

УДК 519.87



В.А. Дяченко, О.Ф. Михаль

ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, fuzzy16@pisem.net

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ АСПЕКТ ОБУЧЕНИЯ МОДИФИЦИРОВАННЫХ САМООРГАНИЗУЮЩИХСЯ КАРТ КОХОНЕНА

Рассмотрены и сопоставлены по параметрам классический и модифицированный варианты реализации обучения самоорганизующихся карт Кохонена. Проведен сравнительный анализ скорости обучения. Рассмотрен интеллектуальный аспект работы карт Кохонена, в частности, их обучения с поддержкой распараллеливания.

РАСПРЕДЕЛЁННАЯ ОБРАБОТКА ДАННЫХ, САМООРГАНИЗУЮЩИЕСЯ КАРТЫ КОХОНЕНА

Введение

Распределённая обработка данных имеют ряд особенностей при реализации на небольших сетевых *вычислительных системах* (ВС), составленных из компьютеров общего назначения. В таких ВС процессы, которые могли бы реализовываться параллельно во времени, вынужденно частично исполняются последовательно, в меру наличия вычислительных ресурсов и с учётом сосредоточенности ресурсов по узлам ВС. Для подобных систем со смешанной «сосредоточенно-параллельной» обработки данных актуально нахождение эффективных сочетаний интеллектуальных алгоритмических решений с конкретными структурно-аппаратными возможностями ВС. Перспективным объектом исследования являются, в частности, *самоорганизующиеся карты Кохонена* (СКК), реализующие режим самообучения. Модифицированный вариант СКК [1, 2] предполагает распараллеливание отдельных фаз обучения [2-4]. В частности, распараллеливание в распределённых ВС может быть реализовано аппаратно. При этом интересен интеллектуальный аспект: соотношение (сопоставление) работы СКК с человеческой интеллектуальной деятельностью и методами работы, применяемыми человеком для достижения сходных целей. Оценки интеллектуального аспекта тесно связаны с результатами анализа скорости работы СКК, включая скорость обучения [3], т.е. с показателями эффективности функционирования системы.

Целью данной работы является изучение интеллектуального аспекта работы модифицированных самоорганизующихся карт Кохонена, в частности, процедуры их обучения с поддержкой распараллеливания.

1. Интеллект и вычислительная система

Имеет место не вполне очевидная, но достаточно устойчивая аналогия между *человеческим интеллектом* (ЧИ) и *вычислительной системой* (ВС). Может показаться парадоксальным, но общая ситуация развития (прогресс человечества) складывается так, что всё явственнее проступает, что ЧИ и ВС существуют «друг для друга», взаимно дополняя и поддерживая друг друга и взаимно совершен-

ствуясь. Проявляется это, по крайней мере, в трёх аспектах.

1. ЧИ создал и постоянно совершенствует ВС; но и ВС влияет на ЧИ, формируя его интересы, снабжая информацией, предоставляя возможности для реализации творческого потенциала и др. Но главное – в следующее. Приёмы и методы, реализуемые в *аппаратном и программном обеспечении* (АО и ПО), задумываются и воплощаются (закладываются в АО и ПО) наиболее развитыми, технически грамотными и умными носителями ЧИ – интеллектуальной элитой человеческого общества. После этого, эти приёмы и методы становятся доступными средним и нижним (по уровню интеллектуального развития) слоям носителей ЧИ (человеческого общества). Как результат – растёт общий интеллектуальный уровень человечества. А дальше – ЧИ в той или иной форме направляет этот свой возросший интеллектуальный потенциал на дальнейшее совершенствование ВС. Таким образом, ЧИ через посредство ВС, а ВС через посредство ЧИ, непрерывно самосовершенствуются во взаимодействии. Причём, эти две петли обратной связи (картинка) ещё даже не охватываются понятием *искусственный интеллект* (ИИ). Они проявляются «автоматически» (неосознанно), как единый «эволюционный процесс».

