

А. Б. Барский, д-р техн. наук, проф., e-mail: arkbarsk@mail.ru,
Д. И. Мельник, канд. техн. наук, ст. науч. сотр., e-mail: mdi_dim@mail.ru,
НИИЦ (г. Москва) ЦНИИ ВВКО Минобороны России

Нейросетевая модель целераспределения для вычислительной системы архитектуры *data flow*

*Предлагается метод применения логической нейронной сети для решения задачи целераспределения. Предполагается, что с помощью модели обороняемого объекта или района проведена пристрелка стрельбовых комплексов по опорным траекториям и построена база знаний (БЗ), представленная логической нейронной сетью. Значения коэффициентов опорных траекторий, а также значения готовности стрельбовых комплексов связаны в БЗ с решениями о назначении этих комплексов для поражения цели. Приводится программа выполнения основных действий нейрокомпьютера на вычислительной системе архитектуры *data flow*. Предложен способ снижения трудоемкости вычисления скалярного произведения сильно разреженных (нулями) векторов, являющегося базовой операцией при вычислении значения функции активации нейронов.*

Ключевые слова: целераспределение, опорная траектория, стрельбовый комплекс, логическая нейронная сеть, скалярное произведение векторов, архитектура *data flow*

Введение

С начала 80-х годов прошлого века перспективные исследования в области вычислительной техники во многом определялись концепцией "японского вызова". В рамках этой концепции были обоснованы два положения:

- должны быть созданы нейросетевые методы вычислений часто решаемых оптимизационных задач высокой сложности;
- вычислительная система (ВС) должна объединять десятки тысяч микропроцессоров, взаимодействующих по технологии *data flow*.

Первое положение должно было обеспечить рост эквивалентной производительности ВС за счет реализации более простых алгоритмов решения нейросетевых и нейроподобных задач.

Второе положение должно было обеспечить параллельное решение этих задач с минимальными накладными расходами в высокопараллельной ВС, способной в том числе воспроизводить структуру нейронной сети. В этом случае реальная производительность нейрокомпьютера эквивалентна той производительности, что требуется для решения конкретной задачи численными методами.

Несмотря на невозможность полного воплощения фантастических идей, они до сих пор оказывают серьезное влияние на попытки достижения сверхвысокой производительности вычислительных средств, использующихся в сложных системах обороны [1, 2].

Одной из центральных задач, решаемых в начале боевого цикла системы обороны, является задача целераспределения, к оперативному решению которой предъявляются наиболее высокие требования [3, 4]. В классической постановке это транспортная задача линейного программирования с рядом дополнительных условий и ограничений. Такая задача высокой сложности требует применения методов искусственного интеллекта. Однако попытки использования "классических" нейронных сетей так и не привели к успеху. Разработка логических нейронных сетей [5], в основе которых лежит математическая логика событий, а также принцип ассоциативного мышления человека, послужила основой оперативного решения многих задач распознавания, управления и принятия решений.

Возможность применения логических нейронных сетей для оперативного решения за-

дачи целераспределения на принципиальном уровне показана в настоящей статье. Приводится программа центрального модуля этой задачи на ВС архитектуры *data flow* [6].

1. Задача целераспределения

Пусть территориально распределенная система обороны включает станции обнаружения и несколько стрельбовых комплексов, обладающих зонами поражения. Станции обнаружения с помощью своих вычислительных средств, используя, например, метод наименьших квадратов при обработке группы обнаруженных точек, формируют полиномы целей как функции времени t для расчета их текущих координат и параметров движения. Обычно это полиномы четвертой степени вида

$$\begin{aligned}x &= a_{01} + a_{11}t + a_{21}t^2 + a_{31}t^3 + a_{41}t^4; \\y &= a_{02} + a_{12}t + a_{22}t^2 + a_{32}t^3 + a_{42}t^4; \\z &= a_{03} + a_{13}t + a_{23}t^2 + a_{33}t^3 + a_{43}t^4.\end{aligned}$$

Представленные полиномы могут описывать центр групповой цели. По результатам дальнейших наблюдений эти полиномы уточняются.

Таким образом, данные полиномы описывают модель движущейся цели, пересекающей зоны поражения и в разной степени достижимой средствами перехвата стрельбовых комплексов с учетом их готовности.

Эффективность системы целераспределения характеризуется:

- минимальным предотвращенным ущербом;
- временем готовности стрельбового комплекса к выполнению новой задачи;
- временем подготовки пуска перехватчика с момента выдачи целеуказания при предпочтительности дальнего перехвата;
- коэффициентом загрузки стрельбового комплекса по групповой цели;
- параметрами взаимного пространственного расположения цели и перехватчика в момент выдачи главной команды и пр.

