**Практическая работа**

**Изучение аналогов нейронных сетей**

**Цель работы**: Изучить принципы работы некоторых нейронных сетей и выделить среди них преимущества и недостатки.

**Определение «Нейронная сеть (ИНС)»**

Нейронная сеть (также искусственная нейронная сеть, ИНС) — [математическая модель](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D0%BC%D0%BE%D0%B4%D0%B5%D0%BB%D1%8C), а также её программное или аппаратное воплощение, построенная по принципу организации и функционирования биологических нейронных сетей — сетей [нервных клеток](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D0%B5%D0%B9%D1%80%D0%BE%D0%BD) живого организма. Это понятие возникло при изучении процессов, протекающих в [мозге](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%BE%D0%B7%D0%B3), и при попытке [смоделировать](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%BE%D0%B4%D0%B5%D0%BB%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B5) эти процессы. Первой такой [попыткой](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%BE%D0%B4%D0%B5%D0%BB%D1%8C_%D0%BC%D0%BE%D0%B7%D0%B3%D0%B0) были нейронные сети [У. Маккалока](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B0%D0%BA%D0%BA%D0%B0%D0%BB%D0%BE%D0%BA,_%D0%A3%D0%BE%D1%80%D1%80%D0%B5%D0%BD) и [У. Питтса](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%B8%D1%82%D1%82%D1%81,_%D0%A3%D0%BE%D0%BB%D1%82%D0%B5%D1%80). После разработки алгоритмов обучения получаемые модели стали использовать в практических целях: в [задачах прогнозирования](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%97%D0%B0%D0%B4%D0%B0%D1%87%D0%B8_%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B3%D0%BD%D0%BE%D0%B7%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%8F), для [распознавания образов](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%B0%D1%81%D0%BF%D0%BE%D0%B7%D0%BD%D0%B0%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B5_%D0%BE%D0%B1%D1%80%D0%B0%D0%B7%D0%BE%D0%B2), в задачах [управления](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%B4%D0%B0%D0%BF%D1%82%D0%B8%D0%B2%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D1%83%D0%BF%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5) и др.

ИНС представляет собой [систему](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%D0%B0) соединённых и взаимодействующих между собой простых процессоров ([искусственных нейронов](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%98%D1%81%D0%BA%D1%83%D1%81%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%BD%D0%B5%D0%B9%D1%80%D0%BE%D0%BD)). Такие процессоры обычно довольно просты (особенно в сравнении с процессорами, используемыми в персональных компьютерах). Каждый процессор подобной сети имеет дело только с [сигналами](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B8%D0%B3%D0%BD%D0%B0%D0%BB), которые он периодически получает, и сигналами, которые он периодически посылает другим процессорам. И, тем не менее, будучи соединёнными в достаточно большую сеть с управляемым взаимодействием, такие по отдельности простые процессоры вместе способны выполнять довольно сложные задачи.

С точки зрения [машинного обучения](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B0%D1%88%D0%B8%D0%BD%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D0%BE%D0%B1%D1%83%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5), нейронная сеть представляет собой частный случай методов [распознавания образов](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%B5%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%8F_%D1%80%D0%B0%D1%81%D0%BF%D0%BE%D0%B7%D0%BD%D0%B0%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%8F_%D0%BE%D0%B1%D1%80%D0%B0%D0%B7%D0%BE%D0%B2), [дискриминантного анализа](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%B8%D1%81%D0%BA%D1%80%D0%B8%D0%BC%D0%B8%D0%BD%D0%B0%D0%BD%D1%82%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%B0%D0%BD%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%B7), [методов кластеризации](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BB%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%B8%D0%B7%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F) и т. п.

С точки зрения [математики](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0), обучение нейронных сетей — это [многопараметрическая задача](https://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=%D0%9C%D0%BD%D0%BE%D0%B3%D0%BE%D0%BF%D0%B0%D1%80%D0%B0%D0%BC%D0%B5%D1%82%D1%80%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D0%B7%D0%B0%D0%B4%D0%B0%D1%87%D0%B0&action=edit&redlink=1) [нелинейной оптимизации](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D0%B5%D0%BB%D0%B8%D0%BD%D0%B5%D0%B9%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B3%D1%80%D0%B0%D0%BC%D0%BC%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B5).

С точки зрения [кибернетики](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B8%D0%B1%D0%B5%D1%80%D0%BD%D0%B5%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0), нейронная сеть используется в задачах [адаптивного управления](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%B4%D0%B0%D0%BF%D1%82%D0%B8%D0%B2%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D1%83%D0%BF%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5) и как [алгоритмы](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BB%D0%B3%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%82%D0%BC) для [робототехники](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%BE%D0%B1%D0%BE%D1%82%D0%BE%D1%82%D0%B5%D1%85%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B0).

