

## Алгоритмизация решения задачи составления комплексной услуги с учетом эмоциональных предпочтений клиентов на основе модификации метода ветвей и границ

*Д.Р. Богданова*

*Уфимский университет науки и технологий*

**Аннотация:** В статье рассматривается вопрос учета эмоциональных предпочтений клиентов в процессе составления комплексной услуги для повышения удовлетворённости клиентов. Решается задача формирования оптимального набора услуг, с учетом эмоциональных предпочтений клиента и экономически ограничений в виде бюджета клиента. Предложены модификации к методу ветвей и границ, сокращающие количество вычислений. Разработан алгоритм решения задачи и приведены результаты численного эксперимента, показавшие, что разработанный алгоритм имеет в основном экспоненциальное увеличение времени выполнения в зависимости от количества услуг. Преимуществом данного метода является значительное сокращение времени работы, в отличие от полного перебора, а также простота реализации.

**Ключевые слова:** формирования оптимального набора услуг, учет эмоциональных предпочтений, метод ветвей и границ.

### Введение

Сегодня на рынке услуг активно применяется ориентированный на клиента маркетинг, именно поэтому компании активно пытаются добавить эмоциональный аспект клиента в свою работу. Эмоциональный маркетинг позволяет повлиять на потребителя, так как от мнения социума зависит выбор продукта. Поэтому, при построении набора оказываемых услуг, следует учитывать эмоциональную окраску услуги для конкретного клиента. Это позволит повысить спрос и удовлетворенность клиента [1-3].

В данной статье рассматривается вопрос повышения удовлетворенности клиентов за счет учета их эмоций при нахождения комплексной услуги, а также полезности услуги и бюджета клиента, как экономического ограничения.

### Содержательная постановка задачи

Стоит задача формирования оптимального набора услуг, который позволял бы сформировать комплексную услугу для клиента. Имеется

следующая информация: список услуг, оказываемых в организации; набор обязательных и дополнительных услуг; протоколы оказания услуг, в которых содержится список обязательных услуг с их возможными альтернативами и список возможных дополнительных услуг; матрица, содержащая соответствие услуги и ее альтернативы [4].

Необходимо учитывать эмоциональные предпочтения клиента – чувства, которые вызывает та или иная услуга. С точки зрения психологии и маркетинга, на выбор того или иного продукта в основном влияют пять эмоций: радость, удовольствие, равнодушие, дискомфорт, раздражение. Поэтому при решении задачи будем рассматривать пять классов эмоций. Каждая эмоция будет выступать в качестве повышающего или понижающего коэффициента для параметра полезности услуг [5].

Также необходимо при решении учитывать: полезность той или иной услуги – характеристика, которая оценена экспертами, и дает представление о том, как влияет та или иная услуга на целевое состояние клиента. Ограничением накладывается на бюджет клиента – та сумма, которую клиент готов заплатить за оказанный набор услуг. В комплексную услугу должны входить каждая обязательная услуга из альтернативных и возможные дополнительные услуги не более одного раза каждая. Множества обязательных и дополнительных услуг не должны пересекаться. В комплексную услугу должны входить все обязательные услуги в соответствии с целевым состоянием клиента и протоколом оказания услуг. Найденное решение должно иметь максимальное значение по полезности и эмоциональному предпочтению. Найденное решение не должно выходить за рамки бюджета клиента.

Сформированная задача является задачей поиска оптимального набора услуг для конкретного клиента в зависимости от бюджета, его эмоциональных предпочтений и полезности услуги для целевого состояния клиента. Поэтому

---

данную задачу можно отнести к классу задач о рюкзаке. Задачу о рюкзаке можно решить несколькими способами: методом динамического программирования, методом полного перебора; жадным алгоритмом; методом ветвей и границ. В [6-8] рассматриваются вопросы разработки и анализа алгоритмов оптимизации ресурсов организации и приводятся преимущества применения разного типа алгоритмов. В [9-10] приводится специфика применения разных методов решения задачи размещения. На основе анализа разнообразия алгоритмов решения, для реализации был выбран метод ветвей и границ.