2. ЧИ и ВС соотносятся как субъект – человек (Ч) и усовершенствованное орудие труда – *инструмент* (И) (рис. 1 а, б, в). Последний (рис. 1 а) выступает в качестве промежуточного элемента во взаимодействии Ч с *окружающим миром* (ОМ). Ч может наблюдать ОМ и воздействовать на него непосредственно (а, б), либо через посредство И. В этом качестве, по мере совершенствования (рис. 1, б), в И выделяются (обособляются) функции рецептора Р и оператора О. Как результат, Ч приобретает качество взаимодействовать с ОМ только через И. На следующем этапе (рис. 1, в) совершенствования, эти функции взаимно согласуются – реализуясь в виде блока *автоматического управления* АУ, с появлением которого усовершенствованный И приобретает известную автономность с элементами встроенной интеллектуальности. Ч начинает взаимодействовать с ОМ не непосредственно (рис. 1, а), а исключительно

но опосредованно через связи (c, d) с блоком АУ. В этой фазе эволюции системы $Ч \leftrightarrow И \leftrightarrow ОМ$, подсистема $О \leftrightarrow АУ \leftrightarrow Р$ становится функционально аналогична ВС в теперешнем понимании её функционального использования.

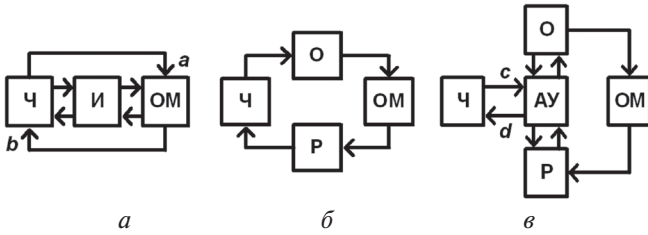


Рис. 1 а, б, в. Интеллектуализация инструмента (И) в процессе развития характера взаимодействия человека (Ч) с окружающим миром (ОМ)

3. ЧИ и ВС – ограничены по возможностям и взаимно дополняют друг друга. Общеизвестна ограниченность ЧИ «магическим числом» $7+2$ [5]. Общеизвестно, что человеческий мозг проигрывает по сравнению с ВС в производстве математических вычислений. Но общеизвестно так же, что ЧИ были и остаются неизменным прототипом при разработке ВС. Других интеллектуальных систем (систем, наделённых качеством, которое называется ЧИ) попросту не существует. Поэтому «человек первичен, а ВС вторична», т.е. ВС работает «в связке» с Ч выполняет функции *усилителя* ЧИ.

Именно в таком качестве, как интеллектуальный (интеллектуализированный) инструмент предобработки информации, целесообразно рассматривать СКК – один из подвидов НС, рассматриваемый далее.

2. Самоорганизующиеся карты Кохонена

Отличительной особенностью СКК является автономное обучение по схеме «без учителя». С точки зрения пользователя, это выглядит как процесс, в котором сама СКК «вырабатывает понимания» структуры данных. Результатом работы СКК является разделение данных на кластеры, которые могут далее непосредственно распознаваться пользователем. Соответственно, при поступлении входного образа, который ранее не предъявлялся сети, СКК относит его к одному из имеющихся кластеров, или (если режим обучения продолжается) определяет новый кластер.

Другим достоинством СКК является возможность визуализации многомерных данных – снижение размерности набора данных. При работе СКК, совокупность кластеров представляется в пространстве с меньшей размерностью. Если размерность является «антропоморфной» (соответствует практике обыденных человеческих представлений), результаты работы СКК могут использоваться человеком-оператором непосредственно, без дополнительного обобщающего анализа. Таким образом, СКК удобны в использовании в качестве интеллектуального человеко-

машинного интерфейса – усилителя определённых аспектов человеческого интеллекта.

В обоих описанных аспектах (кластеризация (группировка данных) и снижение размерности) СКК выступают как препроцессор входной информации, упрощающий работу человека-оператора и одновременно повышающий надёжность, не позволяющий оператору упустить из виду отдельные детали.

