

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ МЕТОДА ДИХОТОМИЧЕСКОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ НА ПРИМЕРЕ ПЛАНИРОВАНИЯ СЕРВИСНЫХ УЛУЧШЕНИЙ

А.Д. Байдалин, К.А. Есликовский, И.Р. Загидулин, А.Ф. Лейман, В.В. Зимин

E-mail: zimin.0169@yandex.ru

Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк, Россия

Аннотация. На основе компьютерного моделирования получены оценки эффективности (точности) и производительности (быстродействия) метода дихотомического программирования при решении линейной задачи формирования плана сервисных улучшений с двумя ограничениями. Процедура решения задачи опирается на особенность исходных данных задачи, позволяющую применить метод дихотомического программирования.

Ключевые слова: метод, дихотомическое программирование, эффективность, производительность, компьютерное моделирование

EFFICIENCY AND PRODUCTIVITY STUDY OF THE DICHOTOMOUS PROGRAMMING METHOD ON THE EXAMPLE OF SERVICE IMPROVEMENTS PLANNING

A.D. Baidalin, K.A. Eslikovskii, I.R. Zagidulin, A.F. Leiman, V.V. Zimin

E-mail: zimin.0169@yandex.ru

Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russia

Abstract. Based on computer modeling, estimates of the effectiveness (accuracy) and performance (speed) of the dichotomous programming method were obtained when solving the linear problem of forming a service improvement plan with two constraints. The procedure for solving the problem is based on peculiarity of the initial data of the problem, which makes it possible to apply the method of dichotomous programming.

Keywords: method, dichotomous programming, efficiency, productivity, computer modeling

Введение

Метод дихотомического программирования (МДП) – частный случай метода сетевого программирования, разработанного для решения сложных задач дискретной оптимизации [1, 2]. В основе этого метода лежат теоремы академиков В.И. Арнольда и А.Н. Колмогорова о представимости любой непрерывной функции в виде суперпозиции функций меньшего числа переменных. Каждое из таких представлений называется сетевым представлением функции. Условием применения МДП является структурно-подобное (в виде ветвей дерева) сетевое представление функций, описывающих критерии и ограничения задач. Метод, используя структурное подобие функций, сводит решение сложной

задачи к последовательному выполнению ограниченного числа оценочных задач меньшей размерности, реализуя механизм последовательной композиции решений подзадач. Оптимальное значение критерия для последней подзадачи является верхней или нижней границами для глобального оптимума исходной задачи максимизации или минимизации.

Метод дихотомического программирования не гарантирует нахождение глобального оптимума, но обладает более высокой производительностью, чем полный перебор возможных решений (за счет исключения из рассмотрения решений, доминируемых другими решениями). Представляет интерес исследование, которое позволит получить количественные оценки по-

терь МДП в эффективности его оптимального решения по сравнению с глобальным оптимумом и насколько выигрывает метод в производительности по сравнению с методом полного перебора решений.

Оценки эффективности и производительности МДП получены методом компьютерного моделирования на примере решения этим методом задачи формирования плана сервисных улучшений ИТ-провайдера.

Содержательная постановка задачи формирования плана сервисных улучшений

Динамичная рыночная среда и интенсивное развитие информационных технологий не оставляют выбора ИТ-провайдерам. Они вынуждены непрерывно улучшать свою деятельность. В основе непрерывного улучшения деятельности лежат следующие принципы, сформированные посредством обобщения лучших практик:

- понимание бизнес-стратегии клиента и отражение этой стратегии в изменении бизнес-процессов;

- приведение бизнес-стратегии клиента в соответствие со стратегией и целями ИТ-провайдера, которое выражается изменением сервисов и ИТ-процессов;

- оценка рыночной зрелости сервисов и процессов ИТ-провайдера путем сравнения состояния финансов, организационной структуры, квалификации персонала, качества процессов и технологий с соответствующими достижениями рыночной среды;

- выявление приоритетов инициируемых оптимизационных проектов, основанное на владении стратегиями клиента и ИТ-провайдера;

- определение метрик и процедур их измерения для оценки качества сервисов и ИТ-процессов в соответствии с бизнес-потребностями;

- поддержка убежденности у персонала ИТ-провайдера, что эффективная ИТ-деятельность в рыночных условиях возможна, если инициация и реализация оптимизационных изменений станут неотъемлемой частью этой деятельности.

