но она достаточно убедительно, на наш взгляд, демонстрирует возможности использования ПЗЛК при решении указанных выше задач.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Scheibel J.* Alles uber Fisheye Objektive (I) //Moderne Fototechnik. 1971. № 10. С. 546–551.

2. *Scheibel J.* Alles uber Fisheye Objektive (II) // Moderne Fototechnik. 1971. № 11. С. 614–617.

3. *Куртов А.В., Соломатин В.А.* Панорамный зеркально-линзовый объектив // Патент России № 2185645. 1999.

4. *Stedham M., Banerjee P.* The Panoramic Annular Lens Attitude Determination System (PALADS) // Proc. SPIE. 1995. V. 2466. P. 108–118.

5. *Vamossy Z., Toth A., Hirschberg P.* PAL Based Localization Using Pyramidal Lucas-Kanade Feature Tracker // 2-nd Serbian-Hungarian Joint Symposium on Intelligent Systems. 2004. P. 223–231.