

УДК 681.78

## ПАНОРАМНЫЕ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫЕ УСТРОЙСТВА КРУГОВОГО И СЕКТОРНОГО ОБЗОРА

**Николай Владимирович Прудников**

Межведомственный центр аналитических исследований в области физики, химии и биологии при Президиуме РАН, 119333, Россия, Москва, ул. Вавилова, д. 44, корп. 2, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник, тел. (499)135-20-58, e-mail: mzairan@ipiran.ru

**Виктор Брунович Шлишевский**

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, д. 10, доктор технических наук, профессор кафедры наносистем и оптоэлектроники, тел. (383)343-91-11, e-mail: kaf.nio@ssga.ru

Приведены результаты исследований по определению возможностей создания панорамных оптико-электронных систем (ПОЭС) кругового и секторного обзора, обладающих высоким быстродействием и однородным по полю осматриваемого пространства угловым разрешением. Пространственное разрешение ПОЭС определяется количеством телевизионных или тепловизионных камер и массивом фоточувствительных элементов матричного фотоприемника в каждом из каналов. Процессорные средства ПОЭС обеспечивают возможность выбора и детального просмотра наиболее интересных фрагментов и деталей фоноцелевой обстановки. Многоканальный принцип построения оптического звена ПОЭС позволяет реализовать одновременно высокое однородное угловое разрешение по всему полю обзора и высокую чувствительность при сохранении скорости (частоты) обновления получаемых изображений. При этом на электронную часть возлагается решение задач обработки данных со скоростью, обеспечивающей обнаружение всей совокупности вновь возникающих объектов и предметов, попадающих в поле зрения ПОЭС. Представлены варианты и примеры разработанных макетных образцов модулей смотрящих ПОЭС кругового обзора.

**Ключевые слова:** панорамная оптико-электронная система, оптический панорамный блок, микропроцессорные средства обработки сигналов, цифровая обработка сигналов, панорамные объективы, программируемая логическая интегральная схема, фотоприемное устройство, микроболометрические матрицы.

## ALL-ROUND LOOKING OPTOELECTRONIC SURVEILLANCE SYSTEMS

**Nikolay V. Prudnikov**

Interdepartment Center of Analytical Research in Physics, Chemistry and Biology at the Presidium of Russian Academy of Sciences, 119333, Russia, Moscow, 44 Vavilov St., Build. 2, D. Sc., Professor, Chief Researcher, tel. (499)135-20-58, e-mail: mzairan@ipiran.ru

**Viktor B. Shlishevsky**

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., D. Sc., Professor of Department Nanosystems and Optical Devices, tel. (383)343-91-11, e-mail: kaf.nio@ssga.ru

The article shows the results of the research defining the possibilities of creating panoramic optical – electronic systems (POES) of all-round and sector look, possessing high-speed operation and homogeneous angular resolution on the field of space under surveillance. Spatial resolution of

POES is determined by a number of television or thermo vision cameras and photosensitive element array of photodetector in each channel. Processing means of POES provides the detailed vision of the most interesting fragments and detailed target environment. Multichannel construction of optic part of POES allows both high homogeneous angular resolution on all the field of view and high sensitivity and speed (frequency) of updating images. At this, electronic part should process data at the speed high enough to observe all the objects and items getting into the field of view of POES. There represented the variants and samples of prototype modules of all-round looking POES.

**Key words:** panoramic optical-electronic system, optical panoramic unit, microprocessor means for processing of signals, digital signal processing, panoramic lenses, programmable logic integrated circuits, photodetector, microbolometric matrix.

### *Введение*

Проблема своевременного обнаружения факторов, приводящих к возникновению чрезвычайных ситуаций (ЧС) на объектах государственной важности (например, ядерных), была и остается актуальной по многим причинам. Это – трудности прогнозирования и необходимость своевременного выявления причин и источников экологических бедствий и других опасностей, обнаружение на начальной стадии и предотвращение возможного возникновения пожаров, предотвращение возможности несанкционированного доступа, необходимость постоянного мониторинга окружающей обстановки и воздушного пространства в зоне объекта с целью предотвращения террористических угроз с применением новейших средств (например, беспилотных летательных аппаратов), необходимость постоянного совершенствования традиционных охранных систем видеонаблюдения и видеоконтроля и т. д.

Очевидно, что для предотвращения возможности возникновения ЧС необходим набор мер и средств, позволяющих осуществлять непрерывный круглосуточный мониторинг всех элементов и секторов окружающего пространства. При этом важно, чтобы средства обнаружения были надежны, обладали максимальными быстродействием и чувствительностью, а также позволяли осуществлять оперативную обработку и передачу видеoinформации в реальном масштабе времени при приемлемых массогабаритных и стоимостных показателях.

Одним из путей решения совокупности перечисленных проблем является создание нового поколения быстродействующих многоканальных и одноканальных спектрональных оптико-электронных систем (ОЭС) кругового (с азимутальными углами  $360^\circ$ ) и секторного (с азимутальными углами  $120^\circ$  и  $180^\circ$ ) обзора с высоким пространственным разрешением, способных решать задачи в широком диапазоне освещенностей [1–10].

