

Электронный научный журнал "Математическое моделирование, компьютерный и натурный эксперимент в естественных науках" <http://mathmod.esrae.ru/>

URL статьи: mathmod.esrae.ru/41-160

Ссылка для цитирования этой статьи:

Самохин А.С., Самохина М.А. О соревнованиях по глобальной оптимизации траекторий ГТОС I - XI (2005 – 2021) // Математическое моделирование, компьютерный и натурный эксперимент в естественных науках. 2023. №1

УДК 629.785

DOI: 10.24412/2541-9269-2023-1-02-05

О СОРЕВНОВАНИЯХ ПО ГЛОБАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ТРАЕКТОРИЙ ГТОС I - XI (2005 – 2021)

Самохин А.С.¹, Самохина М.А.²

¹ Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова Российской академии наук, Россия, Москва, samokhin@ipu.ru

² Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова Российской академии наук, Россия, Москва, ph@ipu.ru

ABOUT THE GLOBAL TRAJECTORY OPTIMIZATION COMPETITION GTOC I - XI (2005 - 2021)

Samokhin A.S.¹, Samokhina M.A.²

¹ Institute of Control Sciences V.A. Trapeznikov Academy of Sciences, Russia, Moscow, samokhin@ipu.ru

² Institute of Control Sciences V.A. Trapeznikov Academy of Sciences, Russia, Moscow, ph@ipu.ru

Аннотация. Работа посвящена краткому обзору постановок, методов решения и итогов прошедших 11 выпусков соревнований по глобальной оптимизации траекторий ГТОС. Приводятся ссылки на результаты победивших команд.

Ключевые слова: глобальная оптимизация, оптимизация траекторий, ГТОС, соревнования аэрокосмических инженеров.

Abstract. This paper is devoted to a brief review of the formulations, solution methods, and results of the past 11 editions of the GTOC Global Trajectory Optimization Competition. References are given to the results of the winning teams.

Keywords: global optimization, trajectory optimization, GTOC, aerospace engineering competition.

Введение. ГТОС (Global Trajectory Optimization Competition) – это престижные соревнования по глобальной оптимизации траекторий, впервые организованные Дарио Иццо из Команды Передовых Концепций (Advanced Concepts Team) Европейского Космического Агентства (ESA) в 2005 году [1]. Задача для очередного выпуска ГТОС по традиции составляется победителями предыдущих соревнований ГТОС.

Соревнования посвящены построению траекторий перелётов космических аппаратов в задачах исключительной сложности. Обычно у половины команд не получается найти решение, хотя в действительности решений бесконечно много и требуется определить наилучшее возможное по функционалу за ограниченное время. При этом нет ограничений на использование любых ресурсов, методов, в соревнованиях могут принять участие все желающие.

В работе поочередно рассматриваются все 11 состоявшихся на текущий момент соревнований GTOC. Для каждого выпуска кратко приводится постановка задачи, использованные победившими командами методы решения, различные нюансы и описываются лучшие найденные траектории. Задачу каждого выпуска ставит команда, победившая в предшествующих соревнованиях.

О прошедших 11 выпусках. Первые соревнования GTOC состоялись в 2005 году и были посвящены спасению Земли. Задача заключалась в максимизации изменения траектории движения астероида 2001 TW229, угрожающего Земле, при помощи намеренного столкновения с управляемым малой тягой космическим аппаратом. При этом разрешались пертурбационные маневры около Меркурия, Венеры, Земли, Марса, Юпитера, Сатурна. Победила команда JPL из США [2].

Вторые соревнования состоялись в 2006 году. Задача заключалась в посещении 4 астероидов, каждый из которых принадлежит отдельному семейству. Необходимо было максимизировать конечную массу и минимизировать потраченное время. Пертурбационные маневры были запрещены. Победила команда Politecnico di Torino из Италии [3].

Третьи соревнования состоялись в 2007 году и были посвящены последовательному посещению 3 астероидов из заданных 140. Разрешалось использовать пертурбационные манёвры. Функционал поощрял более продолжительное пребывание на астероидах. Победила команда CNES из Франции.

Четвёртые соревнования состоялись в 2009 году и были посвящены пролёту максимально возможного числа околоземных астероидов за 10 лет. Пертурбационные манёвры были запрещены. Победила команда Moscow State University из России, построившая траекторию пролёта 44 астероидов [4].

Пятые соревнования состоялись в 2010 году и были посвящены бомбардировке астероидов пенетраторами в научных целях, требующей двух посещений каждого астероида. Первое посещение с выравниванием скоростей необходимо для доставки к астероиду научного оборудования, второй пролёт нужен для выпуска пенетратора. Победила команда JPL из США [5].

Шестые соревнования состоялись в 2012 году, постановка их задачи была самой сложной на тот момент. Требовалось картографировать 4 спутника Юпитера, совершая десятки пертурбационных маневров около них. Лишь немногим командам удалось представить решение. Победила команда Politecnico di Torino & U. di Roma из Италии [6].

Седьмые соревнования состоялись в 2014 году и были посвящены изучению пояса астероидов. Основной космический аппарат нёс три дрона, которые отделялись, последовательно исследовали несколько астероидов, затем возвращались обратно к основному аппарату. Победила команда JPL из США, которой удалось изучить 36 астероидов.

Восьмые соревнования состоялись в 2015 году и имели необычную постановку. Требовалось провести картографирование радиоисточников при помощи трёх космических аппаратов, основанное на интерферометрии. Победила команда ACT-ISAS, представленная участниками из Европы и Японии [7].

