**УДК 629.7.05**

**НЕЙРОПРОЦЕССОР**

ДТН, профессор 1Антимиров В.М., главный инженер 2 Крюков В. П..

*1 УРФУ, г. Екатеринбург, Россия (620075 Россия, Екатеринбург, ул. Мира 19,*

*e-mail:* [*antimirovvm11@mail.ru*](mailto:antimirovvm11@mail.ru)

*2 НИИЭТ г. Воронеж………*

Теория нейронных сетей в настоящее время является быстро развивающейся областью. Однако какие-либо инженерные решения аппаратурной реализации нейровычислений пока еще не нашли серьезного применения в бортовых цифровых вычислительных машинах и бортовых цифровых вычислительных системах.

Задача аппроксимации функций является одной из первых в перечне применений нейронных сетей, но достаточно сложно найти примеры ее практического применения среди реальных вычислительных систем. Тем не менее, одним из возможных применений являются системы автоматического управления подвижными объектами, включающие бесплатформенные инерциальные навигационные системы(БИНС) благодаря следующим свойствами нейросетей: способность к обучению, возможность модификации, быстрые вычисления.

Согласно работам Ясинецкого Л.Н[1]. и Антимирова В.М[2]., 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, например, значения тригонометрических функций в матрице углов поворота трехмерной системы координат.

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, при создании систем автоматического управления. Необходимая точность достигается увеличением количества скрытых

На сегодняшний день не найден точный метод, позволяющий выбрать оптимальное количество слоев и нейронов в них для получения необходимой точности и времени вычислений.

Проведенные сотрудниками УРФУ оценки вычисления значений тригонометрических функций показали, что максимальная ошибка не превышает 0,02, а оценка среднеквадратичной ошибки составляет 0,01, что достаточно для решения навигационной задачи[3] , поэтому применение нейронных сетей для вычисления тригонометрических функций реализуемо в двухслойной сети прямого распространения.

Искусственная нейронная сеть в системе управления подвижным объектом может быть реализовано в виде программы сигнального процессора, что бессмысленно из-за большого времени вычислений. Предпочтительно выполнить ее в виде специализированного процессора, реализованного как большая интегральная схема.

Предложена аппаратная реализация двухслойной нейросети прямого распространения, предназначенная для вычисления тригонометрических функций, а также матричный нейровычислитель для матричных вычислений при решении навигационной задачи[3,4].

Структура нейропроцессора, быстро вычисляющего функции одной переменной, приведена на рисунке 1, а на рисунке 2 приведена структура его блока микропрограммного управления(БМУ), изменяя содержимое ЗУ микропрограмм которого можно « обучить нейропроцессор вычислению любой функции одной переменой, как тригонометрической, типа sin(x) и cos(x), так и алгебраической, типа корня квадратного, обратной величины и их произведения

В основе реализации нейропроцессора использована общеизвестная возможность представления функции одной переменой виде полинома, являющегося суммой различных степеней аргумента с соответствующими коэффициентами при степенях аргумента. Для получения степеней и суммы ряда в нейропроцессоре последовательно включены k умножителей, результаты вычисления которых совместно с коэффициентами степеней, хранящихся в ЗУ микропрограмм нейропроцессора, поступают на входы сумматора, на выходе которого устанавливается значение вычисленной функции. Как видно из приведенной структуры время вычисления определяется только быстродействием отдельных узлов нейропроцессора. При современном уровне технологии создания КМОП БИС на основе гетеро структур типа КНИ на пластинах диаметром 150мм нейропроцессор реализуется на одном кристалле, размером не более 4х4мм с временем вычисления функции не более 500нс, что позволяет реализовывать на его основе нейросетевые вычислительные устройства подсистем системы автоматического управления(САУ) объектов и изделий ракетно-космической техники, самолетов и робототехнических комплексов, работающих в экстремальных условиях и полях ионизирующего излучения