

**Соломичев Роман Игоревич** – Государственное высшее учебное заведение «Донецкий национальный технический университет»; e-mail: RomaSolomichev@mail.ru; 83001, г. Донецк, ул. Артема, 58, Украина; кафедра электронной техники; аспирант.

**Solomichev Roman Igorevich** – State Higher Education Establishment “Donetsk National Technical University”; e-mail: RomaSolomichev@mail.ru; 58, Artyom street, Donetsk, 83001, Ukraine; the department of the electronic technique; postgraduate student.

УДК 004.896

**Ю.В. Чернухин, Ю.С. Доленко, П.А. Бутов**

### **НЕЙРОСЕТЕВОЙ ПОДХОД К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ ЛОКАЛЬНОЙ НАВИГАЦИИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫМИ МОБИЛЬНЫМИ РОБОТАМИ В УСЛОВИЯХ, ПРИБЛИЖЕННЫХ К РЕАЛЬНОЙ СРЕДЕ**

*Рассматривается бионический подход к решению задачи локальной навигации нейросетевой системой управления интеллектуального мобильного робота. Описывается подход к обработке данных от датчика глубины ASUS Xtion, базирующийся на использовании математической модели ганглиозных on-/ off- клеток сетчатки, и позволяющий построить локальную карту проходимости. Полученная в результате локальная карта проходимости используется для построения безопасной и оптимальной траектории движения интеллектуального мобильного робота с помощью нейронной сети формально-логического типа. Данный подход к решению задачи локальной навигации проверен экспериментально на разработанной робототехнической платформе.*

*Нейронные сети; бионический подход; робототехника; искусственный интеллект; системы технического зрения.*

**Yu.V. Chernukhin, Yu.S. Dolenko, P.A. Butov**

### **NEURAL NETWORK APPROACH TO PROBLEM SOLVING LOCAL NAVIGATION BY INTELLIGENT MOBILE ROBOTS IN THE CONDITIONS CLOSE TO THE REAL ENVIRONMENT**

*Bionic approach to the problem of local navigation by neural network control system of intelligent mobile robot is considered. An approach to the processing of data from the ASUS Xtion depth sensor and local map building, based on the use of mathematical models of on-/off- retinal ganglion cells is reviewed. The resulting local map is used to build a safe and optimal trajectory for intelligent mobile robot movement using a formal logic type neural network. This approach to the problem of local navigation verified experimentally on the developed robotic platform.*

*Neural networks; bionic approach in robotics; AI; computer vision systems.*

В данной статье рассматривается решение задачи локальной навигации интеллектуальным мобильным роботом (ИМР) в условиях, приближенных к условиям реальной среды (полигон с объемными препятствиями, соизмеримыми с корпусом робота). Задача локальной навигации формулируется как построение и реализация траектории перемещения робота к цели в объезд объектов-препятствий. Цель при этом должна находиться в области видимости системы технического зрения (СТЗ) ИМР. Подразумевается, что ИМР не обладает картой полигона и должен сам строить локальную карту проходимости на основе полученных от сенсоров данных.

Локальная карта проходимости, формируемая СТЗ, представляется в виде двумерного пространства состояний решетчатого типа. Каждый из узлов решетки уникально определяет состояние участка среды функционирования робота: является ли участок целевым, непроходимым (препятствие) или проходимым. Каждо-

му из проходимых участков ставится в соответствие коэффициент  $z$ , значение которого определяется монотонно убывающей функцией расстояния от ближайшего препятствия (чем ближе участок к препятствию, тем больше коэффициент).

Для построения траектории движения робота к целевому объекту используется нейронная сеть формально-логического типа [1]. Функциональное состояние каждого из нейронов данной сети определяется состоянием топологически соответствующего узла локальной карты проходимости. Принятие решения о направлении движения в каждом временном отрезке зависит от результатов распространения по данной нейронной сети волн возбуждения, генерируемых нейроэлементами – целями, блокируемыми нейроэлементами – препятствиями и задерживаемых нейроэлементами – участками с заданной степенью проходимости на количество итераций, соответствующему значению коэффициента  $z$  [2]. Коэффициент  $z$  позволяет оптимизировать траекторию движения робота по двум критериям одновременно: минимум длины траектории и максимум расстояния до препятствий, что делает траекторию движения гладкой и безопасной (благодаря тому, что фронт волны возбуждения проходит не по кромке препятствий, а на регулируемом расстоянии от них).

Построение локальной карты проходимости производится с помощью СТЗ ИМР. Учитывая то, что ИМР функционирует на полигоне с объемными объектами, необходимо чтобы СТЗ могла отображать их как непроходимые участки в локальной карте проходимости.

