

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

Факультет информационных технологий и управления
Кафедра интеллектуальных информационных технологий

ОТЧЕТ
по лабораторной работе №2
по дисциплине "Методы решения задач в интеллектуальных системах"
на тему:

РЕЛАКСАЦИОННЫЕ НЕЙРОННЫЕ СЕТИ

Выполнил

Проверил

студент гр. 121701

Р. В. Липский

В. П. Ивашенко

Минск 2025 г.

СОДЕРЖАНИЕ

| | | |
|-----|--|----|
| 1 | Постановка задачи | 6 |
| 2 | Выполнение | 7 |
| 3 | Результаты и графики | 8 |
| 4 | Контрольные вопросы | 9 |
| 4.1 | Какова функция энергии сети и каковы её свойства? | 9 |
| 4.2 | Каковы условия релаксации релаксационной сети в варианте? | 9 |
| 4.3 | Когда релаксационная сеть признаётся обученной, и какие есть подходы к решению проблемы с обучением в случае их наличия? | 9 |
| 4.4 | Каковы количественные и качественные ограничения на обу- чающую выборку | 10 |
| 4.5 | Какая функция активации на последнем слое искусственной нейронной сети в варианте? | 10 |
| 4.6 | Какая функция активации на первом слое искусственной ней- ронной сети в варианте? | 10 |
| 4.7 | Как зависит количество итераций обучения от количества образов в обучающей выборке? | 10 |
| 4.8 | Как зависит количество итераций релаксации от предъявляе- мого образа? | 11 |
| 4.9 | Способна ли обученная релаксационная сеть распознать нега- тивы эталонных образов? | 11 |
| 5 | Вывод | 11 |
| | Список использованных источников | 12 |

1 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Цель: Изучение, реализация и анализ искусственной нейронной сети для распознавания изображений.

Задача: Вариант 8. Реализовать сеть Хопфилда с непрерывным состоянием и дискретным временем в асинхронном режиме.

Входные данные задаются в виде черно-белых изображений, которые должны быть преобразованы в векторы с биполярными значениями $\{-1; 1\}$. Выходной образ должен представляться как и входной. В качестве функции активации используется гиперболический тангенс.

Условные обозначения:

- n — размер вектора изображения (образа);
- m — количество известных изображений (образов);
- E — максимально допустимая ошибка во время распознавания образа.

Нейронная сеть Хопфилда представляет собой нейронную сеть с обратными связями. Функционирование таких сетей характеризуется релаксационным процессом обработки информации, который происходит до тех пор) пока не установится состояние равновесия. Нейронная сеть Хопфилда характеризуется обратными связями. В ней каждый нейрон имеет синаптические связи со всеми остальными нейронами сети (рис. 1.1).

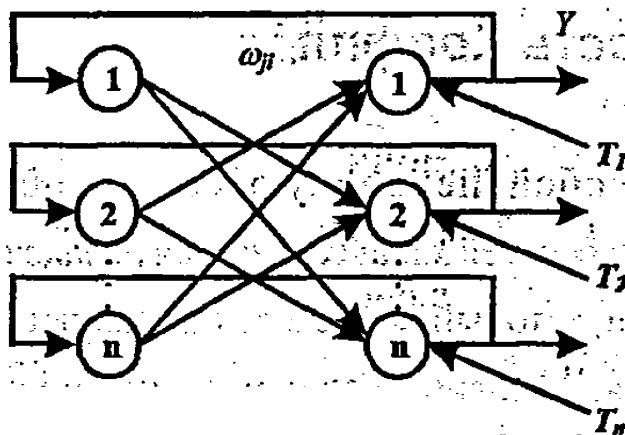


Рисунок 1.1 – Архитектура сети Хопфилда

Исходные данные:



Зашумленные данные:



2 ВЫПОЛНЕНИЕ

В процессе выполнения лабораторной работы была создана программа, которая реализует сеть Хопфилда с непрерывным состоянием и дискретным временем в асинхронном режиме. Для реализации был использован язык Python, библиотека для математических вычислений NumPy, библиотека для работы с изображениями Pillow.

Программа работает следующим образом:

