

УДК 681.7

Об ориентировании фотоприемного устройства в измерительно-информационной оптико-электронной системе ночного видения

Н. К. Горбаченя, А. Ф. Зотиков, В. Ю. Новиченков
ОАО "Пеленг", г. Минск, Республика Беларусь

Рассмотрены метрологические и информационные характеристики оптико-электронной системы (ОЭС) с компенсацией вращения изображения, построенной на базе электронно-оптических приборов (ЭОП) 2-го поколения, состыкованного с ФПЗС, и микропроцессора TMS 320 C80.

Современные оптические приборы в большинстве случаев являются сложными автоматическими ОЭС. Увеличение трудоемкости функциональных задач, решаемых с помощью ОЭС, требующих применения сложных алгоритмов обработки информации, повышение требований к объему обрабатываемой информации, быстрдействию, надежности, сервисным свойствам ОЭС привели к тому, что в состав этих систем стали включать микропроцессорные устройства.

По характеру выполняемых функций ОЭС можно классифицировать на три группы [1]: информационные, измерительные и следящие. Информационные ОЭС предназначены для сбора, обработки, воспроизведения на видеоконтрольном устройстве (ВКУ) или для записи в запоминающем устройстве информации о микроструктуре яркостных полей излучения в различных участках спектра. ОЭС измерительного типа предназначены для измерения некоторых характеристик и параметров излучения отдельных объектов, дальности, размеров, координат и скорости движения объектов относительно некоторой системы отсчета, взаимной ориентации объектов в пространстве и др. Основным требованием к ОЭС измерительного типа является максимальная точность измерения соответствующих характеристик и параметров.

В настоящее время широкий круг областей применения ОЭС делает предложенное деление условным: многие ОЭС чаще всего — измерительно-информационного типа или же измерительно-информационно-следящего типа.

Для некоторых реализаций измерительно-информационных систем (ИИС) в процессе сканирования поля предметов адекватное наблюдение на видеомониторе (ВМ) возможно лишь при обеспечении компенсации вращения изображения. Это накладывает вполне определенные ограничения на вид отображаемого изображения и чувствительные элементы (пикселы) ФПУ: изображение должно быть симметричным (в форме квадрата, круга), а форма пикселов в виде квадратов. В то же время известно, что большинство телевизионных (ТВ) камер изготавливается в соотношении 3:4, а пикселы, как правило, в виде прямоугольников.

Рассмотрим данную проблему на примере измерительно-информационной ОЭС ночного видения, основными составными частями которой являются:

оптическая система со сканирующим механизмом;

ФПУ;

видеопроцессорное устройство (ВПУ) с ВМ.

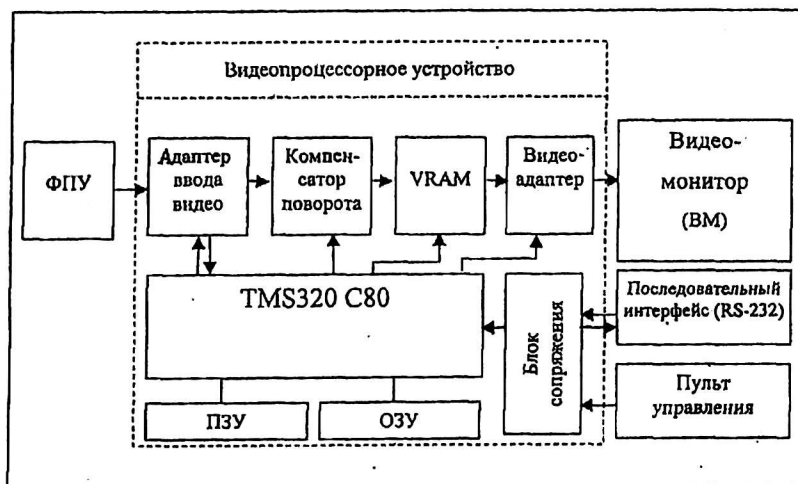
ФПУ представляет собой ТВ-камеру на ФПЗС, сочлененную волоконно-оптической план-шайбой с ЭОП 2-го поколения. Выдача видеосигнала производится в формате CCIR. Форма пикселов ФПУ — квадрат, количество квадратных пикселов, получаемых при оцифровке всего видеокadra по вертикали и горизонтали — 576 и 768, соответственно.