Известны попытки решения задачи целераспределения в статическом режиме для отражения единичной или групповой цели как транспортной задачи линейного программирования высокой сложности. Однако следует ориентироваться на динамический характер отражения многих целей массированного налета в течение относительно длительных боевых действий,

при которых необходимо учитывать ущерб, нанесенный прорвавшимися целями.

Тогда задача целераспределения превращается в трудно формализуемую логико-комбинаторную оптимизационную задачу, оперативное решение которой основано на переборе и анализе большого числа связей вида "если — то". Для решения подобных задач используется аппарат логических нейронных сетей [5], имитирующий ассоциативное мышление человека на основе накопленного опыта и обучения. Решение задачи, во многом воспроизводящее артиллерийские приемы накопления опыта пристрелки и переноса огня, строится на основе экспертных оценок, на базе натуральных экспериментов и результатов моделирования. По результатам таких исследований создается база знаний (БЗ), отображающая связи между возможными ситуациями и принимаемыми по ним решениями. При формировании этих связей (при обучении нейронной сети¹) учитываются требования эффективности решений. Ситуации задаются возбуждением рецепторов. Возбуждение нейронов, реализующих пороговую функцию активации, указывает на рекомендуемое назначение стрельбового комплекса. При нечисловом характере вывода решение принимается по наиболее "возбуждавшемуся" нейрону, что и свойственно задаче целераспределения.

Наполнение базы знаний возможно по принципу очевидной целесообразности при оценке взаимного расположения объектов и возможных характеристик налета. Сложные случаи требуют создания *комплексной имитационной модели* с применением средств анимации и компьютерной графики. Модель должна обеспечить возможность имитации различных сценариев действий противника для формирования различных вариантов налета. Она должна отображать различные способы противодействия не только в поиске успешных, но и оптимальных в смысле предъявляемых требований, описанных выше. При этом модель должна адекватно воспроизводить физические законы движения управляемых объектов и целей. Задачей моделирования является покрытие факторного пространства отношениями вида "если — то" ("параметры удара — выбор средства отражения") для решения задачи целераспределения в рамках более общей задачи управления боевыми действиями.

¹Логическая нейронная сеть создается обученной. В этом ее преимущество перед "классическими" нейронными сетями.

2. Логическая нейронная сеть для решения задачи целераспределения

Пусть на основе моделирования построены M опорных траекторий, равномерно или с учетом опасных направлений покрывающих обороняемую территорию. Выбраны оптимальные варианты их "обслуживания" основными стрельбовыми комплексами (СК) и их дублерами (в случае низкой готовности или выхода из строя основных средств).

Составим примерную, легко развиваемую логическую нейронную сеть (рис. 1), позволяющую принять решение о назначении главного СК и его дублера по значениям коэффициентов полиномов цели. Рассматривая возможности целераспределения на принципиальном уровне, допустим, что двух коэффициентов в уравнениях каждой координаты движения достаточно для представления о характере цели. Иными словами, по этим коэффициентам можно с достаточной точностью определить опорную траекторию, на которую в большой степени "похожа" анализируемая траектория, подлежащая "обслуживанию".

Кроме того, для лучшего понимания принципа назначения СК для поражения цели на рис. 1 отражен ряд допущений.

1. Предполагается, что значения коэффициентов $a_{01}^1, a_{01}^2, \dots, a_{01}^M$ по координате x для M опорных траекторий образуют возрастающую последовательность, и за каждым из них закрепляется рецептор. В действительности этот порядок следования может быть нарушен. Если же для двух или более из M траекторий эти коэффициенты равны, то их значение представляет лишь один рецептор [1].

2. Значения коэффициентов $a_{11}^1, a_{11}^2, \dots, a_{11}^M$ по координате x для всех опорных траекторий тоже образуют возрастающую последовательность отличных друг от друга значений. В ней повторяется тот же порядок представления M траекторий, что и в последовательности $a_{01}^1, \dots, a_{01}^M$. В действительности возрастающая последовательность этих коэффициентов в общем слу-

чае отображает другой порядок представления траекторий, а одинаковые значения коэффициентов определяют другое число рецепторов, закрепленных за вторым коэффициентом в уравнении по координате x .

3. То же касается последовательности коэффициентов $a_{02}^1, a_{02}^2, \dots, a_{02}^M$ и последовательности $a_{12}^1, a_{12}^2, \dots, a_{12}^M$ по координате y , а также последовательности $a_{03}^1, a_{03}^2, \dots, a_{03}^M$ и последовательности $a_{13}^1, a_{13}^2, \dots, a_{13}^M$ по координате z .

