



## УЛЬТРАЗВУКОВАЯ СЕНСОРНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ГРУППЫ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ<sup>1</sup>

*Даринцев О. В.\* , Мигранов А. Б.\* , Юдинцев Б. С.\*\**

*\*Институт механики УНЦ РАН, Уфа*

*\*\*Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа*

**Аннотация.** В статье рассматриваются вопросы разработки быстродействующей сенсорной системы мобильного робота, используемой совместно с интеллектуальным методом планирования траекторий в условиях высокой динамичности рабочего пространства.

Одна из наиболее важных задач, решаемых при управлении автономными подвижными системами различных классов и функционального назначения, связана с планированием траекторий движения для обеспечения бесконфликтного движения в пределах рабочего пространства. С учетом ограниченных вычислительных возможностей бортовых систем управления актуальной является разработка быстросчетных алгоритмов планирования. В настоящее время одним из перспективных подходов, который позволяет достаточно эффективно управлять сложными динамическими объектами в условиях неопределенности и дефицита ресурсов, считается использование систем принятия

---

<sup>1</sup>Работа выполнена в рамках программы № 15 ОЭММПУ РАН и при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты №№ 08-08-97021-р\_поволжье\_а, 08-08-97039-р\_поволжье\_а, 10-08-00567-а)

решений с элементами искусственного интеллекта, в частности нейронных сетей [1, 2].

Рассмотрим задачу планирования траектории движения автономного мобильного робота в некоторой рабочей области со стационарными и подвижными препятствиями. В качестве подвижных препятствий выступают другие агенты (роботы) из технологической группы, имеющие более высокий приоритет и перемещающиеся с определенной скоростью-ускорением по известным законам, удовлетворяющим граничным условиям. Будем считать, что расположение неподвижных препятствий на момент начала операции планирования определено и остается неизменным во времени. Оптимальное решение должно обеспечивать бесконфликтное движение агента и, при необходимости, корректировать скорость движения по найденному маршруту, чтобы избежать столкновения с подвижными препятствиями.

Основная идея предлагаемого подхода состоит в том, чтобы использовать нейронную карту как динамическое представление заданного рабочего пространства, информация о котором поступает с сенсорной системы (внешнего источника). Энергетические взаимодействия нейронов в сети подобно распространению волны возмущения приводят к возникновению так называемого ландшафта активации, который используется в дальнейшем как навигационная карта для планирования траектории.

Система работает следующим образом: координаты цели, а также информация об окружающей среде поступают на вход аналоговой нейронной сети Хопфилда. Нейроны сети в результате энергетических взаимодействий входят в состояние равновесия и принимают собственные значения энергии (в зависимости от функции активации). Энергетические взаимодействия в сети обусловлены динамикой и архитектурой самой сети, а также конфигурацией окружающего пространства и координатами цели, которая является точкой активации. Значения энергии нейронов данной нейронной области (ландшафт активации) поступают на вход блока генератора траектории, который выполняет расчет траектории, а блок регулятора скорости, в свою очередь,

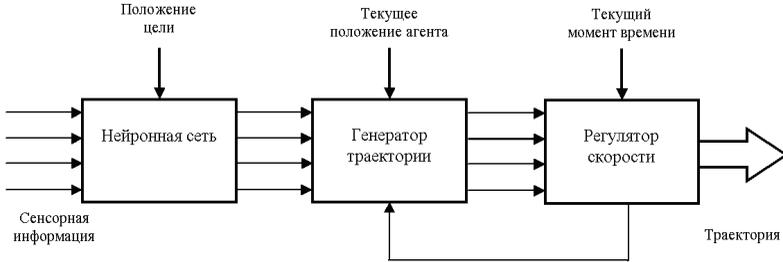


Рис. 1. Архитектура системы планирования

корректирует при необходимости скорость движения мобильного робота для обхода подвижных препятствий (рис. 1).

