

УДК 007.52

ББК 32.817

ЧАСТНЫЙ АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ МУЛЬТИАГЕНТНОЙ СИСТЕМОЙ

Казанин Д. К.¹

(ОАО АНПП «Темп-Авиа»,

Арзамасский политехнический институт (филиал НГТУ),
Арзамас)

Рассматривается групповой полёт гипотетических летательных аппаратов. Предложен алгоритм управления мультиагентной системой, учитывающий ограничения, накладываемые на траекторию ЛА и его угловое положение. Произведено математическое моделирование полёта группы ЛА.

Ключевые слова: летательный аппарат, объект управления, система стабилизации, продольный канал, боковой канал, алгоритм управления, групповой полёт.

1. Введение

В настоящее время становится актуальной задача управления группами мобильных объектов (агентов). В зависимости от типа объектов, а также вида информационного взаимодействия между ними возможны различные подходы к построению алгоритмов управления мультиагентной системой. В большинстве случаев математическая модель такой системы [2,3,4,5,6] имеет упрощенный линейный вид, что позволяет использовать математический аппарат, разработанный для систем такого рода. В случае построения полной (нелинейной) модели объектов и учёта их взаимодействия с окружающей средой приходится строить более сложный адаптивный алгоритм управления.

¹ Дмитрий Константинович Казанин, инженер-математик, аспирант (mysterio7@rambler.ru).

2. Постановка задачи

В качестве объекта исследования будем рассматривать группу гипотетических летательных аппаратов (ЛА), совершающих движение по заданной траектории (рисунок 1)

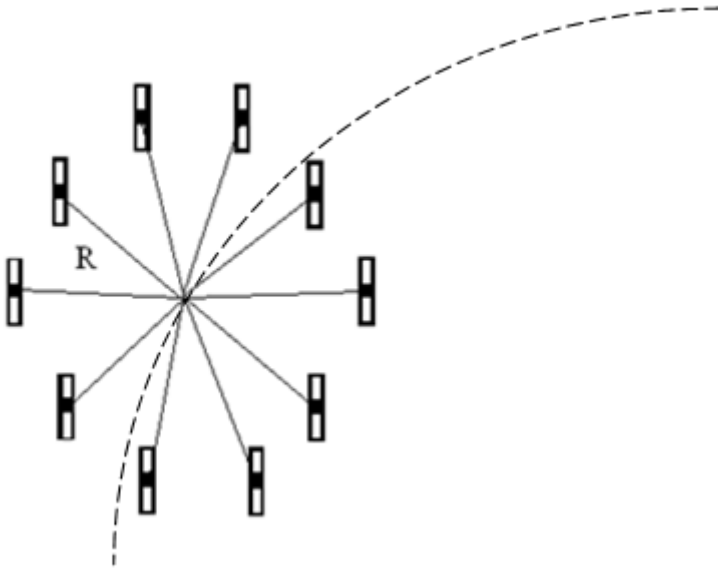


Рис. 1. Заданная траектория движения группы гипотетических ЛА

Динамическая модель поведения каждого агента может быть представлена следующей системой дифференциальных уравнений (1):

$$(1) \left\{ \begin{array}{l} \ddot{\mathcal{G}} + a_1 \dot{\mathcal{G}} + a_2 \alpha + a_{32} \delta_2 + a_{33} \delta_3 = 0, \\ a_4 \alpha + a_{52} \delta_2 + a_{53} \delta_3 = \dot{\mathcal{G}}, \\ \mathcal{G} = \theta + \alpha, \\ \ddot{\psi} + b_1 \dot{\psi} + b_{11} \dot{\gamma} + b_2 \beta + b_{31} \delta_1 + b_{32} \delta_2 + b_{33} \delta_3 = 0, \\ b_4 \beta + b_{51} \delta_1 + b_{52} \delta_2 + b_{53} \delta_3 = \dot{\phi}, \\ \psi = \phi + \beta, \\ \ddot{\gamma} + c_1 \dot{\gamma} + c_{11} \dot{\psi} + c_2 \beta + c_{31} \delta_1 + c_{32} \delta_2 + c_{33} \delta_3 = 0, \\ \sigma_g = i_a \mathcal{G} + \rho_a \dot{\mathcal{G}}, \\ \sigma_\psi = i_i \psi + \rho_i \dot{\psi}, \\ \sigma_\gamma = i_\gamma \gamma + \rho_\gamma \dot{\gamma}, \\ \delta_1 = k_{11} \sigma_g + k_{12} \sigma_\psi + k_{13} \sigma_\gamma, \\ \delta_2 = k_{21} \sigma_g + k_{22} \sigma_\psi + k_{23} \sigma_\gamma, \\ \delta_3 = k_{31} \sigma_g + k_{32} \sigma_\psi + k_{33} \sigma_\gamma, \end{array} \right.$$