В данной работе рассматривается система, в которой обрабатывается часть видеокadra (окно) размером 512x512 пикселов, остальные пикселы в анализе и отображении поля объектов не участвуют. В общем случае окно может быть выбрано на любом участке фотокатода ЭОП.

На рисунке изображена блок-схема видеопроцессорного устройства и указаны каналы его связи с внешними устройствами (ФПУ, ВМ, ПУ, ПЭВМ).

Как отмечалось выше, из видеокadra при оцифровке вырезается окно размером 512x512, которое далее поворачивается компенсатором поворота и помещается в VRAM минуя процессор. Для того чтобы замаскировать артефакты, возникающие при повороте изображения, последнее ограничивается кругом диаметром 512 пикселов при отображении на видеомониторе. (Обсуждение деталей и проблем, связанных с компенсацией вращения, выходит за рамки данной работы.)

С помощью процессора через адаптер ввода видео можно изменять положение окна (начало) в пределах кадра с точностью до одной строки по вертикали и одного элемента разложения (пиксела) по горизонтали. Центральная часть окна размером 256x256 пикселов с помощью контроллера обмена TMS320C80 пересылается в ОЗУ и доступна для программной обработки.



Блок-схема видеопроцессорного устройства

Процессор TMS320C80, выпущенный в конце 1994 г., ориентирован на применения, связанные с высокопроизводительной цифровой обработкой сигнала в самых широких областях науки и техники. Второе название процессора — MVP (Multimedia Video Processor) — характеризует его высокую эффективность на задачах обработки изображений. TMS320C80 объединяет в одной микросхеме пять полнофункциональных процессоров, четыре из которых — улучшенные цифровые процессоры обработки сигналов (Advanced Digital Signal Processor — ADSP), архитектура которых ориентирована на реализацию алгоритмов цифровой обработки сигналов. Каждый ADSP позволяет выполнить за один командный такт несколько RISC-подобных операций. Пятый процессор, главный (Master Processor — MP), представляет собой 32-разрядный RISC-процессор с высокопроизводительным вычислителем с плавающей точкой, совместимым со стандартом IEEE-754. В дополнение к процессорному ядру на кристалле размещены:

- контроллер обмена (Transfer Controller — TC) — интеллектуальный контроллер ПдП, поддерживающий интерфейс с DRAM и SRAM;
- видеоконтроллер (Video Controller — VC);
- система контроля и отладки — порт JTAG (IEEE 1149.1);
- 50Кб SRAM.

Суммарная производительность TMS320C80 на регистровых операциях достигает 2 млрд RISC-подобных команд в секунду. Благодаря столь высокой производительности TMS320C80 может заменить при реализации ряда приложений более 10 высокопроизводительных ЦПОС или ЦП общего назначения. Пропускная способность шины TMS320C80 достигает 2,4 Гбайт/с — в потоке данных и 1,8 Гбайт/с — в потоке инструкций.

Входящие в состав TMS320C80 процессоры программируются независимо один от другого и могут выполнять как разные, так и одну общую задачу. Обмен данными между процессорами осуществляется через общую внутрикристалльную память. Доступ к разделяемой внутрикристалльной памяти обеспечивает матричный коммутатор (Crossbar), выполняющий также функции монитора при обращении к одному сегменту памяти нескольких процессоров.

Вычислитель с плавающей точкой (Floating-Point Unit — FPU) главного процессора конвейеризирован и позволяет одновременно выполнять операции над данными как с одинарной, так и с двойной точностью. Производительность устройства составляет около 100 MFLOPS при внутренней тактовой частоте 50 МГц.