Таким образом, в общем случае коэффициенты одной опорной траектории оказываются независимо рассредоточены по возрастающим последовательностям, а общее число рецепторов, закрепленных за значениями коэффициентов, лишь не превышает значение $6M$. Однако связи с нейронами должны строго соот-

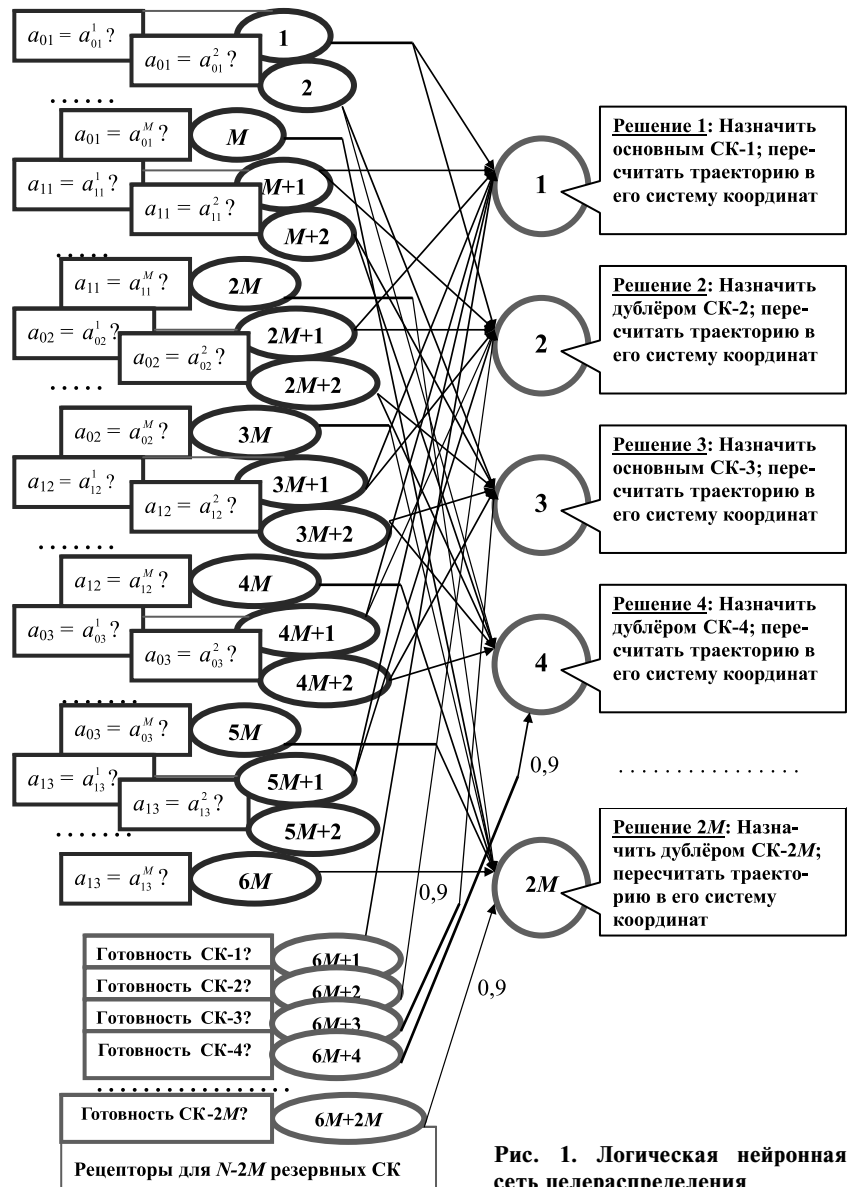


Рис. 1. Логическая нейронная сеть целераспределения

ветствовать принадлежности коэффициентов опорным траекториям, и из одного рецептора может исходить более одной связи.

4. Порядок нумерации стрельбовых комплексов и их оптимальное закрепление за опорными траекториями выбран так, чтобы, как и в пунктах 1—3, не в ущерб общности примера упростить индексацию, обеспечить наглядность и не запутать читателя нагромождением "правильных" абстрактных выкладок.

5. Стрельбовых комплексов, с учетом назначения основных и дублеров, хватает для "обслуживания" M опорных траекторий и близких к ним реальных траекторий, т. е. $N \geq 2M$.

6. В данном примере предполагается назначение основного и дублирующего СК для поражения одной цели. Однако в действительности на особенно опасном направлении может быть предусмотрено закрепление за опорными траекториями более одного СК-дублера. Тогда по числу назначаемых средств поражения формируется и число нейронов, закрепляемых за соответствующими опорными траекториями, а число нейронов в логической нейронной сети может превышать значение $2M$. Веса связей от дублирующих СК образуют убывающую последовательность, указывающую на приоритет дублеров. Так повышается вероятность назначения СК-дублера только в том случае, когда основной СК и СК-дублеры более высокого приоритета обладают более низкой готовностью: временно заняты, исчерпали боекомплект или поражены.