С точки зрения развития [вычислительной техники](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D1%8B%D1%87%D0%B8%D1%81%D0%BB%D0%B8%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%82%D0%B5%D1%85%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B0) и [программирования](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%B3%D1%80%D0%B0%D0%BC%D0%BC%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B5), нейронная сеть — способ решения проблемы эффективного [параллелизма](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%B0%D1%80%D0%B0%D0%BB%D0%BB%D0%B5%D0%BB%D0%B8%D0%B7%D0%BC_(%D0%B8%D0%BD%D1%84%D0%BE%D1%80%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0))[[3]](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D0%B5%D0%B9%D1%80%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%81%D0%B5%D1%82%D1%8C#cite_note-3).

С точки зрения [искусственного интеллекта](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%98%D1%81%D0%BA%D1%83%D1%81%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%B8%D0%BD%D1%82%D0%B5%D0%BB%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82), ИНС является основой [философского](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%B8%D0%BB%D0%BE%D1%81%D0%BE%D1%84%D0%B8%D1%8F) течения [коннекционизма](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D0%B5%D0%BA%D1%82%D0%B8%D0%B2%D0%B8%D0%B7%D0%BC) и основным направлением в [структурном подходе](https://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=%D0%A1%D1%82%D1%80%D1%83%D0%BA%D1%82%D1%83%D1%80%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%BF%D0%BE%D0%B4%D1%85%D0%BE%D0%B4&action=edit&redlink=1) по изучению возможности построения (моделирования) [естественного интеллекта](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%98%D0%BD%D1%82%D0%B5%D0%BB%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82) с помощью [компьютерных](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BB%D0%B3%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%82%D0%BC) [алгоритмов](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BB%D0%B3%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%82%D0%BC).

Нейронные сети не [программируются](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%B3%D1%80%D0%B0%D0%BC%D0%BC%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B5) в привычном смысле этого слова, они [обучаются](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B0%D1%88%D0%B8%D0%BD%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D0%BE%D0%B1%D1%83%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5). Возможность обучения — одно из главных преимуществ нейронных сетей перед традиционными [алгоритмами](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BB%D0%B3%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%82%D0%BC). Технически обучение заключается в нахождении коэффициентов связей между нейронами. В процессе обучения нейронная сеть способна выявлять сложные зависимости между входными данными и выходными, а также выполнять [обобщение](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D0%B1%D0%BE%D0%B1%D1%89%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5). Это значит, что в случае успешного обучения сеть сможет вернуть верный результат на основании данных, которые отсутствовали в обучающей выборке, а также неполных и/или «зашумленных», частично искажённых данных.

**Распознавание образов и классификация**

Одной из возможных применений нейронных сетей является распознавание образов и классификация. В качестве образов могут выступать различные по своей природе объекты: символы текста, изображения, образцы звуков и т. д. При обучении сети предлагаются различные образцы образов с указанием того, к какому классу они относятся. Образец, как правило, представляется как вектор значений признаков. При этом совокупность всех признаков должна однозначно определять класс, к которому относится образец. В случае, если признаков недостаточно, сеть может соотнести один и тот же образец с несколькими классами, что неверно. По окончании обучения сети ей можно предъявлять неизвестные ранее образы и получать ответ о принадлежности к определённому классу.

Топология такой сети характеризуется тем, что количество нейронов в выходном слое, как правило, равно количеству определяемых классов. При этом устанавливается соответствие между выходом нейронной сети и классом, который он представляет. Когда сети предъявляется некий образ, на одном из её выходов должен появиться признак того, что образ принадлежит этому классу. В то же время на других выходах должен быть признак того, что образ данному классу не принадлежит. Если на двух или более выходах есть признак принадлежности к классу, считается, что сеть «не уверена» в своём ответе.