### Математическая постановка задачи с учетом выбранного метода решения

Дано:  $A$  – список оказываемых услуг.  $A = \{1, 2, \dots, L\}$  – номера типовых услуг оказываемых в организации;  $P$  – множество протоколов услуг в организации.  $p = \overline{1, P}$ . Каждое целевое состояние  $p$  определяет протокол оказания услуг, содержащий информацию об обязательных услугах, их альтернатив и возможных дополнительных услуг;  $q_l$  – стоимость услуги  $l$ , оказываемой в организации;  $A_p^o = \{a_1^o, \dots, a_{m_p}^o\}$  – множество обязательных услуг из протокола оказания услуг для целевого состояния  $p$ , где  $a_i^o \in \{1, \dots, L\}$ ,  $m_p$  – количество обязательных услуг для целевого состояния  $p$ ;  $A_p^d = \{a_1^d, \dots, a_{n_p}^d\}$  – множество возможных дополнительных услуг из протокола оказания услуг для целевого состояния  $p$ , где  $a_i^d \in \{1 \dots L\}$ ,  $n_p$  – количество дополнительных услуг для целевого состояния  $p$ .  $A_p^o \cap A_p^d = \emptyset$ .

Даны матрицы  $A(p) = (a_{ij}^p), i = \overline{1, L}, j = \overline{1, L}$ , однозначно определяющие протоколы оказания услуг для множества целевых состояний  $P$ , где  $a_{ij}^p \in \{0, 1\}, i = \overline{1, L}, j = \overline{1, L}$ , 1 – если услуга входит в протокол оказания услуг и 0 в обратном случае. Каждый столбец/строка  $i = \overline{1, L}$  формирует

множество альтернативных услуг для услуги  $i$ . Данная матрица симметрична относительно главной диагонали, поскольку, если услуга  $a_i^p$  есть альтернатива услуги  $a_i^p$ , то и  $a_i^p$  альтернативна  $a_i^p$ . На главной диагонали данной матрицы стоят 1, т. к. услуга альтернативна самой себе.

Далее,  $C_l^p$  – полезность услуги  $l$  для целевого состояния  $p$ . В качестве коэффициента будем рассматривать экспертную оценку  $[0;10]$ .

Пусть  $E^k = \{e_1^k, \dots, e_L^k\}$  – эмоциональные предпочтения клиента  $k$  относительно каждой услуги из протокола оказания услуг для целевого состояния  $p_k$ , дополненный 0 для типовых услуг, не входящих в протокол.  $e_i^k = \{0; 0,5; 0,75; 1; 1,25; 1,5\}$ , где 0 – если услуга не входит в протокол оказания услуг для целевого состояния  $p_k$ ; 0,5 – «Раздражение»; 0,75 – «Дискомфорт»; 1 – «Равнодушие»; 1,25 – «Удовольствие»; 1,5 – «Радость».

$A(p_k)$ - матрица, задающая протокол оказания услуг для клиента  $k$  с целевым состоянием  $p_k$ ,  $Q_k$  – бюджет клиента.

Необходимо составить комплексную услугу клиенту  $k$  с целевым состоянием клиента  $p_k$ , то есть найти комплексную услугу для клиента в виде вектора  $X^k = (x_i^k), i = \overline{1, L}, x_i = \{0,1\}$ , 1- если типовая услуга входит в комплексную услугу, и 0 в противном случае;

$$\text{Целевая функция: } \sum_{i=1}^L C_i^{p_k} e_i^k x_i^k \rightarrow \max \quad (1)$$

$$\text{Ограничения: } 1. \sum_{j=1}^L x_j^k a_{ij}^{p_k} = 1, i \in A_{p_k}^o \quad (2)$$

$$2. \sum_{j=1}^L x_j^k a_{ij}^{p_k} \leq 1, i \in A_{p_k}^d \quad (3)$$

$$x_j^k = 0, j \in A / (A_{p_k}^o \cup A_{p_k}^d) \quad (4)$$

$$3. \sum_{i=1}^L x_i^k q_i \leq Q_k \quad (5)$$

### Предлагаемый алгоритм решения поставленной задачи

Рациональнее всего использовать метод ветвей и границ для решения рассматриваемой задачи, но поскольку прямое применение данного метода

