

УДК 621.3.01

Б. И. Кузнецов, Т. Б. Никитина, доктора техн. наук,
В. В. Коломиец, канд. техн. наук,
М. О. Татарченко, В. В. Хоменко

СТОХАСТИЧЕСКАЯ МУЛЬТИАГЕНТНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ АНИЗОТРОПИЙНЫХ РЕГУЛЯТОРОВ МНОГОМАССОВЫХ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Аннотация. Разработан метод решения задачи многокритериального синтеза анизотропийных регуляторов многомассовых электромеханических систем на основе стохастической мультиагентной оптимизации роём частиц, что позволяет существенно сократить время решения задачи и удовлетворить разнообразным требованиям, которые предъявляются к работе многомассовых электромеханических систем в различных режимах.

Ключевые слова: многомассовая электромеханическая система, анизотропийный регулятор, многокритериальный синтез, стохастическая мультиагентная оптимизация

B. Kuznetsov ScD., T. Nikitina ScD.,
V. Kolomiets PhD.,
M. Tatarchenko, V. Khomenko

STOCHASTIC MULTIAGENT OPTIMIZATION OF ANISOTROPIC REGULATORS OF MULTIMASS ELECTROMECHANICAL SYSTEMS

Abstract. Developed a method for solving the problem of anisotropic regulators multicriterion synthesis of multimass electromechanical systems based on multi-agent stochastic particle swarm optimization, which can significantly reduce the time for solving the problem and meet the diverse requirements that apply to the work of multimass electromechanical systems in different modes.

Keywords: multimass electromechanical system, anisotropic regulator, multicriteria synthesis, stochastic multi-agent optimization

Б. І. Кузнецов, Т. Б. Нікітіна, доктора техн. наук,
В. В. Коломиець, канд. техн. наук,
М. О. Татарченко, В. В. Хоменко

СТОХАСТИЧНА МУЛЬТИАГЕНТНА ОПТИМІЗАЦІЯ АНІЗОТРОПІЙНИХ РЕГУЛЯТОРІВ БАГАТОМАСОВИХ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ

Анотація. Розроблено метод розв'язання задачі багатокритеріального синтезу анизотропійних регуляторів багатомасових електромеханічних систем на основі стохастичної мультиагентної оптимізації роєм частинок, що дозволяє істотно скоротити час вирішення задачі і задовольнити різноманітним вимогам, які пред'являються до роботи багатомасових електромеханічних систем в різних режимах.

Ключові слова: багатомасова електромеханічна система, анизотропійний регулятор, багатокритеріальний синтез, стохастична мультиагентна оптимізація

Введение. При создании новых поколений техники и новых технологий требуются системы автоматического управления, способные обеспечивать высокую точность при наличии интенсивных задающих и возмущающих воздействий. К таким системам управления обычно предъявляются весьма разнообразные и часто противоречивые требования при их работе в различных режимах и при различных внешних воздействиях [1 – 3].

Постановка задачи. Одним из интенсивно развивающихся направлений современной теории робастных систем управления являются системы стохастического робастного управления [4 – 6], имеющие существенно меньшую чувствительность к изменению параметров объекта управления и внешних воздействий.

Синтез стохастических робастных систем затрудняется, прежде всего, формулированием такого

критерия качества стохастического робастного управления, чтобы синтезированная система удовлетворяла предъявляемым техническим требованиям [5 – 7]. В работе [7] разработан метод многокритериального синтеза анизотропийных регуляторов, позволяющий удовлетворить разнообразным требованиям, которые предъявляются к работе систем в различных режимах. При этом выбор матриц, с помощью которых формируется вектор цели стохастического робастного управления осуществляется путем решения задачи нелинейного программирования, для решения которой использован метод последовательного квадратичного программирования. Так как целевая функция является многоэкстремальной, то используется процедура мултистарта для задания начальных точек решения задачи многокритериальной оптимизации из области рассматриваемого пространства с помощью алгоритмов поиска локальных критериев. Такой подход позволяет найти глобальный экстремум, однако требует многократного вычисления целевой функции и значительных затрат машинного времени. В по-

© Кузнецов Б.И., Никитина Т.Б., Коломиец В.В.,
Татарченко М.О., Хоменко В.В., 2014

следнее время для решения многоэкстремальных задач математического программирования широкое распространение получили бионические алгоритмы [8 – 9], позволяющих надежно находить глобальный оптимум многоэкстремальных овражных целевых функций и целевых функций с участками типа «плато» и существенно уменьшить количество вычислений целевой функции и значительно сократить затраты машинного времени.

Целью данной работы является разработка метода решения задачи многокритериального синтеза анизотропных регуляторов многомассовых электромеханических систем на основе стохастической мультиагентной оптимизации роем частиц, что позволяет сократить время определения параметров анизотропных регуляторов многомассовых электромеханических систем и удовлетворить разнообразным требованиям, которые предъявляются к работе многомассовых электромеханических систем в различных режимах.