Эти принципы применяют для обнаружения и устранения проблем в функционировании ИТ-сервисов и процессов. Инициаторами проектов по улучшению ИТ-сервисов и процессов выступают как персонал стадии непрерывных улучшений, для которой эта функция является ключевой обязанностью, так и любой ИТ-специалист других стадий жизненного цикла сервиса. Каждое предложение по улучшению проходит несколько этапов обработки (фильтров). В частности, проводят оценку изменений

показателей эффективности улучшаемых ИТ-процессов и степени влияния этих изменений на улучшение комплексных показателей эффективности процессов. Оценивают изменения операционных затрат на функционирование улучшаемого ИТ-процесса и других. Не каждый проект изменяет операционные затраты. В конечном итоге принимают решение по реализации или отклонению проектного предложения. Все принятые предложения попадают в портфель проектов сервисных улучшений. С учетом выделенных инвестиций на очередной плановый период, служба сервисных улучшений планирует реализацию наиболее эффективных проектов (формирует текущий план сервисных улучшений).

Формализация задачи формирования оптимального плана сервисных улучшений

Пусть $P = \{p_i | i = \overline{1, m}\}$ и $\{z(p_i), i = \overline{1, m}\}$ – множество проектов, инициированных персоналом различных стадий жизненного цикла ИТ-сервиса с целью включения в план сервисных улучшений и затрат для реализации этих проектов (здесь p_i – отдельный проект; i – номер проекта; m – количество проектов; $z(p_i)$ – объем инвестиций в проект p_i).

Эффективность $q_i = q(p_i)$ отдельного проекта p_i с точки зрения его вклада в эффективность жизненного цикла в целом определяется (с применением механизма комплексного оценивания) изменениями значений $\Delta \mu_{kl}^n(p_i)$ показателей эффективности процессов стадий жизненного цикла сервиса, которые необходимо достичь в результате реализации проекта [3] (здесь $n = \overline{1, N_{kl}}$; $l = \overline{1, L_k}$; $k = \overline{1, K}$; N_{kl} – количество показателей эффективности, описывающих процесс l стадии k ; L_k – количество процессов на k -ой стадии; K – количество стадий жизненного цикла).

Задав весовые коэффициенты $\alpha_{kl}^n(p_i), \sum_{n=1}^{N_{kl}} \alpha_{kl}^n = 1$

для показателей эффективности ИТ-процессов всех стадий, весовые коэффициенты $\beta_{kl}(p_i), \sum_{l=1}^{L_k} \beta_{kl} = 1$

значимости ИТ-процессов для каждой стадии, весовые коэффициенты $\gamma_k(p_i), \sum_{k=1}^K \gamma_k(p_i) = 1$ значимости

стадий для жизненного цикла. При преобразовании шкал измерения локальных показателей $\mu_{kl}^n(p_i)$ к единой дискретной балльной шкале заданного ранга R определим эффективность $q_i = q(p_i)$ отдельного проекта (p_i) для жизненного цикла следующим образом:

$$q(p_i) = \sum_{k=1}^K \gamma_k(p_i) \sum_{l=1}^{L_k} \beta_{kl}(p_i) \sum_{n=1}^{N_{kl}} \alpha_{kl}^n(p_i) \Delta \mu_{kl}^n(p_i). \quad (1)$$

Обозначим через Δz_{ikl} изменение операционных затрат на функционирование процесса l стадии k , связанных с реализацией проекта p_i . Тогда общее изменение Δz_i эксплуатационных затрат, связанное с реализацией i -го проекта, будет

$$\Delta z_i = \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^{L_k} \Delta z_{ikl}. \quad (2)$$

Пусть $\Delta z^* > 0$ – изменение операционного бюджета, которое допустимо для поставщика ИТ-услуг в очередном плановом периоде. Пусть также z^* – инвестиции, которые могут быть направлены на реализацию оптимизационных проектов в этом периоде.