Функция активации нейрона имеет вид

$$V_i = \begin{cases} \left(\frac{\sum_{\{j\}} \omega_j v_j}{\sum_{\{j\}} \omega_j} \right), & \text{если это значение} \\ \text{не менее порога } h; \\ 0 & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Здесь V_i — возбуждение i -го нейрона; $\{j\}$ — множество связей i -го нейрона с рецепторами; ω_j — вес j -й связи нейрона; v_j — возбуждение j -го рецептора. Порог h выбирается экспериментально так, чтобы не "погасить" возбуждение нейронов, обусловленное СК-дублерами при допустимом значении их готовности.

Напомним [5], как данная логическая сеть работает в составе системы целераспределения.

Обращение к логической нейронной сети для обработки каждой новой траектории проводится отдельно, т. е. множество новых траекторий обрабатывается последовательно в цикле.

Если значение коэффициента a_{01} совпадает с одним из значений этого коэффициента, за

которым закреплен рецептор, значение возбуждения этого рецептора полагается равным единице. Если значение a_{01} не совпадает ни с одним значением, за которым закреплен рецептор, находятся значения a_{01}^i и a_{01}^{i+1} , за которыми существуют закрепленные рецепторы² и для которых выполняется условие: $a_{01}^i < a_{01} < a_{01}^{i+1}$. Значение возбуждения рецептора i полагается равным $(a_{01}^{i+1} - a_{01}) / (a_{01}^{i+1} - a_{01}^i)$. Значение возбуждения рецептора $i + 1$ дополняет найденное значение до единицы.

Аналогично "возбуждаются" один или два рецептора по значению коэффициента a_{11} . Таким же образом "возбуждаются" рецепторы по уравнениям координат u и z .

Оценки готовности стрельбовых комплексов формируются на основе функционального контроля и системы управления боевыми действиями.

По сформированным значениям возбуждения рецепторов с помощью функции активации рассчитываются значения возбуждения всех нейронов. Максимально "возбужденный" нейрон указывает на принимаемое решение. Оценка готовности используемого СК корректируется.

Если возбуждение ни одного нейрона не превысило порог, следует сделать вывод об ожидании освобожденного СК с высокой готовностью или об оперативном подключении других средств противодействия. Снижение порога не приведет к какому-либо пересмотру действий по "обработке" данной цели.

Обратим внимание на важный элемент самообучения, реализуемый в ходе боевых действий. Траектории некоторых пораженных целей можно включать в опорные, тем самым развивая БЗ и ее логическую нейронную сеть. (Это действие подобно тому, как в артиллерии команда "Стой! Записать..." в дальнейшем служит эффективному применению тактики переноса огня вместо трудоемкой подготовки данных по новым целям.)

Наглядное изображение логической нейронной сети служит отражению смысла задачи, но не предоставляет формальных механизмов для компьютерной реализации. Метод вычислений основан на применении *матрицы связей* [5], соответствующей этой сети. Матрица связей и некоторая сопутствующая информация, ускоряющая расчет, представлена в таблице.

² Если одного из таких значений нет, принимается простое соглашение, например, об использовании "среднего расстояния между рецепторами" для возбуждения рецептора, оказавшегося "крайним".

Матрица связей

Нейроны, указывающие на решения	Рецепторы и места для значения их возбуждения														Списки индексов связей с ненулевыми весами			
	1	2	...	M	$M+1$	$M+2$	...	$2M$	$2M+1$	...	$6M+1$	$6M+2$	$6M+3$	$6M+4$		...	$1/(\Sigma \text{весов})$	
Нейрон 1, Решение 1	1				1						1						7^{-1}	$S_1 = \{1, M+1, 2M+1, \dots, 5M+1, 6M+1\}$
Нейрон 2, Решение 2	1				1							0,9					$6,9^{-1}$	$S_2 = \{1, M+1, 2M+1, \dots, 5M+1, 6M+2\}$
Нейрон 3, Решение 3		1				1							1				7^{-1}	$S_3 = \{2, M+2, 2M+2, \dots, 5M+2, 6M+3\}$
Нейрон 4, Решение 4		1				1								0,9			$6,9^{-1}$	$S_4 = \{2, M+2, 2M+2, \dots, 5M+2, 6M+4\}$
.....																	
Нейрон $2M$, Решение $2M$					1												$6,9^{-1}$	$S_{2M} = \{M, 2M, \dots, 6M, 6M+2M\}$

При построении матрицы связей для каждого нейрона целесообразно формировать список индексов ненулевых весов связей с рецепторами. Это необходимо для ускоренного выполнения операции скалярного произведения разреженных (нулями) векторов как основной трудоемкой операции счета значения функции активации. Как видно из рис. 1 и таблицы, в каждом скалярном произведении участвуют всего лишь семь элементов вектора весов каждого нейрона, какими бы большими ни были значения M и N .

