

УДК 681.324+УДК 681.5

ОПИСАНИЕ ПОДХОДОВ К СИНТЕЗУ УПРАВЛЕНИЯ ТРЕХОСНОГО ИНДИКАТОРНОГО СТАБИЛИЗАТОРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АППАРАТА НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Авторы: Анисимов Ян Олегович, аспирант, Южно-Уральского Государственный Университет, Челябинск.

Кацай Дмитрий Алексеевич, к.т.н., доцент кафедры «Приборостроение», Южно-Уральского Государственный Университет, Челябинск.

В статье рассматривается вопрос синтеза устройства управления для гироскопического стабилизатора, построенного с использованием нейросетевого подхода. Нейронная сеть может работать в качестве наблюдающего устройства или устройства формирующего управляющее воздействие. Предложены схемы компоновки устройства управления. Приведены результаты моделирования замкнутой системы.

Введение

При решении навигационной с использованием платформенных инерциальных навигационных систем одной из основных задач является задача повышения точности стабилизации объектов в инерциальном пространстве. Одним из методов решения такой задачи может быть создание новых алгоритмов управления, обеспечивающих заданные критерии качества. При этом в последнее время прослеживается тенденция создания алгоритмов управления с использованием аппарата нейронных сетей. Он показал свою эффективность при использовании в нелинейных динамических системах, а

также в системах, где присутствует какая-либо неопределенность. Однако, в работах, посвященных применению нейросетевого подхода для управления динамическими системами, рассматривают преимущественно разомкнутые системы небольшого порядка [4], [2]. При нахождении нейронной сети в контуре обратной связи возникают ряд сложностей как при постановке самой задачи синтеза алгоритма управления, так и при обучении нейронной сети. Эти проблемы возникают и при увеличении размерности и сложности динамической системы. Данная работа посвящена описанию задачи управления трехосным индикаторным гироскопическим стабилизатором с использованием нейросетевого подхода.

Постановка задачи

Рассматривается трехосная стабилизированная платформа, состоящая из наружной рамки 1, промежуточной рамки 2 и внутренней рамки (платформы) 3 (рисунок 1). На платформе установлен блок инерциальных чувствительных элементов (БИЧЭ) 4, состоящий из нескольких индикаторных гироскопов. По осям стабилизации платформы установлены датчики момента 1 для компенсации возмущающего воздействия. Движение платформы относительно исходного положения гиросtabilизатора, за которое принято ортогональное расположение рамок, можно описать следующей системой линейных дифференциальных уравнение [3]:

$$\begin{aligned}
 A_1 \ddot{\alpha}_1 - \frac{(J_{xp} - J_{yp})}{2} \ddot{\alpha}_2 \cos \alpha_2 \sin 2\alpha_2 + h \dot{\alpha}_1 + M_{c1} &= M_1; \\
 A_2 \ddot{\alpha}_2 - \frac{(J_{ye} - J_{xe})}{2} \ddot{\alpha}_1 \cos \alpha_2 \sin 2\alpha_2 + h \dot{\alpha}_2 + M_{c2} &= M_2; \\
 A_3 \ddot{\alpha}_3 - J_{ze} \ddot{\alpha}_1 \sin \alpha_3 + h_3 \dot{\alpha}_3 + M_{c3} &= M_3; \\
 A_1 &= J_{ye} + J_{ym} \cos^2 \alpha_2 + J_{zm} \sin^2 \alpha_2 + J_{ye} \cos^2 \alpha_2 \cos^2 \alpha_3 + J_{xp} \cos^2 \alpha_2 \sin^2 \alpha_3; \\
 A_2 &= J_{xm} + J_{xp} \cos^2 \alpha_3 + J_{yp} \sin^2 \alpha_3; \\
 A_3 &= J_{zp};
 \end{aligned} \tag{1}$$

где A_i , $i=1,2,3$ - приведенные моменты инерции наружной, промежуточной и внутренней рамок относительно осей стабилизации; M_i , $i=1,2,3$ -

возмущающие моменты по осям стабилизации наружной, промежуточной и внутренней рамок; M_{ci} , $i=1,2,3$ - моменты разгрузки по осям стабилизации наружной, промежуточной и внутренней рамок; α_i , $i=1,2,3$ - углы прокатки стабилизации наружной, промежуточной и внутренней рамок; J_{xm}, J_{ym}, J_{zm} - моменты инерции промежуточной рамки; J_{xe}, J_{ye}, J_{ze} - моменты инерции наружной рамки; J_{xp}, J_{yp}, J_{zp} - моменты инерции внутренней рамки (платформы).