где $\alpha, \beta, \gamma, \mathcal{G}, \psi, \theta, \phi$ – углы атаки, скольжения, крена, тангажа, рыскания и траекторные углы;

$\sigma_g, \sigma_\psi, \sigma_\gamma$ – поканальные управляющие сигналы системы автоматического управления (САУ);

δ_i – углы отклонения рулей ЛА;

$i_{в,н,э}, \rho_{в,н,э}$ – передаточные числа САУ по позиционным и демпфирующим сигналам;

k_{ij} – передаточные числа блока кинематической разводки рулей;

$a_i, a_{ij}, b_i, b_{ij}, c_i, c_{ij}$ – аэродинамические коэффициенты [1].

В зависимости от вида траектории движения ЛА, а прежде всего от высоты и скорости движения, происходит изменение аэродинамических коэффициентов. В связи с этим является актуальной задача синтеза адаптивного управления для каждого агента, а в дальнейшем и для мультиагентной системы в целом.

3. Структура системы стабилизации

Система стабилизации рассматриваемых ОУ может представлять собой цифро-аналоговую систему. Внутренние контуры (контуры демпфирования) – аналоговые, внешние контуры (контуры перегрузки и угла крена) – цифровые.

Замыкание всех обратных связей контуров стабилизации осуществляется по информации датчиков первичной информации.

С учётом произведённого выбора основных принципов формирования обратных связей структурная схема регулятора цифро-аналогового прототипа продольного канала стабилизации нормальной и боковой перегрузки может иметь вид, приведённый на рисунке 2.

Структурная схема регулятора канала крена (рисунок 3) строится с замыканием обратных связей по информации об угловой скорости ω_{x1} и углу крена γ . Для обеспечения астатизма вводится интеграл по отклонению от заданного угла $\gamma_{зад}$.