3. Решение задачи целераспределения на проектируемой ВС архитектуры *data flow*

В работе [6] содержится достаточно примеров программирования на ВС, управляемой потоком данных по технологии *data flow*. Однако каждая новая область применения порождает и новые рекомендации по системе команд.

Отметим, что каждый разработчик параллельных вычислительных систем утверждает, что он реализовал архитектуру *data flow*. Дело в том, что какими бы приемами не осуществлялось распараллеливание вычислений, оно всегда основано на оценке готовности данных для программных модулей, процедур, инструкций и пр., распределяемых между исполнительными устройствами. Распределение, как правило, выполняется принудительно с помощью диспетчеров ОС или аппаратными средствами, приводящими к серьезным накладным расходам производительности. Рассматриваемый здесь "чистый" принцип *data flow* отличается тем, что данные, являющиеся операндами в некоторой операции, по мере готовности поступают непосредственно в *текст*

инструкции для выполнения этой операции. Операции, для которых в текст соответствующей инструкции поступили все необходимые данные, готовы к выполнению и могут быть "подхвачены" свободными ресурсами.

Составим *план загрузки* множества $R = \{r_1, \dots, r_{2m-2}\}$ виртуальных вычислителей решающего поля ВС для счета значения скалярного произведения двух векторов $A = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$ и $B = \{b_1, b_2, \dots, b_m\}$ способом "пирамиды". Этот способ обеспечивает максимальные возможности распараллеливания таких связанных процессов, как "свертка массивов" или преобразование вида "вектор—скаляр". Для определенности положим $m = 7$ (рис. 2). В овалах

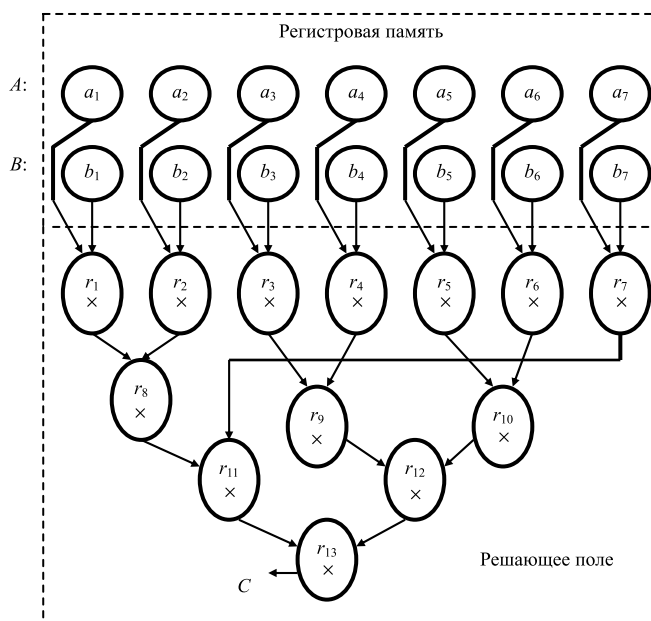


Рис. 2. План загрузки вычислителей ВС *data flow* для счета скалярного произведения векторов