Предполагается, что измерению доступны сигналы с датчиков первичной информации чувствительных элементов β_i , $i=1,2,3$, каждый из которых отражает факт движения платформы по соответствующей оси стабилизации.

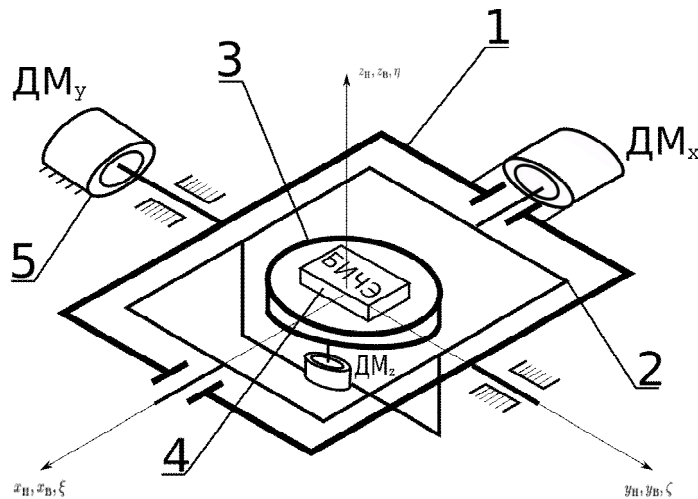


Рисунок 1. Кинематическая схема трехосного гиросtabilизатора

Ставится задача формирования управления момента $M_i^{\text{отд}}$, который бы скомпенсировал возмущающий момент M_i по оси стабилизации. Особенность синтеза такого управления заключается в том, что между каналами гиросtabilизатора существуют перекрестные связи. Предполагается формировать управление гиросtabilизатором по закону $M_i^{\text{отд}} = u(\beta_1, \beta_2, \beta_3)$, где u , в общем случае, нелинейное динамическое звено, находящийся в контуре обратной связи. В качестве данного динамического звена могут выступать:

- корректирующее звено, рассчитанное методом частотного синтеза;

- наблюдающее устройство с регулятором;
- нейронная сеть(НС).

В данной работе будет рассматриваться третий вариант. В общем случае на нейронную сеть возлагается задача формирования управляющего сигнала. Решение данной задачи может оказаться весьма затратно с точки зрения обучения нейронной сети. В этой связи возможно разделение задачи на две подзадачи: 1) оценка вектора состояния гиросtabilизатора; 2) управление гиросtabilизатором через регулятор. Линейный регулятор может быть представлен в форме дополнительного(выходного) слоя нейронной сети.

В качестве базовой структуры управляющего устройства выберем многослойную нейронную сеть(“многослойный персептрон”). Математическая модель этой сети описывается уравнением [8]:

$$O = f^{(2)}(W^{(2)}(f^{(1)}(W^{(1)}x + b^{(1)})) + b^{(2)}). \quad (2)$$

где $W^{(i)}$ - матрица весов i -го слоя нейронной сети, $b^{(i)}$ - вектор смещения i -го слоя нейронной сети, $f^{(i)}$ - функция активации i -го слоя нейронной сети, x - входной вектор нейронной сети, O - выходной вектор нейронной сети.

Данная модель описывает только статическое отображение “вход-выход“. Для придания динамических свойств нейронной сети можно дополнить базовую сеть динамическими звеньями. Тогда выражение (2) преобразуется в следующее выражение [6]:

$$O = f^{(2)}(W^{(2)}(f^{(1)}(W^{(1)}[x(k)x(k-1)\cdots x(k-m)(k-1)O(k-2)\cdots x(k-n-1)]^T + b^{(1)})) + b^{(2)}), \quad (3)$$

где m - количество запомненных предыдущих состояний, n - глубина рекурсии.

При использовании модели (3) может возникнуть проблема устойчивости нейронной из-за наличия в ней обратной связи. Поэтому в данной работе рассматривается модель без общей обратной связи:

$$O = f^{(2)}(W^{(2)}(f^{(1)}(W^{(1)}[x(k)x(k-1)\cdots x(k-m)]^T + b^{(1)})) + b^{(2)}). \quad (4)$$

В общем виде устройство управления может состоять из нескольких нейронных сетей. Количество нейронных сетей и решаемые ими задачи зависят от общей стратегии управления. Задачу формирования управления можно решать двумя подходами:

- формировать на выходе нейронной сети оценку вектора состояния, подавая её на регулятор по состоянию;
- формировать на выходе нейронной сети управляющий сигнал[5].