Формирование исходной задачи математического программирования. Решение задачи синтеза анизотропных регуляторов во временной области, с помощью которых минимизируется средняя анизотропия системы, сводится к вычислению трех алгебраических уравнений Риккати, уравнения Ляпунова и уравнения специального вида для вычисления уровня анизотропии входного сигнала [10 – 11]. Исходная система, замкнутая синтезированным анизотропным регулятором, обладает определенными динамическими характеристиками, которые определяются вектором цели. Введем вектор искомым параметров, компонентами которого являются элементы матриц исходной системы, с помощью которых формируется вектор цели стохастического робастного управления. Зададим начальное значение вектора, синтезируем анизотропный регулятор и определим прямые показатели качества замкнутой системы в различных режимах. При многокритериальном синтезе обычно бывает ситуация, когда исходная точка по некоторым критериям является недопустимой. В частности, это касается заданных значений времени первого согласования, переуправления, точности отработки и компенсации случайных внешних воздействий и многих других показателей качества, предъявляемых к системе. Однако, ряд критериев, таких как величины управляющих воздействий и переменных состояния являются допустимыми. Поэтому, в нелинейной схеме компромиссов [7] используется комбинация метода штрафных функций с внутренней точкой для локальных критериев и ограничений, являющихся допустимыми, и метода с внешней точкой для локальных критериев и ограничений, являющихся недопустимыми.

Метод решения. Для решения сформулированной многоэкстремальной задачи математического программирования использованы бионические алгоритмы, позволяющие с высокой эффективностью находить глобальный оптимум такой целевой функций. В работе использована стохастическая мультиагентная оптимизация роем частиц [8 – 9]. При движении в многомерном пространстве поиска, частицы роа пы-

таются улучшить найденное ими ранее решение и обмениваются информацией со своими соседями, за счет чего находят глобальный оптимум за меньшее количество итераций. Преимуществом этих методов перед классическими градиентными методами оптимизации является также то, что в них не требуется вычисления производных целевой функции, они практически нечувствительны к близости начального приближение к искомому решению, и позволяют легко учитывать разнообразные ограничения при нахождении глобального оптимума.

Результаты моделирования на ЭВМ. В качестве примеров получены реализации переменных состояния следящих многомассовых электромеханических систем и систем стабилизации с синтезированными анизотропными регуляторами при случайном изменении момента внешнего сопротивления. Результаты сравнений динамических характеристик синтезированных многомассовых электромеханических системы показали, что применение синтезированных анизотропных регуляторов позволило уменьшить ошибку компенсации случайного внешнего возмущения, сократить время регулирования и снизить чувствительность системы к изменению параметров объекта управления по сравнению с системой с типовыми регуляторами.

Выводы. На основе стохастической мультиагентной оптимизации роем частиц разработан метод решения многоэкстремальной задачи нелинейного программирования с ограничениями, к которой с помощью нелинейной схемы компромиссов сводится многокритериальный синтез анизотропных регуляторов многомассовых электромеханических систем, что позволяет существенно сократить время решения задачи и удовлетворить разнообразным требованиям, которые предъявляются к работе многомассовых электромеханических систем в различных режимах. Показано, что применение синтезированных анизотропных регуляторов позволило уменьшить ошибку компенсации случайного внешнего возмущения, сократить время регулирования и снизить чувствительность системы к изменению параметров объекта управления по сравнению с системой с типовыми регуляторами.

Список использованной литературы

1. Gazi V., (2004), Formation Control of Mobile Robots using Decentralized Nonlinear Servomechanism, *In: 12'th Mediterranean Conference on Control and Automation*, Kusadasi, pp. 37 – 42.
2. Fidan F., and Gazi V., (2010), Target Tracking using Adaptive gain Backstepping Control, *In: IFAC Workshop on Adaptation and Learning in Control and Signal Processing*, Antalya, Turkey, pp. 78 – 81.
3. Duran S., and Gazi V., (2010), Adaptive Formation Control and Target Tracking in a Class of Multi-agent Systems, *In: Proc. American Control Conf.*, Baltimore, MD, (USA), pp. 75 – 80.
4. Diamond P., Vladimirov I.G., Kurdjukov A.P., and Semyonov A.V., (2001), Anisotropy – Based Per-

formance Analysis of Linear Discrete Time Invariant Control Systems, *Int. J. Control*, Vol. 74, pp. 28 – 42.

5. Vladimirov I.G., Kurdjukov A.P., and Semyonov A.V., (1996), State-Space Solution to Anisotropy-Based Stochastic H_∞ – Optimization Problem, *Proc. 13th IFAC World Congress*, San-Francisco (USA), pp. 427 – 432.

