электронное научно-техническое издание
НАУКА и ОБРАЗОВАНИЕ
Эл № ФС 77 - 30569. Государственная регистрация №0421100025. ISSN 1994-0408

Повышение эффективности летательных аппаратов путем перераспределения ресурсов штатных подсистем

77-30569/325917

02, февраль 2012

Палкин М. В.

УДК 629.73

МГТУ им. Н.Э. Баумана
mpalkin@km.ru

При проектировании летательных аппаратов (ЛА) двойного и специального назначения требования к их эффективности постоянно возрастают [1].

Основными направлениями повышения эффективности ЛА являются: модернизация отдельных систем с целью повышения характеристик (в т.ч. продления активного жизненного цикла); плановая замена технических элементов, резервирование подсистем [2].

Однако, как свидетельствует практика, возможности таких направлений значительно падают при превышении изделиями некоторого «возрастного порога», вследствие проявления ряда причин технологического и даже социального характера, основными из которых являются:

- значительное изменение уровня техники, делающее нерациональной установку новых систем в «старые разъемы» или комплексную модернизацию;

- появление нового поколения специалистов, не обученных обращаться с элементной базой старого образца.

В этих ситуациях актуальным средством сохранения или даже повышения эффективности выполнения целевой задачи летательным аппаратом может являться автоматическое перераспределение ресурсов (в т.ч. функций) их штатных подсистем при возникновении локальных отказов.

Известны примеры подходов к повышению эффективности систем путем перераспределения ресурсов. Например, постановка задачи автоматического перераспределения функций между приборами бортовой инерциальной системы управления движением и системой спутниковой навигации. Известна задача повышения эффективности системы ориентации путем возложения на двигатели-маховики орбитальной станции функции датчика угловой скорости ЛА и т.д.

Описаны подходы к обеспечению эффективности функционирования ЛА и путем гибкого изменения целеполагания. Например, в ряде полетов пилотируемых космических аппаратов могут быть заданы соответствующие уровни выполнения программы [2]: минимальный – экипаж возвращается на Землю; максимальный – полное выполнение программы полета.

Указанные подходы, однако, несистемны. Поэтому формализация подходов к перераспределению ресурсов (в т.ч. функций) штатных подсистем является актуальной научно-технической проблемой, позволяющей повысить эффективность создаваемой техники и уменьшить расходы государства на ее использование.

Целью проводимых работ является исследование возможности и целесообразности перераспределения ресурсов между отдельными подсистемами беспилотного ЛА для повышения его эффективности.

Достижение поставленной цели происходит в несколько этапов:

- системный анализ всех типов штатных подсистем ЛА и определение необходимых и достаточных условий перераспределения их ресурсов;

- разработка алгоритмов перераспределения ресурсов между подсистемами ЛА;

- исследование эффективности перераспределения ресурсов между определенными подсистемами летательного аппарата.

В качестве конкретного примера предложена и исследована задача резервирования гироскопических датчиков крена баллистических и аэробаллистических ЛА путем задействования штатного оптического канала получения видеоинформации планово-перспективного визирования (например, оптического канала самонаведения) на всех характерных участках полета ЛА. Канал задействуется после старта ЛА в качестве пассивного резерва и принимает головную роль после фиксации системой управления нерасчетных значений колебаний ЛА по крену, свидетельствующих о неполадках инерциальной системы ориентации.

Для задействования такого канала проведена разработка способов определения крена ЛА по наблюдаемому изображению, алгоритмов обработки видеоинформации на их основе, а также формирование и исследование системы стабилизации крена с оптическим каналом в качестве датчика.

На баллистической траектории полета угол крена определяется по расположению на кадрах матрицы фотоприемного устройства (ФПУ) областей неба и земли, выделяемых по разнице их яркостей. Алгоритм по областям «небо-земля» включает процедуры определения яркости неба, локализации области земли, определения параметров крена. Процедуры построены с использованием методов гистограммного и морфологического анализа изображения.

В частности, яркость неба определяется на восходящем участке баллистической траектории, при нахождении в поле зрения ФПУ только области неба: информация о яркости неба в виде вектора $\boldsymbol{S}_j^{'}$ максимальных частот появления пикселов из диапазона яркости головки самонаведения (ГСН), в соответствии с (1), сохраняется в памяти бортового вычислительного комплекса (БВК).

$$S_j^{'} = [s_j^{'}(J)]_1^{J\max+1}, \quad s_j^{'}(J) = \max(s_j(J), s_{j-1}^{'}(J)), J \in [0, J_{\max}] \tag{1}$$

где $[0, J_{\max}]$ – диапазон значений яркости, определяемый ГСН; $\boldsymbol{S}_j^{'}$ – вектор, определяющий максимальные значения частот появления пикселов из диапазона яркости $[0, J_{\max}]$; $s_j(J)$ – частота появления пикселов яркости J, на изображении с j-го кадра (последнего кадра перед появлением в поле зрения ГСН земли); $s_{j-1}^{'}(J)$ – максимальная частота появления пикселов яркости J на (1,…,(j-1)) кадрах).

