

НЕ БЗ

На правах рукописи

УДК 621.513.7

КЭ ФАН

**АНАЛИЗ И РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ
СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ
АППАРАТАМИ ОДНОГО КЛАССА**

Специальность 05.13.01

Системный анализ, управление и обработка информации



АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Москва 2005

Работа выполнена в Московском государственном техническом университете им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: д.т.н., проф. Пупков К.А

Официальные оппоненты: д.т.н., проф. Капалин В.И., МГИЭМ

к.т.н., доц. Рогалев А.П., РПКБ

Ведущая организация: Российский университет дружбы народов

Защита состоится 22 ноября 2005 г. в 14 час 30 мин. на заседании диссертационного совета Д 212.141.02 в Московском государственном техническом университете им. Н.Э. Баумана по адресу: 107005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, д. 4, МГТУ.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Автореферат разослан “___” _____ 2005 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета



Иванов В.А.

Актуальность темы. Управление разнообразными летательными аппаратами (ЛА) осуществляется посредством систем управления. Обычно системы управления ЛА строятся в основном, с использованием априорных сведений об окружающей среде, цель системы вырождается в решение задачи отработки некоторого программного сигнала, иногда вводились некоторые элементы адаптации систем к тем или иным изменяющимся условиям. Практически вся интеллектуальная часть работы системы выполнялась человеком, сводя функционирование системы управления к реализации фиксированных алгоритмов, выработанным им. Реальная ситуация требует других подходов к созданию систем. В действительности изменяется среда, в которой работает система, изменяются характеристики собственного её состояния. Учесть эти изменения априори практически не возможно. Поэтому точность таких систем управления снижается, а в некоторых практических приложениях и вообще применять такие системы не представляется возможным.

В настоящее время летательные аппараты (ЛА) используются для выполнения чрезвычайно сложных задач, которые предполагают синтез цели функционирования ЛА в полёте, принятие решений к действию с учётом разнообразных факторов состояния ЛА и внешней среды, выработки управления и исполнение этих решений с высокой точностью. Эти функции современных ЛА могут быть реализованы с помощью нового класса систем управления – интеллектуальных (ИС).

Под интеллектуальной системой понимается объединенная информационным процессом совокупность технических средств и программного обеспечения, работающая во взаимосвязи с человеком (коллективом людей) или автономно, способная на основе использования сведений и знаний при наличии мотивации синтезировать цель, вырабатывать решение о действии и находить рациональные способы её достижения.

Разработка ИС задача сложная и многоплановая, поэтому решать её целесообразно поэтапно. В связи с этим в диссертации решаемые задачи, связанные с синтезом акцептора действия (построением прогнозирующей модели) как части динамической экспертной системы (ДЭС) и разработкой алгоритма управления являются важными и актуальными, т.к. позволяют реализовать два сложных механизма ИС, а также имеют важное практическое значение как автономные интеллектуальные компоненты классических систем управления ЛА.

Целью диссертации является разработка и исследование алгоритмов автономной интеллектуальной системы управления ЛА,

НТБ МГТУ им. Н.Э.Баумана



1738195

Кэ. Фан. Анализ и разработка

1738195
1738195
1738195

основанных на подходе самоорганизации и теории дифференциальной геометрии.

На защиту выносятся:

- результаты анализа существующих и применяемых на практике интеллектуальных систем управления ЛА;
- компактный алгоритм построения прогнозирующих моделей, построенный на основе трендов Т.Демарка и метода самоорганизации;
- релейный алгоритм управления ИС, основанный на применении теории дифференциальной геометрии;
- структура алгоритмического обеспечения акцептора действия интеллектуальной системы управления (ИСУ) беспилотными летательными аппаратами (БЛА), полученная на основе анализа системогенеза возвращающихся в атмосферу БЛА;

Научная новизна проведенных исследований и полученных результатов заключается в проведенном системном анализе существующих ИС управления ЛА, обосновании выбора наиболее перспективной структуры ИС ЛА, а также разработке оригинальных алгоритмов прогноза и управления, являющихся составляющими ИС ЛА. Алгоритм прогноза является прямой модификацией трендов Демарка с помощью метода самоорганизации. Алгоритм управления основан на использовании теории дифференциальной геометрии и позволяет осуществлять релейное переключение нелинейного регулятора на адекватный линейный регулятор.

На основе анализа функционирования БЛА представлена структура системы управления (СУ) и осуществлён выбор её алгоритмических составляющих для каждой фазы движения БЛА.

Практическая ценность результатов диссертационной работы состоит в разработке компактных и быстродействующих алгоритмов построения прогнозирующих математических моделей погрешностей инерциальных навигационных систем (ИНС), которые используются как в структуре ИС, так и в качестве интеллектуальной компоненты классических СУ ЛА и БЛА. Разработанный алгоритм управления позволяет существенно упростить реализацию процесса управления в ИС ЛА за счёт перехода от нелинейного регулятора к линейному регулятору на определённых интервалах функционирования ЛА. Подобный переход в линейное пространство на этих интервалах осуществляется без потери точности.