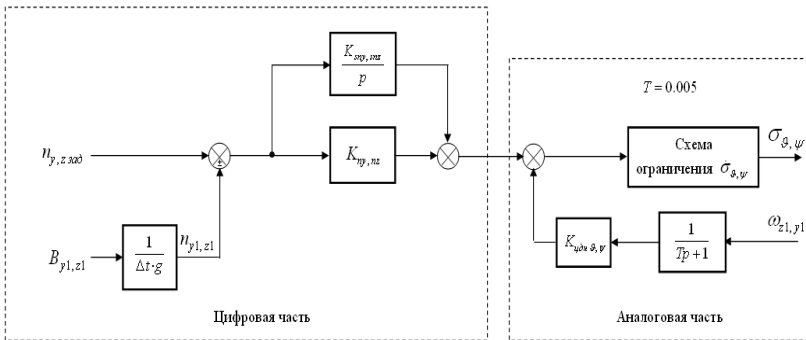


Рис. 2. Структурная схема регулятора продольного и бокового канала

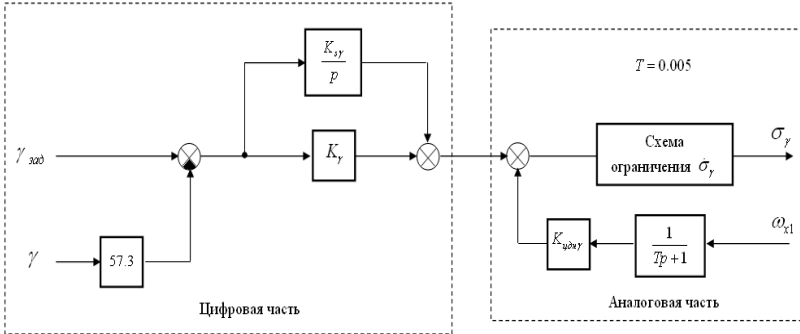


Рис. 3. Структурная схема регулятора канала крена

4. Управление

Для рассматриваемого объекта управления были синтезированы коэффициенты усиления, а также разработаны алгоритмы управления продольным и боковым движением.

Продольное движение реализуется согласно следующим законам управления (2), (3):

$$(2) \quad n_{y\zeta\ddot{a}\ddot{a}} = k_h \cdot \Delta h + k_{dh} \cdot v_y + \cos \theta ,$$

$$\Delta h = h - h_{\zeta\ddot{a}\ddot{a}} ,$$

где $n_{y\zeta\ddot{a}\ddot{a}}$ – заданная перегрузка для продольного канала;

h – текущая высота полёта, м;

$h_{\zeta\ddot{a}\ddot{a}}$ – заданная высота полёта, м;

v_y – проекция скорости, м/с;

θ – траекторный угол, рад;

k_h, k_{dh} – коэффициенты ПД-регулятора;

$$(3) \quad n_{y\zeta\ddot{a}\ddot{a}} = \frac{v^2 \cdot (1 - \cos \theta)}{g \cdot \Delta h} + \cos \theta ,$$

где v – модуль скорости полёта, м/с;

$g=9,81$ – ускорение свободного падения, м/с².

Закон управления (3) необходим для более плавного перехода на заданную высоту $h_{зад}$ и функционирует при выполнении следующего условия (4):

$$(4) \quad 5 < |\Delta h| \leq \left| \frac{v^2 \cdot (1 - \cos \theta)}{g \cdot (0.4 \cdot n_{ogr} + \cos \theta)} \right|,$$

где n_{ogr} – круговая действующая перегрузка.

Ниже представлен закон управления боковым движением:

$$(5) \quad n_{z\zeta\ddot{a}\ddot{a}} = k_z \cdot \Delta z + k_{dz} \cdot v_z,$$

$$\Delta z = z - z_{\zeta\ddot{a}\ddot{a}},$$

где $n_{z\zeta\ddot{a}\ddot{a}}$ – заданная перегрузка для бокового канала;

z – текущее боковое отклонение, м;

$z_{\zeta\ddot{a}\ddot{a}}$ – заданная высота полёта, м;

v_z – проекция скорости, м/с;

k_z, k_{dz} – коэффициенты ПД-регулятора.

В канал крена заданный сигнал подаётся равным 0:

$$(6) \quad \gamma_{\zeta\ddot{a}\ddot{a}} = 0.$$

В связи с существенным изменением коэффициентов усиления в зависимости от режима полёта ЛА была разработана система адаптации, построенная по принципу кусочно-полиномиальной аппроксимации.

5. Моделирование

Анализ синтезированных адаптивных цифро-аналоговых регуляторов внутренних контуров стабилизации проводился методом математического моделирования переходных процессов отработки скачкообразных заданных управлений. Моделирование производится в рамках пространственного обобщенного объекта управления (ООУ), представляющего собой объединение полной пространственной модели объекта управления с синтезированным трехканальным регулятором внутренних контуров стабилизации короткопериодического движения, а также с алгоритмами управления продольным и боковым движением. В процессе моделирования были учтены все основные факторы, действующие на мультиагентную систему (рисунок 4).

Алгоритмы регулятора были реализованы в цифровом виде. Частота реализации алгоритмов основных контуров составляет 100 Гц, алгоритма адаптации – 10 Гц. Входами ООУ являются заданные координаты $h_{зад}$, $z_{зад}$.

