УДК 621.397.13

ПОЛУНАТУРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ТОЧНОГО ВИСЕНИЯ ВЕРТОЛЕТА

Шахрай В.И., к.т.н., заместитель генерального директора ЗАО «МНИТИ» Арзуманян Э.П., д.т.н., главный научный сотрудник ЗАО «МНИТИ», arz-edik@mtu-net.ru Усова Н.Г., заместитель начальника СКБ ЗАО «МНИТИ»

Ключевые слова: висение вертолета, автосопровождение, телевизионная камера, видеоизображение, реперы координатные.

В соответствии с федеральной программой «Развитие гражданской авиации России на период до 2015 года» ЗАО «МНИТИ» совместно с ФГУП «ЛИИ им. М.М. Громова» разработан и

изготовлен экспериментальный образец телевизионной системы определения текущих координат висения вертолёта с грузом на внешней подвеске (шифр ТСКВ). Перед подготовкой к летным испытаниям системы на вертолете Ми-8Т проведена экспериментальная отработка системы в различных режимах: на стенде полунатурного моделирования ЗАО «МНИТИ» и пилотажном стенде КНИО-9 ФГУП «ЛИИ им. М.М.Громова».

Основными задачами отработки системы ТСКВ на стенде полунатурного моделирования (ПНМ) являлись:

 проверка выполнения режима автоматического выбора и захвата на автосопровождение реперных участков сцены;

 проверка режимов слежения за выбранной на изображении точкой при имитации плоскопараллельного перемещения и изменения высоты висения вертолета;

 оценки точности формирования вычислителем ТСКВ сигналов управления координатного смещения и их производных, необходимых для формирования закона управления;

- оценка непрерывности сигналов управления;

- оценка точности определения относительной высоты висения в ТСКВ-ВК.

- проверка информационного обмена вычислителя ТСКВ с навигационной аппаратурой вертолета, органа-

В статье представлены результаты отработки и испытаний вертолетной системы точного висения методами полунатурного моделирования. Рассмотрены особенности аппаратнопрограммной реализации стенда полунатурного моделирования и вопросы подготовки фоновой обстановки (ФО) на площадке точного висения.

ми управления работой TCKB, средствами отображения и регистрации видеоинформации.

Состав стенда ПНМ ТСКВ представлен на рис. 1, а на рис. 2 показана часть аппаратуры стенда в процессе полунатурного моделирования.

Регистрация видеоинформации в процессе испытаний производилась с помощью преобразователя «Контраст» с формированием на ЭВМ файлов в формате «avi». Информация о текущих углах ориентации вертолета задавалась с помощью имитатора вертолётной гировертикали ЦГВ-10П. Выходные сигналы ТСКВ-ВК, соответствующие угловым рассогласованиям точки висения, для каждой реализации записывались в файлы с последующей обработкой на ПЭВМ. Для компенсации угловых эволюций вертолета по крену и тангажу в вычислитель ТСКВ-ВК заведены соответствующие данные от имитатора гировертикали ЦГВ-10П. Точку на местности, над которой производилось висение, задавал оператор с помощью органов управления электронной крестовидной метки, формируемой в ТСКВ-ВК. После наложения крестовидной метки на выбранную в изображении оператор выдавал команду точку «АВТОМАТ», по которой в вычислителе ТСКВ-ВК выполнялся режим выбора реперных зон в изображении и их захват на автосопровождение.



Рис. 1 Состав стенда полунатурного моделирования ТСКВ



Рис. 2 Фрагмент рабочей обстановки на стенде моделирования

В процессе моделирования был исследован алгоритм определения высоты H по телевизионному принципу [1]. Исходными данными в этом случае служат расстояние между реперами (реперная база) lr и угол зрения β ТВ камеры. Погрешность определения точки слежения для каждого коррелятора составляет \pm 1 т.э. (телевизионный элемент).

По величине *lr* на разных высотах определяется количество телевизионных элементов *zr*, заключающееся между координатами реперов в плоскости изображения, следующим образом:

$$zr = floor\left(\frac{lr \cdot z}{2 \cdot H \cdot tg\left(\frac{\beta}{2}\right)}\right),$$

где z – число видимых т.э. в угле β ,

floor – оператор целой части числа.

С учётом флуктуационной составляющей в ± 1 т.э. максимальная погрешность вычисленной относительной высоты определяется как:

$$dH = \frac{lr \cdot z}{tg\left(\frac{\beta}{2}\right)} \cdot \left(\frac{1}{2 \cdot zr + 1} - \frac{1}{2 \cdot zr - 1}\right)$$

В таблице 1 представлены значения погрешности оценки высоты висения по данным ТСКВ. Значения получены расчетным путем и подтверждены результатами полунатурного моделирования.