Для формализации задачи введем переменную $x_i = 1$, если проект p_i включается в план сервисных улучшений $x_i = 0$ в противном случае. Тогда математическая постановка рассматриваемой задачи формирования плана сервисных улучшений принимает вид:

$$q(x) = \sum_{i=1}^m q(p_i) x_i \rightarrow \max; \quad (3)$$

$$z(x) = \sum_{i=1}^m z(p_i) x_i \leq z^*; \quad (4)$$

$$\Delta z(x) = \sum_{i=1}^m \Delta z_i x_i \leq \Delta z^*. \quad (5)$$

Задача состоит в определении $x_i, i = \overline{1, m}$, доставляющих максимум критерию (3) и при этом удовлетворяющих ограничениям (4) и (5), влияющих на общий объем инвестиций и на допустимое изменение операционного бюджета в планируемом периоде [4].

Процедура решения задачи

Два ограничения не позволяют непосредственно применить метод дихотомического программирования для решения задачи (3) – (5). Однако если среди инициированных проектов $\{p_i | i = \overline{1, m}\}$ имеются подмножество таких, которые не изменяют операционные расходы совершенствуемых ИТ-процессов, то исходную задачу можно свести к трем последовательно реша-

емым задачам о ранце. Выполним разбиение множества $P = \{p_i | i = \overline{1, m}\}$ проектов на два подмножества:

$$\begin{aligned} \{p_i | i = \overline{1, m}\} &= \{p_i | i = \overline{1, m^1}\} \cup \{p_i | i = \overline{1, m^2}\}; \\ m &= m^1 + m^2, \end{aligned} \quad (6)$$

где m^1 и m^2 – количество проектов, изменяющих и не изменяющих операционные расходы процессов.

Тогда решение задачи (3) – (5) сводится к последовательному решению следующих задач:

Построение зависимости $\{q^1(x), \Delta z^1(x)\}$ эффективности и изменения операционных расходов для проектов подмножества $\{p_i | i = \overline{1, m^1}\}$. Для этого необходимо решить задачу:

$$q^1(x) = \sum_{i=1}^{m^1} q(p_i) x_i \rightarrow \max; \quad (7)$$

$$\Delta z^1(x) = \sum_{i=1}^{m^1} \Delta z_i x_i \leq \Delta z^*. \quad (8)$$

Задача (7), (8) – типовая задача о ранце, которая может быть решена методом дихотомического программирования. Пусть $\{x^1\} = \{(x_1, x_2, \dots, x_{m^1})\}$ – множество решений этой задачи; $\{(q^1(x^1), \Delta z^1(x^1))\}$ – соответствующие решениям пары значений критерия (7), ограничения (8).

Построение зависимости $\{q^2(x), z^2(x)\}$ эффективности и изменения инвестиционных расходов для подмножества проектов, которые не изменяют операционные расходы. Для этого нужно решить задачу:

$$q^2(x) = \sum_{i=1}^{m^2} q(p_i) x_i \rightarrow \max; \quad (9)$$

$$z^2(x) = \sum_{i=1}^{m^2} z(p_i) x_i \leq z^*. \quad (10)$$

Это так же типовая задача о ранце. Пусть $\{x^2\} = \{(x_1, x_2, \dots, x_{m^2})\}$ – множество решений задачи (9), (10), а $\{(q^2(x^2), z^2(x^2))\}$ – соответствующие решениям пары значений критерия (9), ограничения (10).