**Преимущества и недостатки некоторых архитектур нейросетей**

Ниже приведены «плюсы» и «минуы» некоторых популярных архитектур, используемых в распознавании образов и классификации.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Название** | **Преимущества** | **Недостатки** |
| Перцептрон | * [Перцептрон](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%B5%D1%80%D1%86%D0%B5%D0%BF%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BD) способен [обучаться](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B0%D1%88%D0%B8%D0%BD%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D0%BE%D0%B1%D1%83%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5) и основывается при этом на статистических данных. Информация об [образе](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D0%B1%D1%80%D0%B0%D0%B7_(%D0%B8%D0%BD%D1%84%D0%BE%D1%80%D0%BC%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F)) распределяется по весовым коэффициентам (аналогично коэффициентам системы уравнений), которые в совокупности описывают те или иные фрагменты образа. * Перцептрон основывается на статистическом обучении, то для него доступны те задачи, в которых объекты каждого класса имеют общие фрагменты, но могут быть в разных комбинациях, например, задачи [распознавания образов](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%B0%D1%81%D0%BF%D0%BE%D0%B7%D0%BD%D0%B0%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B5_%D0%BE%D0%B1%D1%80%D0%B0%D0%B7%D0%BE%D0%B2). * Возможность [классификации](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BB%D0%B0%D1%81%D1%81%D0%B8%D1%84%D0%B8%D0%BA%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F). Сеть с одним скрытым слоем, содержащим H нейронов со ступенчатой функцией активации, способна осуществить произвольную классификацию Hd точек d-мерного пространства (то есть классифицировать Hd примеров). Одного скрытого слоя нейронов с сигмоидной функцией активации достаточно для аппроксимации любой границы между классами со сколь угодно высокой точностью. | * Ограничения перцептрона в том, что он не может распознавать [инвариантные](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%98%D0%BD%D0%B2%D0%B0%D1%80%D0%B8%D0%B0%D0%BD%D1%82) входные данные (изображения) бесконечного порядка. А в частности, при распознавании чётности конечного порядка первый слой перцептрона вынужден становиться полно связным. * Задачи, которые в принципе могут быть решены перцептроном, могут потребовать нереально больших времён или нереально большой [памяти](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B0%D1%82%D0%B8%D0%B2%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%BF%D0%B0%D0%BC%D1%8F%D1%82%D1%8C). Например, для различения некоторых классов объектов коэффициенты части ассоциативных элементов должны быть столь велики, что для хранения их в вычислительной машине потребовался бы больший объём памяти, чем для того, чтобы просто запомнить все конкретные объекты этих двух классов. |
| Свёрточная нейронная сеть | * Один из лучших алгоритмов по распознаванию и классификации изображений. * По сравнению с полносвязной нейронной сетью (типа перцептрона) — гораздо меньшее количество настраиваемых весов, так как одно ядро весов используется целиком для всего изображения, вместо того, чтобы делать для каждого пикселя входного изображения свои персональные весовые коэффициенты. Это подталкивает нейросеть при обучении к обобщению демонстрируемой информации, а не попиксельному запоминанию каждой показанной картинки в мириадах весовых коэффициентов, как это делает перцептрон. * Удобное распараллеливание вычислений, а следовательно, возможность реализации алгоритмов работы и обучения сети на [графических процессорах](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D1%80%D0%B0%D1%84%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D0%BF%D1%80%D0%BE%D1%86%D0%B5%D1%81%D1%81%D0%BE%D1%80). * Относительная устойчивость к повороту и сдвигу распознаваемого изображения. * Обучение при помощи классического [метода обратного распространения ошибки](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B4_%D0%BE%D0%B1%D1%80%D0%B0%D1%82%D0%BD%D0%BE%D0%B3%D0%BE_%D1%80%D0%B0%D1%81%D0%BF%D1%80%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BD%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F_%D0%BE%D1%88%D0%B8%D0%B1%D0%BA%D0%B8). | * Слишком много варьируемых параметров сети; непонятно, для какой задачи и вычислительной мощности какие нужны настройки. Так, к варьируемым параметрам можно отнести: количество слоёв, размерность ядра свёртки для каждого из слоёв, количество ядер для каждого из слоёв, шаг сдвига ядра при обработке слоя, необходимость слоёв субдискретизации, степень уменьшения ими размерности, функция по уменьшению размерности (выбор максимума, среднего и т. п.), передаточная функция нейронов, наличие и параметры выходной полносвязной нейросети на выходе свёрточной. Все эти параметры существенно влияют на результат, но выбираются исследователями эмпирически. Существует несколько выверенных и прекрасно работающих конфигураций сетей, но не хватает рекомендаций, по которым нужно строить сеть для новой задачи. |
| Сети Адоптивно Резонансной теории | * Демонстрирует стабильность и не подвержен влиянию широкого спектра входов, предоставляемых его сети. * Может быть интегрирован и использован с различными другими методами, чтобы дать более хорошие результаты. * Может использоваться для различных областей, таких как управление мобильным роботом, распознавание лиц, классификация земного покрова, распознавание целей, медицинская диагностика, проверка подписи, кластеризация пользователей сети и т. Д. * Имеет преимущества перед конкурентным обучением (например, bpnn и т. Д.). Конкурентное обучение не имеет возможности добавлять новые кластеры, когда это необходимо. | * сильно зависят от порядка предъявления обучающей выборки. Эффект может быть уменьшен понижением коэффициента скорости обучения, однако проявляется независимо от размера обучающей выборки. |

**Описание вышеперечисленных архитектур ИНС**

**Перцептрон**

Перцептрон представляет собой сеть, состоящую из S-, A-, R-элементов, с переменной матрицей взаимодействия W (элементы которой w i j {\displaystyle w\_{ij}}  — весовые коэффициенты), определяемой последовательностью прошлых состояний активности сети. Согласно современной терминологии, перцептроны могут быть классифицированы как искусственные нейронные сети:

