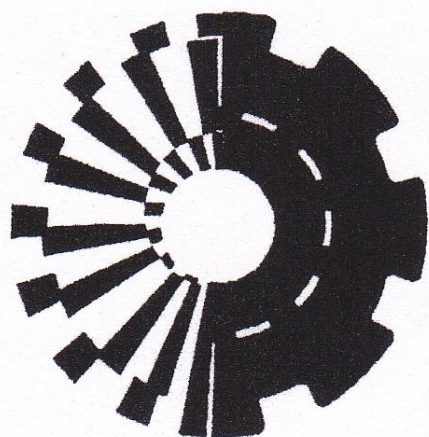


**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ
УКРАИНЫ**

ISSN 0453-7998

ISSN 0234-5110

ВЕСТНИК



**Харьковского
Государственного
Политехнического
Университета**

Выпуск 51

ХГПУ 1999

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ УКРАИНЫ

Вестник

**Харьковского
государственного
политехнического
университета**

**Выпуск 51. Системный анализ, управление и
и информационные технологии**

Основан в 1961 г.

Харьков 1999

Системний аналіз, управління і інформаційні технології: Вісник Харківського державного політехнічного університету. Збірка наукових праць. Випуск 51. — Харків: ХДПУ, 1999. -201 с.

У віснику представлені теоретичні та практичні результати наукових досліджень та розробок, що виконані викладачами вищої школи, аспірантами, науковими співробітниками різних організацій та підприємств.

Для наукових співробітників, викладачів, аспірантів.

В вестнике представлены теоретические и практические результаты научных исследований и разработок, выполненных преподавателями высшей школы, аспирантами, научными сотрудниками различных организаций и предприятий.

Для научных работников, преподавателей, аспирантов.

Редакційна колегія: *М.Д.Годлевський*, д-р техн. наук, проф. (відп. ред.); *Л.Г.Раскін*, д-р техн. наук, проф. (заст. відп. ред.); *М.І.Безменов*, канд. техн. наук, доц. (відп.секр.); *Є.Є.Александров*, д-р техн. наук, проф.; *Є.Г.Голоскоков*, д-р техн. наук, проф.; *А.В.Дабагян*, д-р техн. наук, проф.; *В.Я.Заруба*, д-р екон.наук, проф.; *Ю.Т.Костенко*, д-р техн. наук, проф.; *І.В.Кононенко*, д-р техн. наук, проф.; *О.С.Куценко*, д-р техн. наук, проф.; *Л.М.Любчик*, д-р техн. наук, проф.; *Г.А.Сухоруков*, д-р техн. наук, проф.; *Ю.В.Шкварко*, д-р техн. наук, проф.; *М.О.Ястребенецький*, д-р техн. наук, проф.

Адреса редакційної колегії: 310002, м.Харків, вул.Фрунзе, 21, Харківський державний політехнічний університет, кафедра управління, тел.: (0572) 40 - 01 - 03.

**Рекомендовано до друку Вченою радою ХДПУ,
протокол № 6 від 25.06.99р.**

СОДЕРЖАНИЕ

Гамаюн И.П. Алгоритм выявления системных свойств в подмножествах элементов технической системы	3
Голоскоков А.Е., Орехов С.В. Ситуационное управление развитием сложной системы в условиях неопределенности	7
Абу Зейд М. Анализ источников нечеткости в модели локальной задачи системной оптимизации	11
Костенко Ю.Т., Куценко А.С., Свиридова И.А. Об одном подходе к проблеме параметрической оптимизации регулируемых систем	14
Раскин Л.Г., Серая О.В. Оценка точности прогнозирования состояния динамических объектов	19
Аёдаров А.В. Формирование математических моделей решения функциональных задач на основе подобия информационных моделей	22
Любчик Л.М., Костюк О.В. Адаптивное прогнозирование волновых непериодических временных рядов	26
Костенко Ю.Т., Малько М.Н. Приближенная компенсация параметрических возмущений в неминимально-фазовых системах	32
Шевченко С.В. Оптимизация структуры систем контроля безопасности распределенных объектов	35
Раскин Л.Г., Клишко Е.В., Миненкова З.Е. Эффективный алгоритм кластеризации в пространстве произвольной метрики	40
Скляр Е.А., Шкварко М.Ю., Эльзейн М.Х. Асимптотическая эффективность дескриптивных алгоритмов пространственного разрешения сигналов в системах технического зрения	43
Безменов Н.И., Коваленко С.В. Об оценке степени связи между параметрами, измеряемыми в шкале наименований	47
Иванчихин Ю.В. Технология фазового укрупнения многомерных полумарковских систем	50
Мельников И. В. Методика расчета закона изменения интенсивности отказов редко контролируемых систем	53
Пономарев А.С., Астахов Е.А. К проблеме формирования математической модели АПК Украины	56
Седельникова Л.Г. Анализ чувствительности оптимальных регуляторов двухканальных электроприводов обмоточных машин	60
Голоскоков Е.Г., Назаров А.С. Терминальное управление вращением жесткого космического аппарата на основе кинематической модели	64
Плаксий Ю.А., Некрасова М.В. Об определении ориентации в ПИД на основе избыточных систем ДУС	69

ТЕРМИНАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ВРАЩЕНИЕМ ЖЕСТКОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА НА ОСНОВЕ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Пропонується універсальне рішення різних задач управління обертанням космічного апарату, яке побудовано по програмно заданій траєкторії переорієнтації. Представлена кінематична кватерніонна модель сферичного типу, за допомогою якої за рахунок вибору опорних функцій у вигляді поліномів можливо вирішити будь-яку задачу управління обертанням космічного корабля.

Рассматривается задача терминального управления вращением жесткого космического аппарата (КА), которое описывается дифференциальными уравнениями [1]

$$\dot{\Lambda} = \frac{1}{2}(\Lambda \circ \bar{\omega}); \quad (1)$$

$$I\dot{\bar{\omega}} + [\bar{\omega} \times I\bar{\omega}] = \bar{M}, \quad (2)$$

где Λ - кватернион ориентации КА; $\bar{\omega}$ - вектор угловой скорости вращения КА в проекциях на связанные с ним оси; I - матрица моментов инерции аппарата; \bar{M} - управляющий момент (внешним возмущающим моментом пренебрегаем); \circ - знак кватернионного умножения.

Задача терминального управления вращением состоит в определении вектор-функции $\bar{M}(t)$, которая обеспечивает за заданное время T перевод вектора состояния $\{\Lambda, \bar{\omega}\}$ из начального положения в определенном образом заданное конечное (в общем случае при ненулевых начальной и конечной угловой скорости).

На практике находят применение различные режимы управляемого вращения. Для их реализации, как правило, используют разные алгоритмы управления. Например, в [2] использован подход к решению задачи управления вращением для построения законов управления вращением КА.

случае, когда в качестве управления выступает вектор абсолютной угловой скорости.

В этих условиях предлагается универсальный алгоритм решения различных задач управления вращением КА, реализуемый по программно задаваемой траектории вращения.

Для построения программной траектории используется кватернионная кинематическая модель сферического типа [3]

$$\Lambda_M(t) = \Lambda_1(t) \circ \Lambda_2(t) \circ \Lambda_3(t), \quad (3)$$

где $\Lambda_i(t) = \cos\left(\frac{\psi_i(t)}{2}\right) + \bar{b}_i \cdot \sin\left(\frac{\psi_i(t)}{2}\right), i = \overline{1,3};$

$$\bar{b}_3 = \frac{\bar{\omega}_K}{|\bar{\omega}_K|}; \bar{b}_2 = \frac{(\Lambda_0 \circ \bar{b}_3 \circ \tilde{\Lambda}_0) \times \bar{b}_3}{|(\Lambda_0 \circ \bar{b}_3 \circ \tilde{\Lambda}_0) \times \bar{b}_3|}; \bar{b}_1 = \bar{b}_3 \times \bar{b}_2.$$

Здесь $\bar{b}_i, i = \overline{1,3}$ - единичные векторы; $\psi_i(t), i = \overline{1,3}$ - некоторые опорные функции. Этой модели соответствуют модельная угловая скорость, модельное угловое ускорение и программный управляющий момент

$$\bar{\omega}_M = 2 \cdot (\tilde{\Lambda}_M \circ \dot{\Lambda}_M); \quad (4)$$

$$\dot{\bar{\omega}}_M = 2 \cdot (\tilde{\dot{\Lambda}}_M \circ \dot{\Lambda}_M + \tilde{\Lambda}_M \circ \ddot{\Lambda}_M); \quad (5)$$

$$\bar{M}_M = I \dot{\bar{\omega}}_M + [\bar{\omega}_M \times I \bar{\omega}_M]. \quad (6)$$

Роль модельных параметров здесь играют опорные функции $\psi_i(t)$ ($i = \overline{1,3}$). Путем их соответствующего выбора необходимо обеспечить выполнение краевых условий различных задач управления.

Целью данного исследования является получение универсального алгоритма решения любой практически значимой задачи управляемого вращения на основе кинематической модели (3), (4) с помощью выбора опорных функций.

