

ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННЫЙ ПОДХОД К СИНТЕЗУ СОГЛАСОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ МУЛЬТИАГЕНТНЫМИ СИСТЕМАМИ

Анотация. Рассматривается задача согласованного управления группой агентов в мультиагентной сетевой системе. Агенты моделируются линейными динамическими системами, а топология взаимосвязей представлена в виде ориентированного графа. Предлагается реализация децентрализованного подхода, который включает в себя синтез локальных стабилизирующих регуляторов для каждого агента и синтез согласующих регуляторов для обеспечения условий координации агентов и устойчивости всей системы. Синтез локальных регуляторов осуществляется на основе метода инвариантных эллипсоидов и сводится к решению системы линейных матричных неравенств. Для анализа устойчивости мультиагентной системы с учетом взаимосвязей применяется метод векторных функций Ляпунова, что приводит к анализу устойчивости агрегированной системы сравнения малой размерности.

Ключевые слова: мультиагентная система, согласованное управление, протокол согласования, метод инвариантных эллипсоидов, линейное матричное неравенство, метод векторных функций Ляпунова.

Введение. Согласованное управление в мультиагентной системе (МАС) является актуальным направлением современной теории и практики интеллектуального управления сложными системами, в частности, сетевых систем управления [1]. Области применения согласованного управления, обеспечивающего координацию управляемых динамических объектов в сложных системах с сетевой структурой, являются задачи управления интеллектуальными роботами, беспилотными транспортными средствами и летательными аппаратами, энергетическими и логистическими системами, распределенными вычислительными системами и многие другие.

Структура МАС описывается ориентированным графом, вершины которого ассоциируются с локальными управляемыми агентами, а дуги представляют каналы передачи информации между ними в соответствии с заданной топологией. Управление МАС осуществляется на основе протокола согласования, который позволяет формировать управление локальным агентом на основе сравнения информации о состоянии данного агента и связанных с ним соседей, определяемых топологией сетевой системы. Задача достижения консенсуса в МАС заключается в согласовании состояния каждого отдельного агента с его соседями путем построения такого протокола согласования, который, например, обеспечивает приведение всех агентов в некоторое заданное состояние.

Как правило, протокол согласования строится в виде линейной обратной связи по отклонению состояний или выходов соответствующего агента от взвешенного среднего векторов состояний или выходов его соседей [2]. В этом случае задача согласованного управления сводится к нахождению значений матриц коэффициентов локальных обратных связей из условия устойчивости как отдельных управляемых агентов, так и МАС в целом. В результате, традиционный подход основан на построении расширенной динамической модели МАС, вектор состояний которой составлен из векторов состояний отдельных агентов, и использует концепцию лапласиана графа, описывающего топологию связей между агентами. При этом матрица динамики расширенной системы описывается произведением Кронекера матриц динамики отдельных агентов и имеет высокую размерность, что приводит к значительным вычислительным трудностям при решении рассматриваемой задачи.

Целью работы является разработка децентрализованного подхода к синтезу согласованного управления в сетевой дискретной МАС, который включает построение локальных стабилизирующих регуляторов для каждого агента, а также согласующих регуляторов для обеспечения координации векторов состояний всех агентов, причем синтез указанных регуляторов осуществляется раздельно.

Метод решения. Синтез локальных стабилизирующих регуляторов для отдельных агентов основан на концепции инвариантных множеств, в качестве которых, как правило, используются эллипсоиды в пространстве состояний, что в значительной степени обусловлено активным

развитием теории эллипсоидального оценивания и управления [3]. Синтезируемый регулятор выбирается в классе линейных обратных связей по отклонению вектора состояний агента от взвешенного среднего векторов состояний его соседей. Условие устойчивости замкнутого локального агента формулируется в виде неравенства относительно первой разности квадратичной функции Ляпунова, построенной на решениях замкнутой подсистемы. Полученное неравенство представляется в виде линейного матричного неравенства относительно неизвестной матрицы параметров регулятора. Искомый регулятор должен обеспечивать минимизацию критерия в виде функционала соответствующего инвариантного эллипсоида, который выступает в качестве аппроксимации множества достижимости замкнутого агента. В качестве критерия выбирается сумма квадратов полуосей эллипсоида, то есть след его матрицы. Затем соответствующая задача полуопределенного программирования решается численно с помощью свободно распространяемых программных пакетов для системы MATLAB. В результате находится матрица эллипсоида, определяющая матрицу Ляпунова, на основании которой вычисляются параметры стабилизирующего регулятора.

Для анализа устойчивости МАС с учетом взаимосвязей между агентами используется метод векторных функций Ляпунова (ВФЛ) [4], который включает построение динамической агрегированной системы сравнения с вектором состояний, компоненты которого мажорируют соответствующие компоненты общей функции Ляпунова системы в целом, построенной на основе ВФЛ. В результате задача сводится к анализу устойчивости системы сравнения, размерность которой равна количеству агентов, и задача синтеза согласующих регуляторов решается с использованием условий устойчивости для построенной системы сравнения.

Рассмотрены применения разработанных методов для решения задачи управления согласованием нагрузок в распределённых вычислительных системах.

Выводы. Применение децентрализованного подхода с использованием метода векторных функций Ляпунова для решения задачи согласованного управления сетевыми мультиагентными системами позволяет избежать необходимости рассмотрения задачи высокой размерности, что усложняет процедуру поиска численных решений. Предлагаемый подход, в отличие от традиционных решений, сводится к решению задач синтеза локальных стабилизирующих и согласующих регуляторов невысокой размерности, что весьма важно для сетевых систем со сложной структурой. Преимущество предлагаемого подхода заключается также в декомпозиции процедуры решения задачи, обеспечивающей возможность независимого нахождения матриц коэффициентов усиления обратных связей локальных агентов и матриц параметров согласующих регуляторов. Предлагаемые процедуры синтеза реализуются с использованием известных численных методов выпуклой оптимизации.

Литература

1. Проблемы сетевого управления / под ред. А. Л. Фрадкова. М. Ижевск. Институт компьютерных исследований. 2015. 392 с.
2. Saber R., Murray R. Consensus protocols for networks of dynamic agents. Proceedings of the American Control Conference. June 2003. Vol. 6. P. 951–956.
3. Poznyak A., Polyakov A., Azhmyakov V. Attractive ellipsoids in robust control. Birkhäuser. Springer International Publishing. 2014. 348 p.
4. Matrix Liapunov functions and stability analysis of dynamical systems. In: Advances in stability theory at the end of 20-th century. (Ed.: A. A. Martynyuk). London and New York. Taylor and Francis. 2003. P. 135–151.