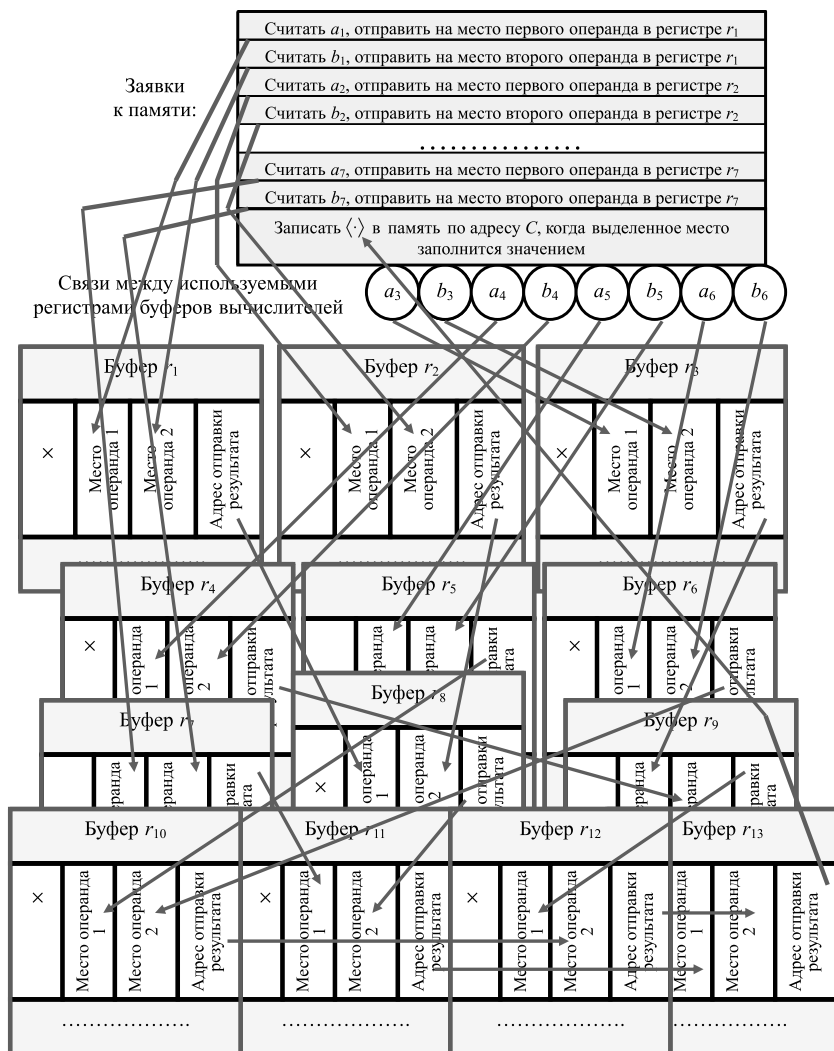


Рис. 3. Коммутация вычислителей решающего поля

указаны виртуальные адреса вычислителей и выполняемые ими операции.

Для счета по данной схеме динамически формируются заявки к памяти, а также занимаются и частично заполняются инструкциями очередные свободные регистры в буферах физических вычислителей. Так создается *схема коммутации* вычислителей для выполнения данного алгоритма (рис. 3). Для краткости изложения предположим, что виртуальные адреса вычислителей на рис. 2 автоматически переведены в физические с сохранением их значения. Место временного хранения результата в регистре не показано.

Представим программу нахождения решения о назначении СК для поражения цели с помощью логической нейронной сети. Фактически это программа стандартной процедуры НЕЙРОКОМПЬЮТЕР для ВС архитектуры *data flow* (рис. 4).

Поясним применение некоторых команд.

Команда ЦИКЛ1 выполняет простейший цикл типа арифметической прогрессии.

Команда ЦИКЛ2 соответствует конструкции, применяющей список индексов и даже выражений для их расчета в полном описании ALGOL-60 Бэкуса—Бауэра [7]. В соответствии с этим обобщением предполагается непосредственно использовать список индексов элементов одного из двух векторов, отличных от нуля, для сокращения времени счета их скалярного произведения. Первый индекс из списка выбирается при выполнении команды ЦИКЛ2. Остальные индексы формируются по команде КЦ2 (конец цикла 2). Предполагается, что список оканчивается либо пустым словом, либо специальным символом, выбор которого служит сигналом выхода из цикла. Это следует учитывать при формировании таблицы, где размеры всех ее позиций должны быть фиксированными в соответствии с целью применения. Это упрощает переадресацию. Более того, условия оперативного применения процедуры НЕЙРОКОМПЬЮТЕР требуют использования сверхоперативной, т. е. регистровой памяти.

Дважды применяемая команда УСЛ реализует конструкцию "if — then — else" [6] в двух модификациях. По команде 16 сравнение с порогом h позволяет окончательно сформировать значение пороговой функции активации, т. е. получить значение возбуждения нейрона: если $h \leq ((M3) + r_1)$, с помощью пятого адреса подтверждается рассчитанное значение, в противном случае значение этой функции равно нулю.

В команде 17 используется модификация, при которой также по третьему адресу направляются данные пятого адреса, если значение по первому адресу меньше значения по второму адресу. В противном случае по третьему адресу отправляются данные четвертого адреса. Кроме того, если пересылка была проведена с пятого адреса, выполняется следующая команда 18. Такое выполнение команд 17 и 18 позволило зафиксировать новое значение максимально

