

Представленные в таблице оценки использовались в качестве априорных данных при решении задачи навигации и ориентации методом виртуальных измерений зенитных расстояний звезд [4, 5]. Точность решения задачи согласуется с точностью, полученной при произвольном назначении априорных данных, как правило, близких к фактической орбите.

Таким образом, точность выработанных с использованием предложенного метода приближительных оценок параметров орбиты и ориентации корпуса КА достаточна для того, чтобы принять их в качестве опорных значений и тем самым восстановить функционирование системы автономной навигации и ориентации в нештатных ситуациях, связанных с отсутствием данных об орбите.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Данилова Т. В., Арихипова М. А. Определение ориентации космического аппарата в геоцентрической экваториальной системе координат на основе астроизмерений при отсутствии данных о параметрах орбиты // Изв. вузов. Приборостроение. 2013. Т. 56, № 7. С. 13—20.
2. Кузнецов В. И., Данилова Т. В. Автоматизированная система исследований методов и алгоритмов автономной навигации и ориентации космических аппаратов: Учеб. пособие. СПб: ВКА им. А. Ф. Можайского, 2006.
3. Кузнецов В. И. Автоматизированная система научных исследований методов и алгоритмов автономной навигации и ориентации космических аппаратов: Монография. СПб: ВКА им. А. Ф. Можайского, 2010.
4. Пат. 2454631. Способ автономной навигации и ориентации космических аппаратов на основе виртуальных измерений зенитных расстояний звезд / В. И. Кузнецов, Т. В. Данилова, Д. М. Косулин. 28 окт. 2010 г.
5. Кузнецов В. И., Данилова Т. В. Система автономной навигации и ориентации ИСЗ, основанная на виртуальных измерениях зенитных расстояний звезд // Космические исследования. 2011. Т. 49, № 6. С. 551—562.

#### Сведения об авторе

**Тамара Валентиновна Данилова** — канд. техн. наук; Военный институт Военно-космической академии им. А. Ф. Можайского, Санкт-Петербург; E-mail: danitoma58@yandex.ru

Рекомендована  
Военным институтом ВКА им. А. Ф. Можайского

Поступила в редакцию  
18.06.13 г.

УДК 004.3

А. И. ПОСЯГИН, А. А. ЮЖАКОВ

### САМОМАРШРУТИЗАЦИЯ СИГНАЛОВ В АНАЛОГО-ЦИФРОВОМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕ НА ОСНОВЕ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

Рассматривается аналого-цифровой преобразователь на основе нейронной сети. Для предложенной структуры описываются принципы самомаршрутизации сигналов и образования индивидуальных аналого-цифровых преобразователей для каждого входного сигнала.

**Ключевые слова:** аналого-цифровой преобразователь, самомаршрутизация, нейронная сеть.

В настоящее время актуальность разработки аналого-цифровых преобразователей новых современных архитектур не вызывает сомнений. Наиболее важные проблемы при построении данных устройств — повышение точности, надежности и отказоустойчивости, а также умень-

шение ресурсоемкости [1]. В работах [2, 3] рассмотрена возможность создания архитектуры аналого-цифрового преобразователя (АЦП) на основе нейронной сети (НС), одним из ключевых принципов функционирования которого является самомаршрутизация сигналов. Самомаршрутизация позволяет выделить во всем объеме НС некоторое количество нейронов, необходимое для реализации индивидуального АЦП для каждого входного сигнала. В общем случае предлагаемый АЦП представляет собой  $n$ -отказоустойчивую систему, т.е. позволяет выполнять требуемые задачи даже при отказе  $n$  элементов. Таким образом, система самомаршрутизации сигналов должна учитывать наличие отказавших элементов и иметь возможность исключения их из состава индивидуального АЦП с сохранением заданных параметров.

Структура АЦП (рис. 1) представляет собой блок компараторов, на которые поступают входные аналоговые сигналы, схему вычисления требуемой разрядности индивидуального АЦП для обработки каждого входного сигнала и собственно нейронную сеть, основная задача которой — образование индивидуальных АЦП по каждому входному сигналу [2, 3].