Исходные данные для решения задачи (3) – (5)

p_i	p_1	p_2	p_3	p_4	p_5	p_6	p_7	p_8	p_9
$q(p_i)$	0,148	0,096	0,105	0,106	1,050	0,192	0,204	1,744	1,652
$\Delta z(p_i)$	5	2	-1	3	-2	0	0	0	0
$z(p_i)$	14	16	19	9	8	10	13	21	7

Формирование множества $\{x\} = \{(x_1, x_2, \dots, x_m)\}$, как произведения множеств $\{x^1\} = \{(x_1, x_2, \dots, x_{m_1})\}$ и $\{x^2\} = \{(x_1, x_2, \dots, x_{m_2})\}$ решений, соответственно, задач (7), (8) и (9), (10):

$$\{x\} = \prod_{n=1}^2 x^n. \quad (11)$$

Поиск на множестве (11) оптимального решения задачи:

$$q(x) = (q^1(x^1) + q^2(x^2)) \rightarrow \max; \quad (12)$$

$$z(x) = z^1(x^1) + z^2(x^2) \leq z^*. \quad (13)$$

Задача (12), (13) – также типовая задача о ранце.

Для исследования эффективности и производительности метода дихотомического программирования был разработан специализированный программный комплекс, который реализует два режима реализации задач 1 – 4: с использованием метода дихотомического программирования и с применением метода полного перебора допустимых решений соответствующих подзадач [5].

Результаты исследования

В табл. 1 приведены исходные данные для решения задачи (3) – (5). Они включают девять проектов, из которых первые пять проектов изменяют операционные расходы совершенствуемых ИТ-процессов, а последние четыре – не изменяют.

В табл. 2 приведены результаты 28 решений задачи (3) – (5) с использованием метода дихотомического программирования для различных комбинаций значений инвестиционных z^* и операционных Δz^* расходов. В верхней строке каждой ячейки приведено найденное оптимальное значение критерия $q(x)$, а в нижней строке – отношение числа вариантов решений, обработанных методом при поиске оптимума к общему числу 2^m вариантов решений задачи в процентах (для рассматриваемого примера мощность множества всех альтернатив равно $2^9=512$)).

Заметим, что предложенная процедура решения задачи (3) – (5) во всех случаях обрабатывает не более 11 % от общего числа альтернатив.

В табл. 3 приведены результаты 28 решений задачи (3) – (5) с помощью процедуры 1 – 4, на каждом шаге которой выполняется перебор всех допустимых (удовлетворяющих ограничениям) решений. В нижней строке каждой ячейки табл. 3 приведено отношение числа вариантов решений, обработанных методом перебора при

Результаты решения задачи (3) – (5) с использованием метода дихотомического программирования

Δz^*	z^*						
	30	45	60	75	90	105	117
2	3,396	3,60	4,551	4,849	5,053	5,053	5,053
	3,900	5,47	6,250	6,250	6,250	6,250	6,250
4	3,396	3,60	4,551	4,849	5,053	5,149	5,149
	4,880	6,83	7,800	7,800	7,800	7,800	7,800
6	3,396	3,60	4,551	4,849	5,053	5,149	5,149
	4,880	6,83	7,800	7,800	7,800	7,800	7,800
8	3,396	3,60	4,551	4,849	5,053	5,201	5,201
	6,830	9,57	10,930	10,930	10,930	10,930	10,930

Результаты решения задачи (3) – (5) методом перебора допустимых решений

Δz^*	z^*						
	30	45	60	75	90	105	117
2	3,396	4,446	4,840	4,938	5,053	5,053	5,053
	19,530	29,300	31,250	31,250	31,250	31,250	31,250
4	3,396	4,552	4,842	4,948	5,053	5,149	5,149
	27,340	41,020	43,750	43,750	43,750	43,750	43,750
6	3,396	4,552	4,842	4,990	5,053	5,149	5,149
	39,060	58,590	62,500	62,500	62,500	62,500	62,500
8	3,396	4,552	4,842	4,990	5,096	5,201	5,201
	54,690	82,030	87,500	87,500	87,500	87,500	87,500

поиске оптимума к общему числу 2^m вариантов решений задачи.

Заметим, что процедура перебора всех допустимых решений задачи (3) – (5) обрабатывает до 88 % от общего числа альтернатив.