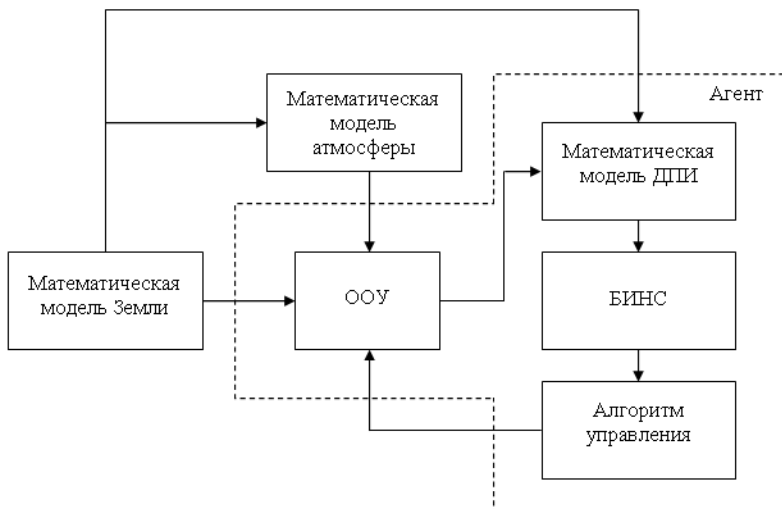


Рис. 4. Факторы, действующие на мультиагентную систему

Моделирование реализуется одновременно на нескольких ОУ (агентах) с различными начальными условиями полёта и заданными координатами.

Начальные условия полёта для каждого агента сведены в таблицу 1.

Таблица 1. Начальные условия полёта

№№ агента	Скорость V , м·с ⁻¹	Высота h , м	Боковое отклонение z , м
1	450,0	9000	0
2	450,0	15000	0
3	450,0	10000	0

В таблице 2 приведены заданные координаты.

Таблица 2. Заданные координаты

№№ агента	Высота $h_{зад}$, м	Боковое отклонение $z_{зад}$, м
1	12500	-100
2	13000	0
3	13500	100

Результаты моделирования представлены на рисунках 5-6.