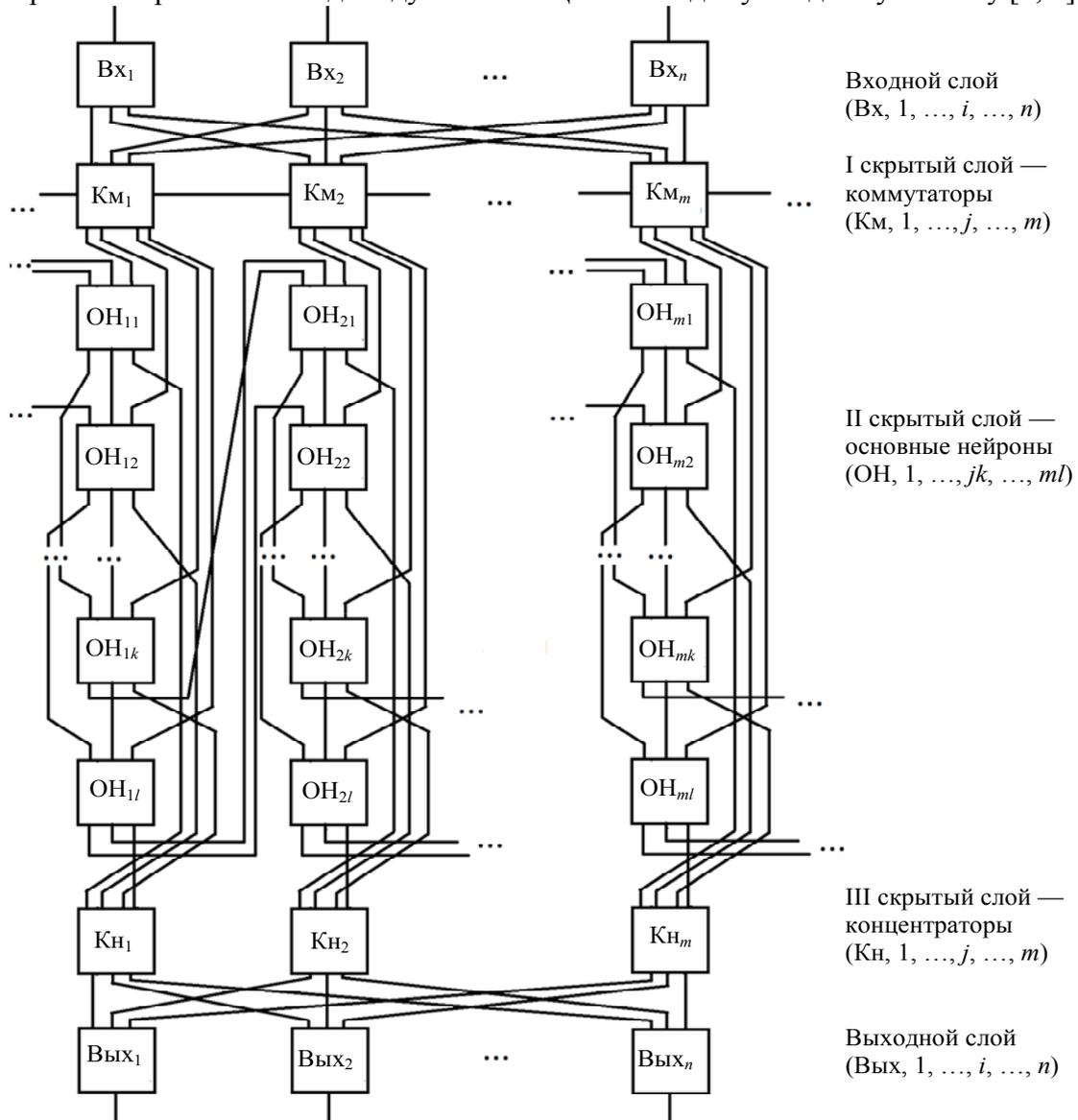


Рис. 1\*

Входные сигналы НС определяют разрядность индивидуального АЦП для конкретного входного сигнала; на выходе компараторов формируются уравнивающие напряжения,

\* На рис. 1:  $n$  — количество входных сигналов,  $m$  — количество коммутаторов,  $l$  — количество основных нейронов, подключенных к одному коммутатору.

