

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОВЫЧИСЛИТЕЛЕЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ УПРАВЛЯЮЩИХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН

¹Антимиров В.М., ¹Миловидов Е.М. ¹Яковлев П.С.

¹АО «НПО автоматики», г. Екатеринбург, Россия (620075 Россия, Екатеринбург, ул. Мамина-Сибиряка, 145) e-mail: em.milovidov@gmail.com

Аннотация: Рассмотрены возможность и принципы использования нейровычислителей для повышения производительности бортовых вычислительных систем автоматического управления подвижными объектами.

Ключевые слова: система автоматического управления, сеть, тригонометрическая функция, инерциальная система, обучение, координаты, точность вычислений, Ряд Тейлора, табличные методы, нейровычислитель.

USING NEURAL-COMPUTERS FOR IMPROVING THE CONTROL COMPUTERS'S PERFORMANCE

Antimirov V.M., Milovidov E.M., Yakovlev P.S.

АО «NPO avtomatiki», Ekaterinburg, Russia (620075 Russia, Ekaterinburg, street Mamina-Sibiryaka, 145) e-mail: em.milovidov@gmail.com

Abstract: an opportunity and principles of using neural-computers for improving the performance of on-board evaluated control-automatic systems of mobile units are propose.

Key words: control-automatic system, trigonometric function, inertial frame, learning, coordinates, accuracy of calculations, Taylor series, tabular methods, neural-computer.

Теория нейронных сетей в настоящее время является быстро развивающейся областью. Существует значительное число видов искусственных нейронных сетей, созданных и совершенствуемых многими исследователями -математиками, однако какие либо инженерные решения аппаратурной реализации нейровычислений пока еще не нашли серьезного применения в бортовых цифровых вычислительных машинах(БЦВМ) и бортовых цифровых вычислительных системах(БЦВС) на основе . этих машин.

Искусственный нейрон осуществляет взвешенное суммирование входных сигналов. Полученная сумма является аргументом активационной функции, значение которой передается на выход нейрона. В простейшем случае в качестве активационной может применяться пороговая функция, часто используются сигмоида и гиперболический тангенс, интересные математикам, но бесполезные для практической реализации нейровычислителей как аппаратурных модулей в виде БИС или блоков БЦВС. Искусственная нейронная сеть представляет собой совокупность соединенных линиями передачи информации элементов – искусственных нейронов, связанных между собой синаптическими соединениями. Сеть обрабатывает входную информацию и в процессе изменения своего состояния во времени формирует выходные сигналы. Работа сети

состоит в преобразовании входной информации во времени. В результате этого меняется внутреннее состояние сети и формируются выходные воздействия.

Важной особенностью нейронных сетей является способность и необходимость "обучаться" выполнению операций не только для входных сигналов, в точности подобным обучающим, но также и для новых сигналов, которые могут быть не полными или зашумленными. В этом проявляется способность искусственной нейронной сети к обобщению входной информации. Еще одно достоинство искусственных нейронных сетей – возможность их модификации путем повторного обучения на обновленном наборе данных. Способность выполнять параллельные вычисления заложена в архитектуру нейронных сетей, за счет этого достигается высокая скорость выполнения операций обученной сетью.

Наиболее популярная в настоящее время нейросетевая структура – многослойная сеть прямого распространения (называемая также многослойным персептроном) впервые была предложена Минским и Пейпертом [4]. Данный тип сети широко используется для решения задач классификации образов и аппроксимации функций.

Не смотря на то, что задача аппроксимации функций всегда упоминается одной из первых в перечне применений нейронных сетей, достаточно сложно найти примеры ее практического применения среди всего множества реальных вычислительных систем. Тем не менее, существует класс задач, в которых применение нейронных сетей для вычисления функций может быть оправданным благодаря их уникальным свойствам, упомянутым выше.

Одним из возможных применений являются системы автоматического управления (САУ) подвижными объектами, включающие бесплатформенные инерциальные навигационные системы (БИНС). Такие системы имеют ряд существенных преимуществ: малые объемно-массовые характеристики и потребление энергии, возможность повышения надежности резервированием. Основным достоинством применения БИНС является отсутствие ограничений на угловые маневры объекта управления и возможность работать в нескольких базисах [5].

