

Распределенные алгоритмы управления роем роботов для прохождения лабиринтов*

Н.М. Ершов

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

Групповая робототехника представляет собой перспективное направление в области роевого интеллекта (swarm intelligence), заключающееся в построении робототехнических систем, состоящих из большого числа относительно просто устроенных роботов [1]. 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, недоступной отдельным роботам, программируя *локальное* поведение многих таких роботов, действующих параллельно и взаимодействующих локально друг с другом. В настоящей работе в качестве инструмента разработки такого рода распределенных алгоритмов предлагается использовать стохастические блочные клеточные автоматы с Марковскими системами правил. Особенностью такого подхода является то, что он позволяет единообразно описать как алгоритмическое поведение самих роботов, так и (возможно) неупорядоченное поведение внешней по отношению к роботам среды.

Используемая в данной работе вариация клеточных автоматов представляет собой развитие концепции марковских систем [2]. Автомат представляется двумерной прямоугольной областью, каждая клетка которой содержит ровно один символ и обладает некоторой ориентацией – вправо, влево, вверх и вниз. В процессе эволюции автомата меняются как символы (состояния клеток), так и приписанные клеткам направления. В начальный момент времени задается начальное распределение символов автомата (матрица X) и начальное распределение направлений (матрица D). На каждом временном шаге происходит модификация этих матриц. Сначала матрица X преобразуется по специальной процедуре в набор символьных цепочек, в которых каждый символ направлен на следующий за ним символ. После этого к каждой из полученных цепочек применяется правило из системы правил данного клеточного автомата. Каждое правило имеет вид $\alpha \rightarrow \beta_{|p|}$, где α и β две цепочки символов одинаковой длины, p – вероятность применения данного правила. При этом каждый символ в цепочке β может быть помечен одним из модификаторов, которые указывают, как должна поменяться ориентация той клетки, где располагается данный символ. Известно, что такие автоматы обладают широким спектром возможных типов поведения – от неупорядоченного (массового) до алгоритмического, что и позволяет использовать их в качестве инструмента разработки, отладки и анализа алгоритмов управления роем роботов.

В настоящей работе проблемы, связанные с построением алгоритмов управления роем роботов, рассматриваются на примере решения задачи обхода лабиринта, например, с целью поиска выхода из него [3]. Лабиринт представляется прямоугольным полем, в котором свободные места отмечены символом λ , а стенки – символом w . Предполагается, что лабиринт является совершенным (perfect), в котором вход и выход расположены на периметре лабиринта, а в самом лабиринте отсутствуют циклы. За основу для сравнения различных алгоритмов обхода лабиринта был взят алгоритм «правой руки», описываемый следующей системой правил:

$$\begin{cases} a\lambda \rightarrow \lambda A, \\ A \rightarrow a^R, \\ aw \rightarrow a^L w. \end{cases}$$

Первое правило соответствует перемещению робота на свободную позицию, второе – повороту направо, третье – повороту налево при условии, что перед роботом находится стенка. Был разработан ряд вариаций этого алгоритма, для одновременного управления сразу несколькими роботами. Также был предложен алгоритм с динамическим параллелизмом, когда на каждой раз-

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант №14-07-00628 А).

вилке лабиринта создаются сразу несколько роботов для исследования каждого ответвления. Этот алгоритм также использовался для сравнения, т.к. он дает нижнюю оценку времени обхода лабиринта.

Исследовались различные способы коммуникации роботов – прямое взаимодействие при встрече, косвенное взаимодействие (stigmergy) посредством «феромона» – специальных меток, оставляемых роботами при обходе лабиринта. Например, на рис. 1 приведен пример работы алгоритма с блокированием тупиков и формированием пути от входа в лабиринт до выхода из него.



Рис. 1. Пример работы параллельного алгоритма обхода лабиринта

Было проведено численное исследование различных временных характеристик работы предложенных алгоритмов. В частности, исследовались время достижения выхода из лабиринта (exit), время обхода всего лабиринта (round), время формирования пути из точки входа к точке выхода (path). На рис. 2 приведен график зависимости ускорения от числа роботов для трех указанных процессов для лабиринта размера 20×20.

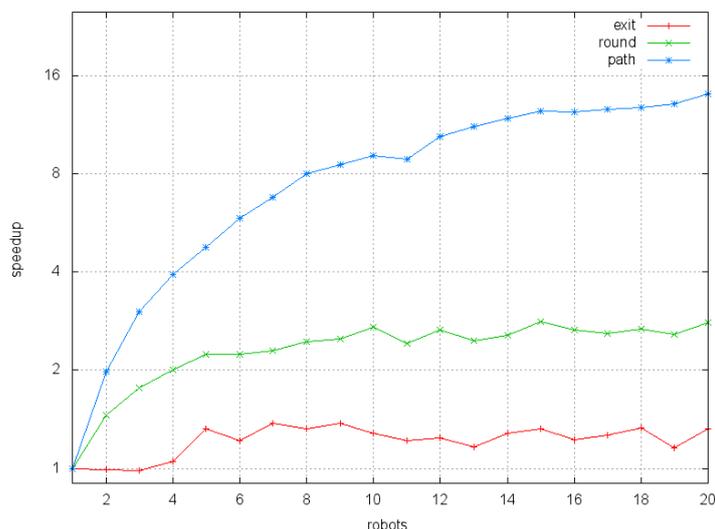


Рис. 2. Зависимость ускорения от числа роботов в лабиринте

В дальнейшем предполагается продолжить проведенные исследования в нескольких направлениях: 1) параллельная реализация (MPI) предложенной модели клеточных автоматов; 2) разработка высокоуровневых средств программирования роботов, позволяющих эффективно описывать их более сложное поведение; 3) разработка более эффективных роевых алгоритмов обхода разных типов лабиринтов.

Литература

1. N. Correll, D. Rus. Architectures and control of networked robotic systems. In: Serge Kernbach (Ed.): Handbook of Collective Robotics, pp. 81-104, Pan Stanford, Singapore, 2013
2. Ершов Н. М. Имитационное моделирование с помощью Марковских систем // Тихоновские чтения: Научная конференция, МГУ имени М.В. Ломоносова, 14 июня 2011 г.: Тезисы докладов. — МАКС Пресс Москва, 2011. — С. 35–35.
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.