а также значения отсчетов обрабатываемого входного сигнала. Уравновешивающие напряжения генерируются при помощи эталонного напряжения и матрицы R-2R, реализованной на нейронах.

В настоящей статье описывается принцип самомаршрутизации сигналов в НС, а также представлены схемы определения приоритетов и переключения коммутаторов. Система самомаршрутизации сигналов должна при поступлении нового входного сигнала обеспечить образование индивидуального АЦП заданной разрядности, используя свободные основные нейроны (ОН). Для этого требуется определить наличие свободных основных нейронов и их количество, чтобы проверить возможность образования индивидуального АЦП на данном участке НС.

Проведя анализ структуры НС рассматриваемого АЦП [3] (см. рис. 1), выделим требуемые служебные сигналы различных типов нейронов для обеспечения самомаршрутизации (рис. 2).

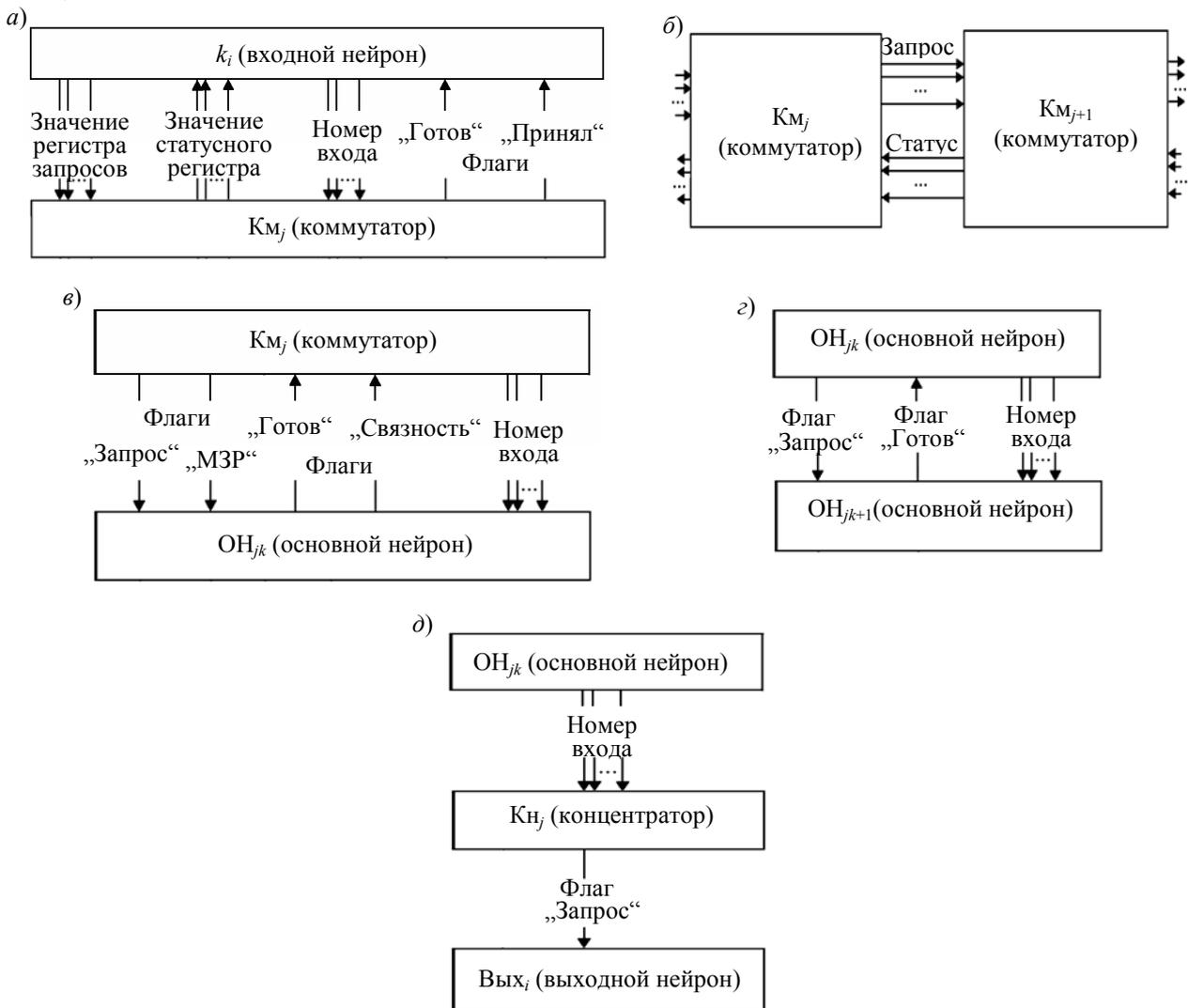


Рис. 2

Рассмотрим назначение данных сигналов и принцип взаимодействия нейронов. Запрос входного нейрона (см. рис. 2, а) соответствует значению  $k_i$ . Для каждого коммутатора во входном нейроне существуют отдельные регистры запроса, изначально значения которых устанавливаются в нуль. Входной сигнал  $k_i$  приводит в действие схему управления приоритетами, которая определяет, в какой из регистров будет записано значение  $k_i$ . Критериями работы этой схемы служат три фактора.

1. Порядок коммутаторов в НС заранее определен; так как каждый коммутатор связан с соседними (см. рис. 1), то они образуют замкнутый круг. Поэтому необходимо заранее определить условно „первый“ коммутатор (т.е. его статус), являющийся точкой входа в НС. Соответственно схема управления приоритетами будет „пытаться“ отправить запрос на  $K_m$ , расположенный наиболее близко к точке входа в НС.

