

УДК 621.327:519.95

Г.Г.Фурсин

ВОССТАНОВЛЕНИЕ НЕЙРОННОЙ СЕТЬЮ ЗАШУМЛЕННЫХ СИМВОЛОВ

(Московский физико-технический институт)

Одной из серьезных проблем при распознавании образов является классификация и/или восстановления объектов, которые каким-либо образом изменены по сравнению с первоначальными. Рассмотрим для определенности ситуацию, когда в качестве объектов используются плоские буквы, образованные зачерненными элементами (единицами) в двумерной матрице со светлым полем (нулями). Иногда используют такой математический аппарат, когда эти элементы изображения представляются соответственно как +1 и -1. Поскольку речь далее пойдет о нейронной сети, то можно сказать несколько иначе: сеть запоминает и иногда восстанавливает изображение буквы, причем зачерненный (заштрихованный) элемент изображения соответствует активному нейрону. Под "правильным изображением" понимается исходный (эталонный) образ, которому сеть первоначально обучалась. Из многочисленных (на практике - бесчисленных) вариантов изменений можно выделить два крайних случая: в первом символ деформируется, т.е. растягивается, сжимается, утолщается, утоньшается, поворачивается и т.д., во втором зашумляется, т.е. образ, предъявляемый сети для распознавания, искажается по сравнению с исходным, например, за счет наложения на матрицу белого шума - однородного распределения дополнительных нулей и единиц.

В качестве примера рассмотрим нейронную сеть Хопфилда. Хотя ее информационная емкость относительно невелика (порядка одной десятой от числа нейронов [1]), она хорошо распознает образы, несмотря на сильный шум, при этом исходный образ восстанавливается быстро, без поиска и перебора. Ниже приводятся результаты вычислительного эксперимента, начало которого описано в статье [2], где рассматривается, в частности, деформация образов, аналогичная описанной в классических книгах [3,4] (кстати, эволюция их названий является сама по себе поучительной в научном отношении). Выбран некоторый наименьший размер квадратной матрицы: ее

порядок $N=7$ (т.е. нейросеть содержит 49 нейронов). Исходная библиотека образов состоит из 27 символов - латинских и русских букв ACEMNORSUVWXZГЖЗКЛНТЧШЬЪЭЮЯ, среди которых максимальное число единиц одного образа равно $Max1=27$, а минимальное равно $Min1=12$ (совпадение числа образов в библиотеке и максимального числа единиц является случайностью).

Использованы два варианта зашумления - в первом на единицы символа случайным образом накладываются нули, во втором на матрицу случайным образом накладываются единицы, но не символа. Пример такого алгоритма зашумления для латинской буквы W приведен на рисунке 1, содержащем 2 строки символов и 13 столбцов. Верхняя строка символов соответствует их зашумлению нулями, нижняя - единицами. Левый крайний столбец (сверху над ним указан шаг зашумления, равный 0) соответствует исходному "чистому" образу. В последующих столбцах показаны символы для 12 шагов зашумления, каждый из которых отличается от предыдущего добавлением только одного элемента шума. Очевидно, что при зашумлении нулями число шагов не может превышать величину $Min1$, а при зашумлении единицами число шагов не может превышать разницы между числом нейронов и величиной $Max1$. Для удобства сравнения в обоих вариантах максимальное число шагов выбрано одинаковым и равным $Min1$.

На рисунке 2 приведены результаты 27 последовательных попыток обучения нейросети возрастающему числу M различных символов и последующего их восстановления методом, описанным в [2]. Различие состоит в двух моментах. Во-первых, теперь для получения усредненной величины A (результат распознавания, т.е. число точно восстановленных образов) используется существенно большее число попыток - оно всегда выбирается равным 27, независимо от числа предъявляемых для распознавания символов. Во-вторых, в статистическую сумму нулевой результат распознавания входит не только при восстановлении сети другого (не исходного) символа; но и при ее колебании между несколькими устойчивыми состояниями. Верхняя кривая на указанном рисунке соответствует восстановлению незашумленных символов; средняя кривая соответствует восстановлению символов после трех шагов их зашумления единицами, нижняя кривая - после трех шагов их зашумления нулями.