Используя столь быстродействующий микропроцессор, удалось реализовать ряд достаточно ресурсоемких алгоритмов в реальном масштабе времени, позволяющих эффективно решать не только задачи калибровки и юстировки, но и другие актуальные задачи, связанные с обработкой видеоинформации в реальном масштабе времени.

ВПУ способно выполнять следующие функции обработки части поля размером 128x256 в реальном масштабе времени (не более 10 мс):

- вычисление гистограммы;
- компрессию;
- фильтрацию;
- дифференцирование по Собелю;
- вычисление корреляционной функции;
- определение энергетического и геометрического центра “пятна”;
- вывод рассчитанной информации на ВКУ и др.

Безусловно, вышеописанный микропроцессор не является последним словом в области вычислительной техники, однако, несмотря на сложность его программирования и низкую тактовую частоту, он удобен для создания систем, предназначенных для обработки видеоинформации в реальном масштабе времени. К сожалению, фирма Texas Instruments (TI), по нашим данным, не планирует выпускать процессоры данного семейства. Это обстоятельство вынудило нас ориентироваться в дальнейшем на применение микропроцессоров семейства TMS320C64x, производительность которых, по оценке TI, составляет до 8,8 млрд команд на один процессор. Учитывая тот факт, что интегрированная среда разработки и отладки программ для последних семейств цифровых сигнальных процессоров TI предоставляет большие возможности разработчику не только по отладке, но и по оптимизации уже работающих программ, мы предполагаем, что переход с одного семейства на другое не будет сопряжен с большими трудностями и займет непродолжительный период времени.

Для достижения потенциальной точности измерения пространственных координат ИИС ночного видения необходимо обеспечить определенное ориентирование ФПУ по отношению к внутренней приборной системе координат x, y, z , которая в свою очередь привязана к внешней системе координат X, Y, Z , например через датчики линейных и угловых перемещений [2]. Одновременно с ФПУ можно связать свою систему координат $x_{\text{ф}}, y_{\text{ф}}, z_{\text{ф}}$ (вдоль ТВ-строки), $y_{\text{ф}}$ (перпендикулярно ТВ строке), $z_{\text{ф}}$ (перпендикулярно фотокатоду ЭОП). Поэтому понятие ориентирования ФПУ приобретает смысл привязки системы координат $o_{\text{ф}}x_{\text{ф}}y_{\text{ф}}z_{\text{ф}}$ к системе координат $oxyz$. В общем случае оси координат могут не совпадать и будут характеризоваться тремя линейными поправками $\Delta x, \Delta y, \Delta z$ и тремя угловыми поправками $\Delta \alpha, \Delta \beta, \Delta \gamma$.

Вопрос определения начала координат $o_{\text{ф}}$ требует отдельного рассмотрения. Исходя из фактического количества пикселей вдоль оси $o_{\text{ф}}x_{\text{ф}}$ и $o_{\text{ф}}y_{\text{ф}}$ и реальных размеров “вырезаемого” окна в 512x512 пикселей, поправка Δx может составить ± 124 пикселей, а поправка Δy — ± 34 пикселей.

Следовательно, при ориентировании ФПУ относительно оптической системы имеется большой диапазон перемещения вдоль строк, чем перпендикулярно строкам.

На величину перемещения Δx и Δy накладываются следующие ограничения:

погрешность изготовления ФПУ, при котором центр фоточувствительной площадки ФПЗС совпадает с установочной базой ФПУ на величину не менее 10 пикселей;

конечное значение порога чувствительности механических подвижек, фиксирующих устройств в пределах 10 пикселей;

с целью надежной обработки видеосигнала ВПУ для получения координатной и служебной информации в режиме реального времени "окно" предпочтительно выбирать в области верхней половины поля (начальных строк).

