



Таким образом, в данном докладе показано, что, несмотря на невозможность непосредственного управляющего воздействия на связь каждого нейрона разработанной сети, обеспечивается квазиустойчивость решений за счет алгоритмов обучения. Кроме того, изменение величины весов связей нейронов такой сети по образцу приведенных на рис.1-2 характеристик свидетельствует о том, что поведение весов отличается пространственной неоднородностью: существуют нейроны, связи которых не меняют свой вес во времени, а также нейроны, связи которых изменяются описанным образом. Это, в сочетании с выводами о принципиальной управляемости такой сети [1], позволяет выдвинуть предположение о необходимости дальнейших исследований в области поиска управления работой ИНС с переменной проводимостью сигнала как объектом с распределенными параметрами (ОРП).

### Литература

- 1.Игнатенков, А. В., Ольшанский, А.М. О решении задачи управления искусственной нейронной сетью при квазипериодическом поведении сигнала ошибки / А. В. Игнатенков, А. М. Ольшанский // Перспективные информационные технологии (ПИТ-2016) : тр. Междунар. науч.-техн. конф. / под ред. С. А. Прохорова. – Самара : Изд-во Самар. науч. центра РАН, 2016. – С. 635–638.
2. Chernodub A., Dziuba D. Neurocontrol methods review //arXiv preprint arXiv:1511.05506. – 2015.
3. Ignatenkov, A., Olshansky, A. One approach to control of a neural network with variable signal conductivity / A. Ignatenkov, A. Olshansky // Информационные технологии и нанотехнологии (ИТНТ-2017) : сб. тр. III Междунар. конф. и молодежной школы. – Самара : Новая техника, 2017. – С. 984–987.
- 4.Назаров, А. В., Лоскутов, А. И. Нейросетевые алгоритмы прогнозирования и оптимизации систем. – Наука и техника, 2003.

И.А. Кабиров, В.С. Фетисов

## ПОИСК ОПТИМАЛЬНОГО ПУТИ МЕЖДУ ДВУМЯ ТОЧКАМИ В ТРЁХМЕРНОМ ПРОСТРАНСТВЕ

(Уфимский государственный авиационный технический университет)

Поиск оптимального пути применяется в различных сферах: в компьютерных играх, в геоинформационных системах, в логистике, в картографических сервисах, сетях дорог [1] и др. Поиск наилучшего в определенном смысле пути является важной задачей, так как ее решение позволяет сократить расход ресурсов: времени и других в зависимости от области применения.

Для поиска оптимального пути между двумя точками используют алгоритмы на графах. Граф  $G=(V, E)$ , где  $V$  - узлы,  $E$  - ребра. В контексте задачи  $V$ -точка, через которую строится путь,  $E$  - ребро (часть пути), которое соединяет ближайшие 2 точки. Наиболее подходящий алгоритм для решения этой задачи -



это алгоритм Дейкстры. Алгоритм Дейкстры - алгоритм позволяющий найти кратчайший путь между двумя точками с учетом стоимости перехода между ними. Недостатком алгоритма Дейкстры является медленная скорость выполнения на плотных (больших) графах.

Для поиска пути в двумерном пространстве граф представлен на рис. 1, перемещение может происходить по вертикали, горизонтали и диагонали, т.е. между соседними точками. На месте отсутствующих вершин находятся препятствия, соответственно они в граф не входят.

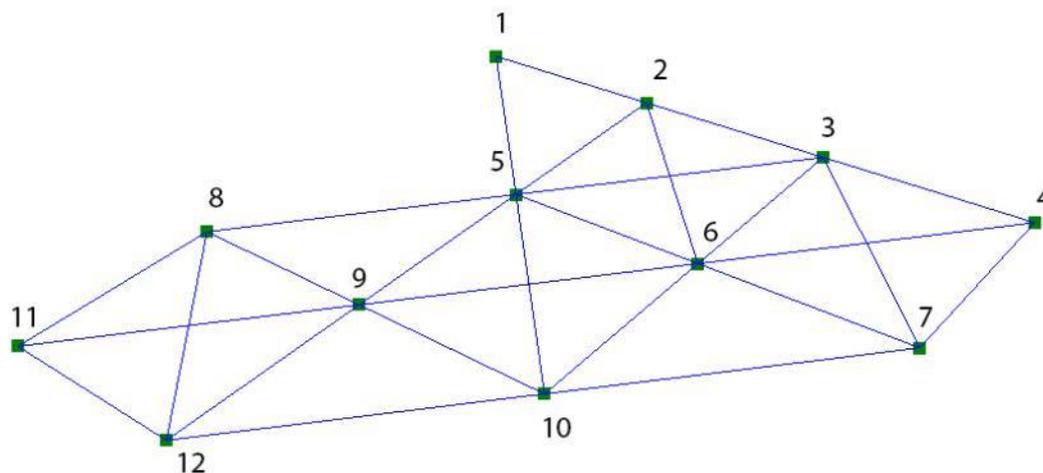


Рис. 1. Граф для поиска пути в двумерном пространстве

В алгоритмах для представления графов используются матрицы смежности, которая показывает наличие пути (ребра) между парами вершин. Для графа, приведенного на рис. 1, на рис. 2 представлена матрица смежности.