Принципы работы СКК в классическом варианте реализации достаточно подробно изучены [6], как один из видов НС с обучением «без учителя». Ограничением классических СКК является «поштучная» обработка обучающих *входных образов* (ВО): поэлементное (повекторное) предъявление ВО и коррекция *сенсорного поля* (СП) после обработки каждого из предъявлений. Модифицированные СКК [1-3] предполагают «пакетную» обработку обучающих ВО. Образы обучающей выборки предъявляются последовательно и если их воздействия на СП не взаимоперекрываются, то результирующая коррекция СП осуществляется после (и по результатам) предъявления всего пакета. При этом матрица результирующей коррекции строится так, что включает в себя все отдельные коррекции, соответствующие отдельным предъявленным ВО, проявившимся на разных непересекающихся участках СП. Достижимый выигрыш эффективности обеспечивается за счёт сокращения обработок СП и обусловлен объёмом независимых (не взаимодействующих) обучающих образов в «пакете» (обучающей выборке).

Представляет интерес рассмотрение возможностей реализации классического и модифицированного вариантов СКК и сопоставление методов их обучения. В частности, сравнительный анализ скорости обучения СКК при различных типах ВО может быть интересен в аспекте выработки рекомендаций по распараллеливанию отдельных фаз обучения СКК при реализации модифицированного варианта на ВС с распределённой обработкой информации.

Ещё более интересен интеллектуальный аспект: сопоставление (сопоставление) работы СКК с человеческой интеллектуальной деятельностью, с методами работы, применяемыми человеком для достижения сходных целей. При этом оценки интеллектуального аспекта тесно связаны с результатами анализа скорости работы СКК, в том числе скорости обучения, т.е. с показателями эффективности функционирования системы.

3. Обучение классических самоорганизующихся карт Кохонена

Рассмотрим вариант СКК с двумерным сенсорным полем. Работа СКК заключается в следующем. Сеть состоит из $p \cdot q$ элементов (нейронов), которые расположены в узлах двумерной решетки – сенсорного поля. Каждый (i, j -й, где: $i \in (1, 2, \dots, p), j \in (1, 2, \dots, q)$) нейрон имеет век-

тор весовых коэффициентов из n элементов: $A_{ij}:\{a_1, a_2, a_3, \dots, a_s, \dots, a_n\}$. Из входного набора данных $B:\{B_1, B_2, \dots, B_k, \dots, B_m\}$ (обучающей последовательности из m образов) векторы того же размера n $B_k:\{b_1, b_2, b_3, \dots, b_s, \dots, b_n\}$ выбираются в случайном порядке и последовательно подаются на элементы сенсорного поля, для сравнения. Каждый подаваемый обучающий вектор параллельно (независимо) сопоставляется с каждым из векторов сенсорного поля $B_k \leftrightarrow A_{ij}$.

Для каждого B_k отыскивается весовой вектор сенсорного поля A_{ij} , евклидово расстояние до которого от входного вектора минимально:

$$\min \left(\sqrt{\sum_{s=1}^n (a_s - b_s)^2} \right).$$

Найденный весовой вектор и весовые векторы нейронов-соседей сенсорного поля подстраиваются по правилу Кохонена, с учётом функции соседства (с убыванием по отстоянию от нейрона-победителя) и функции влияния (с убыванием по номеру обучающего образа) [5]. После того, как обучающий набор данных B предъявлен достаточное число раз, – сенсорное поле прошло обучение на наборе B . При этом основная масса весовых векторов элементов сенсорного поля центрируется вокруг малого числа векторов – центров кластеризации.

За счет того, что сенсорное поле изначально представляет собой малоразмерную (двумерную) решетку (A_{ij} – два индекса), совокупности нейронов СКК и значения их весовых векторов могут быть представлены, например, в виде специальных карт-раскрасок, содержащих цветные области. Подобное представление является «антропоморфным», то есть удобным для непосредственного человеческого восприятия. Таким образом, при этом проявляется снижение размерности исходного многомерного набора данных до уровня, удобного для визуализации.

Укрупнённая структурная схема алгоритма обучения классического варианта СКК представлена на рис. 2.

На структурной схеме не детализированы процедуры начального заполнения СП (с использованием генератора случайных чисел), ввода векторов обучающей последовательности B , выборки-предъявления образов из B и определения нейрона-победителя. Так же не детализированы производимые математические операции (сравнение, нахождение минимального расстояния, изменение весовых коэффициентов). В остальном – схема иллюстрирует ключевые моменты работы классического варианта СКК.

В рамках представленной структурной схемы рис. 2 (классического подхода) могут быть реализованы различные варианты стратегий обучения СКК. В частности, различия могут быть связаны с кратностью, последовательностью предъявления и предварительной сортировкой (группировкой) образов обучающей выборки.

