

И. В. ЕРОФЕЕВ

АВТОКОЛЛИМАЦИОННАЯ ФОКУСИРОВКА ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ ИНФРАКРАСНОГО СПЕКТРА

Рассматривается способ автоматической компенсации расфокусировки оптико-электронных систем ИК-спектра. Приводится вариант использования эффекта „нарцисса“ для автоматической фокусировки таких систем.

Ключевые слова: компенсация расфокусировки, инфракрасный спектр, оптико-электронные системы, автоматическая фокусировка, эффект „нарцисса“.

Использование эффекта автоколлимации для оценки текущих значений параметров инфракрасных приборов и формирования сигналов при их автоматической диагностике и регулировке известно достаточно давно [1]. Особенность использования автоколлимационного эффекта в ИК-диапазоне заключается в том, что контраст собственного ИК-излучения фотоприемника (ФП) может быть зарегистрирован им же или другим фотоприемником, если соответствующим образом организовать ход лучей в оптической системе. В частности, хорошо известный прием при настройке и юстировке тепловизионных приборов (ТВП) состоит в наблюдении внутренней полости фотоприемного устройства через оптическую систему тепловизора с помощью другого ТВП. Как развитие этого метода в работе [2] предлагается перед входным зрачком оптической системы ИК-прибора перпендикулярно ее оси поместить зеркало, обеспечивающее автоколлимационное отражение собственного ИК-излучения внутренних элементов конструкции фотоприемника на его же чувствительные элементы. Особенность формирования излучения в такой схеме заключается в том, что максимальную резкость изображения имеют только те элементы, которые находятся в фокальной плоскости и в плоскости промежуточного изображения, т.е. собственно чувствительные элементы ФП. В современных ИК-приборах рабочая температура этих элементов фотоприемных устройств отличается от температуры других оптических и конструктивных элементов приборов и от температуры излучения наблюдаемого объекта. Для ИК-приборов с криогенным охлаждением фотоприемников контраст их ИК-излучения при автоколлимации столь велик, что площадь

отражающего автоколлимационного зеркала должна составлять не более 2 % от апертуры для формирования сигнала, обеспечивающего выполнение операций калибровки и автофокусировки [1—3].

В тепловизионных приборах с неохлаждаемыми ФП (микроболометрическими или пироэлектрическими матрицами) также можно наблюдать изображение фотоприемника, если поместить зеркало перед объективом ТВП, хотя контраст собственного ИК-излучения ФП значительно меньше по сравнению с криогенными ФП. Как показывает практика, при работе современных ТВП с неохлаждаемыми ФП на тепловизионном автоколлимационном изображении можно увидеть лишь матрицу полностью без различения отдельных чувствительных элементов, как это наблюдается в ТВП с криогенными ФП. Возможно, повышение чувствительности неохлаждаемых ФП позволит обеспечить автоколлимационное наблюдение тонкой структуры матрицы и в этом случае.

Практическая возможность наблюдения фрагментов изображения ФП в автоколлимационном режиме существует в любом случае, что является предпосылкой создания схем автоматической фокусировки оптико-электронных систем (ОЭС). В настоящей статье рассматриваются варианты применения автоколлимационного метода для автофокусировки ОЭС ИК-спектра, работающих преимущественно в режиме „бесконечность“ и оперативная юстировка которых невозможна. Поскольку расфокусировка присуща всем реальным оптическим системам, то разработанные методы целесообразно применять в следующих случаях:

— если информация о величине расфокусировки ИК-канала многоспектральной ОЭС может быть использована для компенсации расфокусировки других каналов;

— если в ОЭС отсутствует оперативная обратная связь с оператором для коррекции фокусировки или такая связь отсутствует вообще (например, в тепловых головках самонаведения, в ОЭС космических аппаратов, имеющих большую скважность сеансов связи).

Общая идея метода состоит в том, чтобы, используя эффект автоколлимации, обеспечить динамическую компенсацию расфокусировки ИК-канала и его автоматическую фокусировку на „бесконечность“.

Технически возможны два варианта формирования оптического хода лучей для обеспечения автоколлимационного эффекта: введение в оптическую схему в определенные моменты времени зеркального элемента, перекрывающего полностью входной зрачок оптической системы или его часть, или же введение постоянного отражающего элемента.

Первый вариант конструктивно очевиден, но оправдан лишь в ОЭС, имеющих нерабочие периоды в циклограмме функционирования, и не позволяет вести непрерывный контроль за качеством фокусировки.

Второй вариант схемных решений предусматривает выведение отражающего элемента за пределы полезного входного зрачка и введение дополнительного чувствительного элемента в плоскости ФП, на котором фокусируется автоколлимационное изображение (рис. 1). Такие схемы автоматизированного контроля достаточно широко распространены в оптических системах, разница заключается лишь в том, что при использовании предлагаемых методов не нужен дополнительный источник оптического излучения в контрольном канале, так как в качестве такового используется собственно фотоприемник ИК-излучения, „наблюдающий сам себя“ в автоколлимационном режиме. В этом состоит принципиальная особенность применения автоколлимационных методов в ИК-диапазоне.