не целесообразно, необходимо выполнить небольшую модификацию, а именно - исключать наборы услуг после вычисления суммы затрат на набор обязательных услуг, до того, как будут добавлены дополнительные услуги.

Для решения поставленной задачи в методе ветвей и границ будем использовать следующую структуру дерева (рис.1).

Лист обладает следующими параметрами:

Вектор  $x$ , которому соответствует решение, если  $x_i = 1$ , то услуга под этим номером входит в решение, если  $x_i = 0$ , то услуга не входит в набор решений на данном шаге.

$Q_i$  – стоимость услуг, которые находятся в векторе  $x$ .

$\Delta P$  – сумма произведения полезности на эмоциональное предпочтение клиента для каждой услуги  $x_i$ .  $\Delta P = \sum_{i=1}^L C_i^{p_k} e_i^k x_i^k$  . (6)

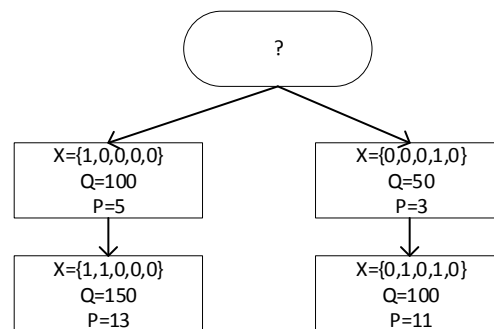


Рис. 1. Структура дерева

Таким образом, построение дерева происходит следующим образом:

1. Выбирается значение из  $A_{p_k}^o$  ( $A_{p_k}^o(i)$ ).

Если  $A_{p_k}^o$  содержит еще не рассмотренные значения, то добавляем лист в дерево решений, иначе переходим к шагу 5.

2. В векторе  $x$  меняем значение:  $x(A_{p_k}^o(i)) = 1$ . Вычисляем стоимость решения с новым вектором  $x$ :  $\Delta Q = \sum_{i=1}^L Q_i x_i^k$ .

Если  $\Delta Q > Q_k$ , то удаляем лист из дерева и в дальнейшем эту ветвь не рассматриваем, иначе вычисляем  $\Delta P$ .

3. Если получившиеся значения  $\Delta Q$  меньше, а  $\Delta P$  больше других значений листов на этом же уровне, то остальные ветви исключаем из рассмотрения и удаляем.

4. В матрице  $A(p_k)$  рассматриваем строку, которая соответствует выбранному значению.

Если значение в столбце равно 1, то добавляем новый лист в дерево решений на том же уровне, что и значение  $A_{p_k}^0(i)$ , и обнуляем значение в матрице  $A(p_k)$ . Прodelываем для него шаги 2,3, иначе переходим к шагу 1 и рассматриваем следующее значение  $A_{p_k}^0$ .

5. Среди всех получившихся листьев находим набор, у которого  $\Delta Q$  наименьшее, запоминаем его как  $Q_{min}$ .

После того, как были рассмотрены все обязательные услуги, аналогичным образом рассматриваем дополнительные услуги, только вместо  $Q_k$  рассматриваем  $Q_k - Q_{min}$ .

После того, как были построены возможные наборы дополнительных услуг, необходимо их проранжировать по стоимости.

Далее необходимо к наборам обязательных услуг добавить дополнительные, которые не превосходят  $Q_k$ .