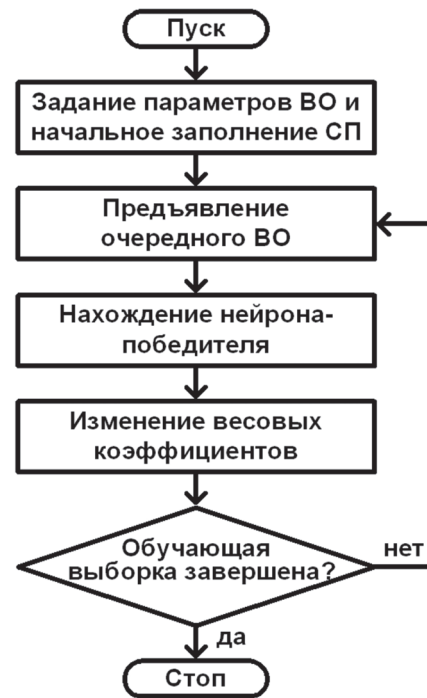


Рис. 2. Структурная схема алгоритма обучения сенсорного поля (СП) классической самоорганизующейся карты Кохонена посредством последовательной подачи входных образов (ВО)

Так же эффективность процесса обучения существенно варьируется при изменении параметров функций соседства и влияния. Существенно больше влияет на эффективность обучения СКК то, что предъявление ВО, определение нейрона-победителя, изменение весовых векторов СП (в соответствии с заданными функциями соседства и влияния) имеют *последовательный* характер. Значительное ускорение обучения возможно за счет модификации СКК с введением элементов *параллельности* (рис. 3).

4. Обучение модифицированных карт Кохонена

Параллельность обработки информации в СП СКК фундаментально противоречит последовательному характеру процедуры предъявления образов и обучения СКК. Сопоставление вектора ВО с каждым из векторов сенсорного поля $B_k \leftrightarrow A_{ij}$ в принципе реализуемо в виде $p \times q$ параллельных независимых процедур (для каждого из $p \times q$ векторов A_{ij}). Однако перед сопоставлением предъявление элементов B_k производится последовательно. После сопоставления так же последовательно для каждого B_k производится коррекция сенсорного поля. Снятие данного противоречия посредством модифицирования структуры связей и процедуры обучения СКК потенциально обеспечивает положительный эффект: повышает скорость и эффективность обучения и последующей эксплуатации СКК. Соответственно, изменяется структура организации информации, приобретаемой и хранимой СКК, а так же эксплуатационные характеристики СКК после обучения. В [1] предложен вариант со-

крашения времени обучения СКК за счет распараллеливания обработки данных.

На рис. 3 представлен алгоритм обучения модифицированной сети Кохонена. Изначально задаются размеры двумерного массива СП, количество ВО (обучающая выборка), а также радиус удалённости нейронов – соседей нейрона-победителя – упрощённый вариант представления функции соседства.

