

УДК 004.021

***РАЗРАБОТКА WEB-ИНТЕРФЕЙСА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ
СОГЛАСОВАННОСТИ МАТРИЦ ПАРНЫХ СРАВНЕНИЙ***

Судаков В.А.

д.т.н., доцент,

ИПМ им. М.В. Келдыша РАН,

Москва, Россия

Куренных А.Е.

аспирант,

МАИ (НИУ),

Москва, Россия

Аннотация

Парные сравнения альтернатив и критериев находят широкое применение в большом количестве современных научно-технических задач, в которых требуется выполнить оценивание и ранжирование конечного множества объектов. Парные сравнения являются простым и понятным для эксперта способом выставления оценок, однако сложность многих задач приводит к высокой нагрузке на эксперта, вследствие чего при заполнении матрицы парных сравнений могут возникать ошибки и некорректные ситуации, приводящие к низкой согласованности суждений, а, следовательно, к принятию неверных решений. Алгоритмы повышения согласованности суждений являются востребованными среди исследователей и экспертов, что, в совокупности с разнообразием задач, задает требования для разработки соответствующего программного обеспечения: широкая доступность и независимость от предметной области, которые в высокой степени удовлетворяются web-интерфейсом.

Ключевые слова: поддержка принятия решений, парные сравнения, согласованность суждений, индекс согласованности, повышение согласованности суждений.

***THE INCREASE OF JUDGMENT'S CONSISTENCY IN PAIRWISE
COMPARISONS VIA WEB-INTERFACE***

Sudakov V.A.

Sc.D, Associate Professor,

Keldysh Institute of Applied Mathematics (RAS),

Moscow, Russia

Kurenykh A.E.

graduate student,

Moscow Aviation Institute (NRU),

Moscow, Russia

Annotation

Paired comparisons of alternatives and criteria are widely used in a large number of modern scientific and technical problems that require to evaluate and rank a finite set of objects. Paired comparisons are a simple and intuitive way for an expert to make rates, however, the complexity of many tasks leads to a high load on the expert, as a result of which errors and incorrect situations can occur during the filling of the pairwise comparisons matrix, leading to low agreement of judgments, and, consequently, to the adoption of incorrect decisions. Algorithms for improving the coherence of judgments are in demand among researchers and experts, which, with the respect to a variety of tasks, sets the requirements for the development of appropriate software: wide availability and independence from the subject area, which are highly satisfied with the web-interface.

Keywords: decision support, pairwise comparisons, judgment's consistency, consistency index, increase of judgment's consistency.

Применение метода парных сравнений берет свое начало более двухсот лет назад в работах Мари Кондорсе [1] и Жана-Шарля де Борда [2], посвященных проблемам голосований. В первой половине XX века метод приобрел большую популярность и с тех пор применяется в различных задачах, таких как метод анализа иерархий [3], в области здравоохранения [4], менеджмента [5, 6] и пр.

Цель проводимого авторами исследования заключается в разработке алгоритмического и программного обеспечения, которое позволяет повышать точность и корректность приводимых экспертами матриц парных сравнений за счет повышении согласованности суждений. Эта задача является крайне актуальной, т.к. метод парных сравнений отличается высокой нагрузкой на человека в процессе его использования, а любые попытки повышения согласованности суждений вручную приводят только к повышению этой нагрузки и потерям времени.

Суть метода парных сравнений достаточно проста, при оценивании n объектов строится квадратная положительная обратно-симметричная матрица \mathbf{A} , на главной диагонали которой стоят единицы, а остальными являются степени предпочтительности одного объекта над другим.

$$\mathbf{A} = \|a_{i,j}\|: a_{i,j} > 0; a_{i,i} = 1; a_{j,i} = \frac{1}{a_{i,j}}, \forall i, j = \overline{1, n}$$

В конце XX века особое внимание стало уделяться такому показателю как согласованность суждений эксперта. Наиболее известный и распространенный способ количественной оценки этого качественного показателя – использование индекса согласованности $CI_{\mathbf{A}}$, предложенного Томасом Л. Саати. Этот показатель вычисляется на основе максимального собственного значения λ_{max} матрицы и ее размера n :

$$CI_A = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

Считается, что матрица хорошо согласована, если выполняется условие $CI_A \leq 0.1$, однако на практике это условие часто нарушается из-за различных причин:

- распространенные современные программные средства для многокритериальной оценки альтернатив имеют функционал только для оценки индекса согласованности, и никак не могут помочь эксперту или лицу, принимающему решения, устранить некорректные суждения;
- исправление нарушений транзитивности суждений – трудоемкий процесс, который требует повторного анализа предметной области, где применяются парные сравнения.