Панорамные ОЭС (ПОЭС) обладают рядом существенных преимуществ перед радиолокационными средствами при обнаружении и идентификации малоразмерных высокоманевренных объектов, поскольку позволяют обеспечить принципиально более высокое пространственное разрешение и точность определения угловых координат объектов, имеют значительно меньшие массу, габариты и стоимость.

Создание ОЭС с большими углами зрения за счет расширения мгновенного поля зрения одиночных телевизионных (ТВ) и тепловизионных (ТпВ) камер путем использования широкоугольных объективов неизбежно связано с уменьшением их фокусного расстояния. Из-за этого снижаются дальность обнаружения и угловое пространственное разрешение, что влечет за собой недопустимо высокий рост геометрических искажений, а следовательно, и ошибок определения угловых координат.

В настоящее время потенциальные возможности и резервы по совершенствованию ПОЭС с одиночными ТВ- и/или ТпВ-камерами практически исчерпаны, если не принимать во внимание практику замены фоточувствительных сенсоров на более совершенные.

### *Сканирующие и несканирующие панорамные оптико-электронные системы*

Существуют две разновидности ОЭС, способных осуществлять видеоконтроль в широких угловых полях. Это – 1) сканирующие ОЭС и 2) ОЭС смотрящего типа (несканирующие).

Сканирующие ОЭС осуществляют последовательный обзор (осмотр) пространства, что во многих случаях не дает требуемого быстродействия. Попытки повысить его за счет увеличения скорости сканирования приводят к снижению эффективной чувствительности ОЭС, препятствуя тем самым их использованию в условиях низкой освещенности [11].

Одним из путей радикального повышения быстродействия является отказ от сканирования пространства и переход к так называемым ПОЭС «смотрящего» типа с многоэлементными (матричными) приемниками излучения (МПИ) [12]. В подобных системах каждый фоточувствительный элемент (ФЧЭ) МПИ постоянно «осматривает» один и тот же элемент (фрагмент) пространства, а совокупности ФЧЭ постоянно осматривают выделенный приемнику сектор (зону) пространства. Указанные ОЭС позволяют осуществлять круговой обзор и обладают бесспорным преимуществом в тех случаях, когда требуются максимально возможное быстродействие, дальность действия и чувствительность.

Смотрящие ПОЭС можно, в свою очередь, разделить на две подгруппы – одноканальные и многоканальные. К одноканальным относятся системы с одним матричным приемником (датчиком) изображения. В настоящее время существует большое разнообразие одноканальных ПОЭС. Основным оптическим звеном в них является специальный панорамный объектив кругового обзора. Это либо зеркальные объективы с особыми отражающими поверхностями сложной формы (профиля), либо зеркально-линзовые объективы кругового обзора, либо оптические панорамные блоки (ОПБ), либо специальные оптические насадки и т. д. [13–16].

В качестве примера на рис. 1 представлена схема ОПБ, разработанного в «НИУ «МЭИ». Устройство позволяет наблюдать окружающую обстановку в азимутальном угловом поле  $360^\circ$  и с углом места до  $30\text{--}40^\circ$ . При этом для

нижней границы угла места возможны отрицательные значения, т. е. допустим обзор ниже горизонтальной плоскости. Последнее обстоятельство весьма немаловажно при ведении наблюдений с различного рода возвышений.

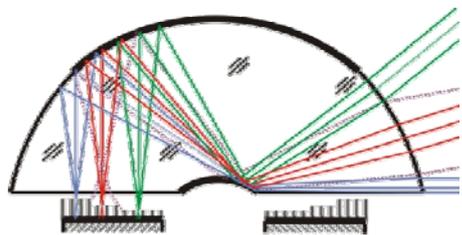


Рис. 1. Принципиальная схема ОПБ ПОЭС



Рис. 2. Внешний вид ОПБ с секцией переноса изображения

На рис. 2 показан внешний вид ОПБ с секцией переноса оптического изображения на фоточувствительную поверхность МПИ, а на рис. 3 – пример формируемого изображения.



Рис. 3. Изображение, формируемое ОПБ на фотоприемнике

Для более удобного восприятия окружающего пространства кольцевое изображение программным путем трансформируют в плоское [17, 18]. На рис. 4 полное круговое изображение разбито на два секторных изображения (верхняя и нижняя части) с азимутальными углами по  $180^\circ$  каждое. Сетка угловых координат на изображении может быть привязана к координатам на местности, что позволяет определять направление на интересующий оператора объект.