На основе системогенеза ИСУ БЛА осуществлен выбор алгоритмического обеспечения СУ на каждой фазе функционирования БЛА, что позволяет существенно экономить вычислительные ресурсы и повысить быстродействие системы.

Достоверность полученных в диссертации результатов и выводов обеспечивается достаточной адекватностью полученных математических моделей и реального процесса изменения погрешностей ИНС, полученных в результате лабораторного эксперимента, корректностью математических выводов при разработке алгоритмов, а также согласованностью полученных результатов с известными данными в этой области, опубликованными в печати.

Методы исследования. Для исследований применялись методы теории управления и теории случайных процессов, методы теории дифференциальной геометрии и методы самоорганизации, теории функциональных систем, а также вычислительные методы, математическое моделирование и моделирование по данным лабораторного эксперимента.

Апробация работы. Результаты диссертации докладывались на международных конференциях: “Вторая международная конференция по проблемам управления” (ИПУ, Москва, июн. 2003г.), “2003 Intelligent automation conference” (Hong Kong, China, Dec.2003), “ X X VII Академические чтения по космонавтике: Секция “Системы управления космических аппаратов и комплексов ” ” (Москва, янв.2004г.), “Интеллектуальные системы: шестой международный симпозиум” (Саратов, июн. 2004г.), “Международная научно-практическая конференция: электронные средства и системы управления” (Томск, окт. 2004г.) и т.д.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 17 работ.

Структура и объём диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и список литературы.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТ

Во введении обосновывается выбор темы и направление исследований, проводимых в диссертационной работе, актуальность и практическая значимость темы.

В первой главе диссертации проведен обзор и анализ систем управления ЛА. Представлен исторический экскурс, показан путь развития автоматических систем управления ЛА от простых автопилотов до интеллектуальных систем управления. Рассмотрены разнообразные адаптивные системы управления ЛА, системы управления, в основу которых положены динамические экспертные системы. Представлены широко распространённые в настоящее время советующие системы управления ЛА. Появление микропроцессоров высокой производительности и с большим объёмом памяти, возможность организации мультитранспьютерных сетей для реализации параллельных

вычислений, с одной стороны, и необходимость обработки значительных массивов информации, применения базы знаний для формирования целенаправленной деятельности, с другой, привели к созданию ИС.

Среди разнообразных концепций создания ИС на основе проведенного анализа сделан выбор наиболее перспективной ИС, а именно ИС основанной на использовании теории функциональных систем П.К.Анохина. Функциональная схема такой ИС представлена на рис.1.

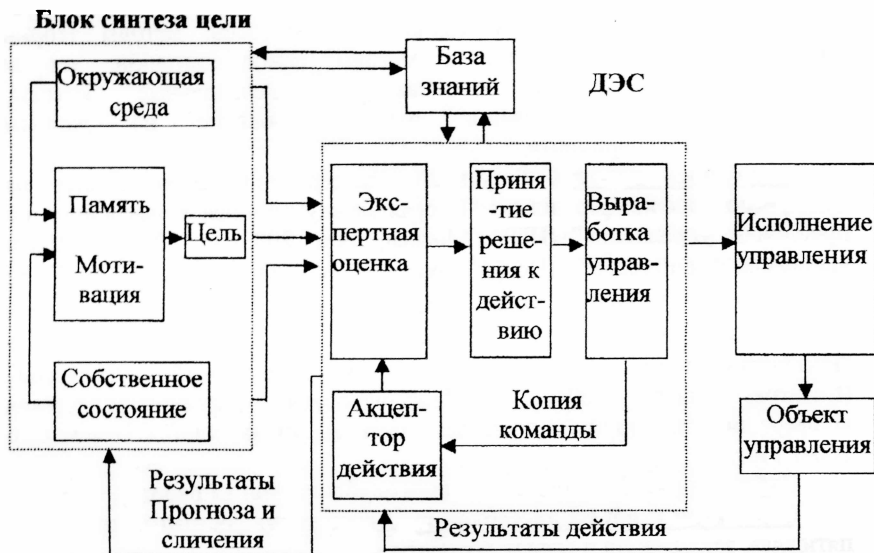


Рис.1. Функциональная схема интеллектуальной системы

В интеллектуальной системе на основании сведений об окружающей среде и её собственном состоянии при наличии памяти и мотивации синтезируется цель, которая наряду с другими данными воспринимается динамической экспертной системой. Последняя с использованием базы знаний производит экспертную оценку, на основании которой принимается решение о действии и прогнозируются результаты будущего действия в акцепторе действия. В соответствии с принятым решением вырабатывается управление, т.е. синтезируется тот или иной алгоритм или закон управления. При анализе выбранной структуры ИСУ и её алгоритмического обеспечения выделены наиболее актуальные задачи, которые необходимо решить для создания эффективной и работоспособной в практических приложениях ИСУ. Такими задачами являются реализация блока синтеза цели, разработка алгоритма

управления ИСУ и синтез акцептора действия ИСУ. В диссертации основное внимание уделено решению двух последних задач.