1. с одним скрытым слоем
2. с [пороговой передаточной функцией](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%98%D1%81%D0%BA%D1%83%D1%81%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%BD%D0%B5%D0%B9%D1%80%D0%BE%D0%BD#Пороговая_передаточная_функция)
3. с [прямым распространением сигнала](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%98%D1%81%D0%BA%D1%83%D1%81%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%BD%D0%B5%D0%B9%D1%80%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%81%D0%B5%D1%82%D1%8C#Сети_прямого_распространения_(Feedforward))

Классический метод обучения перцептрона — это *метод коррекции ошибки*. Он представляет собой такой вид [обучения с учителем](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D0%B1%D1%83%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5_%D1%81_%D1%83%D1%87%D0%B8%D1%82%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BC), при котором вес связи не изменяется до тех пор, пока текущая реакция перцептрона остаётся правильной. При появлении неправильной реакции вес изменяется на единицу, а знак (+/-) определяется противоположным от знака ошибки.

**Свёрточная нейронная сеть**

В обычном [перцептроне](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%B5%D1%80%D1%86%D0%B5%D0%BF%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BD), который представляет собой полносвязную нейронную сеть, каждый нейрон связан со всеми нейронами предыдущего слоя, причём каждая связь имеет свой персональный весовой коэффициент. В свёрточной нейронной сети в операции свёртки используется лишь ограниченная матрица весов небольшого размера, которую «двигают» по всему обрабатываемому слою (в самом начале — непосредственно по входному изображению), формируя после каждого сдвига сигнал активации для нейрона следующего слоя с аналогичной позицией. То есть для различных нейронов выходного слоя используются одна и та же матрица весов, которую также называют ядром свёртки. Её интерпретируют как графическое кодирование какого-либо признака, например, наличие наклонной линии под определённым углом. Тогда следующий слой, получившийся в результате операции свёртки такой матрицей весов, показывает наличие данного признака в обрабатываемом слое и её координаты, формируя так называемую карту признаков. Естественно, в свёрточной нейронной сети набор весов не один, а целая гамма, кодирующая элементы изображения (например линии и дуги под разными углами). При этом такие ядра свёртки не закладываются исследователем заранее, а формируются самостоятельно путём обучения сети классическим [методом обратного распространения ошибки](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B4_%D0%BE%D0%B1%D1%80%D0%B0%D1%82%D0%BD%D0%BE%D0%B3%D0%BE_%D1%80%D0%B0%D1%81%D0%BF%D1%80%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BD%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F_%D0%BE%D1%88%D0%B8%D0%B1%D0%BA%D0%B8). Проход каждым набором весов формирует свой собственный экземпляр карты признаков, делая нейронную сеть многоканальной (много независимых карт признаков на одном слое). Также следует отметить, что при переборе слоя матрицей весов её передвигают обычно не на полный шаг (размер этой матрицы), а на небольшое расстояние. Так, например, при размерности матрицы весов 5×5 её сдвигают на один или два нейрона (пикселя) вместо пяти, чтобы не «перешагнуть» искомый признак.

**Сети ART**

Адаптивная резонансная теория — это тип нейронной сети, которая самоорганизуется и конкурентна. Это могут быть оба типа: неконтролируемые (ART1, ART2, ART3 и т. Д.) Или контролируемые (ARTMAP). Обычно контролируемые алгоритмы именуются суффиксом «MAP». Но базовая модель АРТ носит неконтролируемый характер и состоит из:

* Слой F1 или поле сравнения (где обрабатываются входные данные)
* Слой F2 или поле распознавания (состоящее из блоков кластеризации)
* Модуль сброса (который действует как механизм управления)

Слой F1 принимает входные данные и выполняет некоторую обработку и передает ее на уровень F2, который наилучшим образом соответствует коэффициенту классификации.

Существует два набора взвешенных взаимосвязей для управления степенью сходства между единицами в слоях F1 и F2. Уровень F2 — это конкурентный уровень. Кластерный блок с большим входным сигналом становится кандидатом на изучение шаблона ввода первым, а остальные блоки F2 игнорируются. Блок сброса принимает решение, разрешено ли кластерному блоку изучать входной шаблон, в зависимости от того, насколько сходен его весовой вектор сверху вниз с входным вектором и с решением. Это называется тест бдительности. Таким образом, мы можем сказать, что параметр бдительности помогает включить новые воспоминания или новую информацию. Более высокая бдительность производит более детальные воспоминания, более низкая бдительность производит более общие воспоминания.

Обычно существует два типа обучения: медленное обучение и быстрое обучение. При быстром обучении обновление веса во время резонанса происходит быстро. Он используется в ART1.В медленном обучении изменение веса происходит медленно относительно продолжительности учебного испытания. Используется в ART2.

**Вывод:** изучены принципы работы нейронных сетей для использования в распознавании образов.