Восприятие объемных объектов возможно с помощью датчиков различного типа, а именно: лазерные дальномеры, датчики глубины, сонары и стереоскопические СТЗ. В настоящее время широкое применение в исследованиях алгоритмов навигации нашли датчики глубины (Microsoft Kinect, ASUS Xtion) благодаря их низкой стоимости и высокой производительности. Полученные от датчиков глубины данные представляют собой двухмерный массив расстояний до точки отражения инфракрасного луча с объектом.

В предыдущей работе [3] построение карты проходимости производилось по изображению с камеры, преобразованному к оттенкам серого цвета, с помощью модели рецептивных полей ганглиозных on- и off- клеток сетчатки [4].

Учитывая тот факт, что модели рецептивных полей ганглиозных клеток сетчатки аппроксимируются фильтром «Разница по Гауссу» и ориентированы на обработку изображений, необходимо представить данные от датчика глубины в графическом виде. Для этого сначала рассчитывается гистограмма с накоплением, где единицей измерения расстояния является миллиметр, а затем для каждого значения расстояния до объекта вычисляется цветовое значение пикселя по формуле

$$P_i = 255 * (1 - H_i / N),$$

где  $P_i$  – цветовое значение пикселя для расстояния  $i$  мм,  $H_i$  – выборка элементов гистограммы для расстояния  $i$  мм,  $N$  – общее число элементов гистограммы.

На полученном изображении производится выделение объемных объектов с помощью фильтра «Разница по Гауссу», соответствующего ответам ганглиозных on-клеток сетчатки. Размер ядер гауссиан определяет минимальный размер выделяемых объектов, что позволяет выполнять фильтрацию артефактов, появление которых связано со спецификой работы датчика глубины.

Фильтрация полученного изображения аппроксимацией математической модели рецептивного поля ганглиозных off-клеток сетчатки позволяет сформировать радиальные градиентные области вокруг каждого препятствия. Значения пикселей полученных градиентных областей интерпретируются как коэффициент  $z$  проходимых участков (коэффициент задержки распространения волны возбуждения в нейронной сети формально-логического типа).

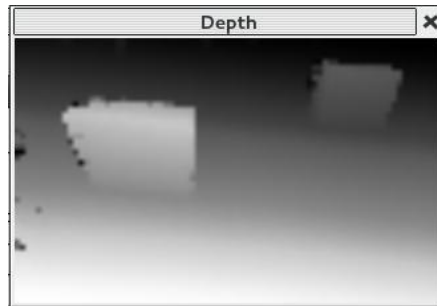


Рис. 1. Результат замещения значений расстояний до отражающей поверхности на соответствующий оттенок серого цвета

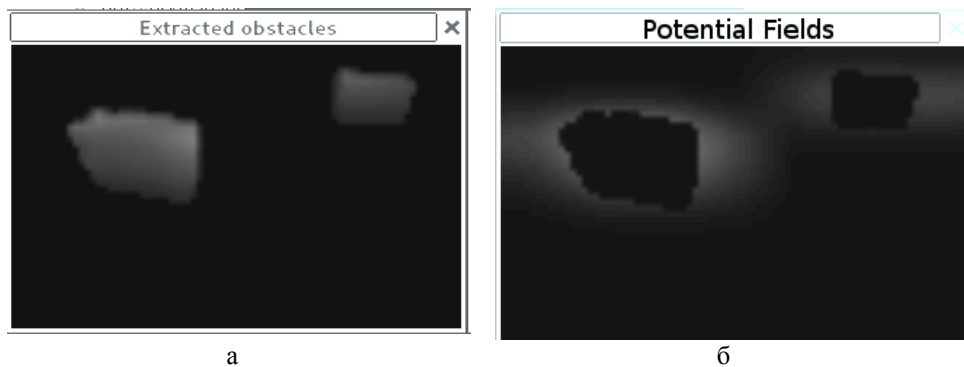


Рис. 2. Выделенные на изображении объемные объекты (а) и сформированные коэффициенты  $z$  проходимых участков (б)

Для построения локальной карты проходимости необходимо произвести комплексирование изображений, показанных на рис. 2,а и 2,б. Комплексирование производится по следующим правилам:

$$P_{ij} = \begin{cases} Z, & \text{если } I_{ij} \neq 0, \\ z_{ij}, & \text{если } K_{ij} \neq 0, \\ 1, & \text{если } K_{ij} = 0 \text{ и } I_{ij} = 0, \end{cases}$$

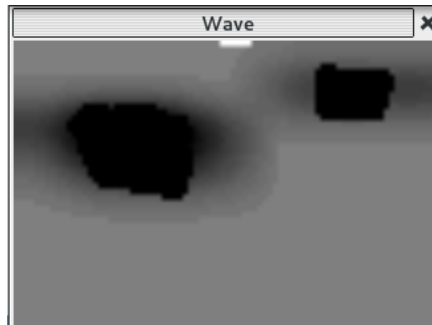
где  $P_{ij}$  – значение узла в локальной карте проходимости,  $Z$  – специальное значение, обозначающее непроходимый участок,  $z_{ij}$  – коэффициент проходимости,  $I_{ij}$  – значение пикселя изображения с выделенными объемными объектами,  $K_{ij}$  – значение пикселя изображения с коэффициентами проходимости.