В последнем разделе первой главы сформулированы и обоснованы цель диссертационной работы и конкретные задачи исследования.

Вторая глава посвящена разработке акцептора действия ИСУ БЛА. Специфическими требованиями к алгоритмическому обеспечению ИСУ БЛА является компактность и быстродействие алгоритмов, что вызвано особенностями функционирования БЛА. В соответствии с этими требованиями был осуществлён анализ известных алгоритмов построения прогнозирующих моделей, являющихся основой акцептора действия. С учётом этих требований выбран алгоритм построения трендов Демарка. Тренды Демарка отличаются простотой реализации, компактностью, их построение требует минимального времени. Однако классические тренды Демарка имеют невысокую точность, особенно в условиях интенсивного маневрирования БЛА. Поэтому применять классические тренды Демарка в практических приложениях возможно лишь на более-менее прямолинейных участках полёта БЛА. Для повышения точности построения прогнозирующей модели предложено модифицировать алгоритм трендов Демарка с помощью скользящего окна Язвинского и метода самоорганизации.

Посредством использования скользящего окна Язвинского осуществляется компенсация влияния эффекта “старения” измерений.

Метод самоорганизации позволяет уточнять линейный тренд на интервалах, когда он становится неадекватным прогнозируемому параметру (естественно после получения измерений этого параметра).

Уточнение тренда проводится за счет его усложнения с помощью нелинейной части. Нелинейная часть модели строится методом самоорганизации. В качестве алгоритма самоорганизации использован классический алгоритм, реализующий метод группового учёта аргумента. Следует отметить, что в этом классическом алгоритме самоорганизации использован скудный набор базисных функций. Применяемые базисные функции выбраны из практических соображений в соответствии с предполагаемой динамикой прогнозируемого параметра. Использование скудного базиса позволяет существенно сократить вычислительные затраты, повысить быстродействие алгоритма с незначительной потерей в точности. С учётом жёстких требований по быстродействию и объёму памяти бортовой центральной вычислительной машины (БЦВМ), отводимому для реализации алгоритма такая модификация позволяет осуществить построение прогнозирующей модели ошибок ИНС за 10 рядов селекции. С помощью классического алгоритма МГУА с полным базисом построить модель за это время вообще не удаётся.

Разработанный алгоритм модифицированных трендов Демарка имеет

вид:

$$\hat{x}_k = \hat{x}_{k-1} + c_{k-1}, \quad (1)$$

где $\hat{x}_k$ – прогноз переменной состояния динамического объекта в момент времени k , прогнозируемая с помощью модифицированного тренда Демарка;

$$c_{k-1} = \sum_{i=1}^L a_i \mu_i(f_i, x), \quad (2)$$

здесь L – число базисных функций;

μ_i – базисные функции из параметризованного множества F_p ;

$F_p = \{a_i \mu_i(f_i, x) | i = \overline{1, L}\}$ – набор базисных функций. Каждая базисная функция определяется в соответствие с двухмерным вектором параметров $(a_i, f_i)^T$, где a_i – амплитуда, f_i – частота.

В качестве критериев селекции в алгоритме использованы критерий регулярности и критерий сходимости, представленные соответственно в выражениях (3) и (4):

$$\Delta^2 = \frac{\sum_{i=1}^{N_R} (z_i - \hat{x}_i)^2}{\sum_{i=1}^{N_R} z_i^2}, \quad (3)$$

$$I = \frac{\sum_{i=1}^N (\hat{x}_i - z_i)^2}{\sum_{i=1}^N z_i^2}, \quad (4)$$

где z_i – измерение;

$\hat{x}_i$ – значение, прогнозируемое по модели;

Δ^2 – среднеквадратическая ошибка, вычисленная на проверочной выборке N_R ;

I – значение ошибки пошагового интегрирования на всём интервале интерполяции, который включает обучающую N_A и проверочную выборки N_B , т.е. $N = N_A + N_B$.

Таким образом предложен оригинальный алгоритм, позволяющий построить прогнозирующую модель исследуемого параметра в условиях дефицита времени и машинной памяти БЦВМ БЛА.