Рассмотрим вариант, в котором устройство управления состоит из "блока нейронных сетей" используемого для оценки вектора состояния, и регулятора. В данном случае "блок нейронных сетей" будет выполнять функцию наблюдающего устройства. Вопросы оценки вектора состояния с использованием нейронных сетей во многих работах, например [1], [7]. Наблюдающее устройство может содержать одновременно несколько нейронных сетей. Данный подход позволяет снизить нагрузку на каждую нейронную сеть в отдельности. Возможно несколько вариантов компоновки наблюдающего устройства.

Наиболее очевидный способ - это оценка вектора состояния при помощи одной НС. В данном случае на выходе нейронной сети формируется весь вектор состояния. Как показали исследования, данная структура эффективна на объектах минимальной размерности: однокомпонентный акселерометр, одноосный гиросtabilизатор.

Так как в трехосном гиросtabilизаторе можно выделить несколько подсистем, саму платформу и гироскопы, возможно осуществление оценки вектора состояния при помощи нескольких нейронных сетей, восстанавливающих переменные по-объектно. В данном случае в контуре обратной связи находятся несколько параллельно работающих НС. То есть объект разделяется на подобъекты, и для каждого подобъекта формируется своя нейронная сеть, которая восстанавливает переменные состояния только

данного подбъекта.

В трехосном гиросtabilизаторе можно выделить три канала управления, поэтому предполагается что возможна эффективная оценка вектора состояния при помощи трех НС, восстанавливающих переменные поканально. В предлагаемой схеме в контуре обратной связи находятся три параллельно работающие нейронные сети.

Также возможна схема, состоящая из нескольких нейронных сетей, восстанавливающих переменные сепаратно. В этом случае в контуре обратной связи находится набор НС. На выходе каждой НС формируется оценка соответствующей переменной состояния. Данный сигнал поступает на регулятор, на выходе которого уже формируется момент разгрузки.

Во всех вышеизложенных схемах обучающую выборку можно формировать следующим образом. При формировании выборки принимается допущение, что все переменные состояния системы наблюдаемы. Далее, формируется замкнутая система путем включения в цепь обратной связи регулятора по состоянию. Для формирования обучающей выборки, обычно рекомендуется подавать на вход гармонический сигнал с нарастающей частотой. Однако, как показывают вычислительные эксперименты, предпочтительнее использовать случайный нормированный входной сигнал либо гармонический сигнал на фиксированной частоте, при этом в обучающую выборку должно попасть не менее одного полного периода гармонического сигнала. Также стоит отметить, что предпочтительнее при обучении исключить измерительный шум.

Компоновка второй схемы устройства управления, когда на выходе НС сразу формируется управляющий сигнал, во многом аналогична предыдущему варианту. Основное отличие заключается в том, что для рассматриваемой задачи возможны 2 варианта компоновки управляющего устройства: одна нейронная сеть формирует вектор управления и по-канальное управление. Формирование обучающей выборки и обучение для данной схемы аналогично предыдущему варианту.

Пример.

Рассмотрим поведение трехосного индикаторного гиросtabilизатора. Будем считать, что выход измерителя пропорционален углу поворота платформы, т.е. инерциальный измеритель реализует функцию:

$$\beta_i = h(\Delta\alpha_i). \quad (7)$$

При этом в канале измерения присутствует аддитивный белый шум с постоянной интенсивностью. Таким образом, на вход нейронной сети поступает следующий сигнал:

$$y_i = h(\Delta\alpha_i) + v_i, \quad (8)$$

где v - белый шум постоянной интенсивности.

Управляющее устройство содержит три параллельно работающие нейронные сети, на выходе которых формируются сигналы управления, подаваемые непосредственно на двигатель стабилизации. Наличие независимых нейронных сетей в контуре обратной связи объясняется желанием произвести развязку каналов. Каждая нейронная сеть представляет собой трехслойную нейронную сеть 5 и 3 нейронами в скрытых слоях. Функции активации в скрытых слоях были выбраны сигмоидальной и линейной. На вход каждой нейронной сети подается вектор состоящий из 10 значений: 1 текущего измерения и 9 предыдущих. На выходе нейронной сети находится линейная функция активации.