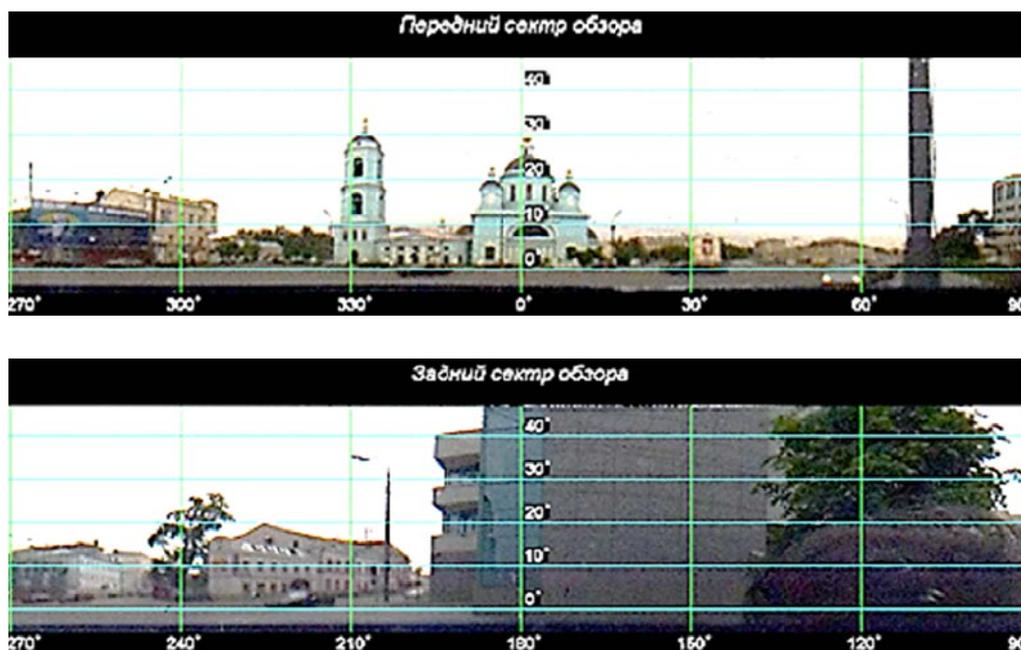


Рис. 4. Кольцевое изображение, развернутое на плоскость

Главные достоинства одноканальных панорамных систем:

- простота конструкции;
- относительно небольшие габариты и вес;
- отсутствие механических перемещений (сканирования), что делает их весьма надежными, простыми в эксплуатации и практически не требующими обслуживания;
- малое энергопотребление, что необходимо для обеспечения длительной автономной бесперебойной работы ПОЭС.

Принципиальный недостаток – проблема обеспечения однородного пространственного разрешения по всему полю обзора [19]. Поэтому одноканальные ОЭС кругового обзора обычно используют в тех случаях, когда не нужно высокое угловое разрешение и допустимы искажения перспективы.

На рис. 5 и 6 даны примеры схем построения системы из нескольких панорамных датчиков изображений. Зоны взаимного перекрытия полей обзора позволяют без труда определять, например, координаты очагов пожаров и площади возгораний, а также получать информацию в реальном масштабе времени о динамике и векторе распространения ЧС.

В многоканальных (многосекторных) ПОЭС кругового обзора каждый самостоятельный канал отвечает за свой сектор обзора, а все вместе – за реализацию требуемых угловых полей обзора. Пространственное разрешение определяется количеством ТВ- или ТпВ-камер и массивом ФЧЭ в каждом из каналов. В ПОЭС, построенных на базе совокупности идентичных матричных ТВ- и ТпВ-фотоприемников, результаты цифровой обработки видеосигналов от отдельных секторов отображаются на мониторе как единое целостное изображе-

ние осматриваемого пространства. Процессорные средства ПОЭС обеспечивают возможность выбора и детального просмотра наиболее интересных фрагментов и деталей фоноцелевой обстановки (ФЦО).

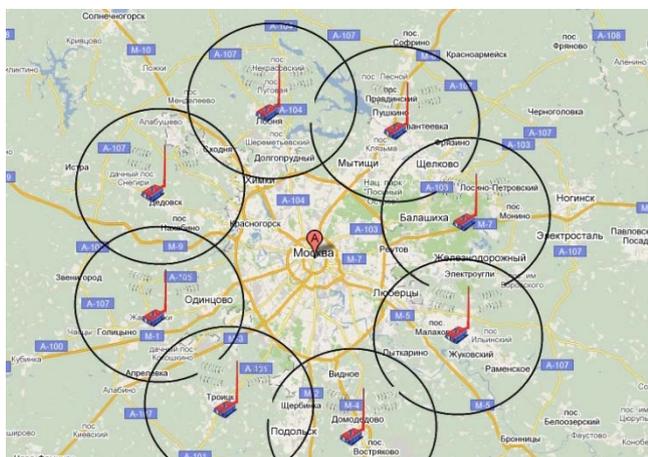


Рис. 5. Возможная схема расположения датчиков панорамного изображения



Рис. 6. Способ получения оперативной информации об очаге пожара

Многоканальный принцип построения оптического звена ПОЭС позволяет реализовать одновременно высокое однородное угловое разрешение по всему полю обзора и высокую чувствительность при сохранении скорости (частоты) обновления получаемых изображений. При этом на электронную часть возлагается решение задач обработки данных со скоростью, обеспечивающей обнаружение всей совокупности вновь возникающих объектов и предметов, попадающих в поле зрения, а также их автоматическое сопровождение и непрерывную выдачу в реальном масштабе времени необходимой информации о ФЦО.