1. Выбрать лист из дерева обязательных услуг. Рассмотреть дополнительные услуги, стоимость которых не превосходит  $Q_k - Q_i$ . К набору обязательных услуг поочередно добавлять наборы дополнительных, при этом запоминать получившийся набор с наибольшей полезностью ( $\Delta P$ ):

1)  $P_{max} = 0. X_{max} = \{ \}$

2) Выбрать лист из дерева обязательных услуг  $L_{ob_i}$ .

3) Рассматривать только те наборы дополнительных услуг, для которых  $Q_{dop_i} < Q_k - Q_{L_{ob_i}}$ .

4) В вектор  $x$  подставить значение 1 для тех дополнительных услуг, набор из которых рассматривается. Вычислить

---

$$\Delta P = \sum_{i=1}^L C_i^{pk} e_i^k x_i^k . \quad (7)$$

5) Если получившееся значение больше  $P_{max}$ , то  $P_{max} = \Delta P, X_{max} = X_i$ , иначе  $\Delta P_{max} = P_{max}, \Delta X_{max} = X_{max}$  и перейти к следующему набору.

2. После того, как все листья будут рассмотрены, найденное решение будет содержаться в  $\Delta X_{max}$ .

### Вычислительный эксперимент и анализ результатов

Вычислительный эксперимент проводился на ЭВМ, которая имеет следующие характеристики: ОС Windows 10 x64; процессор Intel Pentium CPU N3710 @1.60Ghz; оперативная память 8ГБ. Целью вычислительного эксперимента является анализ времени выполнения разработанного алгоритма на разных входных данных [11].

Для того, чтобы проверить качество разработанного алгоритма, выполним запуск программы с различным количеством услуг (1,5,10,20,50) и со следующими параметрами: бюджет клиента слишком мал; обязательные услуги не имеют альтернатив; список дополнительных услуг пустой; корректно заданы обязательные и дополнительные услуги.

1)  $Q_k < Q_{обяз}$  (рис. 2)

X	Y
Услуги	Время, с
1	0.0005
5	0.01
10	0.4
20	0.07
50	3.47

Рис. 2. –Результаты при  $Q_k < Q_{обяз}$

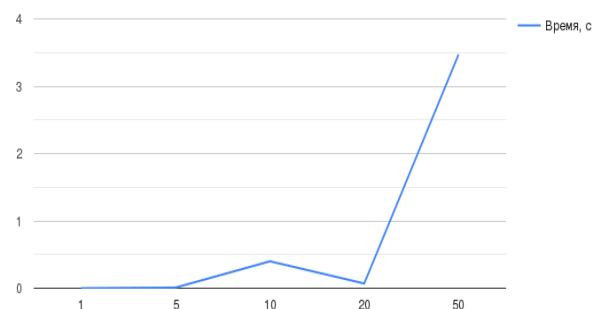


Рис. 3. График результатов при  $Q_k < Q_{обяз}$

Как видно из графика (рис. 3), скорость выполнения программы зависит от самих данных, например, при  $L=10$  только при добавлении последней обязательной услуги происходит превышение стоимости.

2) Обязательные услуги не имеют альтернатив (рис. 4).

X	Y
Услуги	Время, с
1	0.14
5	0.87
10	1.33
20	5.46
50	9.11

Рис. 4. Время выполнения алгоритма, когда нет альтернатив

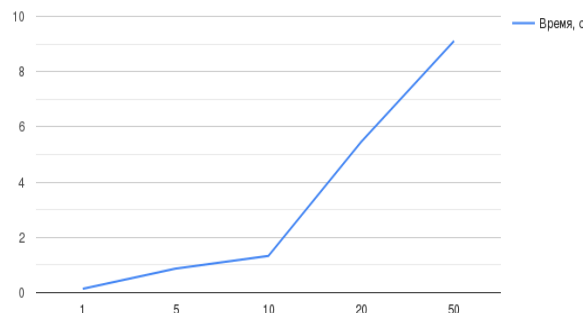


Рис. 5. График результатов

3) Список дополнительных услуг пустой (рис. 6).