В третьей главе разработан алгоритм управления для ИСУ БЛА. Точные требования современных СУ БЛА предполагают использование нелинейных алгоритмов управления. Однако нелинейные алгоритмы сложны в реализации, поэтому была поставлена задача сокращения вычислительных затрат без потери точности. Решение этой задачи осуществлено с помощью применения теории дифференциальной

геометрии. В результате применения дифференциальной геометрии в процессе функционирования БЛА выделяются интервалы, на которых могут быть использованы линейные математические модели и соответственно линейные регуляторы, которые полностью адекватны нелинейным моделям. Определение интервалов соответствия линейных и нелинейных моделей осуществляется на основе следующего критерия.

Для аффинной системы

$$\begin{aligned}\dot{X} &= f(X) + \sum_{i=1}^m g_i(X)u_i \\ y_j &= h_j(X) \quad (j=1,2,\dots,m)\end{aligned}\quad (5)$$

если матрица

$$B(X) = \begin{bmatrix} L_{g_1} L_f^{n-1} h_1(X) \cdots L_{g_m} L_f^{n-1} h_1(X) \\ L_{g_1} L_f^{n-1} h_2(X) \cdots L_{g_m} L_f^{n-1} h_2(X) \\ \vdots \\ L_{g_1} L_f^{n-1} h_m(X) \cdots L_{g_m} L_f^{n-1} h_m(X) \end{bmatrix}, \quad (6)$$

является не особой матрицей в окрестности точки $X = X_0$, т.е. относительная степень системы r равна размерности системы, $r = \sum_{i=1}^m r_i = n$, тогда исходная модель (5) может быть полностью линеаризована в окрестности $X = X_0$.

С помощью нелинейного преобразования:

$$Z = \text{col}\{z_{11}, z_{12}, \dots, z_{1n}, z_{21}, z_{22}, \dots, z_{2n}, \dots, z_{m1}, z_{m2}, \dots, z_{mn}\}, \quad (7)$$

где $Z_g = L_g^{-1} h_i(X)$ и обратной связи по состоянию:

$$U = B(X)^{-1}(-A(X) + V) \quad V = (v_1, v_2, \dots, v_m)^T, \quad (8)$$

$$A(X) = \text{col}\{L_f^n h_1(X), L_f^n h_2(X), \dots, L_f^n h_m(X)\}, \quad (9)$$

можно привести нелинейную модель в адекватную линейную модель.

Канонический вид с последовательными интегралами найденной линейной модели описывается в следующем:

$$\begin{cases} \dot{z}_{11} = z_{12} \\ \vdots \\ \dot{z}_{1n-1} = z_{1n} \end{cases}, \begin{cases} \dot{z}_{21} = z_{22} \\ \vdots \\ \dot{z}_{2n-1} = z_{2n} \end{cases}, \dots, \begin{cases} \dot{z}_{m1} = z_{m2} \\ \vdots \\ \dot{z}_{mn-1} = z_{mn} \end{cases}, \begin{cases} \dot{z}_{1n} = v_1 \\ \vdots \\ \dot{z}_{mn} = v_m \end{cases}, \quad (10)$$

где:

$X = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$, n – размерный вектор состояний;

$u = (u_1, u_2, \dots, u_m)^T$, m – размерный вектор, состоящий из входных воздействий $u_i, i = 1, m$;

$Y = (y_1, y_2, \dots, y_m)^T, m$ – размерный вектор, состоящий из выходных функций $y_j, j = \overline{1, m}$;

$f(X), g_i(X), i = \overline{1, n}$ – размерные векторные функции,
 $h_j(X)$ – скалярная выходная функция;

$L_* L_f^{-1} h_j(x)$ – дифференциальные операции Ли выходных функций $h_j(X), j = \overline{1, m}$, проведенные по векторным полям, определённым векторными функциями $f(x), g_i(x), i = \overline{1, n}$.

Дифференциальная операция Ли скалярной функции $h(x)$ по выбранному векторному полю, созданному векторной функцией $f(x)$ проводится следующим образом

$$\begin{aligned} L_f h(X) &= L_f h(x_1, x_2, \dots, x_n) \\ &= \sum_{i=1}^n \frac{\partial h}{\partial x_i} f_i(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (11) \\ &= \frac{\partial h}{\partial X} \cdot f(X) \end{aligned}$$

Для того, чтобы воспользоваться результатами теории дифференциальной геометрии необходимо выбирать структуру модели исследуемого объекта. В диссертации предложено использовать модель со следующей структурой :

$$\begin{cases} \frac{dx_1}{dt} = f_1(x) + k_1 g_1(x) u_1 + k_2 u_2 \\ \frac{dx_2}{dt} = x_3 \\ \frac{dx_3}{dt} = f_3(x) + k_3 u_2 \end{cases}, \quad (12)$$

где:

$f_i(x), i = \overline{1, 3}$ – функции переменной состояния, являющиеся компонентами матрицы системы;

$g_i(x)$ – выходная функция;

$k_i, i = \overline{1, 3}$ – коэффициенты по управляющим воздействиям;

$u_i, i = \overline{1, 2}$ – управляющие воздействия.

