

ЦИФРОВАЯ ОБРАБОТКА ИЗОБРАЖЕНИЙ В СИСТЕМЕ ТОЧНОГО ВИСЕНИЯ ВЕРТОЛЕТА

Шахрай В.И., к.т.н., заместитель генерального директора ЗАО «МНИТИ»

Ключевые слова: видеoinформация, захват реперов, координатное смещение, информационный обмен.

Введение

Режим точного висения над заданной точкой земной поверхности используется при проведении монтажных и спасательных работ, при выполнении посадки на ограниченных площадках. Автоматизация режима пилотирования при выполнении указанных операций позволяет решить проблемы обеспечения безопасности полетов и снижения нагрузки на операторов.

По функциональному назначению телевизионная система определения текущих координат висения вертолета (ТСКВ) может быть отнесена к классу угломерно-высотомерных радиотехнических систем. Система может быть установлена как на новые типы вертолетов, так и на ранее изготовленные вертолеты, находящиеся в эксплуатации. Основная отработка системы в летных экспериментах выполнена на вертолетах МИ-26 и МИ-8МТВ.

Состав аппаратуры ТСКВ и ее связь с аппаратурой вертолета представлены на рис. 1.

Основными информационными датчиками системы являются телевизионная камера и штатная навигационная аппаратура вертолета. Возможны 2 варианта установки ТВ камер:

- с жестким креплением ТВ камеры к корпусу вертолета;

Рассмотрены особенности методов и алгоритмов обработки видеoinформации, используемых в задаче автоматизации процесса пилотирования вертолёта в режиме точного висения над заданной точкой земной поверхности. Дано описание структуры вычислительного устройства, реализующего алгоритмы обработки в телевизионной системе определения текущих координат вертолета в режиме висения. Представлены результаты полунатурного моделирования и летных испытаний системы на вертолетах МИ-8МТВ и МИ-26.

- с установкой на платформе гиросtabilизированного устройства.

К достоинствам первого варианта относятся умеренная стоимость аппаратуры, простота установки и практически неограниченный ресурс системы. К недостаткам варианта жесткого крепления датчика относится наличие сдвига изображения на ВКУ не только при координатном смещении вертолета относительно места висения, но и из-за угловых колебаний вертолета, что негативно воспринимается летным составом. Компенсация сдвига изображения из-за разворота вертолета по крену и тангажу в данном варианте осуществляется с помощью соответствующего сдвига большого подвижного перекрестия, управляемого по сигналам угловой ориентации от навигационной аппаратуры вертолета. При этом центр перекрестия определяет точку висения вертолета на изображении местности. Вариант жесткого крепления камеры в грузовом люке вертолета МИ-8МТВ представлен на рис. 2.

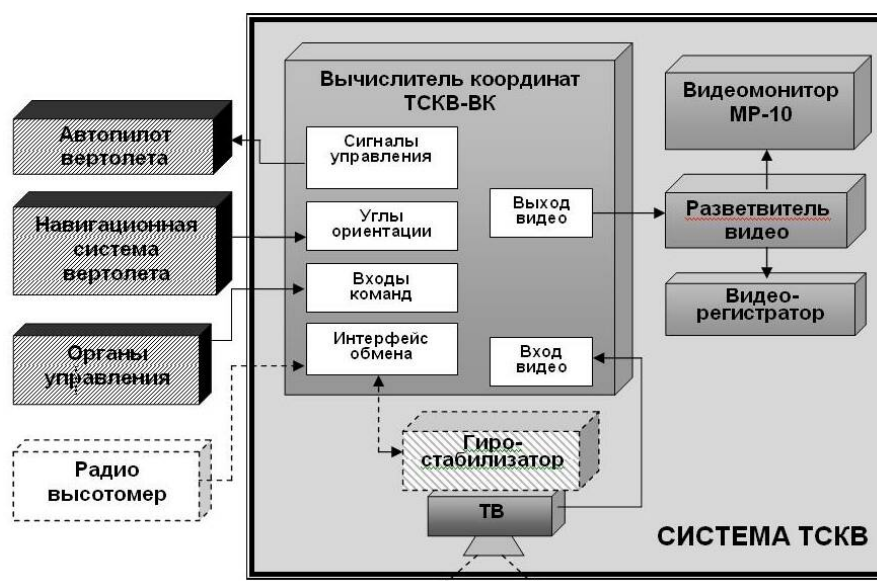


Рис. 1. Состав аппаратуры ТСКВ и ее связь с бортовым оборудованием вертолета



Рис. 2. ТВ камера, установленная в грузовом люке



Рис. 3. СМС ТСКВ, установленный на кронштейне

Достоинством варианта с использованием гиростабилизированного устройства является стабилизация оси визирования ТВ камеры в вертикальном положении. Кроме того, появляется возможность реализации 2-х режимов работы системы: «точного висения» с формированием изображения рабочей площадки в нижней полусфере и «обзора» в передней полусфере. Внешний вид стабилизированной малогабаритной станции (СМС), входящей в состав ТСКВ, показан на рис. 3.