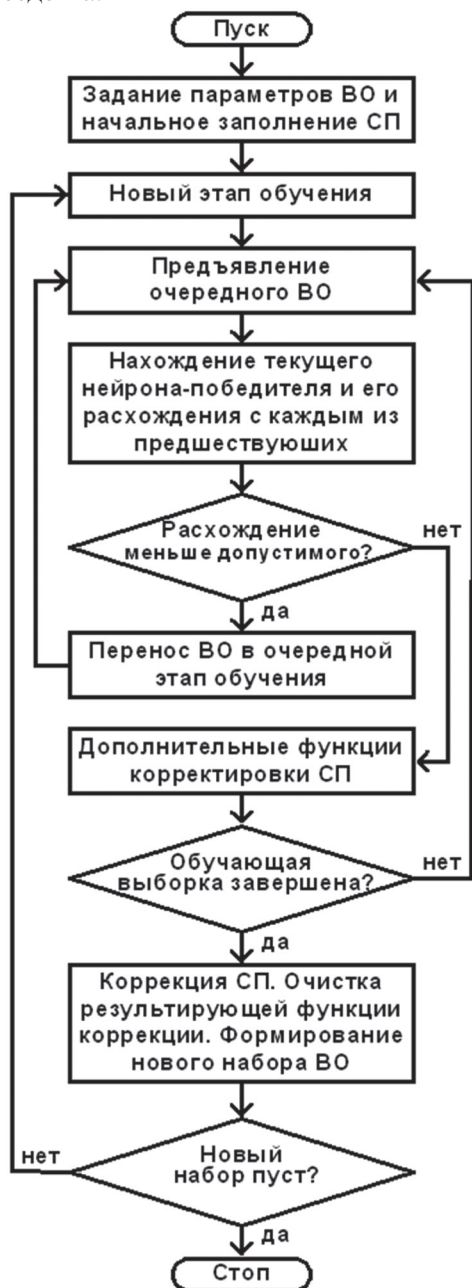


Рис. 3. Структурная схема алгоритма обучения модифицированной самоорганизующейся карты Кохонена

Массив СП заполняется низкими (начальными, фоновыми) значениями. Порядок величины значений начального заполнения выбирается в соответствии с параметрами применяемой в дальнейшем функции влияния. Далее следует первый (начальный) этап обучения. Случайным образом выбирается и подается первый ВО, определяется нейрон-победитель, рассчитываются его соседи

(радиус окружения). Координаты нейрона-победителя и его рассчитанного окружения заносятся в массив, предназначенный для коррекции на *текущем* этапе обучения. Этапов обучения может быть *несколько*.

Далее, в отличие от классического алгоритма рис. 2, изменение весовых коэффициентов (коррекция СП) не производится. Подается следующий (очередной) ВО и определяется очередной нейрон-победитель. Затем определяется расстояние этого нейрона-победителя до предыдущего или нескольких (всех предшествовавших) предыдущих нейрон-победителей. Если оно меньше допустимого, то данный ВО заносится в новый массив обучающих образов, который будет предъявляться на *следующем* этапе обучения. Иначе – координаты нейрона-победителя заносятся в коррекционный массив. Обучение на данном этапе происходит до тех пор, пока из первоначальной обучающей выборки не будут предъявлены (рассмотрены) все ВО.

После завершения предъявления всех ВО, СП корректируется на основе информации, собранной в коррекционном массиве. Коррекция происходит параллельным изменением значений весовых коэффициентов [1]. Далее начинается следующий (*очередной*) этап обучения. При этом в качестве ОБ выступает массив из элементов, которые в предыдущем цикле обучения попадали в недопустимую область. Т.е. те элементы, для которых расстояния от текущего нейрона-победителя до предыдущих нейронов-победителей было меньше допустимого. Данный этап обучения проходит так же до тех пор, пока в обучающей выборке не останется ВО. При этом формируется новый массив обучающих образов, состоящий из тех образов, которые на текущем этапе попали в недопустимую область. И т.д.

Обучение СКК считается законченным в том случае, когда в новом (формируемом) обучающем массиве не оказывается ни одного ВО. Это значит, что на текущем этапе обучения все образы были однократно предъявлены СП. По поводу каждого из образов был определён нейрон-победитель и на основе этой информации в конечном счёте были проведены необходимые коррекции СП. Повторное (кратное) предъявление обучающей выборки ВО с целью повышения степени обученности СКК (качества обучения) – вопрос стратегии обучения, непосредственно не затрагиваемый рассмотренным алгоритмом работы модифицированной СКК (рис. 3).

5. Реализация процедур обучения

Проделано [2] статистическое моделирование описанной модифицированной процедуры обучения с вероятностным оцениванием динамики формирования повторных обучающих выборок. При моделировании продемонстрирован выигрыш в эффективности по временным затратам по сравнению с классическим вариантом СКК.

Дополнительно к статистическому, проведено имитационное моделирование с анализом и визуализацией результатов. Полученные имитационные результаты в основном соответствуют статистической модели. Выигрыш в производительности модифицированного варианта СКК по сравнению с традиционным составил порядка 1,3 – 1,4. Исходя из общих соображений, выигрыш может вполне соответствовать той доле вычислительного времени, которая экономится за счёт «объединения» операций корректировки сенсорного поля (см. рис. 3) в модифицированном варианте алгоритма СКК.