Долгое время одной из причин, ограничивающих внедрение БИНС, являлось ограниченное быстродействие БЦВС, особенно в части вычисления тригонометрических функций, являющихся основой реализации вычислительной части БИНС. На сегодняшний день, несмотря на значительный прогресс в области мировой и отечественной микроэлектроники, создающей элементную базу для бортовой вычислительной техники, эта проблема повышения производительности БЦВС и обеспечения решения задач БИНС не только остается актуальной, а является жизненно необходимой для создания САУ высокоманевренными объектами (космические аппараты, самолеты, катера и автомобили). Для решения навигационной задачи целесообразным представляется использование вычислительных средств со специализированной архитектурой, ориентированной на решение задач управления.

В БИНС математически реализуется инерциальная система координат – система координат объекта (или связанная система координат) все используемые для управления навигационные системы координат реализуются вычислительным образом через

вычисление матриц, в основном содержащих тригонометрические функции типа $\sin x(\cos x)$. При этом в БИНС обязательно решение помимо Ньютоновских уравнений движения центра масс объекта еще кинематических уравнений, определяющих взаимное движение различных систем координат[2]. В качестве примера актуальности решения задач преобразования системы координат можно отметить, что в САУ, создаваемых НПОА, при решении задач управления в разных САУ используется от 3 до 7 систем координат с постоянным переходом из одной системы координат в другую.

При создании БИНС возрастает актуальность быстрого пересчета систем координат, заключающемся в необходимости практически непрерывного пересчете матриц перехода от одной системы координат к другой. Эти расчеты включают в себя большое количество тригонометрических функций, аргументами которых является угловая скорость, непрерывно формируемая датчиками угловой скорости (ДУС), в качестве которых в современных САУ используются волоконно-оптические линии. и именно на прием и обработку информации ДУС расходуется большая часть вычислительных ресурсов БЦВС систем автоматического управления подвижными объектами.

Данные расчеты способны выполнять нейронные сети. Согласно [6, 7], при соблюдении условия нелинейности активационной функции нейрона возможно подобрать структуру сети и коэффициенты линейных связей между нейронами так, чтобы нейронная сеть с требуемой точностью вычисляла непрерывную функцию от своих входов, которыми в данном случае являются углы поворота. Пример матриц поворота трехмерной системы координат приведен на рисунке.

При этом одну и ту же нейросетевую архитектуру целесообразно использовать для вычисления различных функций, применяя разные наборы весовых коэффициентов, хранящиеся в памяти системы. Обучение нейронной сети должно быть произведено заранее, а в рассматриваемом случае при создании САУ. Необходимая точность достигается увеличением количества нейронов.

Проведенные специалистами НПОА оценки показали, что применение нейронных сетей для вычисления тригонометрических функций реализуемо в двухслойной сети прямого распространения[6].

В настоящее время разработчики архитектуры БЦВС для вычисления тригонометрических функций используют два метода, близкие по используемым машинным ресурсам БЦВМ.

1-й это разложение в ряд Тейлора по степеням аргумента функции

2-й метод использует таблицы значений функции, записанные в память БЦВМ с аппроксимацией для вычисления значений функции аргумента, не совпадающего с табличными значениями аргумента.

Выбор метода для решения в БЦВМ основано на трех критериях: точность вычисления, время выполнения и аппаратные затраты. Применение первого метода более экономично по требуемым ресурсам памяти, но уступает второму по времени вычисления (так как второй метод требует малое количество вычислительных операций), однако за счет применения нейронных сетей время выполнения вычислений по первому методу

может быть значительно уменьшено. Для решения задачи БИНС время является достаточно критичным и на практике для вычисления тригонометрических функций часто используют табличный метод, требующий установки дополнительных микросхем в память БЦВМ. По точности вычислений данные методы имеют примерно одинаковую степень, причем в первом случае для увеличения точности увеличивается время вычислений, а во втором объем данных, хранимых в памяти, а также время поиска по таблице.