Считая, что к терминальным условиям задачи управления вращением относятся значения вектора состояния $\{\Lambda, \bar{\omega}\}$ в начальный и конечный моменты времени, можно выделить следующие типовые режимы управляемого вращения КА (см. табл. 1).

Классификация режимов управляемого вращения КА
на основе терминальных условий

Название режима	Сущность режима	$\bar{\omega}(T)$	$\Lambda(T)$
Трехосная переориентация	Заданное конечное угловое положение связанного триэдра относительно инерциального	$\bar{\omega}_k$	$\{1,0,0,0\}$
Одноосная переориентация	Заданная ориентация фиксированной оси КА \bar{v} относительно инерциальных осей при произвольном положении двух других осей	$\bar{\omega}_k = \omega_k \cdot \bar{v}$, где $\bar{v} = \frac{\bar{\omega}_k}{ \bar{\omega}_k }$	$\sqrt{1-s^2} + s \cdot \bar{v}$, где $ s \leq 1$
Раскрутка КА	Обеспечение заданной ненулевой конечной скорости вращения КА при произвольном положении аппарата	$\bar{\omega}_k$	—
Гашение угловой скорости	Успокоение КА при произвольной конечной угловой ориентации	0	—

С учетом векторов (5) из краевых условий (см. табл. 1) задач управления вращением получены выражения для краевых значений опорных функций $\bar{\psi}(t)$ и их производных $\dot{\bar{\psi}}(t)$. Для всех рассматриваемых режимов управляемого вращения КА краевые значения $\bar{\psi}(0)$, $\dot{\bar{\psi}}(0)$ являются одинаковыми и определяются следующими выражениями

$$\psi_{30} = 2 \operatorname{arctg} \frac{(\bar{\lambda}_0, \bar{b}_3)}{\lambda_0}; \quad \psi_{10} = 0;$$

$$\psi_{20} = 2 \arcsin(\bar{\lambda}_0, \bar{b}_2''), \quad \text{где } \bar{b}_2'' = \sin(\psi_{30}/2) \bar{b}_2 - \cos(\psi_{30}/2) \bar{b}_1;$$

$$\psi_{10} = \frac{(\bar{\omega}_0, \bar{b}_1')}{\cos \psi_{20}}, \quad \text{где } \bar{b}_1' = \sin \psi_{30} \bar{b}_2 + \cos \psi_{30} \bar{b}_1; \quad (7)$$

$$\psi_{20} = (\bar{\omega}_0, \bar{b}_2'), \quad \text{где } \bar{b}_2' = \sin \psi_{30} \bar{b}_2 - \cos \psi_{30} \bar{b}_1;$$

$$\psi_{31} = (\bar{\omega}_0, \bar{b}_3) + \sin \psi_{20} \cdot \dot{\psi}_{10}.$$

В таблице 2 приведены краевые значения опорных функций и их производных по окончании процесса управляемого вращения КА.

Таблица 2

Краевые значения опорных функций и их производных

Название режима	$\bar{\psi}(T)$	$\dot{\bar{\psi}}(T)$
Трехосная переориентация	$\psi_{iT=0} \ (i=\overline{1,3})$.	$\dot{\psi}_{iT=0} = 0$
Одноосная переориентация	ψ_{3T} не фиксируется	$\dot{\psi}_{2T} = 0$
Раскрутка КА	$\psi_{iT} \ (i=\overline{1,3})$	$\dot{\psi}_{3T} = \bar{\omega}_k $
Гашение угловой скорости	не фиксируются	

Опорные функции $\psi_i(t)$ выбираются в виде полиномов времени (см. табл. 3). Порядок полиномов обусловлен количеством граничных условий и связан с типом режима управляемого вращения.

Таблица 3

Вид опорных функций, их первой и второй производных

Название режима	$\bar{\psi}(t), \dot{\bar{\psi}}(t), \ddot{\bar{\psi}}(t)$
Трехосная переориентация	$\psi_i(t) = a_{0i} + a_{1i}t + a_{2i}t^2 + a_{3i}t^3; \dot{\psi}_i(t) = a_{1i} + 2a_{2i}t + 3a_{3i}t^2;$ $\ddot{\psi}_i(t) = 2a_{2i} + 6a_{3i}t, i = \overline{1,3}.$
Одноосная переориентация	$\psi_i(t), \dot{\psi}_i(t), \ddot{\psi}_i(t), i = 1,2$ - те же самые; $\psi_3(t) = a_{03} + a_{13}t + a_{23}t^2; \dot{\psi}_3(t) = a_{13} + 2a_{23}t; \ddot{\psi}_3(t) = 2a_{23}.$
Раскрутка КА	$\psi_i(t) = a_{1i}t + a_{2i}t^2, i = \overline{1,3};$
Гашение угловой скорости	$\dot{\psi}_i(t) = a_{1i} + 2a_{2i}t, i = \overline{1,3}; \ddot{\psi}_i(t) = 2a_{2i}, i = \overline{1,3}.$

Коэффициенты $a_{ki} \ (k = \overline{0,3}; i = \overline{1,3})$ полиномиальных опорных функций обеспечивают выполнение краевых условий задач управляемого вращения и, исходя из вида и краевых значений опорных функций и их производных (см. формулы (7) и табл. 2 и 3), определяются следующим образом (см. табл. 4).