6. Semyonov A.V., Vladimirov, and Kurdjukov A.P., (1994), Stochastic Approach to H_∞ – Optimization, *Proc. 33rd IEEE Conf. on Decision and Control.*, Florida (USA), pp. 2249 – 2250.

7. Никитина Т. Б. Многокритериальный синтез робастного управления многомассовыми системами. – Харьков : ХАДУ, 2013. – 432 с.

8. Clerc M., (2006), Particle Swarm Optimization, London: *ISTE Ltd*, 244 p.

9. Gazi V., and Passino K.M., (2011), Swarm Stability and Optimization, *Springer*, 318 p.

10. Kurdukov A.P., Maximov E.A., and Tchaikovsky M.M., (2006), Computing Anisotropic Optimal Controller for System with Parametric Uncertainty via Homotopy – based Algorithm, *SicPro'06*, Moscow, Russian Federation, *ICS, CD-ROM*.

11. Kurdukov A.P., Maximov E.A., and Tchaikovsky M.M., (2006), Homotopy Method for Solving Anisotropy-based Stochastic H_∞ – Optimization Problem with Uncertainty, *Proc. 5th IFAC Symposium on Robust Control Design*, Toulouse (France), *CD-ROM*.

Получено 13.06.2014

References

1. Gazi V., (2004), Formation Control of Mobile Robots using Decentralized Nonlinear Servomechanism, *In: 12'th Mediterranean Conference on Control and Automation*, Kusadasi, pp. 37 – 42 (In English).

2. Fidan F., and Gazi V., (2010), Target Tracking using Adaptive gain Backstepping Control, *In: IFAC Workshop on Adaptation and Learning in Control and Signal Processing*, Antalya, Turkey, pp. 78 – 81 (In English).

3. Duran S., and Gazi V., (2010), Adaptive Formation Control and Target Tracking in a Class of Multi-agent Systems, *In: Proc. American Control Conf.*, Baltimore, MD, (USA), pp. 75 – 80 (In English).

4. Diamond P., Vladimirov I.G., Kurdjukov A.P., and Semyonov A.V., (2001), Anisotropy – Based Performance Analysis of Linear Discrete Time Invariant Control Systems *Int. J. Control*, Vol. 74, pp. 28 – 42 (In English).

5. Vladimirov I.G., Kurdjukov A.P., and Semyonov A.V., (1996), State-Space Solution to Anisotropy-Based Stochastic H_∞ – Optimization Problem, *Proc. 13th IFAC World Congress*, San-Francisco (USA), pp. 427 – 432 (In English).

6. Semyonov A.V., Vladimirov, and Kurdjukov A.P., (1994), Stochastic Approach to H_∞ – Optimization, *Proc. 33rd IEEE Conf. on Decision and Control.*, Florida (USA), pp. 2249 – 2250 (In English).

7. Nikitina T.B. *Mnogokriterialnyiyy sintez robastnogo upravleniya mnogomassovyimi sistemami* [Multicriterion Synthesis of Robust Control by Multimass Sys-

tems], (2013), Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkov, Ukraine, 432 p. (In Russian)

8. Clerc M., (2006), Particle Swarm Optimization, London: *ISTE Ltd*, 244 p. (In English)

9. Gazi V., and Passino K.M., (2011), Swarm Stability and Optimization Springer, 318 p. (In English).

10. Kurdukov A.P., Maximov E.A., and Tchaikovsky M.M., (2006), Computing Anisotropic Optimal Controller for System with Parametric Uncertainty via Homotopy – Based Algorithm, *SicPro'06*, Moscow, Russian Federation, *ICS, – CD-ROM* (In English).

11. Kurdukov A.P., Maximov E.A., and Tchaikovsky M.M., (2006), Homotopy Method for Solving Anisotropy-based stochastic H_∞ – Optimization Problem with Uncertainty, *Proc. 5th IFAC Symposium on Robust Control Design*, Toulouse (France), *CD-ROM* (In English).



Кузнецов
Борис Иванович,
д-р техн. наук, проф., зав. отделом
проблем управления магнитным
полем, института технических про-
блем магнетизма НАН Украины.
E-mail: bikuznetsov@mail.ru



Никитина
Татьяна Борисовна,
д-р техн. наук, доц., зав. каф.
общетехнических дисциплин
Харьковского нац. автомобильно-
дорожного ун-та.
E-mail: tatjana55555@gmail.com



Коломиец
Валерий Витальевич,
канд. техн. наук, доц.,
директор УНППИ УИПА.
E-mail: pr.etfuipa@yandex.ru



Татарченко
Максим Олегович,
аспирант каф. системного анализа
и управления нац. технического
ун-та «ХПИ».
E-mail: maxtat@gmail.com



Хоменко
Виктор Витальевич,
аспирант каф. электроэнергетики
Украинской инженерно-
педагогической академии.
E-mail: vitman_@mail.ru