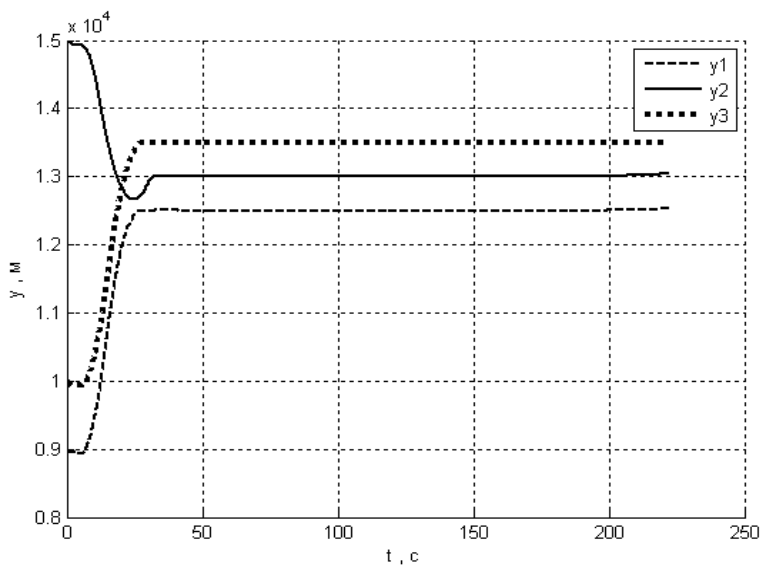


Рис. 5. Продольный канал

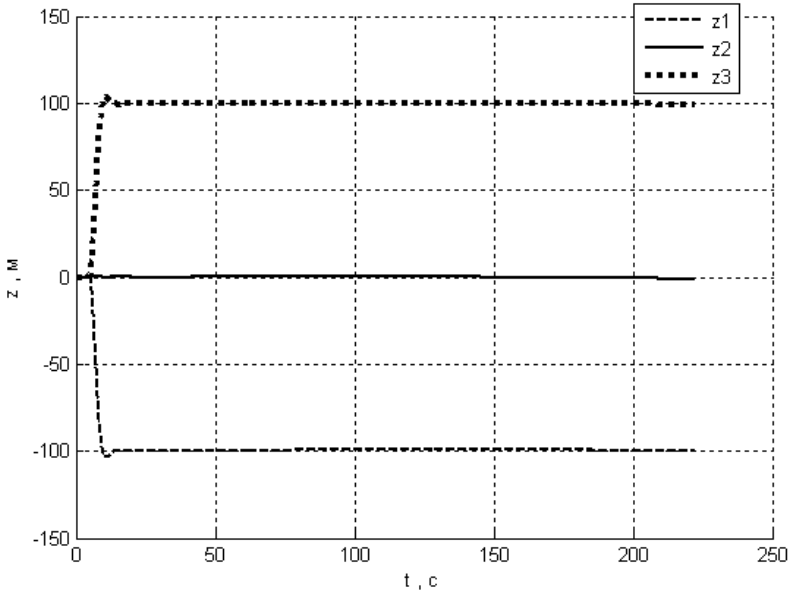


Рис. 6. Боковой канал

6. Выводы

1. Для рассматриваемого ОУ разработаны системы стабилизации продольного канала, бокового канала и канала крена.

2. Реализованы алгоритмы управления продольным и боковым движением.

3. Осуществлено моделирование группового полёта (для 3 агентов), по результатам которого можно судить об эффективной работе полученных систем стабилизации и алгоритмов управления.

Перспективы дальнейших разработок заключаются в следующем:

- реализовать информационный обмен между агентами;
- разработать алгоритмы управления для формирования различных вариантов строя в мультиагентной системе;

– рассмотреть способы поддержания строя при неблагоприятных условиях полёта, при потере связи между некоторыми агентами и при получении недостоверных «зашумлённых» навигационных данных.

Литература

1. АБАДЕЕВ Э. М., ЛЯПУНОВ В. В., ТРУСОВ В. Н. *Основы формирования облика систем управления авиационного ракетного вооружения* // Издательско-торговая корпорация «Дашков и К°» – 2012.
2. HUA M. D., HAMEL T., MORIN P., SAMSON C. *Introduction to feedback control of underactuated VTOL vehicles* // IEEE Control systems magazine – 2013, February.
3. JADBABAIE A., LIN J., MORSE S. *Coordination of groups of mobile autonomous agents using nearest neighbor rules* // IEEE Transactions on automatic control – 2003, June. – Vol. 48, № 6.
4. PURVIS K., ASTROM K., KHAMMASH M. *Estimation and optimal configurations for localization using cooperative UAVs* // IEEE Transactions on control systems technology – 2008, September. – Vol. 16, № 5.
5. TANNER H., PAPPAS G., KUMAR V. *Leader-to-formation stability* // IEEE Transactions on robotics and automation – 2004, June. – Vol. 20, № 3.
6. TEO R., STIPANOVIC D., TOMLIN C. *Decentralized spacing control of a string of multiple vehicles over lossy datalinks* // IEEE Transactions on control systems technology – 2010, March. – Vol. 18, № 2.

PRIVATE CONTROL ALGORITHM OF THE MULTIAGENT SYSTEM

Dmitriy Kazanin, «Temp-Avia», Arzamas Polytechnical institute, Arzamas, engineer-mathematician, post-graduate student (mysterio7@rambler.ru).

Abstract: Group flight of the hypothetical flying machines is considered. Control algorithm of the multiagent system is proposed. It takes into account the limitations imposed on the trajectory of the flying machine and its angular position. Mathematical modeling of the flying machine group flight is made.

Keywords: flying machine, control object, stabilization system, longitudinal channel, side channel, control algorithm, group flight.