В режиме висения управление СМС-ТСКВ осуществляется от вычислителя системы по интерфейсу RS422. При создании вычислителя ТСКВ-ВК использован многолетний опыт разработки телевизионных автоматов слежения в ЗАО «МНИТИ» для различных применений [1].

В вычислителе системы ТСКВ-ВК реализованы следующие основные алгоритмы, обеспечивающие работу ТСКВ в различных режимах:

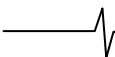
- многоканальный алгоритм автосопровождения реперов;
- алгоритм автоматического захвата реперов;
- алгоритмы информационного обмена с навигационной аппаратурой вертолета, аппаратурой управления, СМС ТСКВ, ТВ камерой, автопилотом, аппаратурой отображения и регистрации видеоинформации;
- алгоритмы вычисления координатного смещения и скоростей линейного перемещения вертолета;
- алгоритм оценки высоты висения;
- алгоритмы фильтрации и формирования выходных управляющих сигналов.

Алгоритм автоматического захвата реперов

В режиме «Автозахват реперов», инициируемый командой «Автомат», производится выбор наиболее информативных локальных участков на изображении, записанном в видеоОЗУ вычислителя. Критерием информативности служат значения локальной дисперсии яркости. Участки изображения, которые имеют максимальное значение локальной дисперсии, выбираются в качестве реперов. Такие участки обеспечивают наибольшую надежность и точность автосопровождения в процессе висения [2].

В ряде случаев, например, при выполнении монтажных работ с грузом на внешней подвеске, в качестве реперов могут использоваться специальные контрастные щиты-указатели, устанавливаемые в рабочей зоне на местности или объекте. Аналогичные реперы могут закрепляться на грузе для обеспечения его устойчивого автосопровождения. При работах с грузом на внешней подвеске выбор реперов осуществляется с учетом запретных зон, определяемых размерами и амплитудой колебаний груза. Установку искусственных реперов для повышения точности целесообразно производить как можно ближе к точке укладки груза, однако - вне зоны возможного экранирования их качающимся и вращающимся на тросе грузом.

В вычислителе ТСКВ-ВК реализована процедура выбора реперов с использованием тех же аппаратно-программных средств, что и для режима автосопровождения.



дения. Оценка информативности производится по максимуму экстремума локальной автокорреляционной функции (АКФ) изображения по области следящего строба:

$$\Delta R(i, j) = \max[R(i, j)] - \max[R(i + \alpha, j + \beta)]$$

где: i, j – координаты положения строба, в которой производится анализ локальной дисперсии; $R(i, j)$ – значение экстремума АКФ в точке нулевого сдвига; $R(i + \alpha, j + \beta)$ – значения АКФ в точках с фиксированным координатным сдвигом α, β относительно координат экстремума.

Алгоритм автосопровождения реперных зон

На последовательности ТВ кадров осуществляется автосопровождение каждого из реперов следящими стробами путем нахождения координат экстремума АКФ участков текущего изображения с соответствующими эталонами. При снижении вертолета участки реперных зон на изображении смещаются к периферии и могут достигать границ раstra. В этом случае автоматически производится повторный выбор и захват новых реперов с сохранением положения точки слежения и расчетного значения высоты на момент перезахвата.

Автосопровождение каждого из реперов выполняется идентичными каналами корреляционного измерения координат. Количество каналов, необходимое для выполнения режима висения с грузом на внешней подвеске, не менее 4-х. Два канала обеспечивают отслеживание координатного смещения реперов на изображении местности и 2 канала обеспечивают автосопровождение 2-х реперов на грузе. При этом в вычислитель ТСКВ поступает информация о взаимном расположении координат реперов местности и координат груза с учетом его ориентации. При задействовании одного канала слежения за грузом информация о его угловой ориентации относительно изображения местности будет потеряна.

Для выполнения работ со стабилизацией ориентации вертолета по курсу к алгоритмам каналов слежения за реперными участками изображения предъявляются требования адаптации к масштабным изменениям в сцене [2]. При больших допустимых изменениях курсового угла вертолета необходимо обеспечить адаптацию каналов слежения к повороту изображения, что значительно усложняет аппаратно-программную реализацию вычислителя и удлиняет процедуру оценки координат.