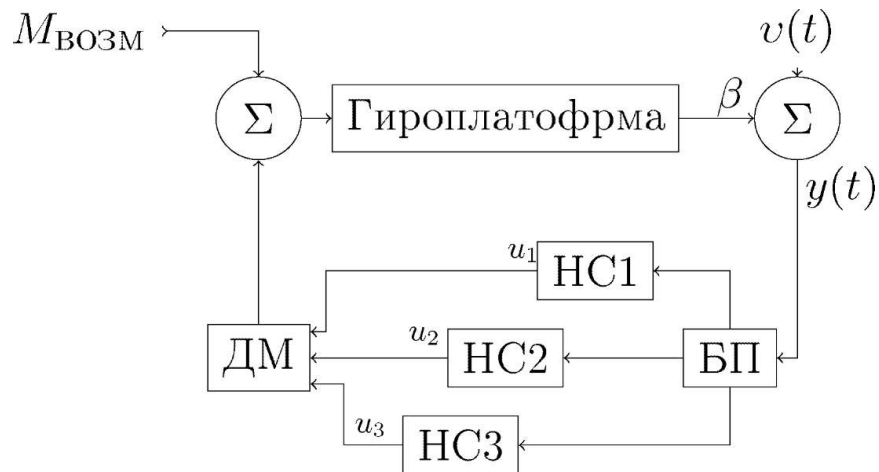


Рисунок 2. Структурная схема трехосного индикаторного гиросtabilизатором с использованием нейронных сетей в контуре управления

На графиках представлены переходные процессы угла прокачки канала наружной рамки при наличии нейронной сети в контуре обратной связи.

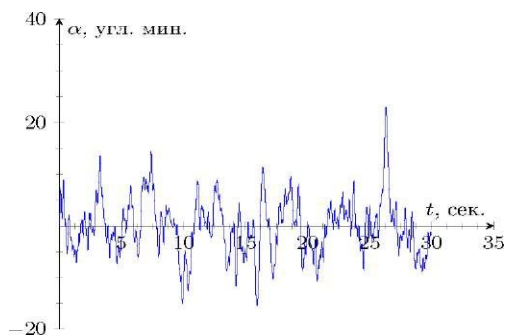


Рисунок 3. Угол прокачки наружной рамки при случайном возмущении

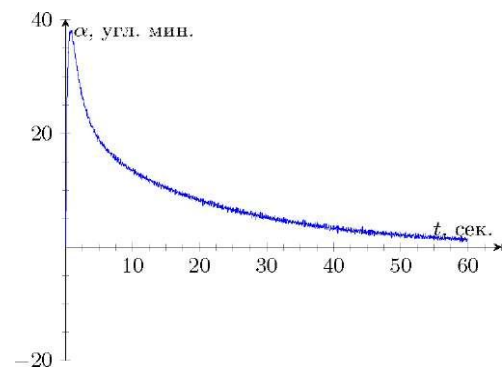


Рисунок 4. Угол прокачки внутренней рамки при ступенчатом возмущении

Заключение

В работе показана возможность синтеза алгоритма управления трехосным индикаторным гиросtabilизатором с использованием нейронной сети. Рассмотрены различные схемы компоновки блока нейронных сетей.

Рассмотрен пример, в котором нейронная сеть выступает в качестве устройства управления. Однако, открытым остается вопрос об оптимальной структуре нейронной сети.

Список литературы

[1] Анисимов Я.О., Кацай Д.А. Одноосный гироскопический стабилизатор с нейронной сетью в контуре обратной связи // Приборостроение: Темат. сб. науч. тр. 2009.

[2] Безмен Г. В. Анализ возможности использования нейронных сетей для решения задач фильтрации навигационной информации // Навигация и управление движением: Сборник докладов IV конференции молодых ученых. — 2002.

[3] Лысов А.Н., Лысова А.А. Теория гироскопических стабилизаторов. Учебное пособие. — Челябинск : Издательский центр ЮУрГУ, 2009.

[4] Макаров Г. Н. Обучаемый нейросетевой регулятор системы управления динамическим объектом// Нейрокомпьютеры: разработка, применение №7 — 2007.

[5] Омату С., Халид М., Юсоф Р. Нейроуправление и его приложение. М.:ИПРЖР изд. — 2000.

[6] Осовский С. Нейронные сети для обработки информации. — М.: ИПРЖР, 2000.

[7] Степанов О.А. Нейросетевые алгоритмы в задаче нелинейного оценивания. Взаимосвязь с байесовским подходом // Навигация и управление движением. Материалы XI конференции молодых ученых. — СПб.РФ ОАО "Концерн "ЦНИИ электроприбор", 2009.

[8] Хайкин С. Нейронные сети. Полный курс. М.: Вильямс изд. — 2006.