X	Y
Услуги	Время, с
1	0.73
5	1.07
10	4.91
20	9.75
50	16.08

Рис. 6. Время выполнения алгоритма, при пустом списке дополнительных услуг

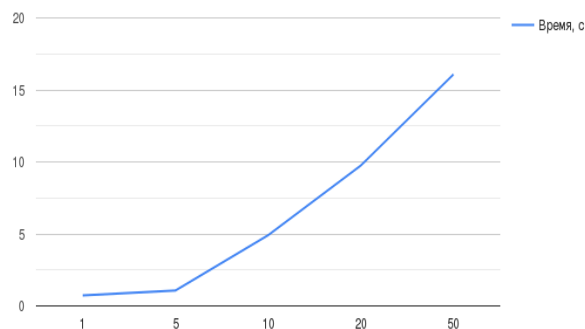


Рис. 7. График результатов

Как видно из графика (рис. 7), скорость выполнения программы зависит от количества услуг и увеличивается по экспоненте.

4) Корректно заданы обязательные и дополнительные услуги (рис. 8). Как видно из графика (рис. 9), скорость выполнения программы зависит от количества услуг и увеличивается по экспоненте.

Таким образом, разработанный алгоритм имеет в основном экспоненциальное увеличение времени выполнения. Данный алгоритм в плохом случае работает, как полный перебор, то есть, когда искомое решение



размещается в правой части дерева и когда стоимость решения не минимальное, при этом имеет максимальную полезность.

X	Y
Услуги	Время, с
1	1.63
5	3.55
10	8.47
20	16.71
50	27.94

Рис. 8. Время выполнения алгоритма, при нормальных условиях

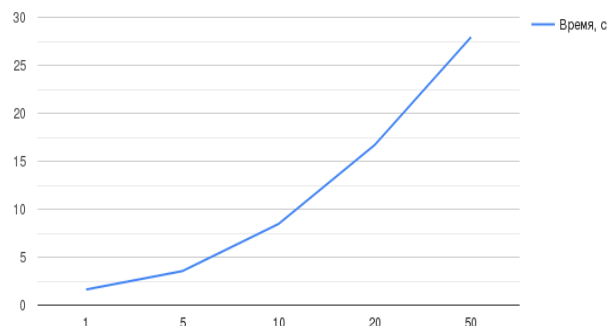


Рис. 9. График результатов

Преимуществом данного метода является значительное сокращение времени работы, в отличие от полного перебора, а также простота реализации.

### Заключение

Сегодня рынок услуг характеризуется высокой конкуренцией и предприятиям приходится искать новые конкурентные преимущества. Одним из них является учет эмоциональных предпочтений клиентов для повышения их удовлетворенности. В статье рассматривается задача формирования оптимального набора услуг с учетом эмоциональных предпочтений клиента и экономических ограничений в виде бюджета клиента.

На удовлетворенность клиентов в основном влияют такие эмоции, как радость, удовольствие, равнодушие, дискомфорт, раздражение, которые предлагается учитывать при формировании оптимального набора услуг в виде коэффициента, влияющего на полезность услуги. Для приведенной постановки задачи наиболее подходящим методом решения является метод ветвей и границ. Построена математическая модель задачи нахождения оптимального набора услуг на основе метода ветвей и границ. Разработан алгоритм решения и проведен анализ качества алгоритма с помощью

численного эксперимента, показавший, что разработанный алгоритм имеет в основном экспоненциальное увеличение времени выполнения. Преимуществом данного метода является значительное сокращение времени работы, в отличие от полного перебора, а также простота реализации.