На рис. 7 представлен пример простейшей схемы построения восьмиканальной ПОЭС кругового обзора типа «ромашка». Недостатком такой схемы является наличие областей перекрытия между смежными секторами и существование «слепых» областей в ближней зоне. Взаимное перекрытие смежных полей приводит к появлению эффекта параллакса, препятствующего адекватному отображению информации о ФЦО и, в частности, однозначному определению азимутальных угловых координат квазиточечных объектов.

Во многих случаях наибольший интерес представляет беспараллаксная схема построения оптического звена ПОЭС. На рис. 8 показан внешний вид оптического звена беспараллаксной 10-канальной ПОЭС из десяти ТВ-камер. Здесь система поворотных зеркал обеспечивает «сведение» выходных зрачков всех объективов в единый виртуальный центр, благодаря чему обеспечивается беспараллаксный обзор окружающего пространства и исчезают «слепые» зоны.

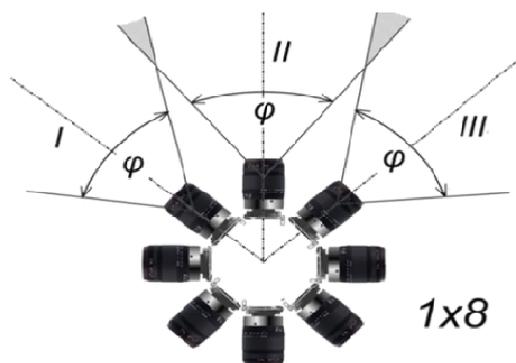


Рис. 7. Пример простейшей схемы построения восьмисекторной ПОЭС



Рис. 8. Внешний вид оптического звена 10-канальной беспараллаксной ПОЭС

Положительной особенностью подобного построения является возможность реализовать однородное по всему полю обзора угловое пространственное разрешение и уменьшить габариты оптического звена по сравнению со схемой типа «ромашка». Дополнительным позитивным свойством такой беспараллаксной схемы является возможность совмещать в одном секторе оптическое звено ТВ- и ТпВ-каналов (рис. 9) [20, 21]. Отметим, что реализация подобной спектрональной ОЭС не вносит принципиально новых моментов, кроме требования идентичности угловых полей зрения объективов ТВ- и ТпВ-каналов.

При необходимости удвоить значение угла места беспараллаксной ОЭС при сохранении неизменными параметров оптического звена можно использовать схему, которая представляет собой вдвоенное беспараллаксное звено симметрично расположенных элементов (рис. 10).

Важнейшей характеристикой ПОЭС кругового обзора является угловое пространственное разрешение, которое определяет угловую точность указания координат малоразмерных объектов. Например, при использовании ТВ-камер

с  $(2\ 500 \times 2\ 000)$ -массивом ФЧЭ десятиканальная ПОЭС обеспечивает точность определения угловых координат не хуже одной угловой минуты.