2. Коммутаторы „сообщают“ входным нейронам свое состояние с помощью флага „готов“ (см. рис. 2, а). В случае его отсутствия схема управления приоритетами не будет посылать запрос на данный коммутатор, так как он либо неисправен, либо занят обработкой другого индивидуального АЦП.

3. Схема управления приоритетами учитывает значение статуса коммутатора, которое показывает, сколько основных нейронов может быть объединено в индивидуальном АЦП при формировании через данный коммутатор.

Таким образом, схема управления приоритетами сравнивает значение входного запроса  $k_i$  со значениями статусов всех коммутаторов и записывает  $k_i$  в регистр запроса коммутатора, позволяющего сформировать АЦП соответствующей разрядности.

В результате на коммутатор, расположенный ближе всего к точке входа в НС и обладающий возможностью подключить максимальное количество свободных основных нейронов, с большой вероятностью может поступить несколько запросов одновременно. Но в данном случае поток поступающих входных сигналов можно считать ординарным, и поэтому необходимо предусмотреть срабатывание коммутатора на прием запроса, который приходит первым по времени. Для решения конфликтной ситуации между поступившими запросами вводится „ответная“ часть схемы управления приоритетами, реализуемая непосредственно в самом коммутаторе. Эта часть схемы выделяет один из поступивших запросов и запрещает коммутатору обработку других запросов. В результате коммутатор обрабатывает выбранный запрос, а входному нейрону, от которого он получен, выставляется флаг „принял“, при этом флаг „готов“ этого коммутатора снимается. Таким образом, коммутатор „сообщает“ всем входным нейронам, что он занят обработкой индивидуального АЦП и не может быть задействован другими входными нейронами. В результате устанавливается соединение между конкретными входным нейроном и коммутатором.