### Литература

1. Айрапетян С. В., Головняк П. А., Султанов А. Э., Захаров Д. А. Взаимосвязь эмоций и поведенческой характеристики // Актуальные научные исследования в современном мире. – 2020. – №. 7-1. – с. 40-44.
2. Андрейчиков А.В. Интеллектуальные информационные системы: уч.пособие // А. В. Андрейчиков – Москва: ИНФРА-М, 2006 – 424 с.
3. Россиев Д. А. Медицинская нейроинформатика // Нейроинформатика.- Новосибирск: Наука СО РАН. – 1998. - 296 с.
4. Богданова, Д.Р. Оценка степени удовлетворенности клиентов сферы услуг на основе учета их эмоционально окрашенной информации // Системная инженерия и информационные технологии, 3.3 (7) (2021): 72–81 с.
5. Киселева И.А., Баясгалан Ц. Модель предпочтения потребителей на рынке инновационных услуг // Вестник науки и образования. 2017. №4 (28), с. 53-55.
6. Кормен Т., Лейзерсон Ч., Ривест Р., Штайн К. Алгоритмы: построение и анализ. Вильямс: М, 2005. — 1296 с.
7. Кузюрин Н.Н., Фомин А. Сложность комбинаторных алгоритмов. Курс лекций. 2005. – 79 с.
8. Курочка Н. П., Шипилов В. Н., Шиянов Б. А. Задачи оптимального размещения ресурсов организации // Вестник ВГТУ. 2009. №5, с.64-69.
9. Гольденгорин Б. И. Корректирующий алгоритм решения задач типа размещения // Автомат. и телемех., 1984, № 5, 53–62; Autom. Remote Control, 45:5 (1984), с.590–598

10. Елизаров Д.Э. Алгоритмизация решения задачи о размещении на основе модификации метода ветвей и границ // Вестник ВГТУ. 2016. №5, с. 42-48.
11. Taylor P. R. Patterns as software design canon //ACIS 2001 Proceedings. – 2001. 65 p.

### References

1. Ayrapetyan S.V., Golovnyak P. A., Sultanov A. E., Zakharov D. A. Vzaimosvyaz' emotsiy i povedencheskoy kharakteristiki Aktual'nye nauchnye issledovaniya v sovremennom mire. 2020. №. 7-1. pp. 40-44.
2. Andreychikov A.V. Intellektual'nye informatsionnye sistemy: uch.posobie [Intelligent information systems: a textbook]. Moskva: INFRA-M, 2006, 424 p.
3. Rossiev D. A. Meditsinskaya neyroinformatika [Medical neuroinformatics] Neyroinformatika. Novosibirsk: Nauka SO RAN. 1998, 296 p.
4. Bogdanova, D.R. Otsenka stepeni udovletvorennosti klientov sfery uslug na osnove ucheta ikh emotsional'no okrashennoy informatsii Sistemnaya inzheneriya i informatsionnye tekhnologii, 3.3 (7) (2021): pp. 72-81.
5. Kiseleva I.A., Bayasgalan Ts. Model' predpochteniya potrebiteley na rynke innovatsionnykh uslug Vestnik nauki i obrazovaniya. 2017. №4 (28), pp. 53-55.
6. Kormen T., Leyzerson Ch., Rivest R., Shtayn K. Algoritmy: postroenie i analiz [Algorithms: construction and analysis]. Vil'yams: M, 2005, 1296 p.
7. Kuzyurin N.N., Fomin A. Slozhnost' kombinatornykh algoritmov. Kurs lektsiy [Complexity of combinatorial algorithms. Course of lectures]. 2005. 79 p.
8. Kurochka N. P., Shipilov V. N., Shiyanov B. A. Zadachi optimal'nogo razmeshcheniya resursov organizatsii Vestnik VGTU. 2009. №5, pp. 64-69.
9. Gol'dengorin B. I. Korrektiruyushchiy algoritm resheniya zadach tipa razmeshcheniya Avtomat. i telemekh., 1984, № 5, 53–62; Autom. Remote Control, 45:5 (1984), pp. 590–598.



10. Iizarov D.E. Algoritmizatsiya resheniya zadachi o razmeshchenii na osnove modifikatsii metoda vetvey i granits Vestnik VGTU. 2016. №5, pp. 42-48.
11. Taylor P. R. Patterns as software design canon ACIS 2001 Proceedings. 2001. 65 p.