Устойчивое состояние нейронной сети подается на вход блока генератора траектории, где производится расчет полной траектории (конфигурация местности известна и статична), или расчет части траектории (конфигурация местности меняется и динамична). Непосредственно вычислительные операции блока довольно просты, они формируют некоторую процедуру «восхождения» к вершине поверхности (цели). Направление на каждом расчетном шаге определяется максимальным градиентом по направлению от текущего нейрона  $i$  до соседнего нейрона  $j$ . Процесс повторяется для  $j$ -го нейрона и так далее вплоть до того, пока не будет найден целевой нейрон и построена конечная траектория.

Если  $i$  и  $j$  два смежных нейрона, то градиент по направлению от  $i$  до  $j$  будет приближенно определяться по формуле:

$$\text{grad}(i, j) = (E_i - E_j) \cdot w_{ij},$$

где  $E_i$  — величина активации  $i$ -го (текущего) нейрона;  $E_j$  — величина активации  $j$ -го нейрона;  $w_{ij}$  — весовой коэффициент связи в направлении от  $i$  к  $j$ .

После выбора максимального градиента и перехода на  $j$ -ый нейрон значение энергии  $i$ -го в матрице активации умножается на  $-1$  ( $E_i = -E_j$ ). Данная операция проводится для того, чтобы избежать возникновения эффекта рысканья и чтобы направле-

ния, по которым еще не перемещался агент, имели более высокий приоритет.

Стоит отметить, что при завершении процесса активации значения энергии нейронов, связанных с нулевыми нейронами (расположенных вблизи препятствий), всегда будет ниже, чем значение нейронов, связанных с ненулевыми. Данный эффект является своеобразной «ближней предусмотрительностью» агента, что предполагает плавный обход препятствий.

В случае, если цель недостижима (агент окружен препятствиями), значение нейрона-агента будет равно 0, также все нейроны, находящиеся в окружении будут находиться в нулевом состоянии, так как волна распространения от нейрона-цели не будет доходить до них через препятствия. Это условие проверяется в самом начале алгоритма и, если оно выполняется, то блок генератора траектории будет выдавать сообщение о невозможности расчета траектории.

Пусть окружающая среда изменяется во времени, то есть цель и препятствие меняются произвольно. Если время изменения среды сопоставимо времени, требуемому сети для входа в состояние равновесия, тогда сеть способна достичь желаемого устойчивого состояния (при котором возможно использовать генератор траектории для расчета следующего шага) до того, как поступит новый внешний сигнал. В этом случае агент будет способен перемещаться в динамической среде (в группе роботов).

Стоит отметить что, чем выше количество препятствий (и соответственно нулевых нейронов), тем больше времени (этапов) требуется сети для завершения активации. При проведении моделирования было установлено, что увеличение весовых коэффициентов связей нейронов значительно усиливает волновой эффект распространения в сети, то есть сокращает время, необходимое сети для входа в равновесие. На рис. 2 представлены графики состояния сети из 400 нейронов при заданных весовых коэффициентах — верхний график (диагональные 0.7071, прямые 1, собственный вес 1) и при увеличении весовых коэффициентов в 5 раз.

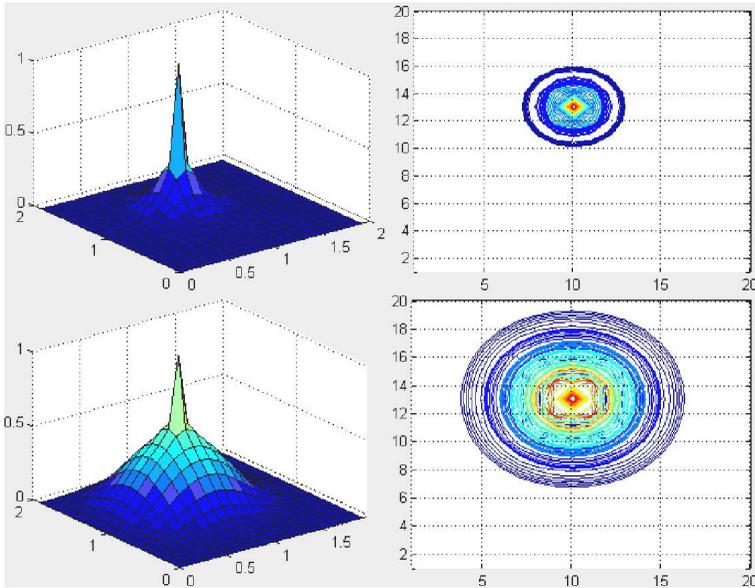


Рис. 2. Графики состояния сети при заданных весовых коэффициентах

Данный эффект может быть использован для ускорения работы системы в пространстве с большим количеством статических и динамических препятствий. Тем не менее, стоит учитывать, что чрезмерное повышение значений весов может нарушить динамику сети.