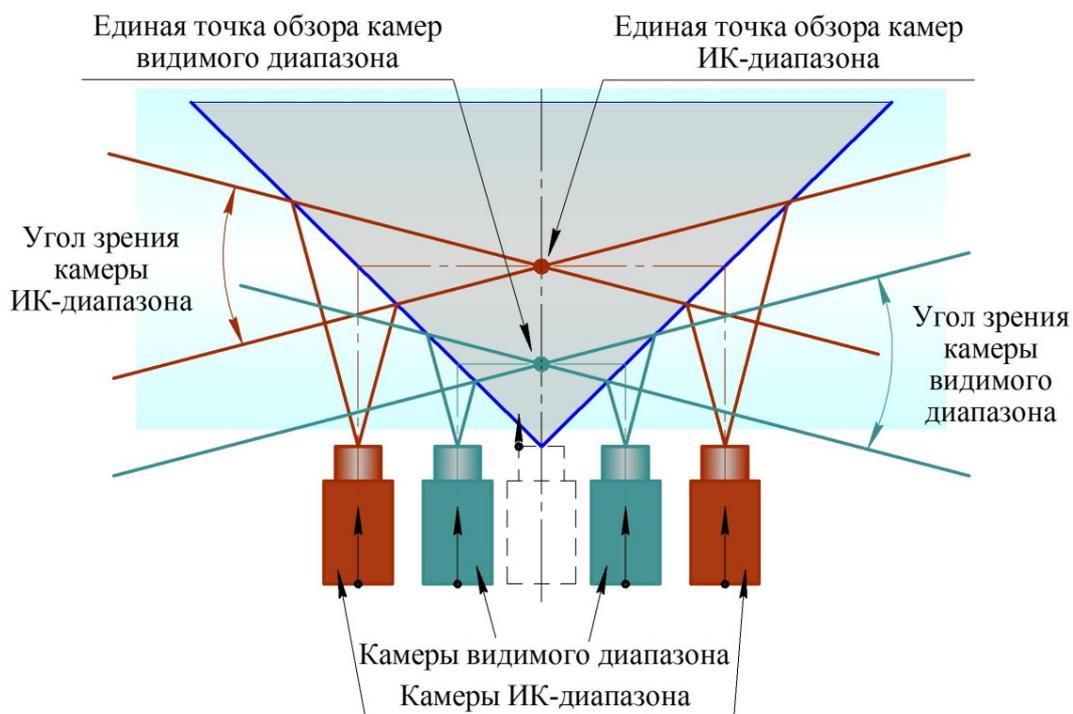


Рис. 9. Схема построения оптического звена спектрональной ПОЭС

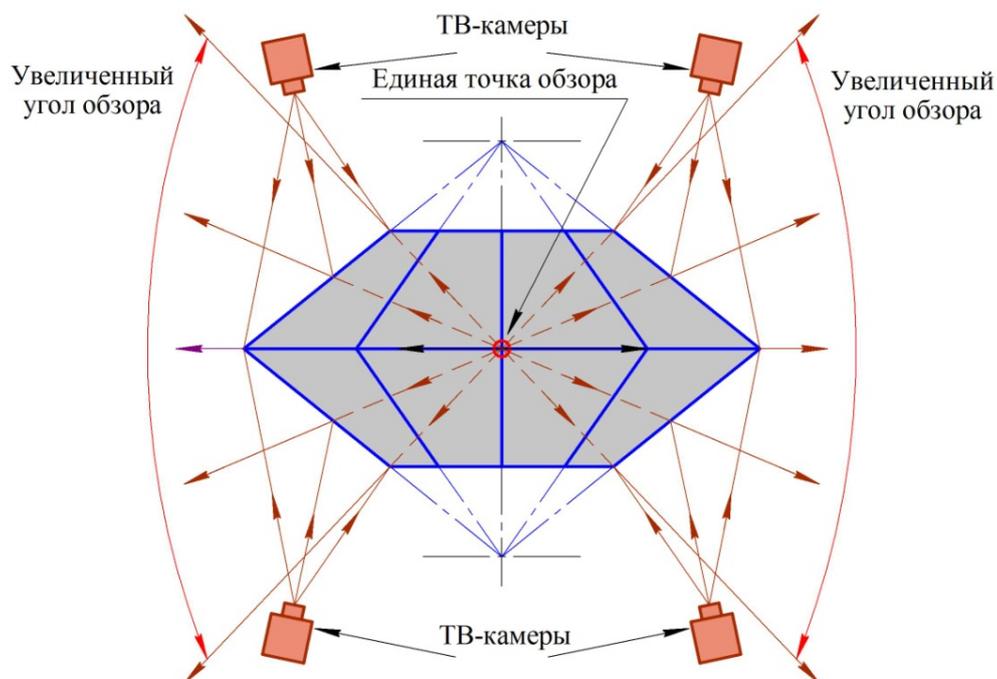


Рис. 10. Схема оптического звена беспараллаксной ОЭС, позволяющая удвоить значение угла места

Возможность реализации высокого быстродействия оптического звена определяется частотой обновления видеoinформации (кадровой частотой) используемых МПИ. Обновление видеoinформации через каждые 0,01–0,02 с происходит уже при типичных значениях кадровых частот 100 и 50 Гц.

*Средства обработки потоков видеоданных панорамных оптико-электронных систем*

Существенно более сложной задачей является реализация необходимой скорости обработки всей совокупности видеосигналов, т. е. потока видеоданных, поступающих от ТВ- и/или ТпВ-камер. Основная проблема здесь связана с потенциальными возможностями существующих в настоящее время средств цифровой обработки видеoinформации. Многоканальность и высокое быстродействие обуславливают значительный рост информационных потоков, что требует применения высокоскоростных средств обработки видеосигналов. Так, ежесекундный суммарный информационный поток видеоданных 10-канальной ПОЭС при кадровой частоте 100 Гц, 14-разрядной оцифровке сигналов изображений и формате фотоприемных матриц  $2\,500 \times 2\,000$  ФЧЭ приближается к гигабайту, что уже близко к предельным значениям, которые сегодня способны обрабатывать в реальном масштабе времени лишь мощные вычислительные комплексы. Поэтому наиболее перспективным является путь независимой обработки видеoinформации в каждом из каналов ОЭС.