В рамках конкретной реализации описанных вариантов была разработана схема для проведения экспериментов по оценке получаемых автоколлимационных сигналов. Эти сигналы формировались, в первую очередь, за счет собственного излучения теплых и холодных (криогенных) тестовых объектов, отраженного от зеркальной поверхности перед объективом макета. В результате приемник излучения регистрировал тепловые изображения исследуемых объектов.

Физический принцип формирования тепловых изображений криогенных и теплых объектов одинаков, необходимо лишь учитывать, что измеряемые величины потоков излучения должны находиться в рабочем диапазоне чувствительности выбранного приемника излучения, а при измерении величин контраста следует учитывать форму кривой чувствительности приемника.

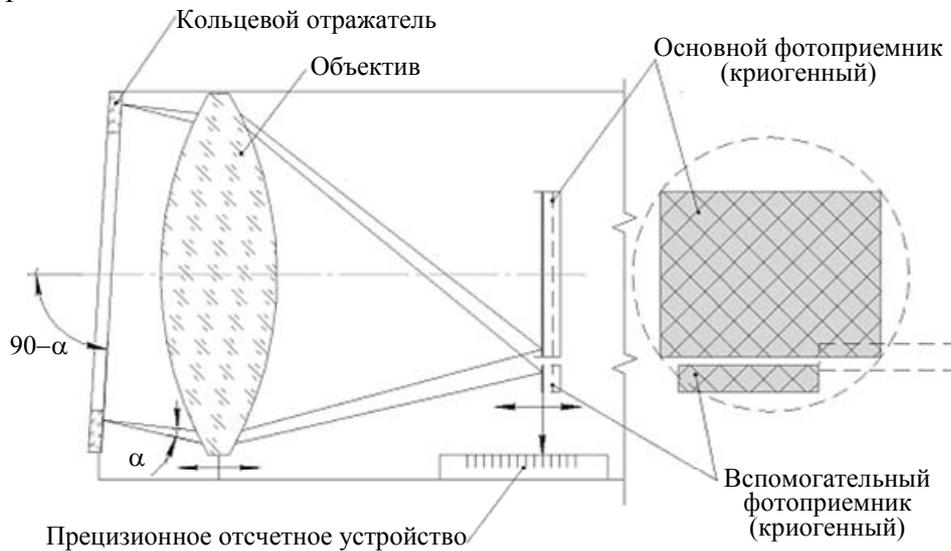
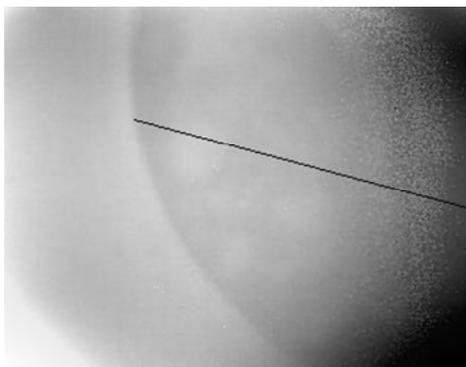


Рис. 1

В ходе экспериментов были получены видеозаписи процесса фокусировки. На некоторых из них даже без обработки изображения различимы границы матрицы болометрического приемника и тепловые контрасты тестовых объектов. Изображение теплового контраста холодного тестового объекта приведено на рис. 2.

После того как макет был сфокусирован на контрастное изображение матрицы болометрического приемника, в фокальную плоскость объектива рядом с болометром устанавливались поочередно горячий и холодный тестовые объекты и производились соответствующие видеозаписи. Затем из оптической схемы удалялось плоское зеркало, и приемник фиксировал изображение удаленных объектов (рис. 3). Более качественного изображения последующей фокусировкой достичь не удалось. Следовательно, макет в момент наблюдения тестовых объектов был сфокусирован на бесконечность. В качестве горячего тестового объекта использовалась нихромовая проволока толщиной 0,1 мм сопротивлением 35 Ом с проходящим по ней током в 0,34 А при напряжении 12 В. В качестве холодного тестового объекта был использован одноэлементный криогенный приемник типа „Сирень“. Болометрическим приемником служил прибор Photon OEM Core (фирмы FLIR, США) на основе оксида ванадия формата 320×240 с размером элемента 38 мкм и диапазоном спектральной чувствительности от 7,5 до 13,5 мкм (www.indigosystems.com).