Для группы мобильных роботов расчет траектории и позиционирование выполняются в следующем порядке:

- ввод начальных значений. Вводятся необходимые переменные для формирования нейронной карты: текущая позиция агента, позиция цели, расположение препятствий (если есть); также для более гибкого управления коллективом вводится вектор приоритетности  $P = [P_1, P_2, \dots, P_n]$ , где элементы вектора  $P$  — значения приоритета 1-го, 2-го и  $n$ -го мобильного робота соответственно;

- формирование нейронных карт (получение матрицы энергии сети) для каждого из агентов;
- пошаговый расчет траектории с привязкой ко времени для каждого мобильного робота с учетом их взаимного расположения и приоритетов.

Следует отметить, что некоторые части приведенного выше алгоритма (например, формирование нейронных карт агентов) в настоящее время реализованы последовательно, в будущем планируется распределение нейросетевых вычислений, что позволит формировать нейронные карты параллельно и существенно повысить быстродействие алгоритма.

Для применения описанного выше метода планирования траектории в динамике и высокой скорости изменения конфигурации рабочего пространства возникла необходимость разработки быстродействующей сенсорной системы мобильного робота. Для реализации бортовой сенсорной системы были выбраны ультразвуковые (УЗ) датчики *MaxSonar-EZ0* фирмы *Maxbotix*, ориентированные по каждому из восьми возможных направлений движения. При этом общий эффективный диапазон детектирования системы имеет форму окружности радиусом около трех метров (рис. 3(а)). Для определения объектов в непосредственной близости на мобильный робот также установлены инфракрасные датчики ближней локации, работающие в «слепой» зоне УЗ-датчиков.

В исходной постановке задачи известны координаты цели и текущее положение робота, но при этом полная конфигурация рабочего пространства неизвестна. Тогда, в качестве первого приближения, можно задаться кратчайшей траекторией перемещения робота, предположив, что на выделенной прямой нет препятствий. Это будет начальной траекторией робота (рис. 3(б)).

В момент старта робот начинает движение по начальной траектории. При этом информация, поступающая от датчиков обрабатывается следующим образом:

- в пределах общей рабочей зоны выделяется охватываемое нейронной областью рабочее пространство в зависимости от раз-

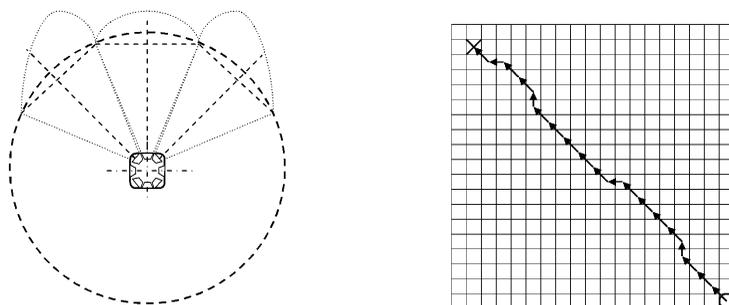


Рис. 3. а) реализация сенсорной системы; б) начальная траектория робота

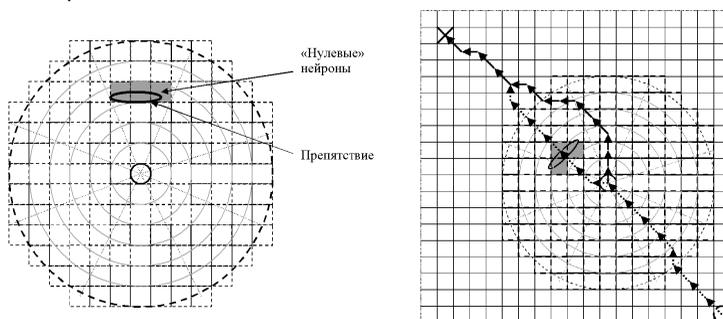


Рис. 4. а) нейронная область; б) корректировка траектории робота

решения нейронной сети, направления и требуемой точности перемещения (рис. 4(а));