Искусственная нейронная сеть в системе управления подвижным объектом может быть реализована различными способами: это может быть, как программная реализация в сигнальных процессорах, но предпочтительно выполнить ее в виде специализированных процессоров, реализованных как БИС. Возможны и другие варианты.

Проектирование нейронной сети для использования в системе управления сопряжено с рядом трудностей.

На сегодняшний день не найден точный метод, позволяющий выбрать оптимальное количество слоев и нейронов в них для получения необходимой точности и времени вычислений. Может потребоваться достаточно большая сеть, реализация которой в виде БИС может оказаться затруднительна из-за ограничений по степени интеграции и быстродействия элементов БИС. Кроме того, для САУ, работающих в экстремальных условиях[4]из-за возможных отказов электронных элементов существует вероятность переобучения сети, при котором нейронная сеть перестанет выполнять свою основную функцию – корректное обобщение данных, представленных в обучающей выборке на всю совокупность входных воздействий.

Для оценки вычислительных возможностей нейронных сетей построена сеть прямого распространения, которая аппроксимирует непрерывную функцию $f(x) = \sin x$. [5]. После обучения сети (1 входной слой нейронов, 10 скрытых и 1 выходной с сигмоидной функцией активации) методом обратного распространения ошибки получено, что максимальная ошибка не превышает 0,02, а оценка среднеквадратичной ошибки составляет 0,01, что достаточно для решения навигационной задачи. [1]

Проведенные нами оценки вычисления тригонометрических функций путем схемной реализации позволяют выполнить нейропроцессор тригонометрических функций[2], используя разложения в ряд Тейлора с временем вычисления около 100мкс, что практически на порядок меньше времени вычисления по стандартным программам. Структура этого нейропроцессора приведена на рисунке 1. Нейропроцессор содержит микропроцессор общего назначения со встроенным каналом последовательного обмена. Этот микропроцессор кроме выполнения обмена по последовательной магистрали может решать и часть задачи подготовки аргумента для вычислений. Такой операцией при вычислении тригонометрических функций $\sin(x)$ и $\cos(x)$ может быть приведение аргумента к диапазону углов от 0 до $\pi/4$. Подготовленный аргумент микропроцессор записывает на буферный регистр и формирует адрес начала микропрограммы вычисления заданной функции, который передает в регистр адреса блока микропрограммного управления (БМУ). Для работы микропроцессора по собственной микропрограмме к нему подключено запоминающее устройство (ЗУ). Выход буферного регистра подключен к

входам каскада соединенных последовательно шинами переноса умножителей, с выхода которых сформированные значения степеней аргумента поступают на вход арифметико-логического устройства (АЛУ), добавляющего к полученным значениям степеней аргумента коэффициенты ряда m суммирующего все члены ряда. Вычисленное значение функции поступает в устройство обмена (УО). Этот узел реализуется в соответствии с местом встраивания нейропроцессора. Если микропроцессор используется для расширения системы команд вычислительного модуля БЦВМ, то это устройство обмена обеспечивает его включение на внутреннюю шину модуля - связи его процессора с собственным запоминающим устройством.

