

of Computer-Aided Modelling and Investigation of Interconnected Dynamical Systems //Mathematical Modelling and Applied Mathematics. - North Holland Publ. Elsvier, 1992. - P. 447-456.

4. Matrosov V.M., Rayevsky V.A., Tytov G.P., Kozlov R.I., Somov E.I., Butyrin S.A., Symonov S.A. The Software System DYNAMICS for CAD of Control Systems //Summ. of Papers Intern. Workshop "Methods and Software for Automatic Control Systems", Irkutsk, USSR, 1991. - P. 63-64.

УДК 629.78.062.2

Ю.Г.Антонов, В.П.Макаров, В.Н.Сардинский

К ВОПРОСУ ОРГАНИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ УГЛОВЫМ ДВИЖЕНИЕМ КА
НА УЧАСТКЕ ФОТОГРАФИРОВАНИЯ

При фотографировании с КА участков земной поверхности необходимо исключить сдвиг изображения относительно фотопленки. В комбинированной схеме компенсации сдвига изображения эта задача решается следующим образом: продольная составляющая скорости изображения компенсируется протяжкой фотопленки со скоростью равной скорости изображения в фокальной плоскости фотоаппарата, поперечная составляющая компенсируется с помощью СУД /1,2/.

Вектор скорости изображения экспонируемого участка поверхности Земли определяется выражением

$$v_n = f/D \cdot W, \quad (1)$$

где D - дальность до участка поверхности Земли; f - фокусное расстояние объектива фотоаппарата; W - проекция на плоскость кадра вектора скорости визируемой точки на поверхности Земли.

Проекции вектора W на продольную (OX) и поперечную (OZ) оси кадра при малых углах θ , ϕ можно представить в виде /2/:

$$v_x = v_{3x} - v_o - D\omega_z, \quad (2)$$

$$v_z = v_{3z} - v_o(\theta_o - \theta)\sin\gamma - v_o\phi + D\omega_x,$$

где v_x, v_z - проекции вектора W на оси кадра; v_{zx}, v_{zz} - проекции вектора скорости визируемой точки поверхности, вызванной суточным вращением Земли; θ_0 - угол между вектором v_0 и его проекцией на плоскость местного горизонта; γ, ψ, θ - углы ориентации фотоаппарата в ОСК по крену, рысканию и тангажу; ω_x, ω_z - проекции вектора абсолютной угловой скорости фотоаппарата.

Как следует из выражений (1,2) СУД КА, обеспечивающая трехосную ориентацию КА в ОСК с малыми остаточными угловыми скоростями ($\theta=0, \omega_x=0$), позволяет компенсировать поперечный сдвиг ($v_z=0$) при гармоническом развороте КА по рысканию по закону

$$\psi_{ГР} = v_{zz}/v_0 + \theta_0 \sin \gamma. \quad (3)$$

Точность этого метода компенсации поперечного сдвига изображения определяется ошибками ориентации КА в ОСК, определения угла разворота по рысканию для компенсации скорости подстилающей поверхности в ОСК, стабилизации КА по рысканию и угловой скорости стабилизации КА по крену.

Одним из направлений работ по увеличению точности компенсации поперечного сдвига изображения является разработка устройств, работающих по информации о подстилающей поверхности Земли и позволяющих определять ориентацию КА по каналу рыскания непосредственно. К таким устройствам относятся измерители параметров относительного движения /3,4,5/, получающие информацию об ориентации путем измерения продольной и поперечной составляющих вектора скорости движения изображения подстилающей поверхности Земли в связанной с КА системе координат.

Выходной сигнал измерителя пропорционален величине $\varphi = v_z/v_x$ и при совмещении направления осей такого измерительного устройства с соответствующими осями фотоаппарата при малых представляет собой угол сноса изображения в фокальной плоскости объектива. При выполнении условий $|v_{zx}/v_0| \ll 1, |D\omega_z/v_0| \ll 1$, с учетом выражений (2) угол сноса изображения можно представить в следующем виде:

$$\varphi = \psi - \psi_{ГР} - D\omega_x/v_0. \quad (4)$$

Из выражения (4) следует, что компенсация поперечного сдвига ($\varphi = 0$) обеспечивается при выполнении условия:

$$\psi - \psi_{ГР} = D\omega_x/v_0. \quad (5)$$

Следовательно, для компенсации поперечного сдвига достаточно сообщить КА по каналу крена угловую скорость, которая, удовлетворяя условию