Вопрос адаптации к повороту и изменению масштаба может быть решен при установке искусственных реперов. В этом случае изображения на реперных щитах должны иметь яркостную структуру с центральной симметрией. Эталонное описание таких реперов вводится заранее в вычислитель системы, что обеспечивает их однозначный выбор при захвате и автосопровождение в процессе висения с максимальной точностью.

Алгоритм вычисления координатных смещений и скоростей

Вычисление на текущих ТВ кадрах координат $Z_{тс}$, $Y_{тс}$ точки слежения осуществляется по измеренным в каналах слежения текущим координатам реперов методом геометрического подобия с использованием ин-

формации о взаимном положении координат реперов Z_{r0} , Y_{r0} и точки слежения Z_0 , Y_0 на кадре выбора и захвата реперов.

При использовании гиростабилизированной ТВ камеры с вертикальной стабилизацией визирной оси к рабочей плоскости изменения в изображении, заключающиеся в сдвиге, изменениях масштаба и повороте, описываются аффинными преобразованиями вида:

$$S(x, y) = (a_{11}x + a_{12}y + a_{13}, a_{21}x + a_{22}y + a_{23}),$$

где a_{ij} – параметры преобразования.

При использовании видеодатчика, жестко связанного с корпусом вертолета, изменения в изображении системы описываются нелинейными проективными преобразованиями, что в общем случае усложняет алгоритм и увеличивает ошибку вычисления координат точки слежения [3].

Координатные смещения в продольном Δy и поперечном Δz направлениях определяются в ТСКВ-ВК путем вычисления отклонений точки слежения относительно центра координат по известным значениям высоты полета H , угла зрения β ТВ камеры и стандарта разложения ТВ раstra следующим образом:

$$\Delta(y) = \frac{2 \cdot H \cdot n(y)}{N(y)} \cdot \operatorname{tg} \left[\frac{\beta(y)}{2} \right]$$

$$\Delta(z) = \frac{2 \cdot H \cdot n(z)}{N(z)} \cdot \operatorname{tg} \left[\frac{\beta(z)}{2} \right],$$

где $n(y)$, $n(z)$ – координаты точки слежения на растре в ТВ элементах в соответствующих направлениях y, z ; $N(y)$, $N(z)$ – число ТВ элементов разложения раstra по направлениям координат y, z .

Алгоритм вычисления высоты висения

В общем случае, при захвате произвольных реперов на местности ТСКВ обеспечивает оценку текущего значения относительной высоты висения вертолета над заданной точкой. Исходными данными для оценки относительной высоты служит количество телевизионных элементов $zr(n)$, заключающееся между координатами реперов в плоскости изображения на текущем (n -ом) ТВ кадре и значение $zr(0)$, равное числу телевизионных элементов между координатами реперов на кадре захвата (перезахвата) реперов. При отслеживании положения точки висения текущее значение относительной высоты определяется как:

$$H_{отн}(n) = zr(0) / zr(n)$$

В момент захвата реперов по команде «Автомат» значение $H_{отн} = 1$. При увеличении высоты висения вертолета значение $H_{отн}$ увеличивается. Так, при двукратном увеличении высоты $H_{отн}$ принимает значение 2. Соответственно, при двукратном снижении высоты, значение $H_{отн}$ пропорционально уменьшается до 0,5. На рис. 4 представлены фрагменты видеозаписи летных испытаний работы ТВ системы висения, иллюстрирующие оценку относительного значения высоты. Кадр 1 соответствует моменту начала работы $H_{отн} = 1$. Кадр 2 получен при снижении высоты в 1,6 раза ($H_{отн} = 0,6$). Текущее значение высоты отображается положением бегунка на шкале высоты, находящейся в правой части раstra.

