

А.М. Степанов

ПРИМЕНЕНИЕ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ГРУППОЙ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ-САПЁРОВ

Рассматривается решение задачи управления группой мобильных роботов-саперов, описываются результаты математического моделирования. Приводится обоснование выбранного направления, связанного с использованием параллельных вычислений в составе систем управления группой мобильных роботов.

Группа мобильных роботов, управление, параллельные вычисления, математическое моделирование, программа имитационного моделирования

A.M. Stepanov

APPLICATION OF PARALLEL IN CONTROL OF GROUP MOBILE SAPPER-ROBOTS

The solution of the problem management team of mobile robotic engineers, describes the results of mathematical modeling. The rationale for the selected location, associated with the use of parallel computing in the control systems of a group of mobile robots.

Group of mobile robots, control, parallel computing, mathematical modeling and simulation programs

Введение

Параллельные вычисления предоставляют возможность решения сложных с вычислительной точки зрения задач в приемлемые для конкретного применения временные сроки, к ним относится управление мобильными роботами. При этом, кроме собственно задачи управления транспортной, мобильной системой, связанной с планированием и уточнением траектории с учетом картографической и сенсорной информации для обхода препятствий, с выработкой управляющих воздействий исполнительным механизмам транспортной системы, «на борту» приходится решать множество дополнительных задач: получение целеуказаний и обмен данными с головным центром, обработка данных сенсорной системы, технического зрения, системы позиционирования (ГЛОНАСС/GPS), дальномера и т.д., уточнение картографической информации с учетом полученных данных, контроль работоспособности подсистем и др. Многочисленные публикации [1-3] посвящены разработке методов и алгоритмов для решения указанных задач. Вычислительная сложность таких алгоритмов и многообразие решаемых задач с учетом необходимости их решения в условиях реального времени обуславливают необходимость применения методов и средств параллельных вычислений. Настоящая работа посвящена рассмотрению аспектов применения параллельных вычислений в системе управления группой мобильных роботов-саперов. В Саратовском государственном техническом университете имени Гагарина Ю.А. ведутся работы по разработке и исследованию методов управления мобильными мехатронными комплексами, в т.ч. в рамках НИР «Разработка распределенной вычислительной среды для создания систем управления жиз-

ненным циклом мобильных мехатронных комплексов». Структурная схема бортового вычислителя мобильного робота [4] приведена на рис. 1.

Вычислительная система мобильного робота (МР) построена [4] на основе четырех процессоров в формате PC/104 с операционной системой (ОС) QNX Neutrino 6.4, который является сочлененным. На каждой половине МР установлены по два процессора (CPC304, CPC307 и CPC306, CPC1600). Каждая из двух частей МР снабжена двумя видеокамерами с интерфейсом USB 2.0. Передача данных между процессорами осуществляется по шинам с двойным резервированием: CAN, Ethernet, RS-485. К каждой шине Ethernet подключена точка доступа WiFi. По протоколу CAN передаются данные с гироскопа ADIS16405. Коммуникационный модуль CNM350 поддерживает спутниковую навигацию GPS/GLONASS и дублирует связь по GPRS.

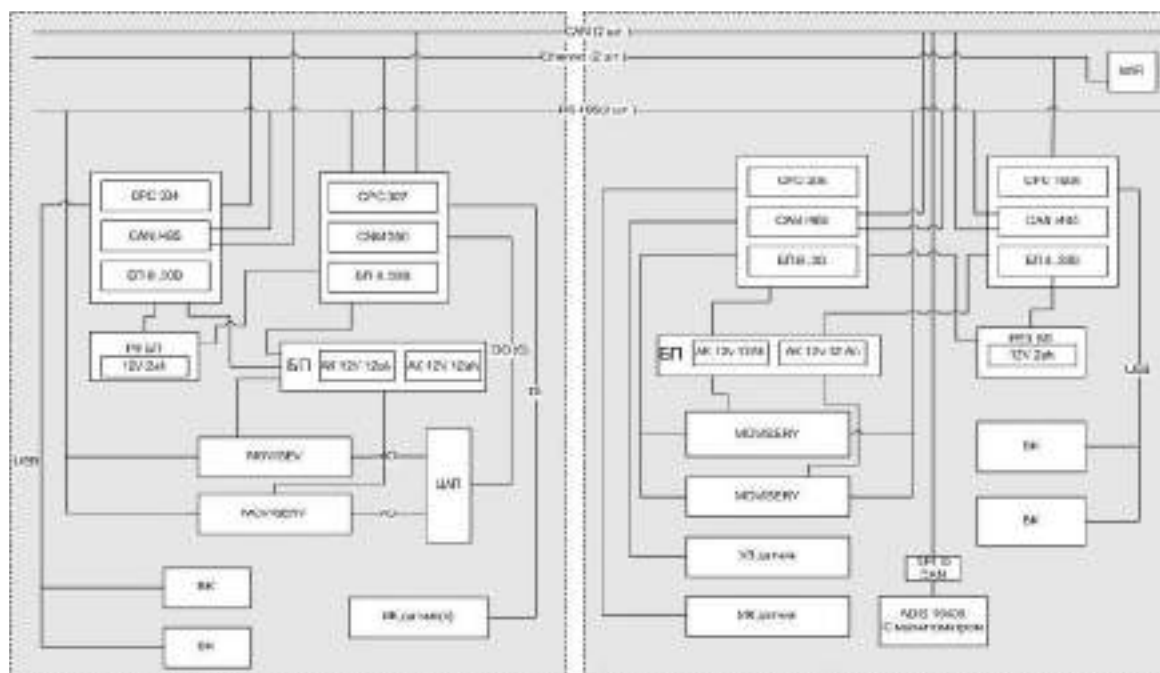


Рис. 1. Структура вычислительной системы мобильного робота

Вычислительные узлы МР обладают ограниченной производительностью, при этом нагрузка на них может существенно изменяться в зависимости от решаемой задачи и окружающей обстановки. Поставленные задачи управления МР могут быть эффективно решены на заданных процессорах при обеспечении миграции вычислительных процессов по вычислительным узлам [4].

Система управления группой мобильных роботов-саперов

Существующие технические решения разминирования противопехотных мин после военных конфликтов обычно базируются на использовании:

- громоздких и дорогостоящих тяжелых средств инженерных войск, ориентированных на оперативную подготовку проходов для боевой техники и пехоты в минных полях;
- легких роботов промышленного производства с дистанционным управлением для дистанционного видеонаблюдения, поиска, транспортировки и уничтожения взрывных устройств.

Предлагается для решения проблемы поиска и диагностирования взрывных устройств использовать группу автономных мобильных роботов. Целеуказание, координацию работы роботов и сбор информации осуществляет мобильный головной модуль, осуществляющий

также функции доставки роботов к месту исследования, их сбора после выполнения задания, техническое обслуживание и ремонт. Для управления такой мобильной системой необходима распределенная система управления, обеспечивающая управление группой мобильных роботов-саперов для разведки местности, включая определение минимально необходимого количества роботов; стратегическое планирование траектории для каждого робота; тактическое планирование на основе стратегического плана и разведывательной информации всех роботов группы; локальное (оперативное) планирование на основе тактического плана и сенсорной информации; уточнение картографической информации; формирование управляющих воздействий на двигательные установки роботов для осуществления движения в соответствии с локальным (оперативным) планом траектории.

Одной из особенностей задачи группового поиска взрывчатых веществ является предварительное закрепление за каждым роботом фрагмента исследуемой территории. Архитектура предлагаемой системы представлена на рис. 2. Проблема координированного решения группой роботов поставленной перед ними задачи осложняется тем, что условия функционирования систем управления каждого робота изменяются в процессе работы.

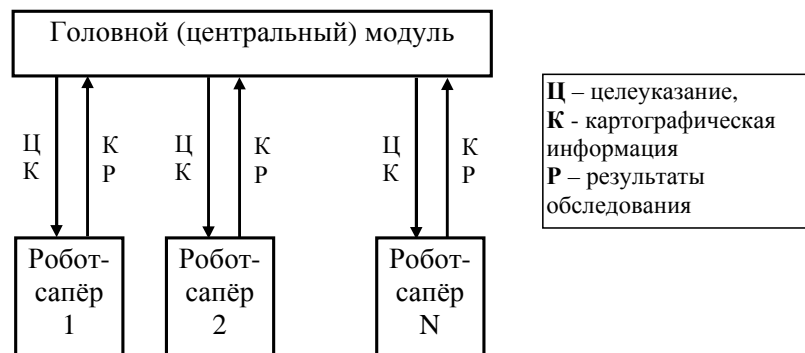


Рис. 2. Структурная схема системы управления группой мобильных роботов

Современные информационно-управляющие системы (ИУС) сложными объектами представляют комплексы средств (K_i), решающих множество различных задач, в том числе задачи координации, взаимодействия и задачи управления заданным объектом $ИУС = \langle \bigcup_i K_i \rangle$. Дополнительные трудности возникают в связи изменением условий функционирования (УФ) в процессе работы. К ним относятся не только вполне естественные изменения параметров управляемого объекта и внешней среды, но и возможные изменения критериев цели управления $УФ(t) = \langle f(\bullet, f^\Delta), f_0(\bullet, f_0^\Delta), J(\bullet, J^\Delta) \rangle$, где a^Δ – изменения атрибута a . В совокупности это приводит к необходимости изменения закона управления в процессе работы $ЗУ(t) = ЗУ(t, УФ(t))$. При этом заранее неизвестны моменты времени, в которые следует осуществлять корректировку. Поэтому необходимо контролировать выполнение требований цели управления, изменять закон управления в случае нарушения его выполнения.

Одним из способов решения этой задачи является использование интеллектуальных самоорганизующихся систем автоматического управления (ИССАУ) [5], т.е. систем автоматического управления, которые способны к самоорганизации на основе изменения закона функционирования, используя методы искусственного интеллекта. В качестве отличительной черты ИССАУ содержат интеллектуальную систему синтеза закона управления по заданной цели, а также средства ее формирования на основе информации о среде и собственных целях функционирования системы.



Рис. 3. Моделирование системы управления группой мобильных роботов - размещение мин

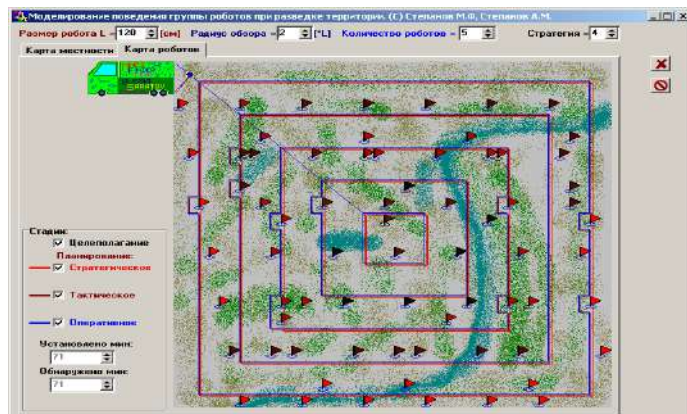


Рис. 4. Моделирование системы управления группой мобильных роботов – результаты моделирования: флажками показаны обнаруженные мины, цветом - робот, обнаруживший мину

Для исследования системы управления группой мобильных роботов:

– разработана программа GroupPlanning (см. рис. 3, 4), осуществляющая моделирование:

а) головного модуля группы, выполняющего стратегическое планирование опорных траекторий (распределение задач роботам группы), распределение исходной картографической информации, сбор и рассылку уточненной картографической информации;

б) всех автономных роботов, включая тактическое планирование (уточнение траектории по картографической информации), моделирование работы сенсорной системы, оперативное планирование на основе сенсорной информации (объезд препятствий, маркировка обнаруженных мин), передача и прием уточненной картографической информации;

– разработан прототип (см. рис. 5) робота-сапера на базе колесной сочлененной тележки, оснащенный металлоискателем, «электронным носом» (газоанализатором), техническим зрением на основе Microsoft Kinect, беспроводной связью с головным модулем, роль которого выступает персональный компьютер (notebook).

Данный проект успешно представлен на российском финале в Москве Международного конкурса инновационных проектов Microsoft Imagine Cup 2012.



Рис. 5. Внешний вид прототипа робота-сапера

Аспекты применения параллельных вычислений в системе управления группой мобильных роботов-сапёров

Сложность МР как объекта управления в сочетании с изменяющимися условиями функционирования (внешние: проходимость местности, погодные условия и т.д.), внутренние: снижение заряда батарей, изменение балансировки за счет перевозимого груза и т.д.) вынуждает рассматривать МР как нестационарный нелинейный объект с переменными параметрами. В теории автоматического управления [6] для задач управления объектами такого вида пока не разработано универсальных методов. Поэтому в подобных ситуациях применяется подход, основанный на использовании частных методов с учетом соответствующих

условий. В [1] для решения проблемы организации взаимодействия множества систем управления совокупностью возможно взаимосвязанных объектов управления предложена композиция концепции интеллектуальных самоорганизующихся систем автоматического управления (ИССАУ) [5] и методов нейроуправления [7]: 1) синтез закона управления с использованием средств ИССАУ; 2) реализация синтезированного закона управления с использованием искусственной нейронной сети (ИНС).

С учетом структуры ИССАУ [2] можно выделить следующие виды параллельной обработки информации при решении задач синтеза: 1) при построении плана решения задачи конкретной синтеза; 2) в рамках элементарных проектных операций при выполнении плана решения задачи синтеза для получения закона управления; 3) при вычислении управляющего воздействия в соответствии законом управления.

Реализация указанных видов параллелизма существенно сокращает затраты времени на решение задач управления мобильным роботом. При этом следует учитывать, что эффективность распараллеливания вычислений существенно зависит от степени распараллеливания, допускаемой алгоритмом решения задачи и доли «накладных расходов» как на организацию собственно процесса распараллеливания, так и на передачу данных между узлами распределённой вычислительной сети. С развитием теории автоматического управления все более доминирующим становится использование представления математических моделей объектов управления и компонентов систем автоматического управления в пространстве состояний, что обусловило широкое распространение матричных форм математического описания, и, как следствие, все более актуальной становится проблема автоматизации решения задач линейной алгебры, составляющих значительную часть задач линейного анализа (по некоторым оценкам до 75% [8]).

Для систем параллельных вычислений важной характеристикой является *ускорение параллельной системы*, определяемое в соответствии с законом Амдала [9]. Однако основным закон Амдала не учитывает потерь времени на межпроцессорный обмен сообщениями, которые могут не только снизить ускорение вычислений, но замедлить их по сравнению с однопроцессорной реализацией. Это учитывает сетевой закон Амдала

$$R_c = \frac{W \cdot t}{(W_{ck} + W_{np}/n) \cdot t + W_c \cdot t_c} = \frac{1}{a - (1-a)/n + W_c \cdot t_c / (W \cdot t)} = \frac{1}{a - (1-a)/n + c},$$

где W – общее количество операций в задаче; W_{ck} – количество скалярных (нераспараллеливаемых) операций; W_{np} – количество операций, которые можно выполнять параллельно; W_c – количество передач данных; t_c – время выполнения одной передачи данных, t – время выполнения одной операции; $a = W_{ck} / W$ – удельный вес скалярных операций, n – количество процессоров (потоков); $c = W_c \cdot t_c / (W \cdot t) = c_A \cdot c_T$ – коэффициент сетевой деградации вычислений; c_A – алгоритмическая составляющая; c_T – техническая составляющая, зависящая от соотношения быстродействия процессора и сетевой аппаратуры.

Для многих задач коэффициенты сетевого закона Амдала могут быть вычислены аналитически. Однако в реальных условиях ускорение зависит от многих факторов, например, общей загруженности вычислительной системы, включая накладные расходы операционной системы (в т.ч. сетевых протоколов), размерности данных задачи, эффективности реализации средств распараллеливания и т.д. Поэтому величина коэффициента c индивидуальна для каждой вычислительной системы.

Проведем вычислительный эксперимент для оценки значения коэффициента c закона Амдала на примере задачи умножения матриц $A = B \times C$; $A, B, C \in R^n \times R^n$. Рассмотрим ряд значений удельного веса скалярных операций в диапазоне от 0 до 0,5, в который входит и значение $a = 0,2$ обычно считающееся реальным значением в большинстве задач [9]. Коэф-

коэффициент сетевой деградации вычислений будем определять экспериментально по отношению к последовательной реализации ($R = 1$) алгоритма умножения матриц для различных значений размерности задачи и количества используемых потоков распараллеливания с использованием MPICH2.1 [10].

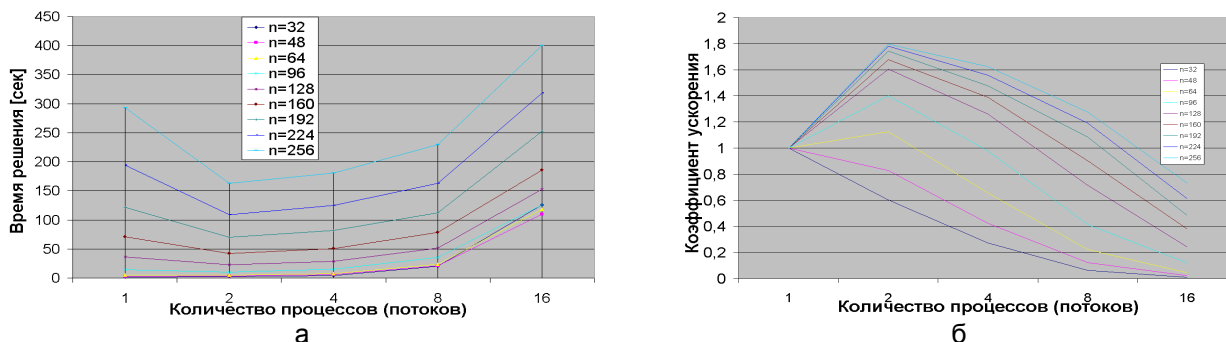


Рис. 6. Зависимость времени решения T_n : а – и коэффициента R ускорения вычислений; б – от количества процессов (потоков) и n – размерности задачи

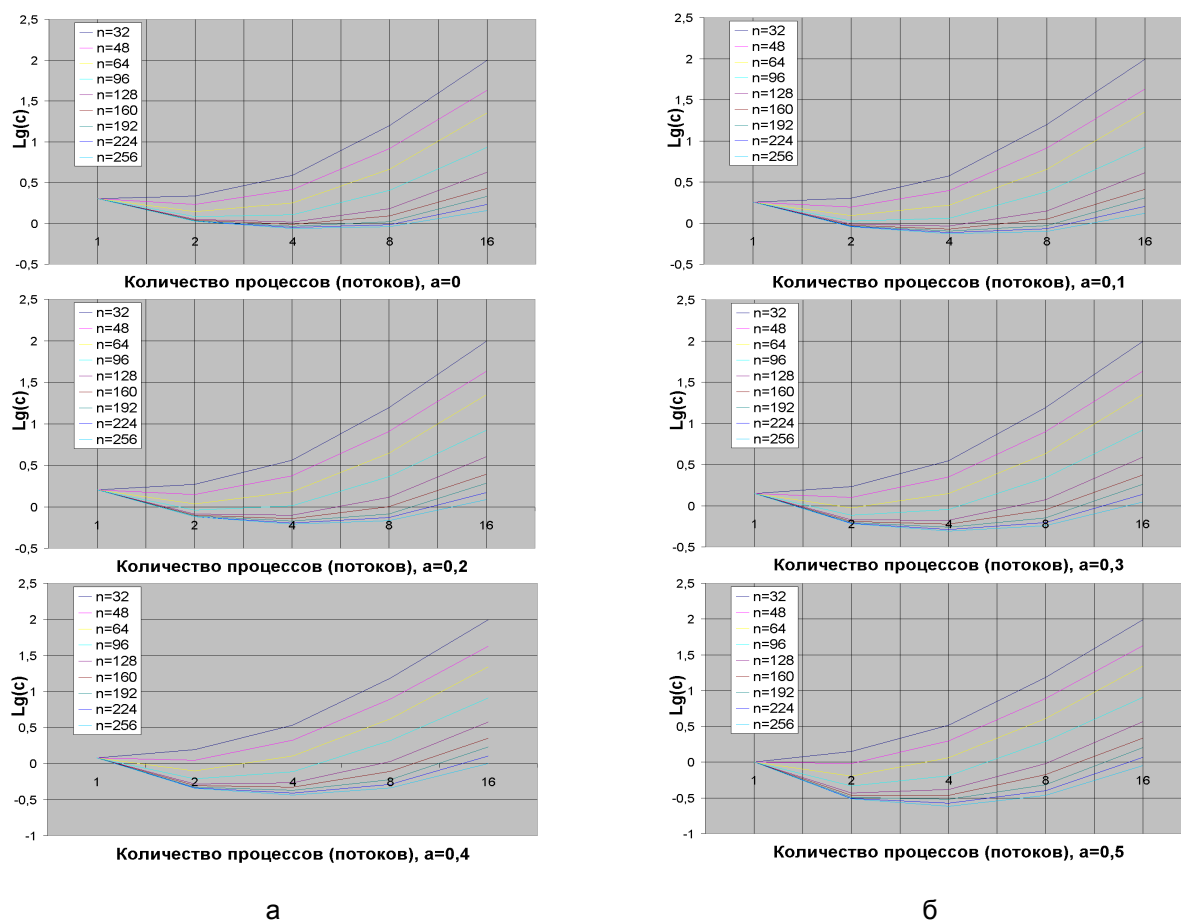


Рис. 7. Зависимости значения коэффициента c сетевой деградации вычислений от количества процессов (потоков), n – размерности задачи; а – удельного веса скалярных (нераспараллеливаемых) операций

Количество повторов решения задачи = 1000. Результаты исследований приведены на рис. 5 и 6. Оценка коэффициента сетевой деградации осуществляется на основе сетевого закона Амдала по следующей формуле $c = 1/R - [a(n+1) - 1]/n$, где $R = T_1/T_n$ – ускорение вычислений, где T_1 – время решения на однопроцессорной системе (с одним потоком команд), T_n – время решения на n -процессорной системе (n потоков команд).

Для однопроцессорного варианта такая формула призвана учесть накладные расходы на организацию вычислительного процесса под управлением операционной системы. Для многопроцессорного варианта – дополнительно учитываются относительные накладные расходы на выполнение сетевого взаимодействия.

Выводы

Проведенные исследования подтверждают целесообразность выбранного направления, связанного с использованием параллельных вычислений в составе систем управления группой мобильных роботов.

Работа выполнена при поддержке Федерального агентства по науке и инновациям в рамках федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы ГК № 02.740.11.048.

ЛИТЕРАТУРА

1. Юревич Е.И. Интеллектуальные роботы. М.: Машиностроение, 2007. 360 с.
2. Каляев И.А. и др. Модели и алгоритмы коллективного поведения в группах роботов. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. 280 с.
3. Степанов А.М. и др. Планирование траектории движения мобильного робота // Вестник Саратовского государственного технического университета, 2010. № 4 (51). Вып. 3. С. 176-180.
4. Отчет о НИР по гос. контракту № 02.740.11.0482 «Разработка распределенной вычислительной среды для создания систем управления жизненным циклом мобильных мехатронных комплексов» по теме «Разработка и исследование навигационного комплекса для мобильного робота, состоящего из инерциальной системы, ГЛОНАСС навигации, GPS навигации, и стереоскопической системы анализа видеоизображений». Этап 2 (промежуточный), ГР № 012001000133. 2011. 330 с.
5. Степанов М.Ф. Интеллектуальные самоорганизующиеся системы автоматического управления. Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т, 2002.
6. Справочник по теории автоматического управления / Под ред. А.А. Красовского. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1987. 712 с.
7. Сигеру Омату. Нейроуправление и его приложения. Кн. 2. / Сигеру Омату, Марзуки Халид, Рубия Юсоф; Пер. с англ. Н.В.Батина; Под ред. А.И. Галушкина, В.А. Птичкина. М.: ИПРЖР, 2000. 272 с.
8. Модулярные вычислительные структуры нейропроцессорных систем / Н.И. Червяков, П.А. Сахнюк, А.В. Шапошников, С.А. Ряднов; Под ред. Н.И. Червякова. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. 288 с.
9. Шпаковский Г.И., Серикова Н.В. Программирование для многопроцессорных систем в стандарте MPI. Минск: БГУ, 2002. 323 с.
10. Argonne National Laboratory (<http://www.mcs.anl.gov/mpi>)

Степанов Андрей Михайлович –

аспирант кафедры «Системы искусственного интеллекта» Саратовского государственного университета имени Гагарина Ю.А.

Статья поступила в редакцию 7.02.12, принята к опубликованию 12.03.12