

ОПТИМИЗАЦИОННЫЕ И ТЕОРЕТИКО-ИГРОВЫЕ МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ СТРУКТУРОЙ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

Новиков Д. А.¹, Губко М. В.²
(Институт проблем управления РАН, Москва)

Описываются подходы к постановке и решению задач управления структурой сложных систем различной природы, кратко освещаются актуальные задачи и перспективные направления исследований. Анализируется связь оптимизационных и теоретико-игровых моделей управления структурой сложных систем.

Ключевые слова: управление структурой, комбинаторная оптимизация, мультиагентные системы, теория игр.

1. Введение

Простейшее определение (система – это совокупность элементов и связей между ними) фактически, определяет и понятие структуры системы. Рациональные структуры природных систем являются результатом естественного отбора, в искусственных системах оптимальную структуру стремятся заложить еще при их проектировании.

Основой единого подхода к постановке задач управления структурой технических, информационных, организационных систем является системный анализ, а комбинаторная оптимизация и теория игр дают инструменты для их решения.

Если в прошлом веке исследовались преимущественно системы с иерархической структурой [1, 7, 10, 15], то вызовом исследователям нового тысячелетия является распространение децентрализованных систем с сетевой структурой (коммуникационные сети, социальные сети, сетевые организации и др.), методы оптимизации структуры которых разработаны пока недостаточно (см. [5, 13]).

2. Оптимизация структуры сложных систем

С математической точки зрения любая задача управления структурой системы сводится, в конечном счете, к задаче оптимизации – выбора наилучшей структуры из множества возможных (достижимых структур). Обычно это крайне сложная комбинаторная задача.

В ИПУ РАН задачи оптимизации структуры сложных систем интенсивно исследуются, по крайней мере, с 70-х годов прошлого столетия [14]. В последние годы был получен ряд важных результатов (см. [2, 4, 8, 11]), позволяющих в ряде случаев получить аналитическое решение или разработать эффективные алгоритмы синтеза оптимальных структур.

Разработанные методы активно эксплуатируют свойство локальности («секционности» [2]), часто выполняющееся в прикладных задачах. Если оптимальность каждого элемента зависит только от того, как организована система в «непосредственной близости» (в том или ином смысле) от этого элемента, то и синтез структуры зачастую можно вести последовательно, наилучшим образом выбирая элементы системы и оптимально соединяя их между собой.

С использованием полученных теоретических результатов удалось сформулировать и решить задачи управления структурой в самых разных предметных областях: это и формирование логистических сетей [20], и построение деревьев решений [19], дизайн пользовательских интерфейсов [16], оптимизация топологических индексов молекул органических соединений и др.; были разработаны теоретические и прикладные модели формирования рациональных организационных структур управления [6, 8].

Перспективные исследования связаны в первую очередь с задачами проектирования структуры оптимальных сетей связи [21], в том числе, децентрализованных.

¹ Дмитрий Александрович Новиков, член-корр. РАН (novikov@ipu.ru).

² Михаил Владимирович Губко, к.т.н., с.н.с. (mgoubko@mail.ru).

3. Управление структурой активных систем

В описанных выше постановках задача оптимизации структуры системы решается централизованно, что зачастую сложно реализовать в современных крупномасштабных системах. Однако локальность критерия оптимизации позволяет свести управление структурой к задаче распределенной оптимизации – набору взаимосвязанных локальных оптимизационных задач выбора структуры, решаемых в отдельных узлах системы.

Такие задачи находят свое решение в рамках парадигмы мультиагентных систем (МАС) [26, 27]. Предметом современных исследований являются эффективные с той или иной точки зрения протоколы взаимодействия оптимизирующих агентов, и перспективным считается, в частности, применение аппарата и результатов теории игр (в т.ч. теории сетевых игр [6, 9, 22], игр маршрутизации [24, 25] и рефлексивных игр [9, 12]) для описания правил принятия решений активными агентами, демонстрирующими стратегическое поведение.

Одной из современных тенденций и теории мультиагентных систем, и теории игр, и искусственного интеллекта является стремление к их интеграции. При этом теория игр (в рамках так называемой алгоритмической теории игр [16]) движется «сверху вниз» – от единого описания игры к его децентрализации и исследованию возможности автономной реализации механизмов поведения и реализации равновесий. А теория МАС двигаясь «снизу вверх», то есть параллельным, но в силу локализации научных сообществ – не совпадающим путем, стремится все больше учитывать стратегическое поведение.

Применение теории игр для решения задач распределенной оптимизации является некоторым промежуточным случаем между классическими задачами оптимизации (см., например, обзоры в [16, 17]) и задачами формирования структуры активных систем, каждый элемент которых обладает собственными интересами (в рамках теории иерархических игр последовательность ходов игроков соответствует их положению в оргструктуре [11]).

В последних структура системы формируется в результате действий целенаправленных агентов (будь то пользователи социальной сети, сотрудники компании или интеллектуальные программные агенты). Эффект самоорганизации проявляется в том, что в результате сложных горизонтальных (сетевых) взаимодействий агентов их поведение становится скоординированным и может рассматриваться (см. [3]) как стремление к максимизации общего критерия, составленного на основе их индивидуальных критериев (здесь снова возникает локальность критерия оптимизации!).

Задача управления структурой сводится к выбору того или иного (институционального, мотивационного, информационного и т.д. [22]) способа воздействия на агентов. При этом возможности эффективного управления формированием структуры активной системы существенно зависят от степени рассогласования интересов управляющего субъекта и самоорганизующейся управляемой системы – чем расхождение меньше, тем больше субъект имеет возможностей для применения «мягких» методов управления (мотивационного, информационного).

Литература

1. БУРКОВ В.Н., КОНДРАТЬЕВ В.В. *Механизмы функционирования организационных систем.* – М.: Наука, 1981.
2. ВОРОНИН А.А., МИШИН С.П. *Оптимальные иерархические структуры.* – М.: ИПУ РАН, 2003.
3. ГУБКО М.В. *Управление организационными системами с коалиционным взаимодействием участников.* – М.: ИПУ РАН, 2003.
4. ГУБКО М.В. *Математические модели оптимизации иерархических структур.* – М.: ЛЕНАНД, 2006.
5. ГУБКО М.В., КОРГИН Н.А., НОВИКОВ Д.А. *Классификация моделей анализа и синтеза организационных структур // Управление большими системами.* 2004. № 6. С. 5-21.
6. ГУБКО М.В. *Управление организационными системами с сетевым взаимодействием агентов. Часть 1. Обзор теории сетевых игр // Автоматика и телемеханика.* №8. 2004. С. 115-132.
7. МЕСАРОВИЧ М., МАКО Д., ТАКАХАРА И. *Теория иерархических многоуровневых систем.* – М.: Мир, 1973.

8. МИШИН С.П. *Оптимальные иерархии управления в экономических системах*. – М.: ПМСОФТ, 2004.
9. НОВИКОВ Д.А. *Игры и сети // Математическая теория игр и ее приложения*. 2010. Том. 2. Выпуск. 1. С. 107-124.
10. НОВИКОВ Д.А. *Механизмы функционирования многоуровневых организационных систем*. – М.: «Фонд «Проблемы управления», 1999.
11. НОВИКОВ Д.А. *Сетевые структуры и организационные системы*. – М.: ИПУ РАН, 2003.
12. НОВИКОВ Д.А., ЧХАРТИШВИЛИ А.Г. *Рефлексия и управление: математические модели*. – М.: Издательство физико-математической литературы, 2013.
13. *Сетевые модели в управлении* / [Под ред. Д.А. Новикова, О.П. Кузнецова, М.В. Губко]. – М.: Эгвес, 2011.
14. ЦВИРКУН А.Д. *Структура сложных систем*. – М.: Радио и связь, 1975.
15. ЦВИРКУН А.Д. *Основы синтеза структуры сложных систем*. – М.: Наука, 1982.
16. *Algorithmic Game Theory* (ed. Nisan N., Roughgarden T., Tardos E., and Vazirani V.). – New York: Cambridge University Press, 2009.
17. BOYD S., PARIKH N., CHU E. et al. Distributed Optimization and Statistical Learning via the Alternating Direction Method of Multipliers // *Foundations and Trends in Machine Learning*. 2011. No 3(1). P. 1-122.
18. DANILENKO A.I., GOUBKO M.V. *Semantic-aware optimization of user interface menus // Automation and Remote Control*, August 2013, Volume 74, Issue 8, P. 1399-1411.
19. GOUBKO M.V. *Lower-bound Estimate for Cost-sensitive Decision Trees // Preprints of the 18th IFAC World Congress, Milano (Italy), August 28 - September 2, 2011*. P. 9005-9010.
20. GOUBKO M. *Model of supply network formation management / Collected abstracts of papers presented on the Sixth International Conference Game theory and Management*. SPb.: Graduate School of Management SPbU. 2012. P. 91-92.
21. GOUBKO M. V. *On Communication Network Topology Problem with Node Costs // Abstracts of 26th European Conference on Operational Research, July 1-4, 2013, Rome, Italy*. P. 14.
22. JACKSON M. *Social and Economic Networks*. – Princeton: Princeton University Press, 2008.
23. NOVIKOV D. *Theory of Control in Organizations*. – New York: Nova Science Publishers, 2013.
24. PAPADIMITRIOU C.H., KOUTSOPIAS E. *Worst-Case Equilibria, Lecture Notes in Computer Sciences*. 1999. № 1563. P. 404–413.
25. ROUGHGARDEN T. *Selfish Routing and the Price of Anarchy*. – MIT Press, 2005.
26. SHOHAM Y., LEYTON-BROWN K. *Multiagent systems: Algorithmic, Game-Theoretical and Logical Foundations*. Cambridge: Cambridge University Press, 2009.
27. WOOLDRIDGE M. *An Introduction to MultiAgent Systems*. – New York: John Wiley & Sons, 2002.