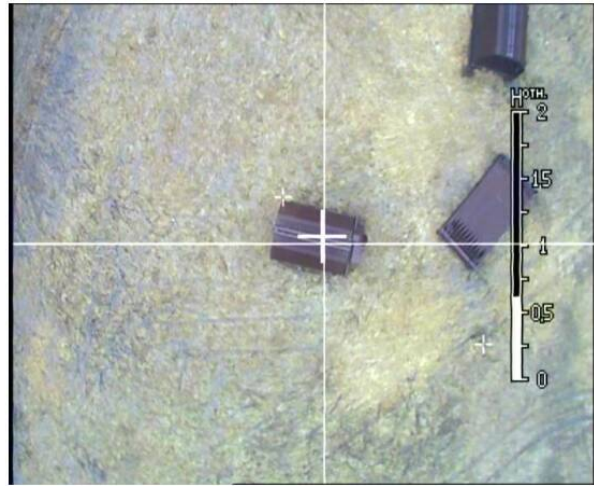
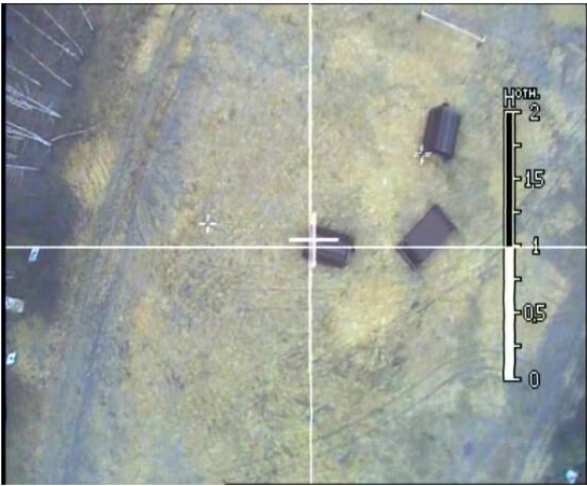


Рис. 4. Режим висения со снижением с оценкой относительного значения высоты

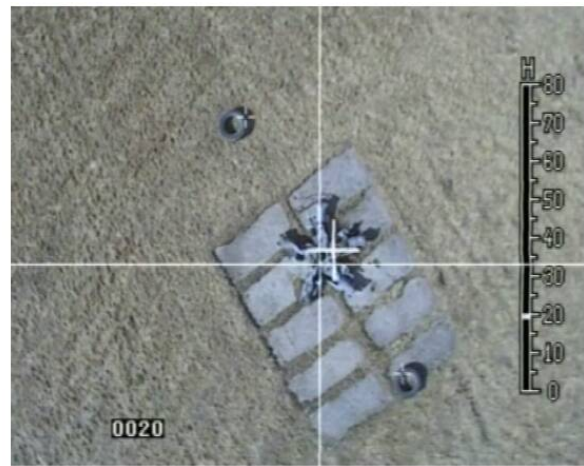
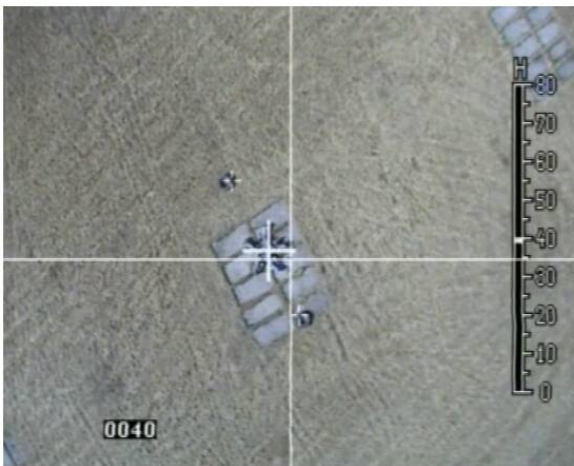


Рис. 5. Режим висения со снижением с оценкой абсолютного значения высоты

При установке на рабочей площадке, над которой проводятся работы, специальных реперов в ТСКВ предусмотрен режим предварительного ввода расстояния между реперами lr . Если такая установка выполнена перед основной работой, то после целеуказания (захвата реперов) на экране индицируется не относительная, а абсолютная шкала высот в метрах. Абсолютная высота висения вертолета вычисляется в соответствии с выражением:

$$H = \frac{lr \cdot z}{2 \cdot (zr1 + zr2) \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\beta}{2}\right)},$$

где z – число видимых элементов разложения в угле β ; $zr1, zr2$ – координаты реперов на ТВ растре.

Необходимо отметить, что показания высоты, формируемые ТСКВ, соответствует высоте висения вертолета над плоскостью установки реперов. При работе над высокими объектами (мачты ЛЭП, телебашни, колокольни и др.) полученные значения будут соответство-

вать истинной высоте висения над рабочей площадкой, тогда как показания радиовысотомера в указанных условиях могут быть ошибочными.

На рис. 5 представлена выборка из 2-х кадров видеозаписи летных испытаний работы ТВ системы висения, иллюстрирующая оценку абсолютного значения высоты с использованием реперной базы ($lr = 10 \text{ м}$).

Погрешность оценки высоты висения dH зависит от величины реперной базы lr , текущей высоты висения H и ошибки оценки координат реперов dz :

$$dH = \frac{lr \cdot z}{(2 \cdot zr \pm 1) \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\beta}{2}\right)},$$

где z – число видимых элементов в угле β .

