## Лекция 13. Нейронные сети адаптивной резонансной теории

**Сети на основе теории адаптивного резонанса**

Восприятие внешнего мира связано с решением дилеммы *«стабильности – пластичности».* Является ли воспринимаемый образ новой информацией или представляет вариант старой и ее не требуется запоминать. Таким образом, память человека должна оставаться *пластичной*, способной к восприятию новых образов, и в то же время сохранять *стабильность*, гарантирующую неразрушение старых образов.

Ранее рассмотренные нейронные сети (НС) не приспособлены к решению этой задачи. Например, многослойный персептрон, после предъявления нового входного вектора изменяет весовые коэффициенты и нет гарантии, что старые образы не разрушаться.

Аналогичная ситуация имеет место в сетях Кохонена, обучающихся на основе самоорганизации. Данные сети всегда выдают положительный результат при классификации и не способны отделить новые образы от искаженных.

Семейство сетей на основе теории адаптивного резонанса, разработанное Гроссбергом, применительно к биологическим структурам, обладает свойством *«стабильности – пластичности».*Adaptive Resonance Theory Network (ART).

**Нейронная сеть ART-1**

Сеть ART -1 ориентирована на обработку образов, содержащих двоичную информацию. Сети ART-2 и ART-3 могут работать с непрерывной информацией.

Сеть ART -1 является классификатором входных двоичных образов, сформированным сетью по нескольким классам прототипов. Здесь используется алгоритм обучения без учителя на основе конкуренции.

Сеть ART -1 состоит из 5 блоков: слоя сравнения F1; слоя распознавания F2; трех управляющих блоков (сброса, управления G1, управления G2).

Контроль

C

R

Cброс

Слой сравнения F1

G1

Слой распознаванияF2

G2

Х

Начальное значение нейрона управления G1 равно 1. Входной вектор Х поступает на слой сравнения, который по правилу 2 из 3 пропускает его на слой распознавания и С=Х. Каждый из нейронов слоя сравнения имеет 3 входа: входной сигнал Х, сигнал соответствующего нейрона управления G1, сигнал обратной связи из слоя распознавания R в начальный момент равен нулю.

Каждый нейрон слоя распознавания имеет вектор весов Bj. При этом возбуждается только один нейрон слоя распознавания, вектор весов которого наиболее близок к вектору С. Это обеспечивается латеральным торможением остальных нейронов слоя.

Сигнал обратной связи нейрона- победителя поступает обратно в слой сравнения через весовые коэффициенты Тj. По существу этот вектор является носителем критических черт образа. Важным понятием в теории резонанса является шаблон критических черт. Не все черты (признаки), представленные в образе, являются существенными для восприятия. Результат распознавания определяется присутствием критических черт в представленном образе.

Выход нейрона управления G1=1, когда образ Х имеет ненулевые компоненты. Он выполняет функции детектора новизны поступающего входного образа. Однако, когда возникает ненулевой отклик R из слоя распознавания, значение нейрона G1становится равным нулю.

Сигнал нейрона G2 устанавливается в единицу при ненулевом векторе Х. Задачей оттого нейрона является погашение активности в слое распознавания, если в сеть не поступило никакой информации.

При генерации отклика R из слоя распознавания выход G1=0 и нейроны слоя сравнения активизируются сигналами Х и R. Правило 2 из 3 приводит к активизации тех нейронов слоя сравнения, для которых и Х и R являются единичными. В результате выход С теперь уже не равен вектору Х, а содержит только те компоненты, которые определяют критические черты входного образа. Этот механизм в теории ART -1 получил название *адаптивной фильтрации* образа Х.

Теперь задачей является установить, достаточен ли набор критических черт для окончательного отнесения образа Х к классу нейрона-победителя. Эту функцию выполняет нейрон сброса, который измеряет сходство между векторами Х и С. Выход нейрона сброса определяется отношением числа единичных компонент в векторе С к числу единичных компонент в векторе Х. Если это отношение ниже определенного уровня сходства, нейрон вырабатывает сигнал сброса в слой распознавания, т.е. уровень резонанса недостаточен. Параметр Р <1 определяет уровень сходства.

**ρ=(Q** ∩ **H) /H,**

где ∩ – знак пересечения;

Н –количество единиц в векторе Х;

Q- количество единиц в векторе С.

Пример Х=110011100; Н=4; С=11001000; Q=3.

Тогда **ρ** =(Q ∩ H) /H = ¾=0,75

Данный параметр изменяется от 1 (полное соответствие) до 0 (наихудшее соответствие).

**Процесс функционирования сетей ART -1**

**Начальное состояние сети**. Нулевые значения компонент входного вектора Х устанавливают нейрон G2=0 и одновременно устанавливаются в ноль выходы нейронов слоя распознавания. При возникновении ненулевых значений в векторе Х нейроны управления G1 и G2 устанавливаются в единицу. По правилу 2 из 3 выходы С равны вектору Х.