- все ячейки, находящиеся в этом рабочем пространстве будут считаться препятствиями, а нейроны, находящиеся в центрах ячеек — нулевыми нейронами;

- если начальная траектория не проходит через найденные препятствия, то номера нулевых нейронов записываются в вектор начального состояния и корректировки пути не происходит. Если же траектория проходит через препятствия, то номера нулевых нейронов также записываются в вектор начального состояния, при этом в новой итерации нейронная сеть перестраивает траекторию по предлагаемому алгоритму с новыми начальными

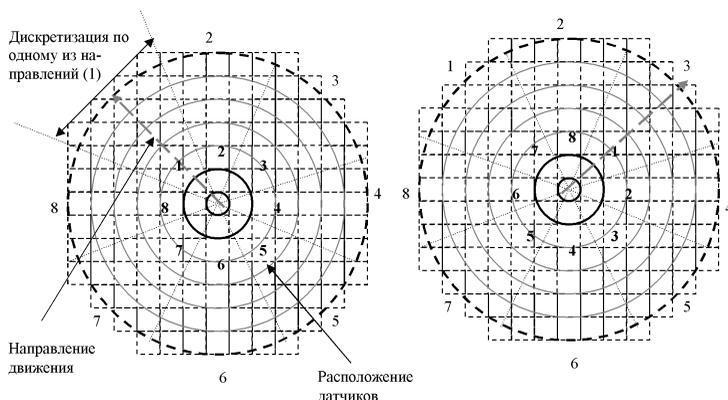


Рис. 5. Дискретизация рабочей области в зависимости от угла поворота робота

значениями нейронов (рис. 4(б)).

Также стоит отметить, что дискретизация рабочей зоны сенсоров должна оставаться статичной относительно оси вращения робота, то есть не зависеть от угла поворота. Данное условие выполняется программно. В качестве варианта программной реализации значения ячеек по отведенным адресам хранятся во внутренней памяти микропроцессора в виде таблицы, где столбцы (или строки) содержат значения ячеек рабочего пространства, принадлежащих одному из секторов. Пусть робот двигается по одному из направлений, как показано на рис. 5, тогда при обработке значений с первого датчика процессор обращается к значениям таблицы, соответствующим сектору 1, для второго датчика – по адресу 2-го сектора и т.д. При повороте робота на  $90^\circ$  процессор, обрабатывая показания с датчиков, будет соответственно смещать адреса обращения к таблице данных: для первого датчика будет обращаться по адресам значений ячеек, принадлежащих 3-му сектору, для второго датчика — к 4-му сектору и т.д.

Реализация предложенной системы сенсорного обеспечения и рассмотренного алгоритма ее работы позволяет обеспечить нейронную сеть необходимой информацией о внешней среде для ин-

теллектуального управления движением группы мобильных роботов. Как показали результаты моделирования нейросетевого алгоритма планирования, предложенный подход обеспечивает построение оптимальных маршрутов движения как для одного мобильного робота в рабочей зоне с динамическими препятствиями, так и для группы роботов [3]. В будущем на базе Института механики УНЦ РАН планируется проведение лабораторных экспериментов по групповому управлению реальными прототипами мобильных роботов.

### Список литературы

- [1] Ziemke T. Adaptive behavior in autonomous agents // Presence. 2003, 7(6). Pp. 564–587.
- [2] Glasius R., Komoda A. and Gielen S. Neural Network Dynamics for Path Planning and Obstacle Avoidance // Neural Networks. 1995, 8, 1. Pp. 125–133.
- [3] Даринцев О. В., Мигранов А. Б. Юдинцев Б. С. Интеллектуальное планирование траекторий для группы роботов на базе рекуррентной нейронной сети // Искусственный интеллект. Интеллектуальные системы (ИИ–2010): материалы Междунар. науч.-техн.конфер. Донецк: ИПИИ «Наука і Освіта». 2010. С. 223-227. ISBN 978-966-7829-45-2.