(5), обеспечивала бы нулевой сигнал ($\varphi = 0$) на выходе измерителя угла сноса. СУД при фотографировании можно рассматривать как систему компенсации бокового сдвига изображения / 6,7 / - обнуления угла сноса изменением угловой скорости по крену в соответствии с выражением (5). В этом случае измеритель угла сноса работает в режиме нуля индикатора и более сложная задача измерения величины сдвига изображения заменяется задачей контроля наличия сдвига. Состав ошибок такой системы компенсации сдвига изображения меньше, чем в предыдущем случае, а точность определяется чувствительностью измерителя угла сноса и ошибкой системы стабилизации угловой скорости по крену.

В /2/ рассматривается возможность реализации в канале крена компенсационной СУД перекрестного управления по закону:

$$\omega_x = k_{\omega}(\varphi - \varphi_{Гр}). \quad (6)$$

При начальных условиях, удовлетворяющих равенству

$$\omega_{x0} = k_{\omega}(\varphi_0 - \varphi_{Гр})$$

такое управление реализуется, например при организации в канале рыскания закона управления

$$\omega_y = -\alpha \operatorname{sign}(\gamma + h\omega_x), \quad (7)$$

где h - коэффициент наклона линии переключения, $h < 0$; ω_{x0} - начальные условия в канале крена; k_{ω} - коэффициент пропорциональности; $\alpha = \omega_{x0}^{\varepsilon} / (2k_{\omega}\gamma_0)$.

Приведенный пример организации перекрестного управления в компенсационной СУД предполагает формирование управляющих моментов с помощью релейных исполнительных органов. Представляет интерес использование электромеханических исполнительных органов в системе компенсации угла сноса.

По методике, изложенной в /9/, на основании уравнений движения линеаризованной системы и уравнения связи в виде (6) получен регулятор компенсационной СУД с перекрестным управлением. Управление находится из уравнения:

$$U = R X, \quad (8)$$

где \bar{U} - вектор управления, \bar{X} - вектор состояния компенсационной СУД, $X = \{\omega_x, \gamma, \omega_y, \varphi\}$; R - матрица регулятора.

Математическое моделирование компенсационной СУД с перекрестным управлением показывает, что точность системы определяется, в основном, точностью измерителя угла сноса и его динамическими свойствами.

Проведенные Самарским государственным техническим университетом по техническому заданию ЦСКБ исследования позволили разработать и изготовить образец системы измерения скорости изображения и угла сноса /8/. С использованием измерителя угла сноса и аппаратуры СУД на базе трехступенного динамического стенда с имитатором излучения подстилающей поверхности проведено физическое моделирование компенсационной СУД с перекрестным управлением. Полученные результаты подтверждают достоинства компенсационной СУД с перекрестным управлением на участке фотографирования /11/.

Список литературы

1. Мельканович А.Ф. Основы аэрофотографии. Часть 2. Принципы построения, анализ и синтез аэрофотоаппаратов. - МО СССР, 1975.
2. Аншаков Г.П. и др. Ориентация низковысотных КА по вектору скорости подстилающей поверхности Земли //РКТ, серия XII. вып.3, 1980, с.13-19.
3. Архипов М.М. и др. Оптический корреляционный датчик угла вращения. Авт.свид. 71038, 1973.
4. Карпов Е.М. и др. Способ определения параметров движения изображения со случайным полем распределения яркости. Авт. свид. 101897, 1977.
5. Гуськов В.А., Макаров В.П., Меркулов А.Н. Способ измерения параметров движения изображения со случайным распределением яркости. Авт. свид. 378896, 1971.
6. Антонов Ю.Г., Аншаков Г.П., Макаров В.П. Система управления движением. Авт. свид. 86564, 1974.
7. Антонов Ю.Г., Макаров В.П. Система управления движением. Авт. свид. 86709, 1974.
8. Карпов Е.М. и др. Датчик скорости изображения. Авт. свид. 1152370, 1984.
9. Атэнс М., Фалб П. Оптимальное управление. М.:Машиностроение, 1969, с. 654-677.
10. Система компенсации бокового сдвига изображения. Отчет, 353П-4791-404, ЦСКБ, 1980.
11. Отчет по результатам испытаний датчика параметров движения изображения и системы компенсации угла сноса на динамическом стенде "Вектор", 353П-7496-404, ЦСКБ, 1983.