				Табли	ца 1
Реперная база <i>lr</i> , м	Высота висения <i>Н</i> , м				
	10	15	30	45	
3	1.018	1.527	3.054	4.583	
5	0.603	0.916	1.832	2.852	
7	0.432	0.646	1.309	1.989	
9	0.335	0.504	1.018	1.527	

Как видно из таблицы 1, при самых неблагоприятных условиях (малая реперная база), погрешность определения высоты в системе ТСКВ не превышает 5 %. При практических условиях проведения монтажных работ погрешность оценки составит 0,5...1,5%.

При работе с грузом на внешней подвеске часть изображения местности экранируется грузом. В этой области изображения не должны быть выбраны реперы, в противном случае нарушится алгоритм адаптивного слежения. Размеры запретной зоны зависят от размера груза, амплитуды его колебаний и длины силового троса подвески. Очевидно, что случайная ориентация груза в картинной плоскости описывает круг с диаметром равным размеру наиболее длинной (широкой) части груза. Кроме того, существует определённое смещение *Sy*, *Sz* между вертикально направленными линией силового троса груза и линией визирования ТВ камеры.

Диаметры окружностей, формируемые грузом и его колебаниями, определяются как:

$$RO = \Phi\left[\left(R(y,z) - \frac{dv}{2}\right] - \Phi\left[\left(R(y,z) - \frac{dn}{2}\right]\right]$$
где $dv = ceil(D \cdot k)$ $dn = ceil(Dr \cdot k)$

целочисленные диаметры внутренней и наружной окружностей, выраженные в телевизионных элементах; ϕ – функция Хевисайда; k – коэффициент пересчёта метрических размеров на число ТВ элементов; *ceil* – оператор наибольшего целого числа;

$$R(y,z) = \sqrt{(y-y0+Sy)^{2} + (z-z0+Sz)^{2}}$$

D – расчётный диаметр груза; *Dr* – диаметр раскачки груза; *L* – длина троса до поверхности груза.

На рис. 3 приведена зона запрета установки реперов в плоскости ТВ растра. Данные диаметров и координат представлены в телевизионных элементах.



Рис. 3 Отображение запретной зоны для конкретных исходных данных

На стенде полунатурного моделирования были проведены исследования по различным сюжетам, по 10 заходов на каждый. Один из сюжетов представлял собой участок палубы корабля, на которую производится вертикальное снижение вертолёта. На рис. 4 приведены 3 ТВ кадра видеозаписи результатов испытаний системы, иллюстрирующие работу ТСКВ-ВК при масштабных изменениях и плоскопараллельных смещениях сцены. Входная информация представляла собой участок палубы корабля, над которой выполняется снижение вертолёта в режиме висения.

На Рис. 4 кадр 1 соответствует моменту целеуказания точки, над которой выполняется висение (положение большого перекрестия) с автоматическим выбором и захватом реперов. Указатель относительной высоты слева находится в исходном положении «1». Кадр 2 соответствует снижению вертолета до 0,75 исходной высоты, а кадр 3 – до 0,25.



Рис. 4 Кадры видеозаписи работы ТСКВ при имитации перемещения и снижения вертолёта над палубой корабля.



Рис. 5 Диаграмма отфильтрованных координат, полученных на 6-ом заходе исследований

На рис. 5 представлен график изменения сигналов координатного рассогласования, формируемых ТСКВ-ВК. На графике 1 выделены характерные участки траектории слежения. Первые соответствуют плоскопараллельным перемещениям сцены и обозначены надписью «Этапы перемещения». Этапы 1,2,3 обозначены надписью «Этапы сближения» и соответствуют 2-х, 4-х и 8кратным увеличениям наблюдаемой сцены.

Моменты автоматического перезахвата реперов на диаграмме отмечены вертикальными линиями. Как видно из диаграммы, непрерывность значений сигналов координат в моменты перезахвата не нарушается.

Исследования режимов управления вертолетом с использованием системы ТСКВ и подсистемы автоматического гашения колебаний проводились на пилотажном стенде КНИО-9 ФГУП «ЛИИ им. Громова». Работы выполнялись под руководством начальника лаборатории ФГУП «ЛИИ им. Громова» доктора технических наук Акимова А.И. [2]. На стенде моделировалась динамика полёта вертолета Ми-8 с грузом на внешней подвеске на режимах висения и перемещений с малыми скоростями. Для моделирования использовалась линейная динамическая модель движения вертолета с грузом на внешней подвеске со штатным автопилотом и нелинейная модель гидравлического силового привода системы продольного и поперечного управления – комбинированного агрегата (КАУ).