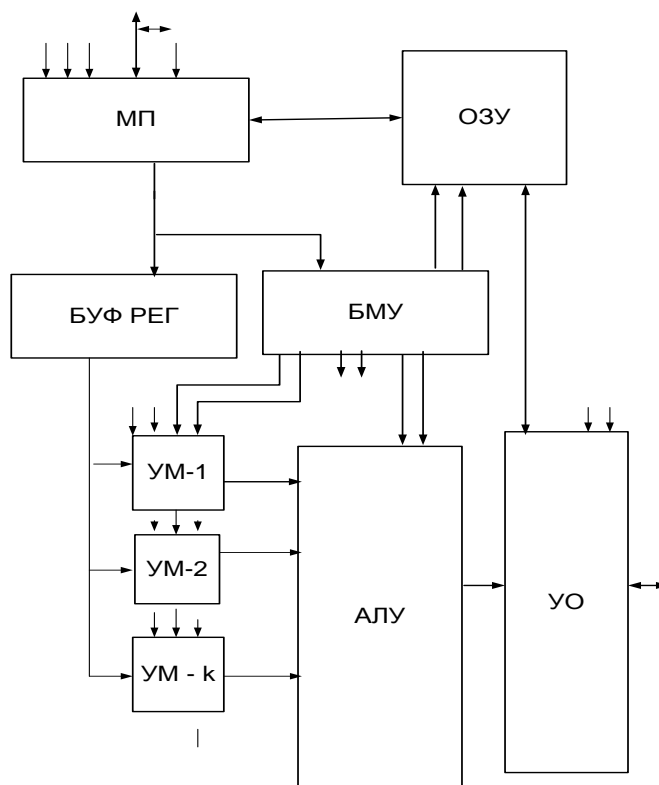


Рис. 1

Для решения задачи преобразования систем координат в состав модулей был введен матричный нейровычислитель[3], структура которого приведена на рисунке 2.

Представленная реализация по аппаратурным затратам вписывается в одну БИС на основе БМК серии 536ХМ2.

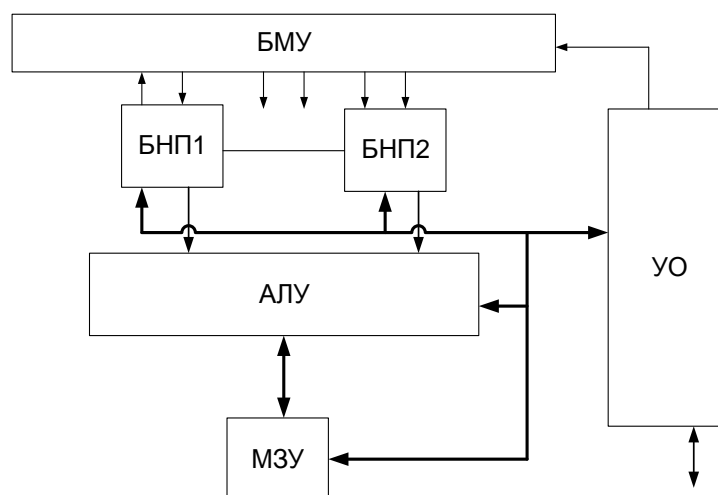


Рис. 2

Проведенные оценки применения в бортовых вычислительных машинах обсуждаемых сетей показали целесообразность их использования в качестве аппаратного дополнения к традиционной структуре бортовых ЦВМ для вычисления тригонометрических функций типа $\sin x$ и $\cos x$, которые могут быть представлены разложением в ряд Тейлора, удобного для реализации в виде нейронной сети. Также была предложена аппаратная реализация двухслойной нейросети прямого распространения, предназначенная для вычисления тригонометрических функций, а также матричный нейровычислитель для матричных вычислений при решении задачи БИНС.

Список литературы

1. Антимиров В.М., Вагин А.Ю. Шленский А.В. Оценка возможности применения нейронных сетей для вычисления тригонометрических функций при создании вычислительных систем управления подвижными объектами. - Сб. Вопросы атомной науки и техники Вып 1-2, 2006, Лыткарино.
2. Антимиров В. М. НЕЙРОПРОЦЕССОР изобретение патент RU № 2473126 от 20.01. 2013
3. Антимиров В. М., Антимиров Я.В., Смелычакова Г.А., Яковлев П.С. и др. НЕЙРОВЫЧИСЛИТЕЛЬ изобретение патент RU № 2553098 от 15 мая 2015
4. Лю Б. Теория и практика неопределенного программирования – Пер. с англ. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2005. – 416 с.
5. Бранец В.Н., Шмыглевский И.П. Введение в теорию бесплатформенных инерциальных навигационных систем. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1992. – 280 с.
6. Горбань А. Н. Обобщенная аппроксимационная теорема и вычислительные возможности нейронных сетей / Сиб. журнал выч. матем. — 1998. — Т. 1. — № 1. — С. 12-24.
7. Ясницкий Л.Н. Введение в искусственный интеллект: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений – 2-е изд., испр. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 176 с.
8. Антимиров В.М. Тенденции развития элементной базы и архитектуры БЦВС. Сб. РКТ, сер XI 1987г., вып.4