

УДК 629.78

НАВЕДЕНИЕ И ЦИФРОВОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОРИЕНТАЦИЕЙ СПУТНИКА ПРИ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОМ СКАНИРУЮЩЕМ ЗЕМЛЕОБЗОРЕ

Сомова Т. Е., Кузнецов П. К.

Самарский государственный технический университет, г. Самара

В цифровой системе управления ориентацией (СУО) космического аппарата (КА) землеобзора применяются кластер четырех двигателей-маховиков (ДМ) по схеме *General Electric* [1] с разгрузкой накопленного кинетического момента (КМ) магнитным приводом (МП) и астроинерциальная система определения углового положения (СОУП). Спутник оснащен телескопом с оптико-электронными преобразователями (ОЭП) в его фокальной плоскости. При съемке заданных участков поверхности Земли совокупностью маршрутов их сканирования ОЭП работают в режиме временной задержки и накопления. Используются инерциальная (ИСК) и геодезическая гринвичская (ГСК) с началом в центре Земли, орбитальная (ОСК) и связанная с КА (ССК) системы координат с началом в его центре масс. Ориентация ССК относительно ИСК определяется кватернионом l и вектором модифицированных параметров Родрига (МПП) $\sigma = \{\sigma_i\} = e \operatorname{tg}(\Phi/4)$. Углы ориентации φ_i ССК относительно ОСК по крену φ_1 , рысканию φ_2 и тангажу φ_3 используются в последовательности 312 при индексах $i = 1 \div 3$.

При балансе СУО по вектору КМ разработаны методы аналитического синтеза векторных сплайновых законов наведения КА $\sigma(t)$ для выполнения последовательности маршрутов сканирующей съемки (СС) произвольной длительности и поворотных маневров (ПМ) КА между ними с краевыми условиями общего вида – по кватерниону, векторам угловой скорости ω и углового ускорения ε , а также производной вектора углового ускорения на правом конце траектории ПМ. Эти методы конкретизированы для всех видов СС – трассовой, ортодромической, с выравниванием продольной скорости движения изображения, площадной съемки, стереосъемки и др. В результате единый закон наведения $\sigma(t)$ автоматически формируется в виде набора гладко сопряженных векторных сплайнов различных порядков с использованием в общем случае трех участков каждого ПМ [2] – [4]: 1) участок разгона с оптимизацией по быстродействию при ограничениях; 2) участок движения с постоянным вектором угловой скорости; 3) завершающий участок движения КА с точным выполнением заданных краевых условий на правом конце ПМ. Рисунок 1 представляет маршруты съемки российских столиц на карте, а рисунок 2 – синтезированный векторный сплайновый закон наведения. Здесь цветами выделены компоненты векторов σ , ω и ε – синим цветом по крену, зеленым по рысканию и красным по тангажу, а модули векторов ω и ε отмечены черным цветом.