В расчетный момент прогнозируемого появления в поле зрения ФПУ линии горизонта, на основе информации о яркости неба осуществляется поиск на кадрах отличной по яркости области земли и определение крена ЛА. Крен ЛА (2) пропорционален угловому отклонению линии, соединяющей геометрические «центры тяжести» областей «неба» и «земли», от характерного столбца матричного фотоприемного устройства:

$$\begin{cases} |\gamma| = arctg\left|\dfrac{j_н - j_з}{i_н - i_з}\right|, \quad при\ i_н < i_з, \\ |\gamma| = 180^0 - arctg\left|\dfrac{j_н - j_з}{i_н - i_з}\right|, \quad при\ i_н > i_з, \\ знак : sign\ (j_З - j_Н), \\ i_З = \dfrac{\sum\limits_{k=1}^{n_з} i_{зk}}{n_з};\ j_З = \dfrac{\sum\limits_{k=1}^{n_з} j_{зk}}{n_з};\ i_н = \dfrac{\sum\limits_{k=1}^{n_н} i_{нk}}{n_н};\ j_н = \dfrac{\sum\limits_{k=1}^{n_н} j_{нk}}{n_н}, \end{cases} \tag{2}$$

где $n_з$ – количество элементов области земли; $n_н$ – количество элементов области неба; $(i_{зk}, j_{зk})$ – соответственно, номера строки и столбца k-го пиксела области земли; $(i_{нk}, j_{нk})$ – соответственно, номера строки и столбца k-го пиксела области неба; $(i_з, j_з)$ – соответственно, номера строки и столбца «центра тяжести» области земли; $(i_н, j_н)$ – соответственно, номера строки и столбца «центра тяжести» области неба. Нумерация строк производится против принятого направления оси Oy_1 связанной системы координат ЛА, нумерация столбцов - слева направо.

На нисходящем баллистическом участке траектории определение угла крена ЛА может быть проведено путем визирования наблюдаемых ориентиров подстилающей поверхности. В качестве ориентиров выбираются любые контрастные объекты на текущем изображения с

постоянной и случайной формой (например, озера, здания, дымы). Изменение угла крена ЛА пропорционально величине перемещения геометрических «центров тяжести» изображений группы наблюдаемых объектов по столбцам матричного ФПУ (3):

$$\begin{cases} \Delta\gamma_{cp} = \dfrac{\sum\limits_{s=1}^{n} \Delta\gamma_{i,j}^{s}}{n}, \\ \Delta\gamma_{i,j}^{s} = k \cdot k_{\alpha,s} \cdot (j_{tj}^{s} - j_{ti}^{s}), \\ k = \dfrac{\beta_G}{\mathrm{n}_{\text{м.п.}}}, \end{cases} \qquad (3)$$

где $\Delta\gamma_{i,j}^{s}$ – изменение угла крена ЛА, определенное на основе ориентира с номером s; n – общее количество ориентиров; j_{tj}^{s} - номер столбца ориентира с номером s в момент времени t_j; j_{ti}^{s} - номер столбца ориентира с номером s в момент времени t_i, $t_i<t_j$; k - технологический коэффициент, определяющий соотношение между величиной угла крена и перемещением по столбцам изображения визируемого ориентира на матричном приемнике; $k_{\alpha,s}$ - коэффициент номера строки ориентира, определяющий положение ориентира относительно оси Ox_1 ЛА; $\mathrm{n}_{\text{м.п.}}$ – количество столбцов матричного приемника; β_G - угол обзора оптического приемника в боковой плоскости.

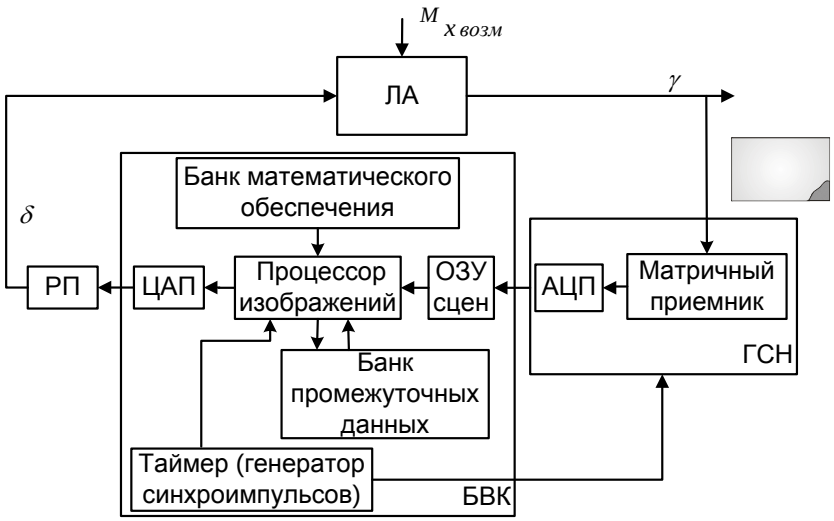
Алгоритм обработки видеоинформации по ориентирам подстилающей поверхности включает процедуры формирования и пополнения набора ориентиров, локализации ориентиров, определения параметров крена. С учетом адаптивности к изменению ракурса визирования оптического датчика алгоритм построен с использованием структурных методов, выделяющих характерные яркие пятна или линии контура (синтаксические признаки изображения), используемые в качестве ориентиров [3].