6. Интеллектуальный аспект

В порядке обсуждения, интересен интеллектуальный аспект данной проблематики: соотношение работы СКК с человеческой интеллектуальной деятельностью и с методами работы, применяемыми человеком. В этой связи должно быть отмечено следующее.

1. Задачи классификации и кластеризации являются исконно человеческими. В достаточно простых формулировках они решались ещё древними людьми в рамках общего направления обеспечения выживаемости отдельного индивида или группы в условиях агрессивного природного окружения. Таким образом, принципиальной (сугубо компьютерной) новизны в проблематике кластеризации и классификации, как таковой, нет. «Осмысленность» и «интеллектуальность» СКК, по существу, проявляются только в том, что они «поступают так же, как поступали бы и люди».

2. Так же не является чем-то «чисто компьютерным» снижение размерности системы. Как отмечалось выше, в процессе работы алгоритма СКК многомерные векторы ВО «раскладываются» по двумерному полю СП, в чём, собственно, и состоит кластеризация. Здесь необходимо отметить, что человек работает точно так же. Приведём пример из обыденной жизни. Имеется коробка со «всякой мелочью», с которой надо «разобраться». Человек высыпает содержимое на ровную поверхность и «растаскивает» по ней отдельные объекты в «отдельные кучки», группируя их по сходству признаков: допустим, «гаечки к гаечкам», «гвоздики к гвоздикам» и т.д. Аналогия практически полная.

3. Строго говоря, СКК кластеризации не производит. После того, как работа алгоритма СКК закончена, векторы ВО определённым образом «разложены по СП», но сама СКК не проводит границ между отдельными кластерами. Так же СКК не общает, сколько именно кластеров выявлено. Результат работы СКК – «раскладка», а увидеть в ней дискретные группы расклассифицированных объектов, сказать сколько именно имеется групп и провести границы между группами – это уже задача ЧИ.

Разумеется, в процессе эксплуатации обученной СКК она скорее всего будет *правильно* от-

сылать новые ВО в соответствующие области СП. Но всегда следует помнить, что «*правильно*» или «*неправильно*» – есть *нечёткие* (в смысле нечёткой логики (fuzzy logics) Лотфи Заде) человеческие суждения. В действительности имеются некоторые «сгущения» в расположении ВО на СП, а соотношение их с определёнными группами – есть вопрос интерпретации. И эту интерпретацию реализует не СКК, а человек.

Разумеется так же, что могут быть сформулированы «объективные критерии», например с указанием «пороговых числовых значений», согласно которым определённый ВО окажется относящимся «к этому кластеру, а не к тому». Но сам характер выбора критериев – практически всегда является вопросом интерпретации. Разумеется, при наличии «объективных критериев» соотношение определённого объекта с определённым центром формирования (что и является отношением к кластеру) *не является субъективным*. Но *субъективность и интерпретация* – разные вещи. *Интерпретация*, в отличие от *субъективности*, предполагает установление этих самых «объективных критериев». Но что касается СКК – установление «объективных критериев» не является их функцией. Это есть интеллектуальная работа человеческого сознания. А функция СКК – поставка черного материала для интерпретации.

4. С учётом предыдущего замечания об интерпретации, следует с некоторой осторожностью относиться к понятию *искусственный интеллект* (ИИ). СКК традиционно соотносится с понятием ИИ. Но здесь должны быть сделаны две оговорки.

Первая. Речь может идти не о тождественности ИИ с реальным ЧИ (в лучших его проявлениях), а о текущем (сегодняшнем) понимании того, какие объекты или явления (проявления) могут быть отнесены к понятию ИИ. Тогда речь может идти о *конвенционном* понимании (определении) этого феномена: «к понятию ИИ мы относим такие-то и такие-то явления...»

Вторая. Отличие текущего достигнутого уровня ИИ от реального ЧИ (в лучших его проявлениях) в основном сводится к тому, что ИИ выступает не более чем в качестве *усилителя* функций ЧИ. Здесь СКК – подходящий пример: подготовка «картины взаимного тяготения данных друг к другу» для последующей интерпретации их уже ЧИ, как группировки и разбиения на классы.