Величина линейного перемещения Δz определяется точностью фокусировки и глубиной резкости оптической системы и не входит в предмет рассмотрения данной работы так же, как и в отношении угловых поправок $\Delta\beta$ и $\Delta\gamma$.

Величина углового перемещения $\Delta\alpha$ вокруг оси oz определяется диапазоном работы системы компенсации вращения изображения и в общем случае из-за конструктивных особенностей ФПУ и механических подвижек фиксирующих устройств имеет вполне конкретное значение $\Delta\alpha_{\text{ф}}$.

Обсуждение вопросов ориентирования свидетельствует о существенном влиянии положения ФПУ на метрологические характеристики ИИС ночного видения. Для обеспечения последнего целесообразно использовать два метода (уровня) ориентирования: начальный (предварительный) и окончательный (аппаратно-программный).

Начальный метод ориентирования включает:

подключение к ФПУ осциллографа с выделением строки и ВКУ с подсветом строки;

установку оптического проекционного устройства, создающего ось визирования параллельно оси oz ИИС;

получение на экране ВКУ отметки (точки, перекрестия) от проекционного устройства;

выставку на осциллографе выбранной строки от начала первого поля кадра;

механическое смещение ФПУ до совпадения отметки от проекционного устройства с высвечиваемой на ВКУ выбранной строки и с серединой поля экрана осциллографа.

Начальный метод ориентирования ФПУ характеризуется невысокой точностью, особенно при контроле вдоль ТВ-строк по экрану осциллографа. При рабочей части экрана в 100 мм погрешность измерения в 1 мм приводит к погрешности ориентирования ФПУ вдоль оси $o_{\text{ф}}x_{\text{ф}}$ в 7—9 пикселей, что в большинстве случаев недопустимо.

Окончательный метод ориентирования ФПУ предполагает:

включение ИИС со штатным оборудованием;

установку оптического проекционного устройства, создающего ось визирования параллельно оси oz ИИС;

получение на экране ВМ отметки от оптического проекционного устройства;

"вырезание" окна с центром, совпадающим с отметкой, с помощью ПЭВМ через интерфейс RS-232, и определение значений Δx_{ϕ} , Δy_{ϕ} ;

разворот видеоизображения на угол $\Delta \alpha_{\phi}$;

сохранение значений поправок Δx_{ϕ} , Δy_{ϕ} , $\Delta \alpha_{\phi}$ в долговременной памяти.

Окончательный метод ориентирования, сводящийся к введению электронных поправок, характеризуется высокой точностью, так как контроль совпадения отметки от проекционного устройства и центра окна может осуществляться как визуально и/или визуально с оптическим прибором (например микроскопом), так и алгоритмически с погрешностью не более от 1/2 до 1/8 пиксела.

Для ориентирования ФПУ используется известное стандартное оборудование, в качестве проекционного устройства можно использовать автоколлиматоры типа АК-0,5 или АК-1, осциллограф с выделением строки типа С1-81, ВКУ с подсветом строки типа ВК 23 В60.

Введение электронно-программных корректировок особенно удобно и эффективно при создании сложной многоспектральной ИИС ночного видения, состоящей из нескольких оптических систем и фотоприемных устройств.

Л и т е р а т у р а

1. Порфирьев Л. Ф. Теория оптико-электронных приборов и систем. — Л.: Машиностроение. Ленинградское отделение, 1980.

2. Мошкин В. И., Петров А. А., Титов В. С. Техническое зрение роботов/Под общ. ред. Ю. Г. Якушенкова. — М.: Машиностроение, 1990.

Orientantion of photodetectors in optoelectronic information test system for night vision

N. K. Gorbachenya, A. F. Zotikov, V. Yu. Novichenkov
JSC PELENG, Minsk, Republic of Belarus

There is submitted for consideration metrological and information performance of optoelectronic system with compensation of image rotation, based on IIT of 2d generation coupled to CCD and microprocessor TMS320C80: