

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ВЫПУКЛОЙ РЕЛАКСАЦИИ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ МНОЖЕСТВА НАВИГАЦИОННЫХ СПУТНИКОВ¹

Л.Б. Рапопорт, Т.А. Тормагов

Аннотация. Методы выпуклой релаксации применяются для решения невыпуклых задач математического программирования. С помощью этих методов исходная невыпуклая задача погружается в более широкий класс выпуклых оптимизационных задач, допускающих эффективное решение. Таким образом, вместо исходной вычислительно сложной задачи решается выпуклая задача, дающая приближенное решение исходной задачи. В данной работе полуопределенная релаксация применяется к задаче об определении оптимального множества сигналов глобальных навигационных спутниковых систем, выбранных для обработки при решении задачи позиционирования. Необходимость оптимизации множества сигналов связана с большим количеством навигационных спутников, доступных для использования наземными пользователями. Эта бинарная оптимизационная задача трудна для решения в режиме реального времени. Предложены два подхода к сведению исходной задачи к задаче выпуклого программирования, допускающей эффективное решение.

Ключевые слова: спутниковая навигация, полуопределенное программирование, SDP, коническое программирование второго порядка, SOCP.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Yarlagadda R., Ali I., Al-Dhahir N., Hershey J.* GPS GDOP metric // IEE Proceedings: Radar, Sonar and Navigation. – 2000. – Vol. 147, No. 5. – P. 259–263.
2. *Teng, Y., Wang, J.* New characteristics of geometric dilution of precision (GDOP) for multi-GNSS constellations // Journal of Navigation. – 2014. – Vol. 67, No. 6. – P. 1018–1028.
3. *Teng, Y., Wang, J.* A closed-form formula to calculate geometric dilution of precision (GDOP) for multi-GNSS constellations // GPS Solutions. – 2016. – Vol. 20, No. 3. – P. 331–339.
4. *Meng, F., Wang, S., Zhu B.* Research of fast satellite selection algorithm for multi-constellation // Chinese Journal of Electronics. – 2016. – Vol. 25, No. 6. – P. 1172–1178.
5. *Meng, F., Zhu, B., Wang, S.* A new fast satellite selection algorithm for BDS-GPS receivers // IEEE Workshop on Signal Processing Systems, SiPS: Design and Implementation. – 2013. – P. 371–376.
6. *Kong, J.H., Mao, X., Li, S.* BDS/GPS satellite selection algorithm based on polyhedron volumetric method // 2014 IEEE/SICE International Symposium on System Integration, SII 2014. – 2014. – P. 340–345.
7. *Swaszek, P.F., Hartnett, R.J., Seals, K.C., Swaszek, R.M.A.* A temporal algorithm for satellite subset selection in multi-constellation GNSS // Proceedings of the 2017 International Technical Meeting of The Institute of Navigation, ITM 2017. – 2017. – P. 1147–1159.
8. *Wei, J., Ding, A., Li, K., et al.* The satellite selection algorithm of GNSS based on neural network // Lecture Notes in Electrical Engineering. – 2016. – Vol. 388. – P. 115–123.
9. *Liu, M., Fortin, M.A., Landry Jr.R.* A recursive quasi-optimal fast satellite selection method for GNSS receivers // 22nd International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation 2009, ION GNSS 2009. – Vol. 5. – 2009. – P. 3022–3032.
10. *Ma, Z., Yang, L., Jia, X., et al.* Optimal satellite selecting algorithm in GPS / BDS navigation system and its implementation // Lecture Notes in Electrical Engineering. – 2015. – Vol. 340. – P. 117–127.
11. *Поляк Б.Т., Щербачков П.С.* Робастная устойчивость и управление – М.: Наука, 2002. – С. 303. [*Polyak, B.T., Shcherbakov, P.S.* Robastnaya ustoichivost' i upravlenie. – Moscow: Nauka, 2002. – S. 303. (In Russian)]
12. *Boyd, S., Vandenberghe, L.* Convex Optimization. – Cambridge: Cambridge University Press, 2004.

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 18-08-00531).

13. Lobo, M.S., Vandenberghe, L., Boyd, S., Lebret, H. Applications of second-order cone programming // Linear Algebra and Its Applications. – 1998. – Vol. 284, No. 1-3. – P. 193–228.
14. Rapoport, L., Tormagov, T. Using of the SDP relaxation method for optimization of the satellites set chosen for positioning // Proceedings of the 31st International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation, ION GNSS + 2018. – 2018. – P. 3812–3820.
15. Rapoport, L. Usage of SDP Relaxation in Some GNSS Navigation Problems / DEStech Transactions on Computer Science and Engineering. Ptrovac: DEStech Publications, Inc, 2018. 2018 IX International Conference on Optimization and Applications (Optima 2018) (Supplementary Volume). – P. 325–335.
16. Domahidi, A., Chu E., Boyd S. ECOS: An SOCP solver for embedded systems // 2013 European Control Conference, ECC 2013. – 2013. – P. 3071–3076.
17. O'Donoghue, B., Chu, E., Parikh, N., Boyd, S. Conic Optimization via Operator Splitting and Homogeneous Self-Dual Embedding // Journal of Optimization Theory and Applications. – 2016. – Vol. 169, No. 3. – P. 1042–1068.
18. Fujisawa, K., Nakata, K., Yamashita, M., Fukuda, M. SDPA Project: Solving large-scale semidefinite programs // Journal of the Operations Research Society of Japan. – 2007. – Vol. 50, No. 4. – P. 278–298.
19. Borchers, B. CSDP, A C library for semidefinite programming // Optimization Methods and Software. – 1999. – Vol. 11, No. 1. – P. 613–623.

Статья представлена к публикации членом редколлегии Б.В. Павловым.

Поступила 15.04.2019, после доработки 20.05.2019.

Принята к публикации 22.05.2019.

Рапопорт Лев Борисович – д-р физ.-мат. наук, ✉ LBRapoport@gmail.com,

Тормагов Тимофей Алексеевич – ✉ tormagov@phystech.edu,

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, г. Москва; Московский физико-технический институт, г. Долгопрудный.

RELAXATION METHODS FOR NAVIGATION SATELLITES SET OPTIMIZATION

L.B. Rapoport, T.A. Tormagov[#]

V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia;
 Moscow Institute of Physics and Technology (State University), Dolgoprudnyj, Russia
[#]✉ tormagov@phystech.edu

Abstract. Convex relaxation methods are commonly used to solve nonconvex mathematical optimization problems. These methods transform the original nonconvex problem in such a way that effective methods of solving convex optimization problems become applicable. Thus, a convex problem giving the approximate solution of the original task can be solved instead of the original computationally complex problem. Presented is the application of semidefinite relaxation to the task of determining the optimal set of Global navigation satellite systems signals that are selected for processing while solving the positioning problem. The need for signals set optimization is due to large number of navigation satellites accessible for the customers on the ground level. This binary optimization problem is hard to solve in real time. Two approaches are proposed to reduce the initial problem to the convex problem allowing the effective solution.

Keywords: satellite navigation, semidefinite programming, SDP, second-order cone programming, SOCP.