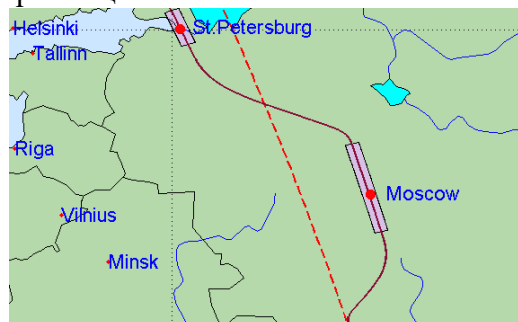


Рис. 1. Маршруты съемки российских столиц

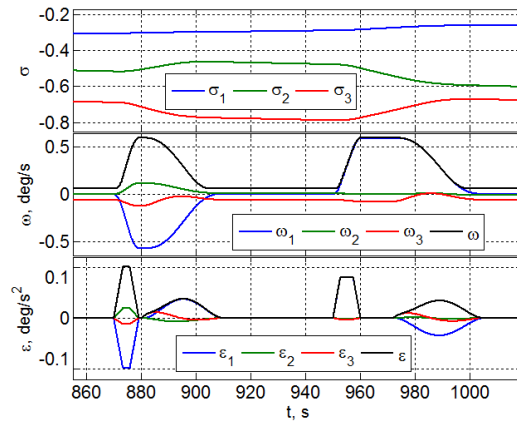


Рис. 2. Векторный сплайновый закон наведения

Разработаны алгоритмы дискретной фильтрации с периодом T_p , цифрового управления кластером ДМ с периодом $T_u \geq T_p$ при идентификации и компенсации моментов сил сухого трения по осям вращения ДМ, а также алгоритмы цифрового управления МП с периодом $T_u^m \gg T_u$ при разгрузке кластера ДМ от накопленного КМ. Здесь используется оригинальная компенсационная схема [4,5], где векторные командные сигналы одновременно посылаются на кластер ДМ и на МП, причем эти сигналы равны по импульсу механического момента МП на периоде цифрового управления ДМ, но имеют противоположные знаки. При погрешностях СОУП с СКО $\sigma^n = 1$ угл. сек $\sqrt{\Gamma}$ на частоте 8 Гц, дискретной фильтрации вектора $\delta\varphi$ углового рассогласования с периодом $T_p = 1/8$ с и цифровом управлении ДМ с периодом $T_u = 1/4$ с ошибки стабилизации синтезированного закона наведения представлены на рисунке 3.

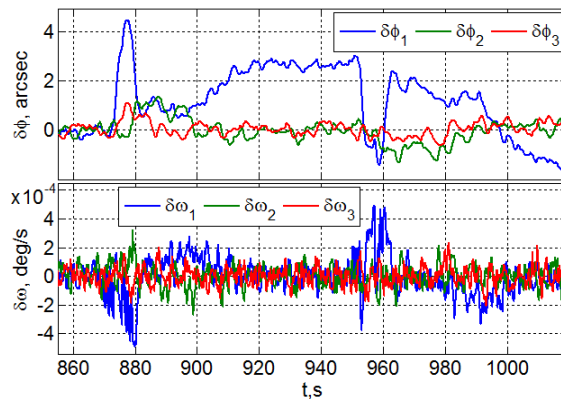


Рис. 2. Векторный сплайновый закон наведения

При периоде цифрового управления МП $T_u^m = 8$ с компоненты векторов его электромагнитного $L = \{l_i\}$ и механического $M^m = \{m_i^m\}$ моментов приведены на рисунке 4.

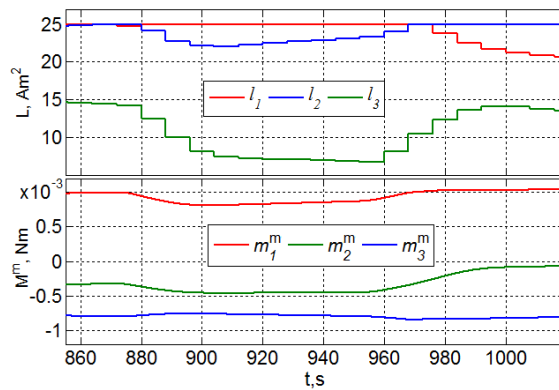


Рис. 4. Электромагнитный и механический моменты

Работа поддержана РФФИ (17-08-01708, 17-48-630637) и ОЭММПУ РАН (13).

Библиографический список

1. Сомова, Т.Е. Цифровое управление электромеханическими приводами и анимация движения спутника землеобзора [Текст] / Т.Е. Сомова, П.К. Кузнецов // Труды международной молодежной научной конференции «XIII Королевские чтения». Самара: СГАУ им. С.П. Королёва. 2015, том 1, с. 60-62.
2. Somova T. Polynomial guidance laws and animation for in-flight support of a satellite attitude determination and control system // Proceedings of 23 Saint Petersburg International Conference on Integrated Navigation Systems. 2016, pp. 344-348.
3. Somova T. Vector spline guidance laws and in-flight support of attitude control system for a land-survey satellite // Mathematics in Engineering, Science and Aerospace. 2016, vol. 7, no. 4, pp. 587-597.
4. Somova T. Attitude guidance and control, simulation and animation of a land-survey mini-satellite motion // Journal of Aeronautics and Space Technologies. 2016, vol. 9, no. 2, pp. 35-45.
5. Сомова, Т. Е. Алгоритмы наведения и цифрового управления ориентацией маневрирующего спутника землеобзора [Текст] / Т. Е. Сомова // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2016, том 18, № 4(6), с. 1173-1180