В модели динамики полета заданные значения углов тангажа и крена вертолета формировались по следующим алгоритмам:

$$\gamma_{3a\partial} = i_z \cdot \Delta z + \mu_z \cdot dz$$
$$\mathcal{G}_{3a\partial} = i_x \cdot \Delta x + \mu_x \cdot dx$$

где $\Delta x = x - x_{3a\partial}$ и $\Delta z = z - z_{3aд}$, сигналы рассогласования; x, z – текущие координаты вертолета, определяемые системой ТСКВ; $x_{3a\partial}, z_{3a\partial}$ – заданные летчиком в режиме целеуказания ТСКВ координаты места установки груза; dx и dy – соответствующие производные от Δx и $\Delta z; i_x, i_z, \mu_x, \mu_z$ – передаточные числа.

Управляющие сигналы $\mathcal{G}_{3a\partial}$, $\gamma_{3a\partial}$ подавались в модель штатного автопилота АП-34Б, который отклонял автомат перекоса несущего винта в продольном и поперечном направлениях по следующим законам:

$$\begin{split} \Delta \delta_{\kappa} &= i_{\gamma} \cdot (\gamma - \gamma_{_{3a\partial}}) + i_{_{\omega x}} \cdot \omega_{x} \\ \Delta \delta_{B} &= i_{g} \cdot (\mathcal{G} - \mathcal{G}_{_{3a\partial}}) + i_{_{\omega z}} \cdot \omega_{z} \,, \end{split}$$

где \mathcal{G} и γ – углы отработки соответственно по тангажу и крену; ω_x и ω_z – соответствующие угловые скорости.

В процессе выполнения работ на пилотажном стенде проводились следующие оценки:

 оценка влияния динамических характеристик приводной части автопилота на параметры движения и управления вертолетом;

 оценка влияния характеристик сигналов ТСКВ на параметры движения и управления вертолетом;

 оценка влияния ветровой нагрузки на динамику и управление вертолетом в режиме автоматического висения, а также на колебания груза на внешней подвеске.

По результатам испытаний системы на пилотажном стенде была подтверждена ее эффективность и получена положительная оценка от лётного состава. По мнению летчиков-испытателей вертолетного отряда «ЛИИ им. Громова», принимавших участие в исследованиях на пилотажном стенде, – использование автоматизированной системы управления вертолетом существенно облегчает процесс пилотирования и повышает характеристики точности режима висения.

Литература

 Арзуманян Э.П., Усова Н.Г., Шахрай В.И. Трансверсальный фильтр для телевизионного измерителя высоты полета и ее производной применительно к вертолету // НТ сборник «Техника средств связи», сер. ТТ, с. 94-97 ЗАО «МНИТИ», 2005 г., Москва.

 Отчет №137-05-ІІ по НИР «Исследование на пилотажном стенде экспериментального образца системы автоматизированного управления вертолетом на режимах точного висения с грузом на внешней подвеске». ФГУП «ЛИИ им. Громова» г. Жуковский, 2005 г.

SEMI-NATURAL SIMULATION PRECISION SYSTEMS HOVERING HELICOPTER

Shahray V.I., Arzumanyan E.P., Usova N.G.

The article presents the results of processing and testing of the system accurately hovering Helicopter semi-natural simulation methods. The features of the hardware and software implementation of the stand semi-natural modeling and the preparation of background conditions on the site precise hovering.



НОВЫЕ КНИГИ:

Смирнов А. В., Пескин А. Е. Цифровое телевидение: от теории к практике. – 2-е изд., стереотип.– М.: Горячая линия–Телеком, 2011. – 352 с.: ил.

Изложены основные принципы построения систем цифрового телевидения и телевизионных приемников для таких систем. Рассмотрены действующие стандарты цифрового представления телевизионных сигналов и методы их цифровой обработки. Описаны методы сжатия телевизионных сигналов и сигналов звукового сопровождения по стандартам JPEG, MPEG-1, MPEG-2, MPEG-4 и др. Приведены сведения о помехоустойчивом кодировании в системах цифрового телевидения и об используемых методах передачи сигналов цифрового телевидения по радиоканалам.

Большое внимание уделено стандартам телевизионного вещания DVB, используемым в Европе. Дан обзор интегральных микросхем для приемников цифрового телевидения, выпускаемых ведущими в этой области фирмами. Подробно описаны структура, принципиальные схемы и работа одного из наиболее современных цифровых телевизоров. Для специалистов, может быть полезна студентам соответствующих специальностей и подготовленным радиолюбителям. Подробнее: http://www.techbook.ru/smirnov 2.html

Ричардсон И. Видеокодирование. Н.264 и МРЕС-4 - Стандарты нового поколения

Руководство для разработчиков телекоммуникационных систем и программистов, связанных с внедрением новых технологий в областях цифрового телевидения, «видео-по-запросу» в сети Интернет и хранения видеоинформации на DVD. Благодаря появлению более производительных сигнальных процессоров, новые стандарты приходят на смену устаревшей за 10 лет технологии MPEG-2.

Изложение материала доступно инженерам, знакомым с основами кодирования и сжатия данных. Подробнее: *http://www.technosphera.ru/lib/book/191*