№к	КОП	I_1	A_1	I_2	A_2	I_3	A_3	Пояснения
0	ЗАГ	$M1$		$M2$		$M3$		Очистка модификаторов
1	ЗАГ	$M4$	$\langle P \rangle$					P – число нейронов, $P \geq 2M$
2	ЗАП						V_{\max}	Очистка ячейки для накопления V_{\max}
3	ЦИКЛ1	$M4$						Цикл по нейронам
4	ЦИКЛ2	$M1$		$M2$	S_1			Выборка первого индекса строки
5	\times	$M1$	$\langle \omega_1 \rangle$	$M1$	$\langle v_1 \rangle$	$M3$	r_1	Очередное умножение по индексу
6	$I+$	$M3$	0..01					Переадресация вычислителя
7	КЦ2	$M1$		$M2$	S_1			Выборка следующего индекса, выход
8	$I+$	$M2$	$\langle D \rangle$					Переадресация списка
9	ЗАГ	$M5$	$M3$	$M1$				Число вычислителей и очистка
10	$\times_{\text{ц}}$		$M5$		2		$M5$	Уточнение числа вычислителей
11	ЦИКЛ1	$M5$	7..7					Цикл на $(M5)-1$ повторений
12	$+$	$M1$	r_1	$M1$	r_2	$M3$	r_1	Сложение по схеме «пирамида»
13	$I+$	$M1$	0..02	$M3$	0..01			Переадресация по схеме «пирамида»
14	КЦ1							Конец цикла
15	\times	$M3$	r_1	$M2$	S_2	$M3$	r_1	Окончание счёта функции активации и
16	УСЛ		$\langle h \rangle$	$M3$	r_1	$M3$	r_1	Сравнение с h в соответствии со счётом значения пороговой функции
17	УСЛ		V_{\max}	$M3$	r_1		V_{\max}	Модификация команды УСЛ с выполнением следующей команды, если запись была произведена из 5-го адреса
18	ЗАП		$M4$				N_{\max}	Засылка номера максимально «возбуждёвшегося» нейрона
19	$I+$	$M2$	l					Переадресация на строку следующего нейрона
20	КЦ1							

Рис. 4. Программа НЕЙРОКОМПЬЮТЕР для назначения стрельбового комплекса

"возбуждёвшегося" нейрона, а при выполнении следующей команды — получить значение параметра цикла, т. е. номер этого нейрона. Если пересылка была проведена с четвертого адреса, следующая команда пропускается.

Заключение

1. На основе аппарата логических нейронных сетей построен "быстрый" алгоритм целераспределения. Логическая нейронная сеть интерпретирует базу знаний, в которой отражено соответствие между наиболее опасными опорными траекториями движения целей, "покрывающими" обороняемый район, и средствами их эффективного поражения. Назначение средств поражения для вновь обнаруженной траектории цели проводится по принципу ассоциативных вычислений, по наибольшей схожести данной траектории на одну из опорных. Множество опорных траекторий и принимаемые по ним решения выбираются на основе очевидных соображений по размещению объектов и средств, а также по результатам моделирования боевых действий. При закреплении стрельбовых комплексов за опорными траекториями (при обучении логической нейронной сети) учитываются

требования эффективности системы целераспределения. Избранные траектории пораженных целей могут включаться в состав опорных, развивающих самообучающуюся, таким образом, базу знаний. В возможности самообучения заключается преимущество такого метода искусственного интеллекта, как аппарат логических нейронных сетей.

2. Вычислительные системы, управляемые потоком данных (*data flow*), определяют высокий коэффициент полезной загрузки оборудования при решении задачи целераспределения нейросетевым методом. Пример решения данной задачи демонстрирует возможность необходимого наращивания мощности таких систем структурными методами при соблюдении требований стандартизации, унификации и высокой надежности. Накладные расходы на управление вычислительной системой при рассмотренном способе распараллеливания практически отсутствуют.

3. Представленная программа нейрокомпьютера на базе логической нейронной сети является универсальной процедурой, которая может быть включена в состав общего программного обеспечения вычислительной системы архитектуры *data flow*.

4. Для повышения эффективности процедуры НЕЙРОКОМПЬЮТЕР многопроцессорная система архитектуры *data flow* должна воплощать принцип *SPMD*-технологии, где на всех процессорах выполняются копии одной программы по распределенным данным при простейшей синхронизации по общим данным. Применительно к рассмотренной задаче реализуется план вычислений, при котором строки нейронов в матрице связей динамически закрепляются за процессорами в соответствии с номерами тех и других. Каждый процессор находит среди "своих" нейронов максимально "возбуждёвшийся". Абсолютный максимум находится на процессоре, помимо того выполняющем функции головного. Он и назначает стрельбовый комплекс для перехвата цели.

Список литературы

1. Бурцев В. С. Система массового параллелизма с автоматическим распределением аппаратных средств супер-

ЭВМ в процессе решения задачи // Юбилейный сборник трудов институтов ОИВТА РАН. Т. II. М.: ОИВТА РАН, 1993. С. 5–27.

2. **Змеев Д. Н., Климов А. В., Левченко Н. Н., Окунев А. С., Стемповский А. Л.** Потокковая модель вычислений как парадигма программирования будущего // Информатика и ее применение. 2015. Т. 9, Вып. 4. С. 29–36.