Полученный алгоритм решения задачи управляемого вращения КА может быть реализован и для других режимов управления вращением КА. Так для режима угловой стабилизации КА, конечные условия которого задаются выражениями $\lim_{t \rightarrow \infty} \psi(t) = 0, \lim_{t \rightarrow \infty} \dot{\psi}(t) = 0$, закон изменения опорных функций может быть задан в виде дифференциального уравнения $\ddot{\psi}_i + k_{2i} \cdot \dot{\psi}_i + k_{1i} \cdot \psi_i = 0 \ (i = \overline{1,3})$, где коэффициенты k_{1i}, k_{2i} выбираются, исходя из требуемого качества переходного процесса стабилизации [4].

Значения коэффициентов полиномиальных опорных функций

Название режима	$a_{ki} \ (k = \overline{0,3}, i = \overline{1,3})$
Трехосная переориентация	$a_{0i} = \psi_{i0}; a_{2i} = \frac{3 \cdot [\psi_{i\Gamma} - \psi_{i0}] - T \cdot [2\dot{\psi}_{i0} + \dot{\psi}_{i\Gamma}]}{T^2};$ $a_{1i} = \dot{\psi}_{i0}; a_{3i} = \frac{2 \cdot [\psi_{i0} - \psi_{i\Gamma}] + T \cdot [\dot{\psi}_{i0} + \dot{\psi}_{i\Gamma}]}{T^3}, i = \overline{1,3}.$
Одноосная переориентация	$a_{0i}, a_{1i}, i = \overline{1,3}$ - те же самые; $a_{2j}, a_{3j}, j = \overline{1,2}$ - те же самые; $a_{23} = \frac{\dot{\psi}_{3\Gamma} - \dot{\psi}_{30}}{2T}.$
Раскрутка КА	$a_{1i} = \dot{\psi}_{i0}, i = \overline{1,3};$
Гашение угловой скорости	$a_{2i} = \frac{\dot{\psi}_{i\Gamma} - \dot{\psi}_{i0}}{2T}, i = \overline{1,3}.$

Решение задачи управления вращением КА получено в разомкнутой форме. Для его замыкания предлагается использовать текущую информацию о векторе состояния. В этом случае полученные состояния КА в качестве начальных значений $\{\bar{\omega}_0, \Lambda_0\}$ остаются теми же. При этом алгоритм формирования управляющего момента \bar{M} существенно упрощается.

Таким образом, использование кинематической модели (3), (4) с учетом выбора опорных функций позволяет получить универсальное решение любой практически важной задачи управления вращением КА. Проведенное на ряде тестовых задач моделирование свидетельствует об эффективности данного решения.

Список литературы: 1. Бранец В.Н., Шмыглевский И.П. Применение кватернионов в задачах ориентации твердого тела. - М.: Наука, 1973. - 320 с. 2. Челноков Ю.Н. Кватернионное решение кинематических задач управления ориентацией твердого тела: уравнения движения, постановка задачи программного движения и управление // Изв. РАН. МГТ. - 1993. - № 4. - С. 7-14. 3. Фролов Ю.А., Успенский В.Б. Построение траектории разворота твердого тела // Вестн. Харьк. политехн. ин-та. - 1993. - Т. 17, № 12. - С. 11-13. 4. Крутько П.Д. Управление движением Эйлеровых систем. Синтез алгоритмов методом обратных задач динамики // Изв. РАН. Теория и сист. упр. - 1995. - № 1. - С. 34-53.

Поступила в редколлегию 20.04.99

СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ

**ВЕСТНИК ХАРЬКОВСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА**

Выпуск 51

Редакторы: Годлевский М.Д., Лунева В.М.

Подписано к печати 16.06.99. Формат 60x84/16. Бумага CopyRex.
Усл. печ. л. 12.74 Уч.- изд.л. 12.99. Тираж 150. Зак. 126-10.

Напечатано на ризографе ХГПУ
310002, г. Харьков, ул. Фрунзе, 21,
Свидетельство о госрегистрации №559 от 17.04.98.