Для ускорения процесса обработки внутри каждого канала целесообразно использовать глубокое (многократное) распараллеливание видеопотока и параллельную обработку видеоданных, закладывая в основу средств обработки микросхемы с изменяемой архитектурой – программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС) типа Stratix IV EP4SGX230. На рис. 11 показан вычислительный модуль, построенный на базе указанных ПЛИС. Каждая ПЛИС содержит свыше 200 000 логических элементов, встроенную память объемом более 17 Мегабит и свыше 1200 собственных блоков умножения форматом  $18 \times 18$ . Гибкая архитектура ПЛИС и встроенные модули фазовой подстройки частоты дают возможность формировать и принимать тактовые сигналы управления с частотами более 0,5 ГГц, что обеспечивает необходимое быстродействие ОЭС. Использование алгоритмов параллельной обработки видеоданных в ПЛИС такого уровня интеграции позволяет осуществлять одновременный прием, предварительную обработку видеосигналов всех десяти каналов, формирование единого целостного изображения окружающего пространства и его отображение на мониторе. Кроме того, в модуле предусмотрены слоты (разъемы) расширения, к каждому из которых может быть подключен дополнительный вычислитель. Тем самым удастся нарастить вычислительные мощности устройства обработки видеоданных для решения в реальном масштабе времени таких задач, как селекция всей совокупности движущихся объектов, их одновременное корреляционное сопровождение, автоматическое определение угловых координат и гибкое управление видеoinформацией, выводимой на экран монитора.



Рис. 11. Многоканальный вычислительный модуль реального времени на базе ПЛИС

*Многоканальные широкоугольные секторные оптико-электронные системы с высоким пространственным разрешением*

Часто вместо ОЭС кругового обзора более эффективными оказываются многоканальные секторные ОЭС (СОЭС) смотрящего типа с высоким пространственным разрешением и угловыми полями  $120^\circ$  и  $180^\circ$ . Комбинация из трех и, соответственно, двух таких систем дает тот же самый круговой обзор, но при этом появляется возможность пространственно разнести каналы СОЭС. Такая необходимость возникает в тех случаях, когда в поле кругового обзора (из единого центра) попадают мешающие объекты, перекрывающие часть контролируемого пространства. Например, две  $180$ -градусные СОЭС могут находиться с разных сторон здания, тем не менее, они позволяют получить адекватную картину окружающего пространства. Одиночная  $180$ -градусная система представляет интерес, если необходим контроль лишь полупространства.

Дополнительным преимуществом СОЭС является возможность упростить оптическое звено и получить результаты, близкие к беспараллаксным системам. Для этого достаточно отказаться от поворотных зеркал и перейти к схеме пересекающихся в единой точке оптических осей объективов. На рис. 12 представлена компьютерная модель, а на рис. 13 – внешний вид такой четырехканальной СОЭС, построенной на базе микроболометрического фотоприемника типа UL 04 32 2 формата  $640 \times 480$ . Угловое поле зрения объективов (по горизонтали) составляет  $33,63^\circ$ , что соответствует общему обзору в угловом поле около  $135^\circ$ . Модель сектора пространства, осматриваемого устройством, показана на рис. 14.

Варьируя число каналов и фокусное расстояние (угловое поле) объективов, можно конструктивно сформировать модули с различными углами обзора. Например, реализация СОЭС из пяти камер обеспечивает результирующий угол обзора, близкий к  $180^\circ$ . Такие устройства можно классифицировать как одно-рядные матричные ТВ- или ТпВ-модули СОЭС размерностью  $4 \times 1$ ,  $5 \times 1$  и т. д. соответственно.

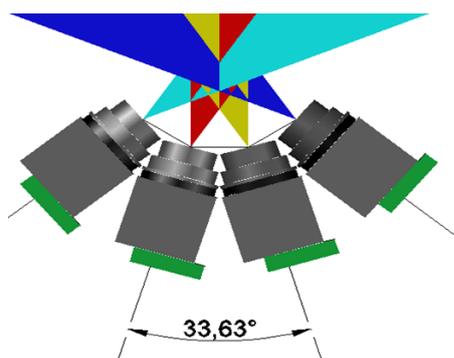


Рис. 12. Схема четырехканальной СОЭС с пересекающимися оптическими осями



Рис. 13. Внешний вид четырехканального ТпВ-модуля размерностью  $4 \times 1$  для области спектра 8–14 мкм

Другой тип четырехканального модуля СОЭС представлен на рис. 15. Здесь оптические оси объективов ТпВ-камер также проходят через единую точку, однако оптические оси смежных объективов лежат попарно во взаимно перпендикулярных плоскостях. Такое устройство можно рассматривать как четырехканальный матричный ТпВ-модуль размерностью  $2 \times 2$ . Данная конструкция позволяет увеличить в два раза углы обзора и по вертикали, и по горизонтали при сохранении неизменными параметров и характеристик ТпВ-камер. На рис. 16 показана область осматриваемого пространства в ближней зоне.

Как видно из рис. 14 и 16, в обоих модулях в ближней зоне наблюдаются области взаимного перекрытия смежных полей, что может приводить к проявлению эффекта параллакса. Однако проведенные исследования показали, что при расстояниях более 15–20 м его влияние становится пренебрежимо малым.