Вектор С поступает в слой распознавания, где в конкурентной борьбе выигрывает нейрон-победитель. В итоге вектор R слоя распознавания содержит ровно одну единичную компоненту, а остальные равны нулю. Ненулевой выход нейрона-победителя устанавливает в ноль нейрон управления G1. По обратной связи нейрон-победитель посылает в слой сравнения сигналы и начинается фаза сравнения.

**Фаза сравнения.** Вектор отклика сравнивается с входным вектором Х и выход слоя сравнения С теперь содержит единичные значения только в тех позициях, в которых единицы имеются и вектора Х и у вектора обратной связи Р. Если уровень сходства будет меньше заданного, то вырабатывается сигнал сброса, нейрон-победитель исключается из дальнейшей конкуренции и начинается фаза поиска. Если уровень сходства достаточный, то нейрон сброса остается неактивным. В этом случае вектор С вновь возбуждает нейрон-победитель.

**Фаза поиска.** После сигнала сброса все нейроны слоя распознавания получают нулевые выходы и нейрон управления G1=1. Снова вектор С полностью идентичен вектору Х как в начале работы сети. Однако предыдущий нейрон-победитель исключается из конкурентной борьбы. После чего будет найден новый нейрон-победитель и повторяется фаза сравнения. Этот процесс завершается одним из двух способов:

* найден запомненный класс, сходство которого достаточно для успешной классификации и затем происходит обучение, в котором модифицируются веса bi и ti векторов В и Т возбужденного нейрона;
* все классы проверены и ни один из них не дал требуемого сходства. В этом случае образ Х объявляется новым в сети и ему из резерва назначается новый нейрон. Весовые векторы этого нейрона В и Т устанавливаются равными вектору Х.

Фаза поиска нужна затем, что обучение и функционирование сети выполняется одновременно. Нейрон-победитель определяет в пространстве входных векторов ближайший к заданному входному образу вектор памяти, и если все черты исходного вектора были критическими, это и была бы верная классификация.

После относительной стабилизации процесса обучения классификация выполняется без фазы поиска.

**Обучение сети ART -1**

В начале функционирования все веса **В** и **Т** и параметр сходства принимают начальные значения

bij < L / (L-1+m);

ti=1 для всех i,j,

где bij –вес связи, соединяющий нейрон i в слое сравнения с нейроном j в слое распознавания;

m – число компонент входного вектора Х; L – константа (например равна 2 при L>1,).

Такой выбор весов приводит к устойчивому обучению. Начальная установка весов bij в малые величины гарантирует, что несвязанные нейроны не будут получать больше возбуждения, чем обученные нейроны в слое распознавания. Параметр сходства выбирается на основе требований решаемой задачи. При высоких значениях **ρ** формируется большое число классов, к каждому из которых относятся только очень похожие векторы. При низком уровне **ρ** сетьформирует небольшое число классов с высокой степенью обобщения (*«грубая»* классификация). Для повышения гибкости сети необходима динамическое изменение параметра **ρ** во время процедуры обучения.

Обучение происходит без учителя и проводится для весов нейрона-победителя в случае успешной, так и неуспешной классификации. При этом веса вектора **В** стремятся к нормализованной величине компонент вектора **С**.

L\*сi

bij = ----------------- ,

L – 1 + ∑ ck

k

bij – вес связи, соединяющий нейрон i в слое сравнения с нейроном j в слое распознавания;

сi – i-ая компонента выходного вектора С слоя сравнения;

j – номер выигравшего нейрона в слое распознавания;

L – константа.

При этом роль нормализации компонент очень важна. Вектора с большим количеством единиц приводят к небольшим значениям b, и наоборот.

Таким образом, произведение (b\*с)=∑bi\*сi оказывается масштабированным и сеть может правильно различать вектора, даже если один из них является подмножеством другого.

Пусть вектор Х1=100000, а вектор Х2=111100. Эти образы различные. При обучении без нормализации (bi 🡪сi) при поступлении в сеть первого образа он даст одинаковые скалярные произведения, равные единице, как с весами вектора Х1 , так и весами вектора Х2. Вектор Х2 при наличии шума может выиграть конкуренцию. При этом веса его вектора Т установятся равными (100000), и образ (111100) будет «забыт». В случае применения нормализации исходные скалярные произведения будут равны 1 для вектора **Х** и 2/5 для вектора **Х2** (при L=2). Здесь вектор Х1 выиграет конкуренцию.

Компоненты вектора Т устанавливаются равными компонентам вектора С. tij=cij, где tij – вес связи между выигравшем нейроном j в слое распознавания и нейроном i в слое сравнения.

Если какая-то tj равна 0, то при дальнейшем обучении на фазах сравнения соответствующая компонента сj никогда не получит подкрепление по правилу 2 из 3.

**Список литературы**

1.Комарцова Л.Г., Максимов А.В. Нейрокомпьютеры: Учеб. Пособие для вузов. -2-ое изд. Перераб. И доп.-М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004.-400с.