Исследование предложенных способов и алгоритмов на их основе проводилось в два этапа. На первом этапе путем моделирования исследовалась точность и надежность алгоритмов. Для этого разработана программа-имитатор их работы. В качестве тестовых примеров использовались математические модели наблюдаемого изображения. Также проведено полунатурное моделирование, заключающееся в использовании реальных кадров, полученных головками самонаведения инфракрасного и видимого диапазонов длин волн.

В ходе экспериментов определены граничные условия работы алгоритмов, в том числе контраст ориентиров и условия их нахождения (для алгоритма по областям «небо-земля»), геометрические размеры, количество, контраст, тип ориентиров (для алгоритма по ориентирам подстилающей поверхности).

На втором этапе на примере перспективного аэробаллистического аппарата исследовалась система стабилизации с ГСН в качестве датчика крена.

Для этого проведено формирование системы стабилизации, выбор параметров бортового оборудования для ее аппаратной реализации и математическое моделирование на основе разработанной дискретно-непрерывной модели системы, учитывающей время запаздывания в БВК при работе алгоритмов обработки видеоинформации, случайную ошибку определения угла крена ЛА алгоритмами вследствие флуктуации параметров ориентиров; начальные условия возможной закрутки ЛА по крену, ограничение угла поворота рулей крена ЛА, а также возмущающий момент, действующий на ЛА в канале крена. На рисунке ниже представлена разработанная функциональная схема системы стабилизации крена ЛА (обозначения: РП – рулевой привод, ЦАП – цифро-аналоговый преобразователь, АЦП – аналого-цифровой преобразователь, ОЗУ – оперативно запоминающее устройство).



Результаты исследований показали возможность перераспределения функции определения крена бортовой инерциальной системой и оптическим каналом получения видеоинформации с точностью определения и стабилизации крена на основе видеоинформации в пределах (1-3) градусов.

Реализация предложенной системы на баллистических и аэробаллистических ЛА, допускающих в штатном полетном режиме такую точность стабилизации крена, позволяет обеспечить дополнительное «внешнее» резервирование без расширения состава бортового оборудования либо оптимизировать состав аппаратуры системы управления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Стратегические комплексы наземного базирования/ С.Н. Шевченко [и др.] М.: Военный парад, 2007. 248 с.

2. Летные испытания ракет и космических аппаратов/ под ред. Е.И. Кринецкого. М.: Машиностроение, 1979. 464 с.

3. Евстифеев В.В., Палкин М.В. Управление креном аэробаллистических летательных аппаратов // Вестник МГТУ. Приборостроение. 2007. №2(48). С. 56-63.

4. Способ ориентирования по крену летательного аппарата с оптической головкой самонаведения: Патент 2280590 РФ / М.В. Палкин [и др.] Опубл. 2006. Бюлл. №8.

electronic scientific and technical periodical
SCIENCE and EDUCATION
EL № FS 77 - 30569. №0421100025. ISSN 1994-0408

Enhancement of a flying vehicles' efficiency using a resource redistribution approach

77-30569/325917

 # 02, February 2012

Palkin M.V.

Bauman Moscow State Technical University
mpalkin@km.ru

A problem of a flying vehicle's efficiency enhancement by resource redistribution was defined. Approaches to the problem were suggested. Transfer of gyroscopic roll sensor's functions to the optical image receiver was described as an example of such problems. Methods of roll determination using optical images were presented. On the basis of morphological and syntactical analyses algorithms of information processing and roll evaluation were developed. As the result of mathematical and seminatural simulation accuracy and reliability of algorithms (in comparison with gyroscopes) was estimated. Recommendations for application of methods and algorithms were given.

Publications with keywords: aircraft, optical sensor, angle of bank, image processing
Publications with words: aircraft, optical sensor, angle of bank, image processing

Reference

1. S.N. Shevchenko, et al., Strategic land-based complexes, Moscow, Voennyi parad, 2007, 248 p.
2. In: E.I. Krinetskii (Ed.), Flight testing of missiles and of spacecraft, Moscow, Mashinostroenie, 1979, 464 p.
3. Evstifeev V.V., Palkin M.V., Roll control of aeroballistic flying vehicle, Vestnik MGTU. Ser. Priborostroenie - Bulletin of BMSTU. Ser. Instrument making 48 (2) (2007) 56-63.
4. M.V. Palkin M.V., et al., Patent 2280590 RF, Approach to orientation by roll of flying vehicle with optical homing head, 2006.