- а) Инициализация сети Хопфилда:
 - 1) Установить размер входных данных (`input_size`).
 - 2) Создать матрицу весов размером `input_size` x `input_size` и инициализировать её нулями.
 - 3) Задать максимальное число итераций (`max_iterations`) и допуск (`tolerance`).
 - 4) Установить функцию активации (`activate`), по умолчанию это `np.tanh`.
- б) Обучение сети:
 - 1) Получить количество паттернов (`n_patterns`).
 - 2) Увеличить количество паттернов, повторив их (`repeats` раз).
 - 3) Для каждого паттерна:
 - i. Преобразовать паттерн в столбец.
 - ii. Обновить матрицу весов, добавляя произведение паттерна на его транспонированную версию.
 - 4) Обнулить диагональные элементы весов.
 - 5) Нормализовать матрицу весов, деля на общее количество паттернов.
- в) Восстановление паттерна:
 - 1) Скопировать входной паттерн в состояние (`state`).
 - 2) Инициализировать счётчик итераций (`iterations = 0`).
 - 3) Пока количество итераций меньше максимального:
 - i. Сохранить предыдущее состояние.
 - ii. Для каждого входного элемента:
 - А. Вычислить итоговый вход (`net_input`) как скалярное произведение весов и текущего состояния.
 - В. Обновить состояние элемента с помощью функции активации.
 - iii. Увеличить счётчик итераций.
 - iv. Проверить, достигнуто ли сходимость (разница между текущим и предыдущим состоянием меньше допуска).
 - 4) Преобразовать конечное состояние в выходной паттерн (значения больше 0 становятся 1, остальные -1).
 - 5) Если запрашивается, вернуть количество итераций вместе с выходным паттерном; иначе вернуть только выходной паттерн.

3 РЕЗУЛЬТАТЫ И ГРАФИКИ

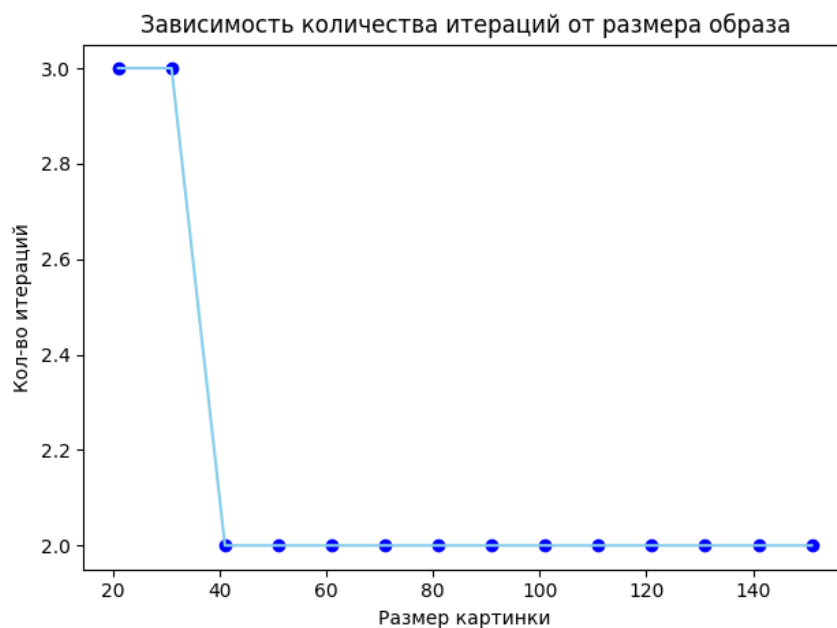


Рисунок 3.1 – График зависимости количества итераций до релаксации от размера образа

Судя по графику, для распознавания образов с большим размером требуется меньше итераций. Это обусловлено тем, что количество различных возможных прообразов для больших образов больше, что увеличивает скорость сходимости.

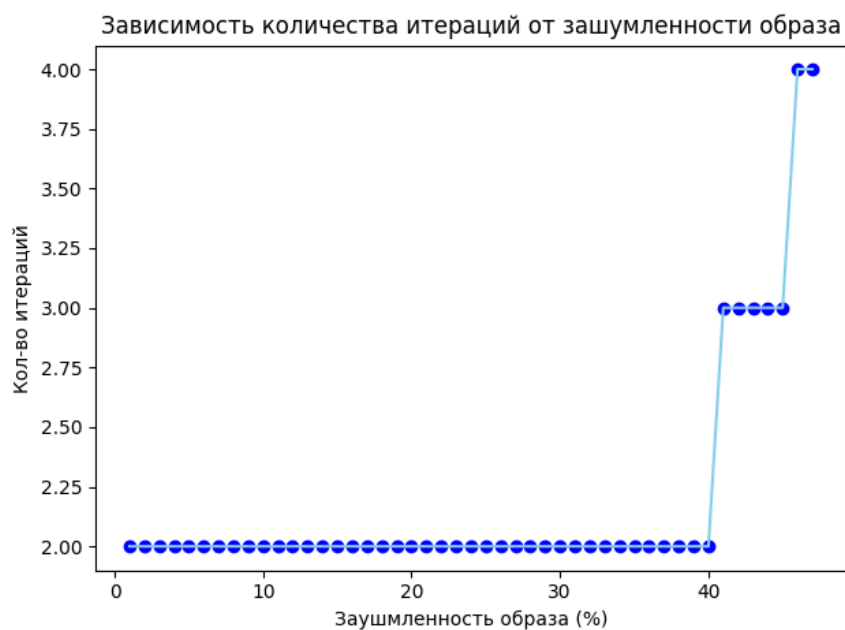


Рисунок 3.2 – График зависимости количества итераций до релаксации от зашумленности образа

Судя по графику, чем больше зашумленность изображения, тем больше итераций необходимо для достижения состояния релаксации. При слишком высокой зашумленности сеть совершает ошибки и может возвращать неправильный прообраз.