Входные нейроны, не получившие флага „принял“, считают данный коммутатор неработоспособным и на следующем такте формируют запрос для другого коммутатора. При этом для ускорения процесса формирования индивидуальных АЦП требуется реализовать „быструю“ передачу запросов между коммутаторами (см. рис. 2, б) с использованием только комбинационной логики. Таким образом, если индивидуальному АЦП требуется задействовать основные нейроны, принадлежащие нескольким последовательным коммутаторам, то все коммутаторы, которые в результате „теряют“ все „свои“ основные нейроны, также „сбрасывают“ флаг „готов“. Для исключения конфликтов между запросом от коммутатора и запросом от входного нейрона запросы коммутатора обрабатываются в первую очередь. Это также позволяет исключить обратную связь между коммутаторами, которая реализована на стыке „входной нейрон — коммутатор“ с помощью флагов.

Информация о номере входа поступает на коммутатор вместе с входным запросом и записывается в специально отведенный для этого регистр. Запись происходит одновременно с установкой флага „принял“, так что в регистр поступает номер входа, запрос которого выбран коммутатором для обработки. В дальнейшем информация о номере входа транслируется основным нейроном до концентратора, который выбирает, какому из выходных нейронов отправить запрос для окончания формирования индивидуального АЦП и направления всех сигналов на соответствующие входной нейрон и выходы АЦП [3].

Формирование значения статусного регистра коммутатора связано с рядом трудностей. Во-первых, необходимо учитывать работоспособность „своих“ основных нейронов, а также

порядок следования неработоспособных основных нейронов, чтобы проверить возможность образования связей между оставшимися нейронами. Во-вторых, необходимо учитывать значение статусного регистра соседнего коммутатора для оценки общего количества основных нейронов, которые можно будет объединить в индивидуальный АЦП, используя данный коммутатор. При этом требуется определить наличие связи между основными нейронами, принадлежащими данному и соседнему коммутаторам. В-третьих, так как схема управления приоритетами во входном нейроне представляет собой комбинационное устройство, то значение статусного регистра, поступающее от коммутатора во время коммутации и после нее, для входного нейрона, запрос которого поступил в обработку, должно сохраняться. Но в то же время статус, передаваемый соседнему коммутатору, должен показывать происходящие изменения.

Решение всех поставленных задач потребовало изменения системы флагов, которыми обменивается коммутатор со „своими“ основными нейронами (см. рис. 2, в). От основного нейрона необходимо поступление двух флагов. Флаг „готов“ показывает исправность нейрона, при этом не учитывается, задействован ли он в индивидуальном АЦП или нет, а также этот флаг передается не только коммутатору, но и другим основным нейронам, подключенным выходами к данному. Флаг „связность“ показывает, есть ли исправные основные нейроны, к которым может подключиться данный. Значение этого флага формируется на основе флагов „готов“, при этом не учитывается, присоединены основные нейроны к одному коммутатору или к разным. Флаг „связность“ поступает только к коммутатору. Коммутатор на основе флагов „готов“ и „связность“ ведет подсчет доступных ему „своих“ основных нейронов. Подсчет осуществляется двумя сумматорами, один из которых считает основные нейроны, начиная от первого и до потери связности, а второй — от последнего и до потери связности. Таким образом, определяются два значения, одно из которых показывает, сколько основных нейронов можно подключить к индивидуальному АЦП, формируемому через соседние коммутаторы, а второе — сколько основных нейронов может быть использовано при формировании индивидуального АЦП через данный коммутатор. Это приводит к необходимости разделения статусных регистров для входного нейрона и для соседнего коммутатора, значения которых будут различными при потере связности среди „своих“ нейронов. Для ускорения работы АЦП при этом решено, аналогично формированию запросов, отказаться от статусного регистра между коммутаторами (см. рис. 2, б) и использовать только комбинационную логику. Кроме того, такая система подсчета доступных основных нейронов позволяет решить вопрос о добавлении значения статуса соседнего коммутатора. При потере связности в последнем из работоспособных „своих“ нейронов добавления вообще не происходит, значение статусного регистра обнуляется, а значение статуса соседнего коммутатора будет соответствовать значению, полученному первым сумматором флагов. При потере связности в любом другом нейроне значение статусного регистра формируется из значений, полученных вторым сумматором, и значения статуса соседнего коммутатора, а само же значение статуса также соответствует значению, полученному первым сумматором.