Рис. 1

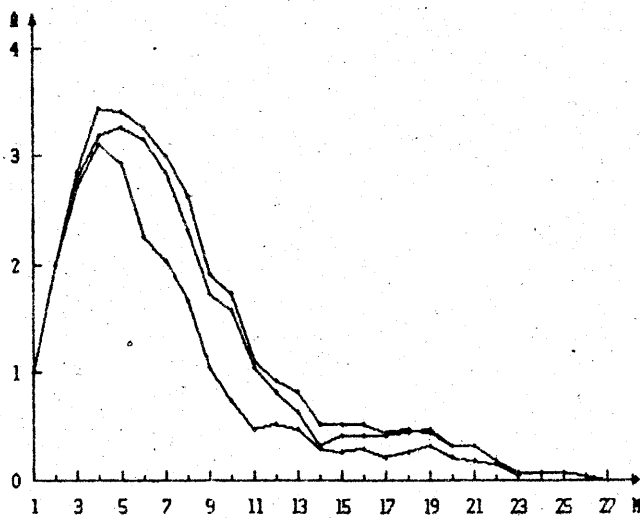


Рис. 2

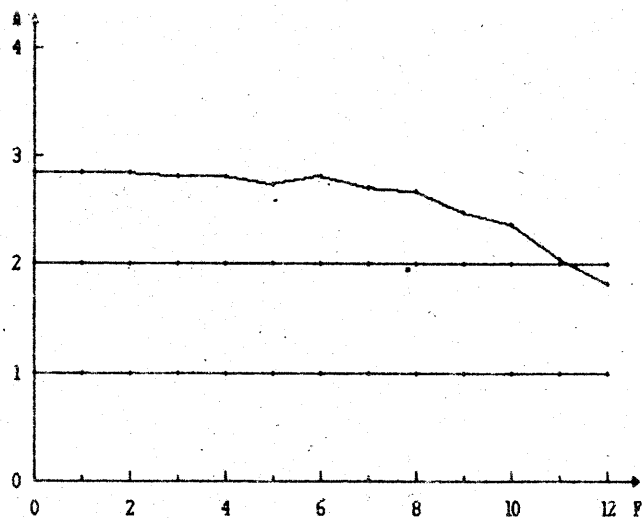


Рис. 3а

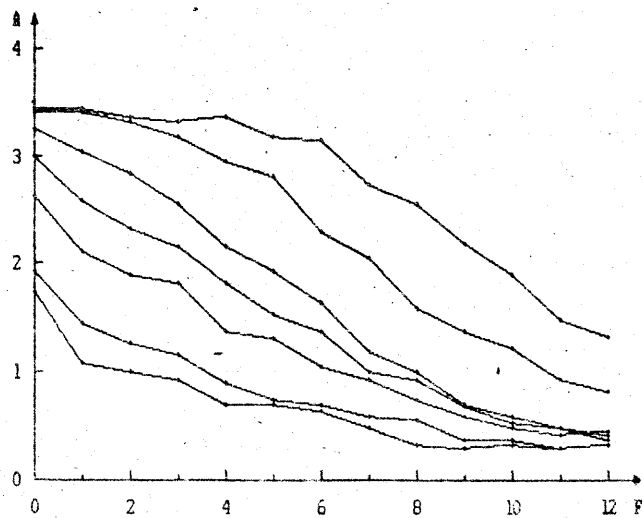


Рис. 3б

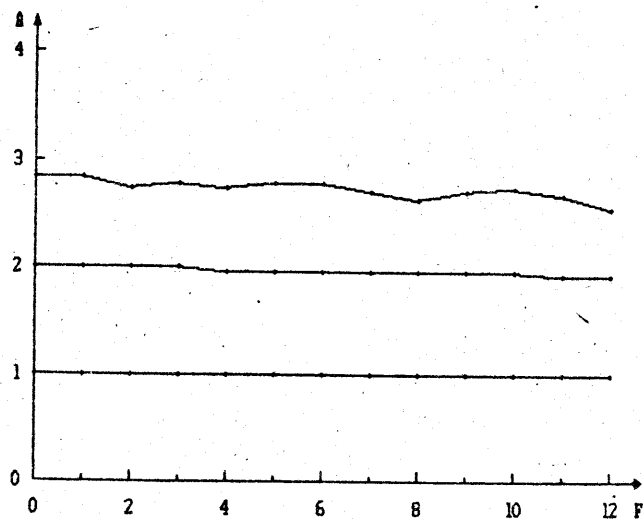


Рис. 4а

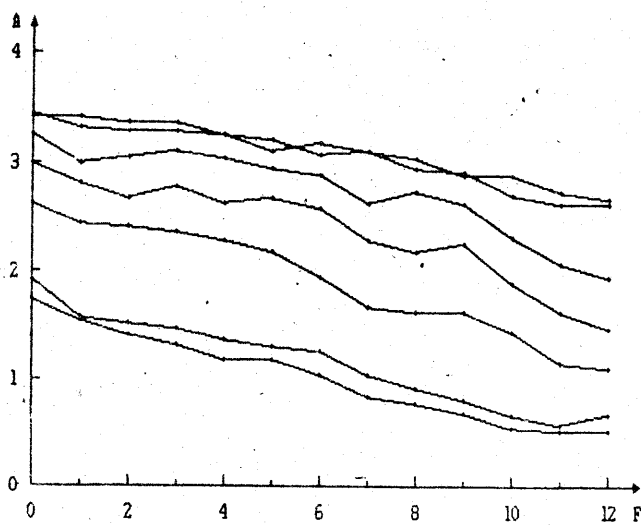


Рис. 4б

Число запомненных и точно восстановленных символов приблизительно совпадает, если их немного, независимо от того, что представляется нейросети для распознавания - чистые символы или слегка зашумленные. Затем число восстановленных символов падает, причем в большей мере для зашумленных символов. Количественно это иллюстрируется рисунками 3 и 4, причем на первом из них результаты относятся к зашумлению символов нулями, а на втором - единицами. Чтобы не загромождать рисунки, номера кривых опущены, сами кривые соответствуют разному числу M (напомним, что оно равно числу символов, которым нейросеть обучается и которые потом поступают на ее вход).

На рис. 3а, 4а кривые снизу вверх соответствуют увеличению числа M от 1 до 3. На рис. 3б, 4б кривые снизу вверх соответствуют увеличению числа M от 4 до 10. Каждый из рисунков 3 и 4 был разбит на два не случайно. При большом числе символов способность нейросети точно восстанавливать зашумленные символы убывает с увеличением их зашумления F . При небольшом же числе символов (не превышающем максимум величины A на рис. 2, который, очевидно, можно увеличить при увеличении числа нейронов) нейронная сеть данного класса демонстрирует уникальную способность точно восстанавливать символы даже при их очень сильном зашумлении.

Список литературы

1. Hopfield J.J. Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities. - Proc. Nat. Acad. USA, 1982, v. 79, No. 8, p. 2554-2558.
2. Фурсин Г.Г. Моделирование процесса обучения и распознавания в нейронной сети (см. настоящий сборник).
3. Аркадьев А.Г., Браверман Э.М. Обучение машины распознавание образов. - М.: Наука, 1964. - 111 с.
4. Аркадьев А.Г., Браверман Э.М. Обучение машины классификации объектов. - М.: Наука, 1971. - 192 с.

Поступила в редколлегию 16.03.95
в редакцию 04.09.95