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
2	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0
3	0	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0
4	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0
5	1	1	1	0	0	1	0	1	1	1	0	0
6	0	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0	0
7	0	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0
8	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1
9	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1
10	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0	1
11	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1
12	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0

Рис. 2. Матрица смежности для графа



Граф для поиска пути в трехмерном пространстве представлен на рис.3. Синими линиями обозначены переходы в горизонтальной плоскости, а красными - в вертикальной.

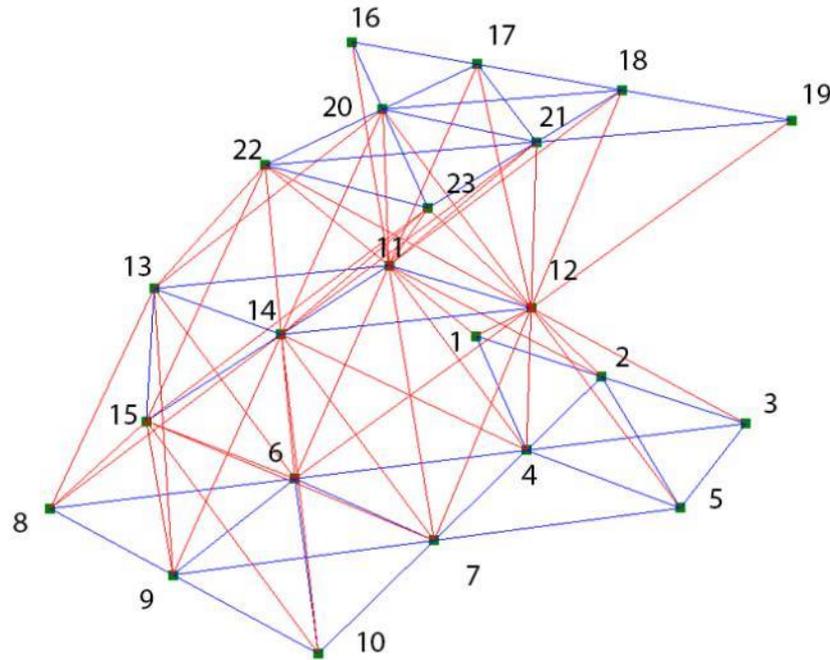


Рис. 3. Граф для поиска пути в трехмерном пространстве

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
11	1	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1
12	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1
13	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	1	0
14	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1
15	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	1
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0

Рис. 4. Матрица смежности для графа



Для поиска пути в трехмерном пространстве граф становится тем плотнее (больше), чем больше горизонтальных плоскостей. В таком случае можно использовать оптимизационный алгоритм, а именно генетический алгоритм [2]. Обычный генетический алгоритм (ГА) включает в себя механизмы, которые использует естественный отбор. В начале создается популяция, состоящая из случайно сгенерированных хромосом. Хромосома - это путь через вершины графа от начальной точки до конечной. Далее в цикле происходит скрещивание, мутация и отбор хромосом. На этапе скрещивания отбираются пара хромосом, и создаются их "потомки" путем копирования и обмена участками, находящихся между точками пересечения. На этапе мутации с некоторой вероятностью, обычно ниже 3%, случайно выбирается хромосома для изменения: изменение происходит путем замены одной точки на другую, причем новая точка должна быть соседом для точек, которые были соседями для удаленной точки. На этапе отбора происходит отбор наиболее приспособленных хромосом для новой популяции в следующей итерации цикла. Приспособленность хромосомы проверяется функцией приспособленности (фитнесс-функции). Эта функция вычисляет длину пути с учетом его стоимости для каждой хромосомы. Цикл повторяется до тех пор, пока не будет выполнено условие выхода, которым может быть достижение определенного числа популяций, времени или определенного значения функции приспособленности. По завершении алгоритма получаем наилучшую хромосому - наивыгоднейший путь.

Для увеличения скорости алгоритма можно использовать гибридный ГА, в котором в конце цикла для каждой хромосомы выбирается пара точек и для нее выполняется алгоритм Дейкстры [3]. Это "улучшит" хромосому, и позволит ГА быстрее достигнуть условия выхода из цикла.

### Литература

1. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Задача\\_о\\_кратчайшем\\_пути](https://ru.wikipedia.org/wiki/Задача_о_кратчайшем_пути)
2. Gintaras Vaira. Genetic algorithm for vehicle routing problem. Doctoral dissertation. Vilnius University. Vilnius. 2014. [http://old.mii.lt/files/mii\\_dis\\_2014\\_vaira.pdf](http://old.mii.lt/files/mii_dis_2014_vaira.pdf)
3. Eşref Boğar, Selami Beyhan. A Hybrid Genetic Algorithm for Mobile Robot Shortest Path Problem. International Journal of Intelligent Systems and Applications in Engineering. 2013, 1(4), 264–267