3. **Трошин Г. И.** Григорий Васильевич Кисунько — основоположник противоракетной обороны СССР, выдающийся радиофизик XX века, писатель, поэт (научная биография). М.: "Новые технологии". 2015. 220 с.

4. **Третьяков Ю. Н.** 50 лет в ракетно-космической обороне / Под ред. О. Ю. Аксенова. М.: ООО "ТИПОГРАФИЯ КЕМ", 2010. 800 с.

5. **Барский А. Б.** Нейросетевые методы оптимизации решений. СПб.: ИЦ "Интермедия", 2016. 312 с.

6. **Барский А. Б., Шилов В. В.** Потокковая вычислительная система: программирование и оценка эффективности // Информационные технологии. № 7. Приложение. 2003. 24 с.

7. **Бэкус Д. Б., Бауэр Ф. А.** и др. Сообщение об алгоритмическом языке АЛГОЛ-60 // Журнал вычислительной математики и математической физики. 1961. Т. 1, № 2. С. 308–342.

A. B. Barsky, D. Tech. Sc., Professor, e-mail: arkbarsk@mail.ru,

D. I. Melnik, Ph. D., Senior Researcher, e-mail: mdi_dim@mail.ru,

Scientific Research Institute (Moscow) Central Research Institute VVKO, Ministry of Defense of Russia

Neural Network Target Distribution Model for Computing System of Data Flow Architecture

A method of applying a logical neural network for solving the task of target distribution is proposed. The trajectory of the target for each coordinate is described by polynomials. It is assumed that, using a model of the object to be defended, the shooting complexes were fired at reference trajectories, and a knowledge base representing the logical neural network was built. It connects the values of the coefficients of the reference trajectories and the readiness values of the firing complexes with the decisions on their appointment to hit the target. To perform the associative sampling procedure, the receptor excitation values are set. The most "energized" neuron as a result of the activation function count indicates the selected shooting complex. The knowledge base is developed in the process of successful operation of the system. In the commands of the computing system of the data flow architecture, a program of the traditional type is given, according to which switching of actuators is carried out to perform the NEUROCOMPUTER procedure. A method is proposed for reducing the complexity of the scalar product of highly rarefied (by zeros) vectors, which is the basic operation for counting the values of the neuron activation function. To do this, use the CYCLE command with the listed parameter values, as was indicated in the original description of the ALGOL language.

Keywords: target distribution, reference trajectory, shooting complex, logical neural network, scalar product of vectors, data flow architecture

DOI: 10.17587/it.25.441-448

References

1. **Burtsev V. S.** Jubilee collection of works of institutes of OIVTA RAS. T. P., Moscow, OIVTA RAS, 1993, pp. 5–27 (in Russian).

2. **Zmeev D. N., Klimov A. V., Levchenko N. N., Okunev A. S., Stempkovsky A. L.** *Informatika i ee primeneniye*, 2015, vol. 9, iss. 4, pp. 29–36 (in Russian).

3. **Troshin G. I.** Grigory Vasilyevich Kisunco - the founder of the antimissile defense of the USSR, an outstanding radio physi-

cist of the twentieth century, a writer, a poet (scientific biography), Moscow, *Novye tekhnologii*, 2015, 220 p. (in Russian).

4. **Tretyakov Yu. N.** 50 years in the rocket-space defense, Moscow, ООО "ТИПОГРАФИЯ КЕМ", 2010, 800 p. (in Russian).

5. **Barsky A. B.** Neural network methods for optimizing solutions, SPb, ITs "Intermediya", 2016, 312 p. (in Russian).

6. **Barskii A. B., Shilov V. V.** *Informatsionnye tekhnologii, Prilozheniye*, 2003, no. 7, 24 p. (in Russian).

7. **Bekus D. B., Bauer F. A.** *Zhurnal Vychislitel'noi Matematiki i Matematicheskoi Fiziki*. 1961, vol. 1, no. 2, pp. 308–342 (in Russian).

Адрес редакции:

107076, Москва, Стромьинский пер., 4

Телефон редакции журнала (499) 269-5510

E-mail: it@novtex.ru

Технический редактор *Е. В. Конова*.

Корректор *Н. В. Яшина*.

Сдано в набор 29.04.2019. Подписано в печать 25.06.2019. Формат 60×88 1/8. Бумага офсетная.

Усл. печ. л. 8,86. Заказ ИТ719. Цена договорная.

Журнал зарегистрирован в Министерстве Российской Федерации по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций.

Свидетельство о регистрации ПИ № 77-15565 от 02 июня 2003 г.

Оригинал-макет ООО "Авансес солюшнз". Отпечатано в ООО "Авансес солюшнз".

119071, г. Москва, Ленинский пр-т, д. 19, стр. 1. Сайт: www.aov.ru