Таким образом разработан релейный регулятор, позволяющий осуществлять управление с помощью линейного регулятора на интервалах адекватности линейной модели, а на остальных интервалах – посредством нелинейного алгоритма управления.

Четвертая глава посвящена исследованию алгоритмического состава системы управления возвращающегося в атмосферу БЛА. Системогенез ИСУ БЛА позволяет дать рекомендации по использованию того или иного алгоритмического обеспечения на различных фазах жизненного цикла БЛА.

Рассмотрены три основных фазы функционирования возвращающегося в атмосферу БЛА. Проведен анализ особенностей его функционирования в каждой фазе и на основе этого анализа осуществлён выбор специфического алгоритмического обеспечения при реализации акцептора действия.

Первая фаза предполагает отсутствие априорной информации о параметрах объекта и внешней среды. В этой фазе предложено использовать в акцепторе действия алгоритм самоорганизации с достаточно богатым базисом.

Вторая фаза характеризуется движением БЛА в слабовозмущённой среде. Поэтому целесообразно использовать алгоритм самоорганизации с резервированием трендов и для построения модели использовать скудный базис.

Третья завершающая фаза предполагает истощение всех ресурсов ИСУ БЛА и прекращение жизненного цикла БЛА. В этой фазе предлагается использовать модифицированный алгоритм трендов Демарка, разработанный во второй главе диссертации.

Таким образом представлен системогенез ИСУ БЛА и на основе анализа особенностей её функционирования предложено алгоритмическое обеспечение акцептора действия ИСУ.

В пятой главе представлены результаты моделирования разработанных алгоритмов. Эффективность предложенного модифицированного алгоритма трендов Демарка продемонстрирована на примере задачи прогнозирования ошибок ИНС, измерительного комплекса ЛА в акцепторе действия ИСУ БЛА. Проведён сравнительный анализ точности предложенного алгоритма с классическим алгоритмом самоорганизации. Помимо математического моделирования проведено также моделирование с использованием данных полунатурного эксперимента с реальной серийной навигационной системой.

На рис.2-4 представлены результаты моделирования построения прогнозирующих моделей с помощью модифицированного тренда Демарка для краткосрочного, среднесрочного и долгосрочного прогнозов.

На графиках цифрой 2 обозначены прогнозы, полученные с помощью модифицированного тренда Демарка. Модификация проводится методом самоорганизации. Цифрой 3 показаны прогнозирующие результаты на основе классического тренда Демарка. Прогнозы, полученные посредством

метода самоорганизации в чистом виде представлены цифрой 4. Кривые с цифрой 1 являются эталоном.

