

## Параллельные генетические алгоритмы для автоматического программирования поведения роевых систем\*

А. В. Головин, Н. М. Ершов, Н. Н. Попова

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,  
факультет вычислительной математики и кибернетики

Роевая робототехника представляет собой перспективное направление в области роевого интеллекта, заключающееся в построении робототехнических систем, состоящих из большого числа просто устроенных роботов. Актуальной задачей в этой области является разработка *распределенных* алгоритмов управления такого рода системами. Проблема заключается в том, что требуется разработать алгоритм решения некоторой *глобальной* задачи, программируя *локальное* поведение отдельных роботов. В настоящей работе предлагается использовать для такого программирования эволюционный подход на основе параллельных генетических алгоритмов [1, 2]. В качестве модельной была выбрана задача обхода лабиринта, являющаяся одной из стандартных прикладных задач в роевой робототехнике [3, 4, 5].

В рассматриваемой задаче имеется совершенный лабиринт, в котором выделена стартовая позиция. В лабиринт по очереди помещаются  $r$  роботов, которые начинают его исследовать. Роботы обладают ограниченной памятью, представленной  $K$  состояниями. Каждый робот занимает ровно одну клетку лабиринта и в каждый момент времени ориентирован в направлении одной из соседних клеток. Робот способен анализировать состояние клетки, на которую он смотрит – либо эта клетка пуста, либо перед ним препятствие (стенка), либо клетка занята другим роботом (в этом случае нам доступно его состояние). Программа для управления роботами представляет собой конечный автомат. В зависимости от внутреннего и внешнего состояний каждый робот: 1) меняет свое внутреннее состояние; 2) выполняет одно из действий по перемещению (поворот, движение вперед).

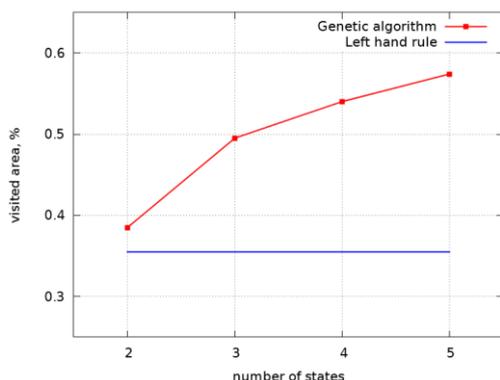


Рис. 1. Зависимость целевой функции от числа состояний роботов  $K$

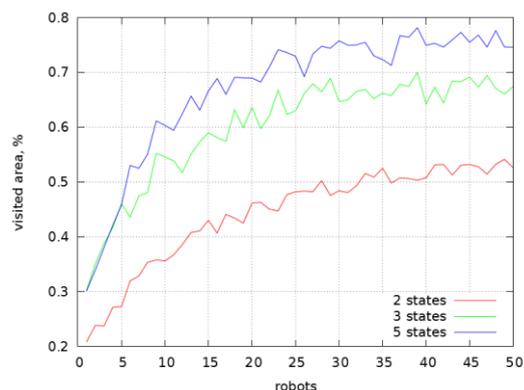


Рис. 2. Зависимость целевой функции от размера роя для разных значений  $K$

Целью программирования роботов в описанной модели является конструирование коллективного поведения для наискорейшего обхода лабиринта. В качестве формального критерия качества предлагается использовать долю посещенной за фиксированное время (дискретное время модели) части лабиринта с усреднением для нескольких лабиринтов. Для решения поставленной задачи был реализован эволюционный подход на основе генетических алгоритмов. Каждое решение представляется целочисленным вектором фиксированной длины, в котором закодирована программа управления роботом. В настоящее время нами используются стандартные генетические операторы – турнирная схема отбора, одноточечное скрещивание и стандартная дискретная мутация.

\* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант №17-07-01562 А).