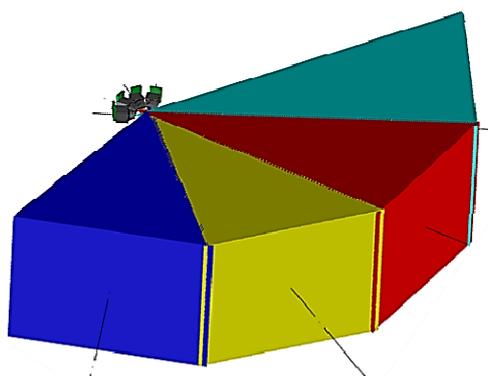


Рис. 14. Компьютерная модель сектора пространства (в ближней зоне), осматриваемого четырехканальным ТпВ-модулем

За счет расширения поля зрения по двум координатам пропорционально числу используемых камер модульно-матричный принцип построения многоканальных СОЭС позволяет при минимальных затратах конструировать доста-

точно сложные системы (например, шестиканальную размерностью  $3 \times 2$ , девятиканальную размерностью  $3 \times 3$  и т. д.) практически с любыми требуемыми полями обзора. В частности, на базе рассмотренных выше ТпВ-камер нетрудно смонтировать матричный модуль размерностью  $5 \times 5$  с обзором, близким к полусферическому. При этом удастся сохранить однородное угловое пространственное разрешение и чувствительность по всему полю обзора.

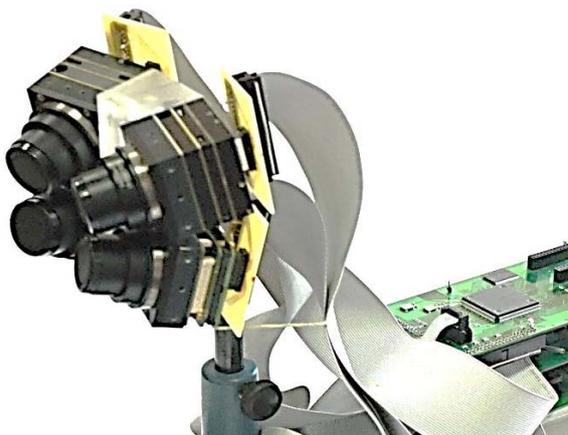


Рис. 15. Четырехканальная ТпВ ПОЭС размерностью  $2 \times 2$  для области длин волн 8–14 мкм

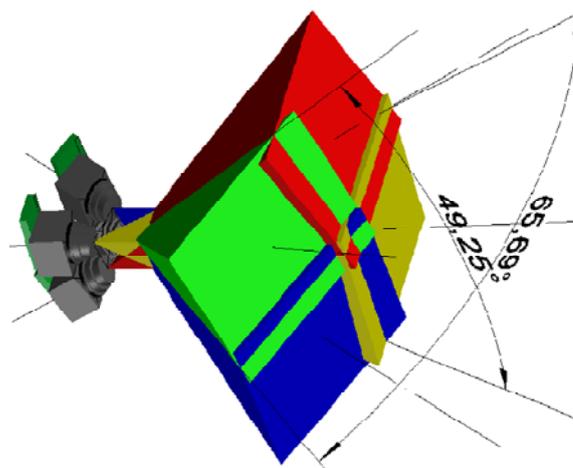


Рис. 16. Компьютерная модель сектора пространства в ближней зоне, осматриваемого  $(2 \times 2)$ -ТпВ-модулем

Модульно-матричную концепцию синтеза СОЭС можно рассматривать как современный аналог фасеточной организации зрительных систем многих представителей животного мира и насекомых [22]. Фасеточные зрительные системы обладают наивысшей скоростью реакции на изменение окружающей обстановки, что обеспечивает своевременное обнаружение опасности и, следовательно, выживаемость.