Девятые соревнования состоялись в 2017 году и были посвящены эффекту Кесслера. Требовалось с минимальными затратами очистить космос от 123 объектов космического мусора. Победила команда JPL из США, справившаяся за 10 миссий [8].

Десятые соревнования состоялись в 2019 году и имели футуристичную постановку. Требовалось за 90 миллионов лет заселить в нашей галактике как можно больше звёздных систем из 100 тысяч, отобранных для заселения, как можно более равномерно. Через некоторое время после заселения очередной звёздной системы из неё могут стартовать очередные 3 корабля с колонистами. Победила команда NUDT&XSCC из Китая [9].

Одиннадцатые соревнования состоялись в 2021 году и были посвящены построению части сферы Дайсона для захвата человеческой цивилизацией намного большего количества солнечной энергии, чем нам доступно сегодня. Для строительства одного кольца требовалось доставить как можно ближе к Солнцу как можно больше астероидов. Предполагалось, что события происходят спустя 100 лет от наших дней, в движение астероиды приводились двигателем, перерабатывающим их вещество в топливо. Победила команда TsinghuaLAD&509 из Китая, сумевшая построить кольцо из 388 астероидов [10].

Заключение. Все рассмотренные задачи были нестандартными. Для их решения командами разрабатывались новые методы, а также использовались комбинации известных методов, таких как методы прямой и непрямой оптимизации, принцип максимума Понтрягина, метод ветвей и границ, метод роя частиц, муравьиные алгоритмы, приближение непрерывной задачи дискретным аналогом. Использовались как готовые программные пакеты, так и написанные с нуля программы.

Накопленный опыт внёс очень большой вклад в развитие методов решения таких сложных задач глобальной оптимизации, содержащих бесчисленное число локальных экстремумов, имеющих огромные размерности пространства параметров задачи, нестандартный функционал.

Регистрация на очередные 12-е соревнования открывается в мае 2023-го года, сами соревнования пройдут в июне 2023-го года, к участию приглашаются все желающие [11].

Литература

1. Izzo D. 1st ACT global trajectory optimisation competition: Problem description and summary of the results // *Acta Astronautica*. 2007. V. 61. Iss. 9. P. 731-734. Doi: 10.1016/j.actaastro.2007.03.003.
2. Petropoulos A. E., Kowalkowski T. D., Vavrina M. A., Parcher D. W., Finlayson P. A., Whiffen G. J. and Sims J. A. 1st ACT global trajectory optimisation competition: Results found at the Jet Propulsion Laboratory // *Acta Astronautica*. 2007. V. 61. Iss. 9. P. 806=815. Doi: 10.1016/j.actaastro.2007.03.013.
3. Casalino L., Colasurdo G. and Rosa Sentinella M. Indirect Optimization Method for Low-Thrust Interplanetary Trajectories // 30th International Electric Propulsion Conference. 2007. Florence, Italy.
4. Grigoriev I. S. and Zapletin M. P. Choosing promising sequences of asteroids // *Automation and Remote Control*. 2013. V. 74. Iss. 8. P. 1284-1296. Doi: 10.1134/S0005117913080055.
5. Petropoulos A. E., Bonfiglio E. P., Grebow D. J., Lam T., Parker J. S., Arrieta J., Landau D. F., Anderson R. L., Gustafson E. D., Whiffen G. J., Finlayson P. A. and Sims J. A. GTOC5: Results from the Jet Propulsion Laboratory // *Acta Futura*. 2014. V. 8. P. 21-27. Doi:10.2420/AF08.2014.21.
6. Colasurdo G., Zavoli A., Longo A., Casalino L. and Simeoni F. Tour of Jupiter Galilean moons: Winning solution of GTOC6 // *Acta Astronautica*. 2014. V. 102. P. 190-199. Doi: 10.1016/j.actaastro.2014.06.003.
7. Izzo D., Hennes D., Märten M., Getzner I., Nowak K., Heffernan A., Campagnola S., Yam C. H., Ozaki N. and Sugimoto Y. Gtoc8: results and methods of ESA advanced concepts team and JAXA-ISAS // 26th AAS/AIAA space flight mechanics meeting. 2016.
8. Petropoulos A., Grebow D., Jones D., Lantoine G., Nicholas A., Roa J., Senent J., Stuart J., Arora N., Pavlak T., Lam T., McElrath T., Roncoli R., Garza D., Bradley N., Landau D., Tarzi Z., Laipert F., Bonfiglio E., Wallace M. and Sims J., GTOC9: Results from the Jet Propulsion Laboratory (team JPL) // *Acta futura*. 2018. V. 11. P. 25-35. Doi:10.5281/zenodo.1139152.
9. Luo Y. Z., Shen H. X., Huang A. Y., Zhang T. J., Zhu Y. H., Li Z., Shu P., Sun Z. J., Li J. H., Li Z. Y., Shi J. J., Yan B., Du X. N. and Yang Z. GTOC X: Results and Methods of National University of Defense Technology and Xi'an Satellite Control Center // 2019 AAS/AIAA Astrodynamics Specialist Conference Portland, ME. 2019. Paper AAS 19-899.
10. Zhong Zhang, Nan Zhang, Xiang Guo, Di Wu, Xuan Xie, Jinyuan Li, Jia Yang, Shiyu Chen, Fanghua Jiang, Hexi Baoyin, Haiyang Li, Huixin Zheng, Xiaowen Duan. GTOC 11: Results from Tsinghua University and Shanghai Institute of Satellite Engineering // *Acta Astronautica*. 2023. V. 202. P. 819-828. Doi: 10.1016/j.actaastro.2022.06.028.
11. URL: sophia.estec.esa.int/gtoc_portal.