На рис. 1 и 2 приведены полученные численные результаты, показывающие работоспособность предложенной схемы. Видно, что с увеличением числа внутренних состояний происходит увеличение коллективной скорости обхода лабиринта. Отметим, что генерируемая алгоритмом программа даже для небольших значений параметра  $K$  является достаточно сложной для понимания. Однако для случаев  $K = 2$  и  $K = 3$  построенные программы являются вариантом широко известного правила правой (левой) руки.

Предложенная схема требует проведения больших объемов вычислений, т.к. время ее работы пропорционально произведению числа итераций генетического алгоритма, размера популяции, числа роботов в рое, числа лабиринтов и времени обхода лабиринта. С другой стороны, очевидно, что эта схема обладает и значительным внутренним параллелизмом. Как показало профилирование последовательной программы, более 95% времени ее работы тратится на вычисление целевой функции. Поэтому, в настоящее время нами реализован наиболее простой подход к распараллеливанию описанной схемы с использованием технологии MPI, основанный на параллельном вычислении целевой функции (рис. 3).

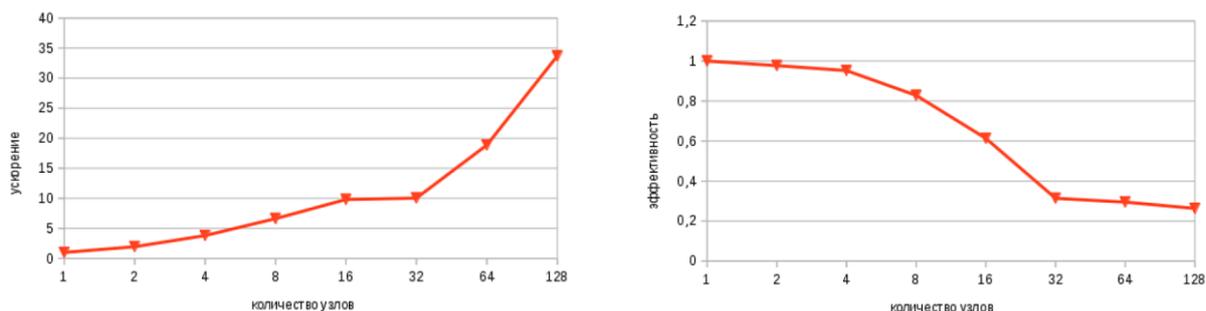


Рис. 3. Зависимость ускорения и эффективности параллельного генетического алгоритма от числа процессов на суперкомпьютере IBM BlueGene/P

В дальнейшем предполагается расширить предложенный подход как со стороны модели (более сложное поведение роботов, большее количество сенсоров, более сложные типы лабиринтов), так и со стороны параллельной реализации, с более полным учетом особенностей решаемой задачи.

## Литература

1. Floreano D., Mondada F., Automatic creation of an autonomous agent: genetic evolution of a neural-network driven robot, Proceedings of the third international conference on Simulation of adaptive behavior: from animals to animats 3, pp. 421-430, July 1994, Brighton, UK.
2. Duarte M., Costa V., Gomes J., Rodrigues T., Silva F., et al. (2016) Evolution of Collective Behaviors for a Real Swarm of Aquatic Surface Robots. PLoS ONE 11(3): e0151834.
3. Elad H. Kivelevitch and Kelly Cohen, Multi-Agent Maze Exploration", Journal of Aerospace Computing, Information, and Communication, Vol. 7, No. 12 (2010), pp. 391-405.
4. Marc Szymanski, Tobias Breitling, Jorg Seyfried, and Heinz Worn. Distributed Shortest-Path Finding by a Micro-robot Swarm. In Ant Colony Optimization and Swarm Intelligence, pages 404-411. Springer, 2006.
5. Mohit Ahuja, Baisravan HomChaudhuri, Kelly Cohen, Manish Kumar, Fuzzy counter ant algorithm for maze problem, 2010, 48th AIAA Aerospace Sciences Meeting Including the New Horizons Forum and Aerospace Exposition, p. 595.