Анализ эффективности процедуры дихотомического программирования

Для оценки снижения эффективности решения задачи методом дихотомического программирования в сравнении с полным перебором допустимых решений сформируем табл. 4 на основе данных из табл. 3 и 2. Каждый элемент из табл. 4 равен отношению разности значений критериев (для соответствующих комбинаций z^* и Δz^*), полученных при решении задачи методом перебора и методом дихотомического программирования, выраженному в процентах:

$$\Delta q(x|z^*, \Delta z^*) = \frac{q^{pp}(x|z^*, \Delta z^*) - q^{dp}(x|z^*, \Delta z^*)}{q^{pp}(x|z^*, \Delta z^*)} 100. \quad (14)$$

Анализ производительности процедуры дихотомического программирования

Для оценки производительности метода дихотомического программирования в сравнении с методом полного перебора допустимых решений сформируем табл. 5 на основе данных табл. 3 и 2. Каждый элемент табл. 5 равен отношению количества решений, обработанных при решении задачи методом перебора допустимых решений к количеству решений, обрабатываемых методом дихотомического программирования для соответствующих значений z^* и Δz^* .

Это отношение показывает во сколько раз производительность метода дихотомического программирования превосходит производительность метода полного перебора допустимых решений для соответствующей комбинации значений z^* и Δz^* .

Выводы

Результаты компьютерного моделирования показали, что в 15 из 28 экспериментов (53,6 %)

Т а б л и ц а 4

Оценка $\Delta q(x)$ потери эффективности метода дихотомического программирования в сравнении с методом перебора допустимых решений

Δz^*	z^*						
	30	45	60	75	90	105	117
2	0	19,02	5,97	1,80	0	0	0
4	0	20,91	6,00	2,00	0	0	0
6	0	20,91	6,00	2,82	0	0	0
8	0	20,91	6,00	2,82	0,84	0	0

Оценка $k(x|z^*, \Delta z)$ выигрыша в производительности метода дихотомического программирования в сравнении с методом перебора допустимых решений

Δz^*	z^*						
	30	45	60	75	90	105	117
2	5,00	5,36	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
4	5,60	6,00	5,61	5,61	5,61	5,61	5,61
6	8,00	8,58	8,01	8,01	8,01	8,01	8,01
8	8,00	8,57	8,00	8,01	8,01	8,01	8,01

метод дихотомического программирования обеспечивает глобальный оптимум, средние потери эффективности метода в сравнении с глобальным оптимумом составляют 3,93 %, максимальное значение потери эффективности – 20,91 %. В то же время метод дихотомического программирования превосходит по производительности метод перебора допустимых решений в 5 – 8 раз (в среднем в 6,72 раза).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бурков В.Н., Буркова И.В. Теория сетевого программирования и ее применение для формирования портфеля проектов. – В кн.: XII Всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ – 2014, 16 – 19 июля 2014 г. – М.: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2014. С. 5265 – 5275.
2. Баркалов С.А., Бурков В.Н., Перевалова О.С., Аверина Т.А. Механизмы принятия решений в цифровой экономике. – В кн.: Труды III Всероссийской с международным участием научно-практической конференции. Тенденции развития интернета и цифровой экономики, Симферополь-Алушта, 4 – 6 июня 2020 г. – Симферополь-Алушта: ИП Зуева Т.В., 2020. С. 12 – 16.
3. Бурков В.Н., Щепкин А.В., Амелина К.Е. [и др.]. Комплексный механизм управления развитием организации // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. 2019. Т. 19. № 3. С. 79 – 93.
4. Зимин А.В., Буркова И.В., Зимин В.В. Модели и механизмы управления эффективностью ИТ-процессов // Системы управления и информационные технологии. 2019. № 4 (78). С. 37 – 41.
5. Св. о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020618300. Программный комплекс для формирования плана оптимизации ИТ-процессов / А.В. Зимин; заявл. 13.07.2020; дата государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ 22.07.2020.

© 2021 г. А.Д. Байдалин, К.А. Есликовский,
И.Р. Загидулин, А.Ф. Лейман, В.В. Зимин
Поступила 13 мая 2021 г.