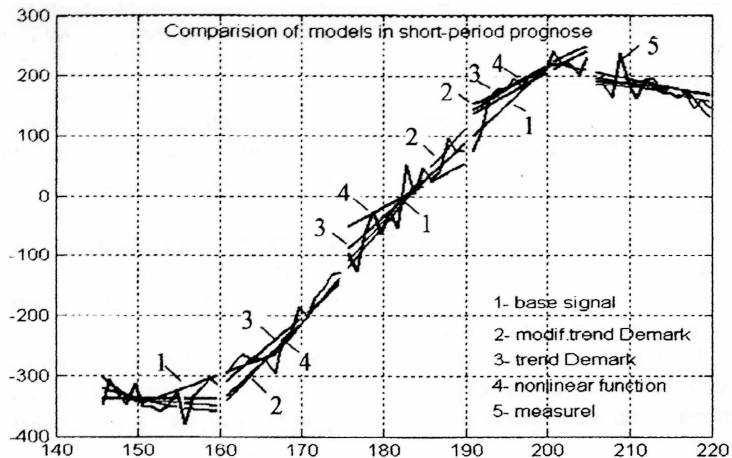


Рис.2. Краткосрочный прогноз с помощью трёх моделей

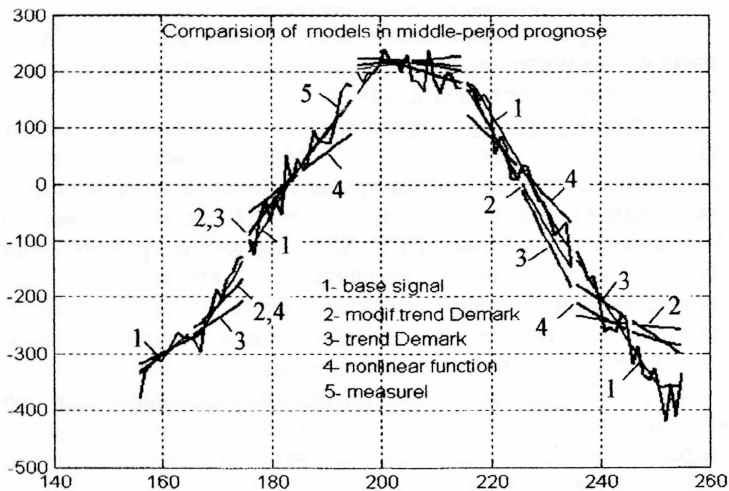


Рис.3. Среднесрочный прогноз с помощью трёх моделей

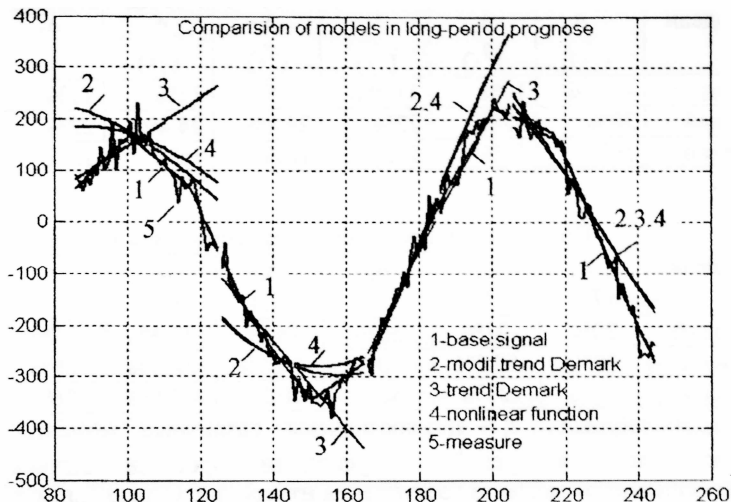


Рис.4. Долгосрочный прогноз с помощью трёх моделей

Таким образом, с возрастанием длительности прогноза использование линейного тренда в чистом виде не представляется возможным. Линейные тренды модифицируются нелинейной комбинацией, подобранной методом самоорганизации, на участках, когда появляются существенно нелинейные характеристики в процессе функционирования исследуемого объекта. За счёт модификации методом самоорганизации точность прогноза повышается и вычислительные затраты по времени и машинной памяти ЦБВМ увеличиваются незначительно в связи с тем, что при селекции нелинейной комбинации используется скудный набор базисных функций.

Статистические результаты моделирования представлены в табл.1-табл.3.

Таблица 1.

Погрешности прогноза при краткосрочном прогнозе

Модели	Δ_1 (T_1)	Δ_1 (T_2)	Δ_1 (T_3)	Δ_1 (T_4)	Δ_1 (T_5)	Δ_2	Время (Сек.)
Модиф.	8.4%	15%	12.6%	8.9%	12.6%	12%	11
Линей.	12.3%	20.5%	18.7%	19.2%	21.2%	18%	1.54
Нелин.	10.7%	12.7%	10.6%	12.2%	12.3%	12%	11

Таблица 2.

Погрешности прогноза при краткосрочном прогнозе

Модели	Δ_1 (T_1)	Δ_1 (T_2)	Δ_1 (T_3)	Δ_1 (T_4)	Δ_1 (T_5)	Δ_2	Время (Сен.)
Модиф.	11.2%	10%	11.3%	12.5%	11%	11%	12
Линей.	20%	22%	22%	24.4%	24.4%	22%	1.68
Нелин.	16%	13%	14.1%	16%	16%	15%	12

Таблица 3.

Погрешности прогноза при долгосрочном прогнозе

Модели	Δ_1 (T_1)	Δ_1 (T_2)	Δ_1 (T_3)	Δ_1 (T_4)	Δ_1 (T_5)	Δ_2	Время (Сен.)
Модиф.	20%	21%	35%	38.5%	22.5%	27%	12
Линей.	80%	58.5%	70%	64.4%	58.5%	66%	2
Нелин.	31%	31%	38%	40.2%	40.6%	36%	12

В таблицах $T_1 - T_5$ обозначены различные моменты времени поступления измерений. Погрешности прогноза вычисляются в зависимости от момента поступления измерений. Осреднённые результаты являются математическим ожиданием погрешностей прогноза. В последней колонке приведены величины времени, затраченного на построение моделей.

Статистические результаты подтвердили тенденции, показанные на графиках: для краткосрочного прогноза погрешности с использованием трёх моделей отличаются незначительно, а время, затраченное на отбор нелинейной комбинации в 7 раз больше, чем при построении линейной модели. В долгосрочном прогнозе модифицированный тренд Демарка даёт результаты в 2 раза точнее, чем линейный тренд в чистом виде.

Результаты на рис.5 демонстрируют целесообразность принятия решения о конфигурации измерительного комплекса с использованием прогноза. Модель прогноза построена с помощью модифицированного тренда Демарка. Модификация проводится методом самоорганизации.