### Заключение

Рассмотрены принципы и схемы построения панорамных ОЭС кругового и секторного обзора, обладающих высоким быстродействием, однородным по полю осматриваемого пространства угловым разрешением и высокой чувствительностью, что позволяет обеспечить круглосуточный мониторинг и анализ оперативной обстановки как на открытой местности в окрестностях населенных пунктов, городов и критически значимых объектов, так и внутри помещений. Такие ОЭС могут также устанавливаться на средства мобильного контроля.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. «Филин». Тепловизионный локатор кругового обзора. Каталог компании ЗАО «ЭЛВИС-НеоТек» [Электронный ресурс]. – URL: <http://elvees.ru/home/index.php?id=34> (дата обращения 25.11.2015).
2. Комплекс панорамного видеообзора (КПВО) [Электронный ресурс]. – URL: [http://volgo.org/?page\\_id=540](http://volgo.org/?page_id=540) (дата обращения 25.11.2015).
3. FullView Panoramic Cameras [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.talkminer.com/viewtalk.jsp?videoid=fO3ZfDg6aaU&q=#.Voc8hbaLTGi> (дата обращения 25.11.2015).
4. Концепция построения оптико-электронной системы автоматического определения координат целей / В. М. Белоконов, А. М.–Ш. Итигин, Н. В. Прудников, В. Б. Шлишевский // Изв. вузов. Приборостроение. – 2003. – Т. 46, № 3. – С. 64–66.
5. Исследование возможности создания пассивной двухспектральной оптико-электронной системы автоматического определения координат / Н. В. Прудников, А. М.–Ш. Итигин, Т. Н. Хацевич, В. Б. Шлишевский // Сборник материалов Международного научного конгресса «ГЕО–Сибирь–2006». – Новосибирск : СГГА, 2006. – Т. 4. – С. 26–28.
6. Багдасарова О. В., Багдасаров А. А. Панорамные системы кругового обзора в устройствах отображения вторичной информации комплексов авионики и автобазирования // Фазотрон. – 2012. – № 3 (19). – С. 28–33.
7. Соломатин В. А., Иванова Н. В. Современные направления развития панорамных оптических и оптико-электронных систем // Сборник трудов X Международной конференции «Прикладная оптика–2012». – СПб., 15–19 октября 2012 г.: Оптическое общество им. Д. С. Рождественского, 2012. – Т. 1. – С. 141–144.
8. Круглосуточная панорамная система технического зрения для вертолетов / А. Бельский, Н. Жосан, Д. Брондз, К. Горбачев, В. Гребенщиков, А. Каргаев // Фотоника. – 2013. – Вып. 2. – С. 80–83.
9. Голушко М. Н., Ярышев С. Н. Оптико-электронная система наблюдения «Тайфун» // Вопросы радиоэлектроники. Техника телевидения. – 2014. – Вып. 1. – С. 38–42.
10. Шевченко Д. Н., Багдасарова О. В., Багдасаров А. А. Панорамные системы кругового обзора // Интерэкспо ГЕО–Сибирь–2015. XI Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «СибОптика–2015» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 13–25 апреля 2015 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2015. – Т. 2. – С. 117–120.
11. Бодров В. Н., Прудников Н. В. Анализ и перспективы построения нового поколения всесуточных телевизионных оптико-электронных устройств // Оборонная техника. – 2004. – № 7/8. – С. 70–76.
12. Тарасов В. В., Якушенков Ю. Г. Инфракрасные системы «смотрящего» типа. – М. : Логос, 2004. – 444 с.
13. Григорьев А. А., Потапова М. В., Якушенкова Т. И. Новые принципы построения и конструкции оптических систем обзорно-панорамных оптико-электронных приборов // Сб. трудов Междунар. научн.-техн. конф., посвященной 225-летию МИИГАиК, 24–27 мая 2004 г. «Оптическое приборостроение». – М. : МИИГАиК, 2004. – С. 20–25.
14. Григорьев А. А., Потапова М. В., Якушенкова Т. И. Конструкции однокомпонентных оптических панорамных блоков // Изв. вузов. Приборостроение. – 2004. – Т. 47, № 8. – С. 44–53.
15. Григорьев А. А., Потапова М. В., Якушенкова Т. И. Приемно-оптическая система панорамного оптико-электронного прибора (варианты), патент РФ на изобретение № 2283506, 2004 г.
16. Урусова М. В. Принципы построения панорамных оптических систем оптико-электронных приборов на базе оптических панорамных блоков // Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. – М. : МЭИ (ТУ), 2007. – 20 с.

17. Алгоритм преобразования изображений, полученных всенаправленными оптико-электронными системами / В. П. Лазаренко, Т. С. Джамийков, В. В. Коротаев, С. Н. Ярышев // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2015. – Т. 15, № 1 (95). – С. 30–39.

18. Лазаренко В. П., Коротаев В. В., Ярышев С. Н. Алгоритм создания панорам с помощью всенаправленных оптико-электронных систем // Интерэкспо ГЕО–Сибирь–2015. XI Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «СибОптика–2015» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 13–25 апреля 2015 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2015. – Т. 2. – С. 148–157.

19. Панорамное оптико-электронное устройство кругового обзора / В. Н. Бодров, В. Н. Мартынов, Т. И. Якушенкова, Н. В. Прудников, Г. И. Сигейкин // Материалы VII Науч.-практ. конф. ЦСИ МЧС РФ по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий. – М. – 2010. – С. 131–134.

20. Бодров В. Н., Мельников Б. С., Князев А. М. Панорамная оптико-электронная система. Патент РФ на полезную модель RU 142 002 U1 Опубликовано 20.06.2014. Бюл. № 17.

21. Бодров В. Н., Левун И. В., Прудников Н. В. Многоканальная спектрально-пространственная ОЭС кругового обзора с высоким пространственным разрешением и быстродействием // Оборонная техника. – 2015. – № 8. – С. 83–95.

22. Соломатин В. Фасеточное зрение: перспективы в оптико-электронных системах // Фотоника. – 2009. – № 1. – С. 22–26.

Получено 21.01.2016

© Н. В. Прудников, В. Б. Шлишевский, 2016