Отслеживание положения цели производится камерой, расположенной на поворотном устройстве. Целевые участки, генерирующие волну возбуждения, устанавливаются в верхней строке локальной карты проходимости, смещение по которому они устанавливаются, вычисляется по следующей формуле:

$$D = W * \frac{S_i}{S_{max}},$$

где  $W$  – ширина локальной карты проходимости,  $S_i[0, S_{max}]$  – значение текущей позиции поворотного устройства,  $S_{max}$  – значение крайнего положения поворотного устройства.

Конечный вид карты проходимости представлен на рис. 3, где серым цветом обозначены проходимые участки, которым ставится в соответствие задержка распространения волны, равная 1. Черным цветом обозначены препятствия, волна через данные участки не распространяется. Темные области вокруг препятствий представляют собой коэффициенты задержки распространения волны. Белым цветом обозначены целевые участки, генерирующие волну возбуждения.



*Рис. 3. Графическое представление сформированной локальной карты проходимости*

Экспериментальное исследование данного подхода проводилось на разработанной платформе ИМП (рис. 4), сенсорная подсистема СТЗ которой представлена двумя аналоговыми камерами и датчиком глубины ASUS Xtion.



*Рис. 4. Внешний вид реализованной экспериментальной платформы*

Первая камера, расположенная на поворотном устройстве, как отмечено выше, служит для поиска и отслеживания положения цели. Вторая камера расположена непосредственно под датчиком глубины и служит для исключения целевого объекта, попадающего в его область видимости, из категории препятствий.

Натурные эксперименты, проведенные средствами разработанной платформы, подтверждают работоспособность и эффективность предлагаемого подхода к решению задачи локальной навигации в условиях, приближенных к реальной среде.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Чернухин Ю.В. Нейропроцессорные сети. – М.: Изд-во ТРТУ, 1999. – 439 с

2. Чернухин Ю.В., Бутов П.А., Доленко Ю.С. Оптимизация нейросетевого подхода методом поля потенциалов в задаче навигации автономных интеллектуальных мобильных роботов // Материалы XVI конф. по нейрокибернетике. Т. 2. – Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2012. – С. 219-221.
3. Чернухин Ю.В., Доленко Ю.С., Бутов П.А. Бионические подходы к обработке сенсорной информации в нейросетевых системах управления интеллектуальных мобильных роботов // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2012. – №5 (130). – С. 194-199.
4. Enroth-Cugell C. and J.G. Robson. The Contrast Sensitivity of Retinal Ganglion Cells of the Cat // Journal of Physiology. – 1966. – № 187. – P. 517-23.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор В.В. Тютиков.

**Чернухин Юрий Викторович** – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Южный федеральный университет»; e-mail: chernukhin@dce.tsure.ru; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел.: 88634371656; кафедра вычислительной техники; д.т.н.; профессор.

**Доленко Юрий Сергеевич** – e-mail: dolenko.yury@gmail.com; кафедра вычислительной техники; специалист; аспирант.

**Бутов Павел Александрович** – e-mail: pbootoff@gmail.com; кафедра вычислительной техники; специалист; аспирант.

**Chernukhin Yuri Victorovich** – Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”; e-mail: chernukhin@dce.tsure.ru; 44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634371656; the department of computer engineering; dr. of eng. sc.; professor.

**Dolenko Yuri Sergeevich** –e-mail: dolenko.yury@gmail.com; the department of computer engineering; specialist; postgraduate student.

**Butov Pavel Aleksandrovich** – e-mail:pbootoff@gmail.com; the department of computer engineering; specialist; postgraduate student.

УДК: 681.5.007.629.7

**С.А. Полосинов**

### **МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЛЕСНОГО ПОЖАРА ПРИ ЕГО ЛОКАЛИЗАЦИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ АВИАЦИОННЫХ СРЕДСТВ**

*Для оптимизации процесса борьбы с лесными пожарами, выбора типов и количества технических средств требуется прогноз динамики развития пожара, который может быть выполнен с помощью динамической модели. В работе решается задача моделирования динамического процесса развития лесных пожаров в сочетании с процессом противопожарных действий авиационных средств. Автором предложены аналитические выражения, определяющие динамику изменения геометрических параметров пожара с учётом работы авиационных средств по его локализации. Выделены взаимовлияющие характеристики развития пожара, а также эксплуатационные характеристики летательных аппаратов. Отмечены условия, определяющие эффективность работы на пожаре, а также характеристики пожара и летательных аппаратов, подлежащие оптимизации для повышения эффективности работы по локализации пожаров.*

*Динамическая модель лесного пожара; эффективность; характеристики; локализация пожаров; авиационные средства.*