Между собой основные нейроны связаны флагами „готов“ и „запрос“ (см. рис. 2, г), количество которых определяется отказоустойчивостью схемы. На основе этих флагов происходит маршрутизация всех остальных сигналов, обеспечивающих непосредственно работу индивидуального АЦП. „По умолчанию“ каждый основной нейрон подключает выходы к наиболее близкому нейрону с учетом флага „готов“ и выставляет для него флаг „запрос“. По приходу флага „запрос“ основной нейрон подключает входы к нейрону, выставившему этот флаг. Коммутатор, начинающий формирование индивидуального АЦП, выставляет собственный флаг „запрос“ для основного нейрона, который является работоспособным и обладает связностью со всеми последующими, что определяется на основе значения, полученного вторым сумматором. Если основной нейрон получает флаг „запрос“ от коммутатора, то он считается

первым в индивидуальном АЦП и подключает входы к выходу коммутатора. Так как основные нейроны „по умолчанию“ соединены между собой, то необходимо лишь определить последний основной нейрон в сформированном индивидуальном АЦП. Этот нейрон определяется коммутатором, который, получив запрос от входного нейрона либо от соседнего коммутатора, подсчитывает, что ему достаточно „своих“ основных нейронов для удовлетворения запроса. Этот коммутатор выставляет флаг „МЗР“ (младший значащий разряд) для последнего основного нейрона, выявление которого происходит на основе данных первого сумматора.

При получении флага „МЗР“ основной нейрон подключает выходы к „своему“ концентратору (см. рис. 2, *д*). Таким образом, информация о номере входа, транслируемая между нейронами, попадает на концентратор, который формирует запрос соответствующему входному нейрону. В результате образуется связь между выходным и входным нейронами, что позволяет считать индивидуальный АЦП сформированным и обеспечивает возможность проведения аналого-цифровых преобразований в соответствии с алгоритмами, описанными в работе [3].

Итак, сформулированы основные принципы самомаршрутизации сигналов в АЦП на основе нейронной сети и представлено возможное решение, а именно:

— предложена схема управления приоритетами при установлении связи „входной нейрон — коммутатор“;

— определены порядок формирования значений регистра запроса и статусного регистра, а также система передачи их между коммутаторами;

— реализована связь между основными нейронами.

Полученные результаты позволяют реализовать индивидуальные АЦП на основе заданной НС, что соответствует первому этапу работы основного АЦП [3]. При дальнейших исследованиях необходимо аппаратно реализовать данную систему, при этом снижая по возможности аппаратные затраты, а также решить проблему обеспечения отказоустойчивости коммутаторов и концентраторов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авдеев Б. Я., Белоусов В. В. и др. Цифровые адаптивные информационно-измерительные системы / Под ред. Б. Я. Авдеева, Е. А. Чернявского. СПб: Энергоатомиздат, 1997.
2. Матушкин Н. Н., Южаков А. А. Измерительные преобразователи на основе потоковой динамической архитектуры // Изв. вузов. Приборостроение. 1994. Т. 37, № 1. С. 16—21.
3. Посягин А. И., Южаков А. А. Разработка аналого-цифрового преобразователя на основе нейронной сети // Электротехника. 2012. № 11. С. 18—24.

#### *Сведения об авторах*

**Антон Игоревич Посягин**

— Пермский национальный исследовательский политехнический университет, кафедра автоматики и телемеханики; ассистент;  
E-mail: posyagin.anton@gmail.com

**Александр Александрович Южаков**

— д-р техн. наук, профессор; Пермский национальный исследовательский политехнический университет, кафедра автоматики и телемеханики

Рекомендована кафедрой  
автоматики и телемеханики

Поступила в редакцию  
31.10.13 г.