Авторы данной работы разработали алгоритмическое и программное обеспечение для повышения согласованности суждений в матрицах парных сравнений, формализовав задачу в оптимизационном виде:

$$\min_{x_{i,j} \in \mathbb{R}} CI_{A+X}$$

При ограничении:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j>i} sgn^2(x_{i,j}) \leq K; K \leq \frac{n^2 - n}{2}$$

В данной постановке задачи приняты следующие обозначения:

$X = \|x_{i,j}\|; i, j = \overline{1, n}$ – действительная матрица корректировок к исходной матрице парных сравнений, которая рассчитывается оптимизационным алгоритмом. K – ограничение на количество изменяемых элементов, которое задается экспертом.

Как уже было отмечено ранее, метод парных сравнений находит широкое применение в совершенно различных предметных областях, поэтому при

программной реализации рассматриваемого алгоритма было важно обеспечить возможность широкого доступа, инвариантность относительно предметной области, стабильную скорость работы, а также следовать требованиям кросс-платформенности и независимости от используемых аппаратных средств. Обеспечить все это можно только с помощью web-сервисов, реализующих распределенные облачные вычисления. Примером такого сервиса является `ws-dss.com`, который построен по каркасному принципу и содержит набор методов многокритериального анализа альтернатив, оптимизации и моделирования.

При разработке программной реализации метода повышения согласованности использовались языки программирования Ruby и R, с помощью которых создана функциональная составляющая алгоритма, реализующая метод Improved stochastic ranking evolution strategy (ISRES) [7, 8]. Реализация алгоритма в web-среде дала следующие результаты:

- к разработанному алгоритму есть доступ из любой точки мира, где есть выход в Интернет, с любого устройства посредством браузера, будь то персональный компьютер, планшет или смартфон;
- вычислительные процессы реализованы на стороне сервера, что не требует высоких технических характеристик комплекса технических средств хоста;
- к разработанному методу можно обращаться из любой специализированной прикладной программы по протоколу `http(s)`. Это позволяет расширять функционал уже разработанных средств для поддержки принятия решений посредством обращений к сервисам `ws-dss` для дополнительной обработки данных.

Схема взаимодействия прикладной программы с web-сервисами реализована посредством технологии RESTful API, где используются стандартные методы протокола `http(s)`, такие как POST и GET, а данные передаются в формате JSON. Выбор такого формата передачи данных

Дневник науки | www.dnevniknauki.ru | СМИ Эл № ФС 77-68405 ISSN 2541-8327

обусловлен повсеместным распространением данной технологии, которая может быть реализована в любой современной системе программирования под управлением любой операционной системы.

К предложенному авторами методу решения задачи повышения согласованности суждений в матрицах парных сравнений можно получить доступ посредством web-интерфейса. Пример входных и выходных данных показан на рис. 1:

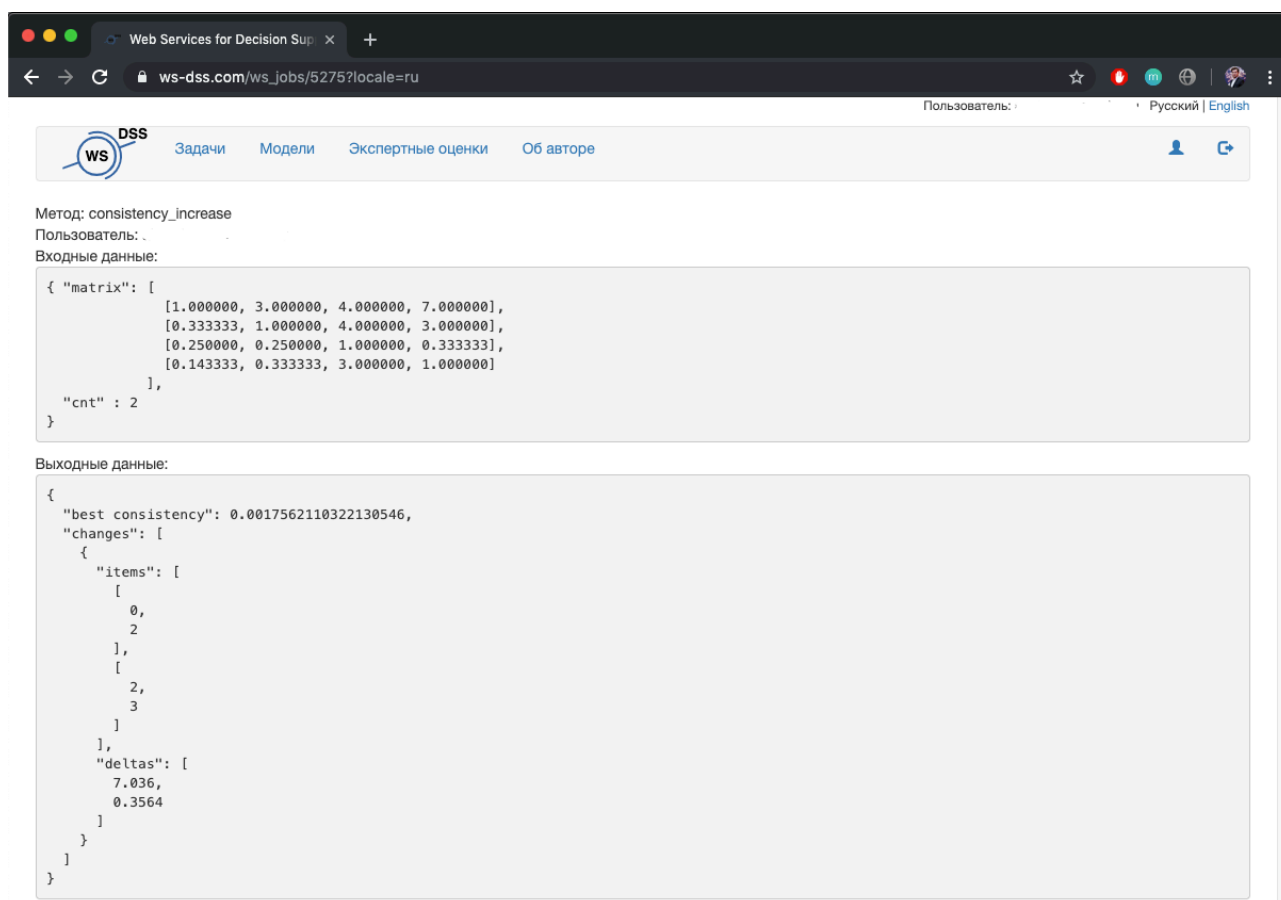


Рис.1 – Пользовательский интерфейс ws-dss.com

В области «Входные данные» приводится входной JSON, который может заполняться пользователем или передаваться прикладной программой. По ключу `matrix` доступна первичная матрица парных сравнений, предложенная экспертом, а по ключу `cnt` задается ограничение на максимальное количество варьируемых элементов. В области «Выходные данные» по ключу `best consistency` показано оптимальное значение индекса согласованности для данной

Дневник науки | www.dnevniknauki.ru | СМИ Эл № ФС 77-68405 ISSN 2541-8327

матрицы. В ключах `changes\items` содержатся индексы элементов, которые необходимо изменить, а в `changes\deltas` содержатся величины вариаций для указанных выше элементов.

В заключение можно отметить, что предложенный способ реализации алгоритма повышения согласованности матриц парных сравнений показал хорошие результаты на тестовых данных за приемлемое время и полностью удовлетворяет критерию оптимизации и устанавливаемым ограничениям. Разработанное программное обеспечение соответствует требованиям каркасной архитектуры, а также является общедоступным для использования в сторонних системах поддержки принятия решений. Перспективным направлением продолжения исследования является массовая апробация алгоритма в реальных задачах с привлечением экспертов, которые смогли бы оценить результаты использования алгоритма, а также, по возможности, предложить способы повышения его эффективности.

Благодарности: работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект 18-01-00382а.

Библиографический список:

1. M. Condorcet, "Essai sur l'application de l'analyse à la probabilité des décisions rendues à la pluralité des voix", Paris, 1785.
2. J.C. de Borda, "Mémoire sur les élections au scrutin", Histoire de l'Académie Royale des Sciences, Paris, 1781.
3. T.L. Saaty, The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resources Allocation. Mcgraw-Hill, New York, 1980.
4. T. Kakiashvili, M. Woodbury-Smith Improving the medical scale predictability by the pairwise comparisons method: evidence from a

- clinical data study. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 105, 2012, pp. 210-216.
5. K. Kułakowski, J. Szybowski, R. Tadeusiewicz, Tender with Success – The Pairwise Comparisons Approach, *Procedia Computer Science*, Vol. 35, 2014, pp. 1122-1131.
 6. A. Kalinowska, T. Trzaskalik Bonus Distribution for Employees of a Telephone Customer Service Department: A Case Study based on Pairwise Comparisons, *Procedia Computer Science*, Vol. 35, 2014, pp. 1145-1154.
 7. T. Runarsson, X. Yao, "Stochastic ranking for constrained evolutionary optimization", *Evolutionary Computation, IEEE Transactions*, on. 4, 2000, pp. 284-294.
 8. T. Runarsson, X. Yao, "Search Biases in Constrained Evolutionary Optimization", *Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews, IEEE Transactions on*. 35, 2005, pp. 233-243.

Оригинальность 88%