На рис.5 приняты следующие обозначения: ε – скорость дрейфа гиросплатформы ИНС; 1 – модель измерения скорости дрейфа гиросплатформы; 2 – оценка скорости дрейфа гиросплатформы с использованием GPS; 3 – оценка скорости дрейфа гиросплатформы с использованием РЛС.

На основании прогноза на интервале $T_1 - T_2$ с ИНС комплексируется GPS, а на следующем интервале комплексируется РЛС.

Выбор конфигурации измерительного комплекса на основе анализа непосредственно последней измерительной выборки даёт худшие результаты.

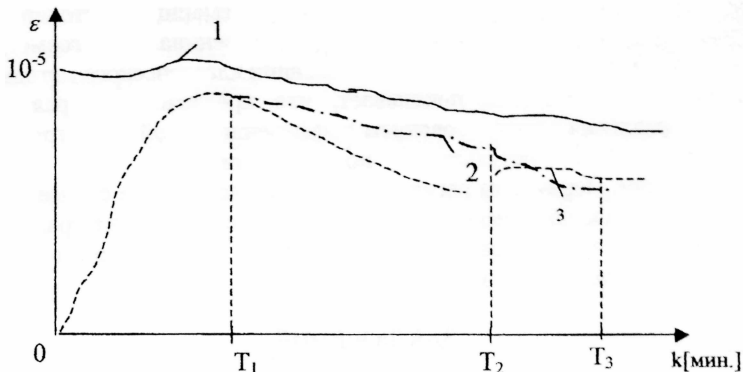


Рис.5. Оценка скорости дрейфа гиросплатформы

Результаты моделирования алгоритмов прогноза акцептора действия ИСУ БЛА в трёх основных фазах системогенеза также сравнивались с результатами прогноза методом самоорганизации и с резервированными трендами.

Результаты моделирования алгоритмов управления, основанных на использовании теории дифференциальной геометрии представлены на рис.6. В качестве математической модели для демонстрации качества функционирования разработанного алгоритма использована модель динамики ЛА. Рассмотрены динамические характеристики угла атаки, угла наклона траектории, угла тангажа и угловой скорости вокруг центра массы ЛА из начального состояния до заданного состояния.

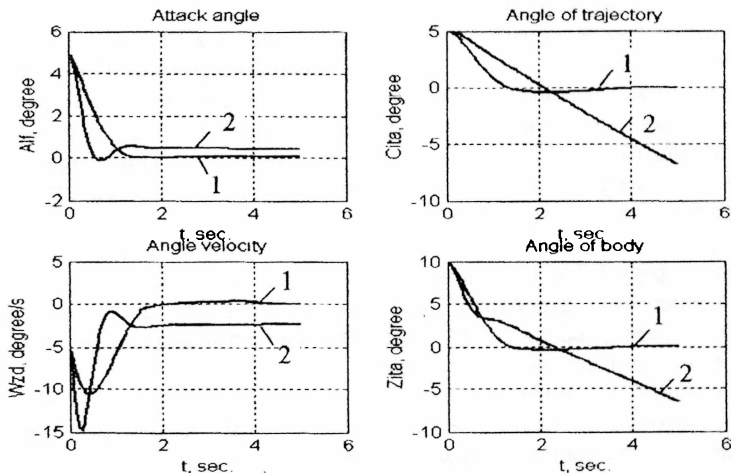


Рис.6. Динамические характеристики ЛА с помощью двух методов

На рис.6 цифрой 1 обозначены реакции переменных состояния ЛА при управлении с использованием теории дифференциальной геометрии, цифрой 2 обозначены реакции при использовании классического метода.

Сравнение результатов показывает, что предложенный релейный алгоритм управления с использованием дифференциальной геометрии даёт удовлетворительные результаты по динамическим и точным характеристикам. Параметры регулятора удобнее находить в случае, когда система описана в каноническом виде с последовательными интегралами.

Результаты моделирования подтвердили достаточно высокую точность разработанных алгоритмов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. На основе анализа существующих и применяемых на практике ИСУ ЛА выделен наиболее перспективный вид ИСУ, структура которой основана на применении теории функциональных систем и метода самоорганизации.
2. Реализация акцептора действия ИСУ ЛА предполагает построение прогнозирующих моделей. В условиях дефицита времени и машинной памяти, отводимой для реализации алгоритмического обеспечения акцептора действия предложено использовать оригинальный алгоритм построения прогнозирующих моделей – модифицированный алгоритм трендов Демарка. Модификация осуществляется посредством метода самоорганизации. Эффект старения измерений парируется посредством применения “окна Язвинского”. Предложенный алгоритм отличается компактностью и простотой реализации.
3. Разработан релейный алгоритм управления для ИСУ БЛА, основанный на применении теории дифференциальной геометрии. В предложенном алгоритме управления выделяются интервалы функционирования на которых возможно использование вместо нелинейного регулятора линейный регулятор без потери точности. Применение такого алгоритма управления существенно упрощает реализацию, что является важным при синтезе ИСУ БЛА.
4. Проведен анализ основных фаз системогенеза возвращающегося в атмосферу БЛА. На основе анализа проведен выбор алгоритмического обеспечения акцептора действия ИСУ БЛА. Для каждой фазы функционирования БЛА предложены компактные и простые в реализации алгоритмы прогноза.
5. Результаты моделирования подтвердили работоспособность и достаточно высокую точность разработанных алгоритмов. Результаты моделирования по данным лабораторного эксперимента также показали эффективность предложенного алгоритма прогноза.