На рис. 6 приведены значения погрешностей dH высот висения, полученные для диапазонов изменения высоты 10 ÷ 45 м при базовом расстоянии lr между реперами от 3 до 9 метров.

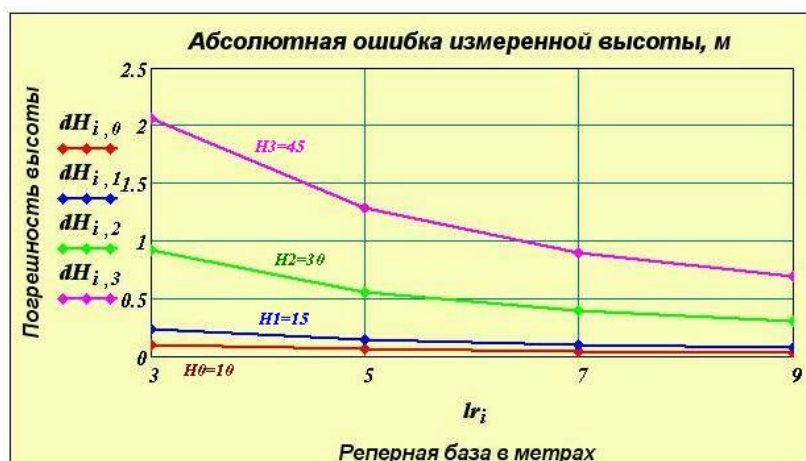


Рис. 6 Зависимость ошибки высоты ΔH от реперной базы lr

Как видно из графика, при самых неблагоприятных условиях погрешность определения высоты составляет не более 2 м при высоте висения 45 м. При практических условиях проведения монтажных работ погрешность не превышает (0,1...0,2) м.

Информационный обмен

Информационный обмен вычислителя ТСКВ-ВК со станцией СМС ТСКВ осуществляется по последовательному интерфейсу RS-422. Последовательность передачи команд и сигналов, а также формат данных соответствует протоколу обмена. Для ввода информации от бортовой аппаратуры вертолета в блоке ТСКВ-ВК реализован аналого-цифровой интерфейс, а вывод данных на автопилот и аппаратуру регистрации осуществляется соответствующим цифро-аналоговым интерфейсом.

Литература

1. Шахрай В.И., Вилкова Н.Н.. Телевизионные автоматы. Военный парад. 2005. №5. с.50-51.
2. Андрианов Г.П., Усова Н.Г., Шахрай В.И. Многорежимный автомат сопровождения объектов. // Техника средств

связи. Серия ТТ. –2010. –Вып.1, с. 52-55.

3. Б.А. Алпатов, П.В. Бабаян, О.Е. Балашов, А.И. Степашкин. Методы автоматического обнаружения и сопровождения объектов. Обработка изображений и управление. / – М.: Радиотехника, 2008. – 176 с.: ил.

DIGITAL IMAGE PROCESSING IN SYSTEM OF EXACT HOVERING HELICOPTER

Shahray V.I.

The features of methods and algorithms for video processing used in the problem of automating the process of piloting a helicopter in hover mode, accurate over a given point of the earth's surface. The description of the structure of the computing device that implements the processing algorithms in a television system determine current position of helicopter hovering.

Presents the results of semi-natural simulation and flight test system for the MI-8MTV and MI-26.

Уважаемые авторы!

Редакция научно-технического журнала "Цифровая обработка сигналов" просит Вас соблюдать следующие требования к материалам, направляемым на публикацию:

1) Требования к текстовым материалам и сопроводительным документам:

- Текст - текстовый редактор Microsoft Word.
- Таблицы и рисунки должны быть пронумерованы. На все рисунки, таблицы и библиографические данные указываются ссылки в тексте статьи.
- Объем статьи до 12 стр. (шрифт 12). Для заказных обзорных работ объем может быть увеличен до 20 стр.
- Название статьи на русском и английском языках.
- Рукопись статьи сопровождается:
 - краткой аннотацией на русском и английском языках;
 - номером УДК;
 - сведениями об авторах (Ф.И.О., организация, должность, ученая степень, телефоны, электронная почта);
 - ключевыми словами;
 - актом экспертизы (при наличии в вашей организации экспертной комиссии).

2) Требования к иллюстрациям:

Векторные (схемы, графики) - желательно использование графических редакторов Adobe Illustrator или Corel DRAW.

- Растровые (фотографии, рисунки) - М 1:1, разрешение не менее 300dpi, формат tiff.