4 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

4.1 Какова функция энергии сети и каковы её свойства?

Функция энергии определяет устойчивость сети, то есть функция, которая всегда убывает при изменении состояния сети. В конце концов эта функция должна достичь минимума и прекратить изменение, гарантируя тем самым устойчивость сети.

Энергия сети Хопфилда с непрерывным состоянием определяется композицией квадратичной формы и интеграла от нелинейности (4.1).

$$E(t) = -\frac{1}{2}Y^T W Y + Y^T T + \sum_i \int_0^{y_i(t)} F^{-1}(y_i) dy_i \quad (4.1)$$

Здесь E – энергия сети, W – матрица весовых коэффициентов, Y – выход сети, T – порог активации нейронов, F – функция активации.

4.2 Каковы условия релаксации релаксационной сети в варианте?

Сеть Хопфилда в асинхронном режиме находится в состоянии релаксации после совпадения двух последовательно обновленных состояний сети.

4.3 Когда релаксационная сеть признаётся обученной, и какие есть подходы к решению проблемы с обучением в случае их наличия?

Релаксационная сеть признаётся обученной при запоминании все поданных ей образов. Однако, у релаксационных сетей есть ограничение на максимальное количество образов, которое может запомнить сеть. Для сети Хопфилда это число равно $0,15n$, где n – количество нейронов сети.

Для решения проблем с обучением сети, можно подавать исходные образы повторно.

4.4 Каковы количественные и качественные ограничения на обучающую выборку

Значения элементов выборки принадлежат множеству $\{-1, 1\}$. Количество различных вариантов образов зависит от размера образов. Если образы имеют мало различий, точность распознавания будет низкой.

4.5 Какая функция активации на последнем слое искусственной нейронной сети в варианте?

Гиперболический тангенс.

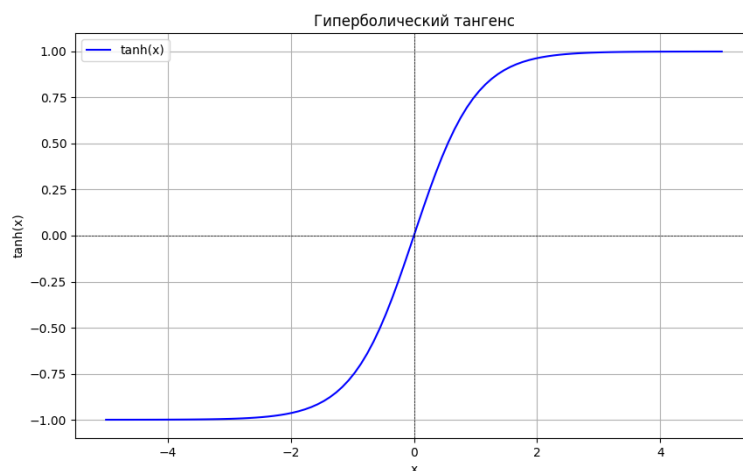


Рисунок 4.1 – График функции гиперболического тангенса

4.6 Какая функция активации на первом слое искусственной нейронной сети в варианте?

Поскольку на вход сети подаются черно-белые изображения, представленные в виде векторов с областью значений $[0, 1]$, функция активации для первого слоя:

$$f(x) = \begin{cases} 1 & x \geq 0.5 \\ -1 & x < 0.5 \end{cases} \quad (4.2)$$

4.7 Как зависит количество итераций обучения от количества образов в обучающей выборке?

Количество итераций обучения не зависит от количества образов в обучающей выборке и всегда равно 1.

4.8 Как зависит количество итераций релаксации от предъявляемого образа?

Как видно из графика 3.1, чем меньше размер предъявляемого образа, тем больше итераций требуется для достижения состояния релаксации при прочих равных.

Из графика 3.2 видно, что чем больше зашумленность предъявляемого образа, тем больше итераций необходимо для достижения состояния релаксации, прежде чем сеть начнет допускать ошибки.

4.9 Способна ли обученная релаксационная сеть распознать негативы эталонных образов?

Сеть Хопфилда может распознать негативы эталонных образов.

5 ВЫВОД

В результате выполнения данной лабораторной работы была реализована модель релаксационной искусственной нейронной сети, которая выполняет функцию распознавания изображений. После непосредственной реализации, сеть была исследована на наборе различных параметров. По полученным данным построены графики. Графики были проанализированы, исходя из чего даны ответы на вопросы лабораторной работы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- [1] Методические указания к лабораторной работе.
- [2] Головки, В.А. Нейроинтеллект: теория и применение. Книга 1: Организация и обучение нейронных сетей с прямым и обратными связями / В.А. Головки. — Брест : Изд. БПИ, 1999. — 264 Р.