6. Результаты работы использованы в учебном процессе кафедры
“Системы автоматического управления” при обучении студентов
МГТУ им. Н.Э.Баумана.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Кэ Фан, Неусыпин К.А. Концептуальный синтез интеллектуальных систем // Тезисы докладов второй международной конференции по проблемам управления. – Москва, 2003. – С. 168.
2. Пупков К.А., Неусыпин К.А., Кэ Фан. Онтогенез интеллектуальных систем летательных аппаратов // Космонавтика, радиоэлектроника, геоинформатика: Тезисы докладов четвертой международной научно-технической конференции. – Рязань, 2003. – С.105 – 106.
3. Неусыпин К.А., Кэ Фан. Коррекция автономной навигационной системы с помощью алгоритма самоорганизации // Перспективы использования новых технологий и научно-технических решений в изделиях ракетно-космической техники разработки ГКНПЦ им. М.В.Хруничева: Тезисы докладов третьей научно-технической конференции. – Москва, 2003. – С. 167.
4. Пупков К.А., Неусыпин К.А., Кэ Фан. Псевдоинтеллектуальные системы управления необитаемого подводного аппарата // Современные методы и средства океанологических исследований: Тезисы докладов восьмой международной научно-технической конференции. – Москва, 2003. – С. 198.
5. Неусыпин К.А., Кэ Фан, Шолохов Д.О. Измерительный комплекс необитаемого подводного аппарата // Современные методы и средства океанологических исследований: Тезисы докладов восьмой международной научно-технической конференции. – Москва, 2003. – С. 187.
6. Лукьянова Н. В., Кэ Фан, Ким Дже Су. Алгоритм самоорганизации системы управления робототехническим подводным аппаратом // Современные методы и средства океанологических исследований: Тезисы докладов восьмой международной научно-технической конференции. – Москва, 2003. – С. 182.
7. Neusipin K.A., Ke Fang. The new orientation of development in the field of intelligent systems // Proc. 2003 Intelligent automation conference. – Hong Kong(China), 2003. –P.30–34.
8. Пупков К.А., Неусыпин К.А., Кэ Фан. Модификация трендов Демарка с помощью подхода самоорганизации // Автоматизация и современные технологии. – 2004. –№1. – С. 10 – 13.

9. Пупков К.А., Неусыпин К.А., Кэ Фан. Интеллектуальная система управления динамическим объектом // Авиакосмическая техника и технология. – 2004. – №1. – С. 20 – 28.
10. Пупков К.А., Неусыпин К.А., Кэ Фан. Интеллектуализация измерительного комплекса летательного аппарата // Изв. вузов. Приборостроение. – 2004. – Т. 47, №8. – С.18 – 23.
11. Кэ Фан. Модификация трендов Демарка методом самоорганизации // X X VIII Академические чтения по космонавтике: Сборник материалов. – Москва, 2004. – С.379.
12. Неусыпин К.А., Кэ Фан. Измерительный комплекс летательного аппарата с интеллектуальной компонентой // Электронные средства и системы управления: Сборник материалов международной научно-практической конференции. – Томск, 2004. – С.255.
13. Пупков К.А., Неусыпин К.А., Кэ Фан. Модификация интеллектуальной системы в условиях сенсорной депривации // Интеллектуальные системы: Труды шестого международного симпозиума. – Москва, 2004. – С.147.
14. Фам Вьет Куонг, Кэ Фан. Синтез структуры измерительного комплекса грузового судна // Интеллектуальные системы: Труды шестого международного симпозиума. – Москва, 2004. – С.493 – 494.
15. Кэ Фан. Разработка блока синтеза цели интеллектуальной системы управления // X X IX академические чтения по космонавтике: Сборник материалов. – Москва, 2005. – С.387 – 388.
16. Pupkov K.A., Neusipin K.A., Ke Fang. The genetic program of intelligent systems of dynamic objects // Proc. of the 23rd Chinese Control Conference. – Shanghai(China), 2004. – P.1143-1144.
17. Пупков К.А., Неусыпин К.А., Кэ Фан. Алгоритмы управления интеллектуальной системы возвращающегося в атмосферу БЛА // X X IX академические чтения по космонавтике: Сборник материалов. –Москва, 2005. – С.389 – 390.