5. Модифицированный вариант алгоритма СКК (рис. 3) следует признать «более интеллектуальным», т.к. он в большей степени соответствует практическим приёмам работы человека, реализующего кластеризацию разнородных объектов. Для пояснения – вернёмся к применённой выше метафоре ящика «со всякой мелочью». Согласно классическому варианту СКК, человек должен брать предметы «из общей кучи» по одному, без выбора конкретного порядка, и класть в соответствующую «сортировочную кучку». На практике

же человек, занятый подобной работой, будет делать «предсортировкой» ещё на этапе выбора объектов «из общей кучи». Так, он сначала вытянет «по возможности все гаечки», потом «по возможности все гвоздики» и т.д. Выигрыш, как и в случае с модифицированной СКК, состоит в том, что для каждой группы объектов, выделенных при «предсортировке», принимается единое общее решение, куда их поместить. Это связано с меньшими усилиями, чем если берутся по одному разнообразные разнородные предметы и для каждого из них принимается индивидуальное решение.

Выводы

Рассмотрены (сопоставлены) реализации классического и модифицированного вариантов обучения самоорганизующейся карты Кохонена. Сделаны оценки выигрыша эффективности по скорости обучения. Рассмотрен ряд интеллектуальных аспектов работы модифицированных самоорганизующихся карт Кохонена, в частности, процедуры их обучения с поддержкой распараллеливания. Полученные результаты интересны для выработки рекомендаций по распараллеливанию отдельных фаз обучения карт Кохонена при реализации модифицированного варианта на вычислительных системах с распределённой обработкой данных.

Список литературы: 1. Дяченко В.А., Михаль О.Ф., Руденко О.Г. Сеть Кохонена с параллельным обучением. // Управляющие системы и машины, 2009, № 5, с. 14-18. 2. Дяченко В.А., Кошкин А.А., Михаль О.Ф. Параллельная процедура обучения в модифицированной сети Кохонена. // Вестник ХНТУ №2(41), 2011 г с. 146-149. 3. Дяченко В.А., Михаль О.Ф. Повышение эффективности обучения модифицированной сети Кохонена. // Информатика, математическое моделирование, экономика: Сборник научных статей по итогам Международной научно-прак-

тической конференции, г. Смоленск, 22 апреля 2011 г. В 2-х томах. Том 2 – Смоленск: Смоленский филиал АНО ВПО ЦС РФ “Российский университет кооперации”, 2011. – С. 90-96. 4. Дяченко В.А., Михаль О.Ф. Адаптивное параллельное обучение модифицированной самоорганизующейся карты Кохонена // Сучасні напрямки розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління. Матеріали другої міжнародної науково-технічної конференції. – К.: ДП “ЦНДІ НГУ”, Х.: “ХНДІ ТМ”; К.: КДАВТ, 2011. – С. 44. 5. George A. Miller. The Magical Number Seven, Plus or Minus Two. // The Psychological Review, 1956, vol. 63, pp. 81-97. (<http://psychclassics.yorku.ca/Miller/>) 6. Руденко О.Г., Бодянский Е.В. Основы теории искусственных нейронных сетей. – Харьков: ТЕЛЕТЕХ, 2002. – 317 с.

Поступила в редколлегию 15.04.2015

УДК 519.87

Интеллектуальный аспект навчання модифікованих карт Кохонена, що самоорганізуються / В.О. Дяченко, О.П. Михаль // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. – 2015. – № 2 (85). – С. 35–40.

Розглянуто та зіставлено за параметрами класичний та модифікований варіанти реалізації навчання карт Кохонена, що самоорганізуються. Проведено порівняльний аналіз швидкості навчання. Розглянуто інтелектуальний аспект роботи карт Кохонена, зокрема їх навчання з підтримкою розпаралелення.

Л. 3. Бібліогр.: 6 найм.

UDK 519.87

Intellectual aspect of learning of modified Kohonen self-organizing maps / V.A. Djachenko, O.Ph. Mikhal // Bionics of Intelligense: Sci. Mag. – 2015. – № 2 (85). – P. 35–40.

The parameters examined and compared of classic and modified embodiments of learning self-organizing maps of Kohonen. A comparative analysis made of the speed of learning. The intellectual aspect considered of the work of Kohonen maps, in particular, their learning with support parallelization.

Fig. 3. Ref.: 6 items.