Граница между индиевой подложкой и стеклянной колбой криогенного приемника

Рис. 2

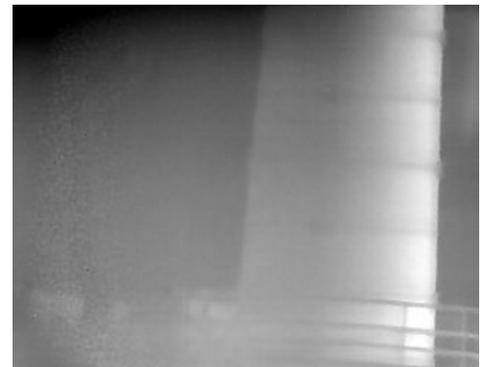


Рис. 3

В процессе работы ОЭС может происходить их расфокусировка, которая проявляется не только в смещении фокальной плоскости, но и в искривлении волнового фронта, что крайне сложно предсказать заранее и что в результате приводит к ухудшению качества изображения. Это особенно заметно в космических объективах большого диаметра и проявляется в том, что изображается лишь часть поля зрения, а остальная картина размыта. Эта ситуация осложняется, когда приоритетная область кадра оказывается расфокусированной. Для ИК-приемников, в отличие от матриц для видимого диапазона, пока не существуют технологии, позволяющие реализовывать автофокусировку на основе фазового принципа. Поэтому нужен другой механизм.

При использовании автоколлимационного метода фокусировки, если чувствительности выбранного вспомогательного приемника будет достаточно для разрешения матричной структуры основного фотоприемника, можно осуществлять компенсацию и автофокусировку по выбранному участку поля зрения (рис. 4). В таком случае приоритетная область кадра будет постоянно сфокусирована независимо от изменения волнового фронта в других областях.

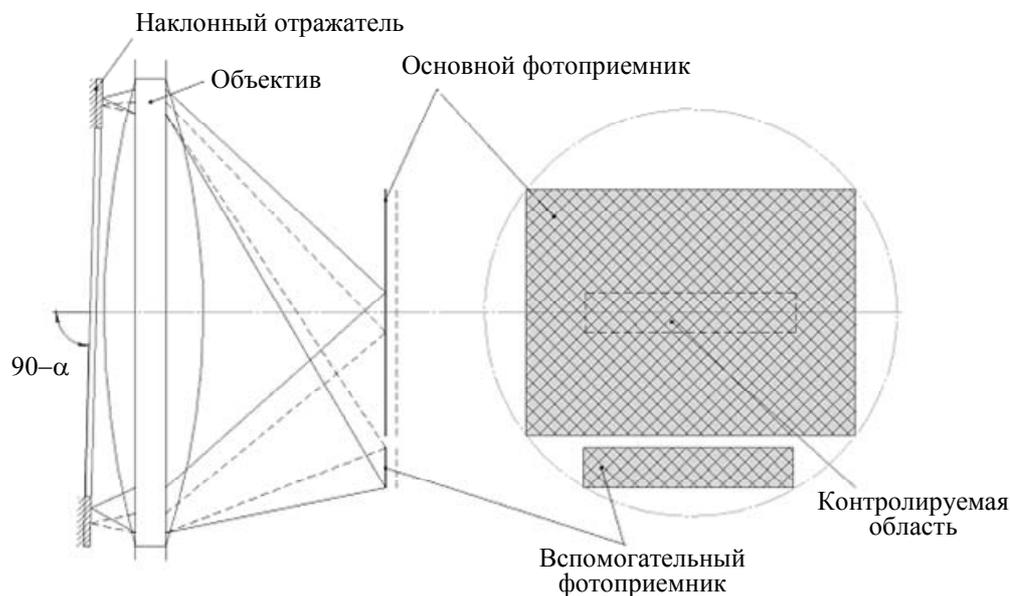


Рис. 4

Развивая этот вариант применения автоколлимационного метода, можно использовать в качестве вспомогательного фотоприемника такой же, как и основной, постоянно контролируя положение плоскости наилучшего изображения и изменения волнового фронта. Эти данные позволят не только отслеживать смещение плоскости изображения вдоль оптической оси, но и управлять, например, адаптивным зеркалом.

Проведенные эксперименты проиллюстрировали возможность использования эффекта „нарцисса“ для автоматической фокусировки оптико-электронных систем на „бесконечность“, а также для компенсации расфокусировки этих систем вследствие различных факторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Утенков А. Б., Белоусов Ю. И., Иванов Д. В. Использование автоколлимационных схем в тепловизионных приборах // Оптич. журн. 2000. Т. 67, № 8. С. 69—73.
2. Способ фокусировки оптических систем тепловизора и устройство для его осуществления / Ю. И. Белоусов и др. Заявка на изобретение № 96103439/28. Полож. реш. от 16.02.1996 г.
3. Способ определения чувствительности тепловизора и устройство для его осуществления / Ю. И. Белоусов и др. Заявка на изобретение № 96104238/28. Полож. реш. от 04.03.1996 г.

Илья Владимирович Ерофеев

Сведения об авторе

— аспирант; Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра оптоинформационных технологий и материалов;
E-mail: defremeri@yandex.ru

Рекомендована кафедрой
оптоинформационных технологий и
материалов

Поступила в редакцию
12.12.11 г.