

АЛГОРИТМЫ ГОЛОСОВАНИЯ В ПРОГРАММАХ ПРОВЕРКИ КВАЛИФИКАЦИИ ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ ЛАБОРАТОРИЙ

С.В. Муравьев, И.А. Маринушкина

В процессе межлабораторных сличений провайдеру необходимо установить опорное значение, исходя из результатов, представленных участвующими в сличениях лабораториями. В статье рассмотрены методы определения опорного значения на основе алгоритмов голосования: подход Г. Нильсена, соответствующий "правилу простого большинства" и предложенный авторами метод агрегирования предпочтений. Экспериментальные исследования показали, что метод агрегирования предпочтений позволяет находить более точную оценку опорного значения результатов измерений аккредитованных лабораторий.

Ключевые слова: программы проверки квалификации, межлабораторные сличения, опорное значение, агрегирование предпочтений.

ВВЕДЕНИЕ

Как показала международная и российская практика [1], проверка квалификации лабораторий посредством межлабораторных сличений (далее – МС) является надёжным инструментом оценивания компетентности аккредитованных лабораторий в соответствующих областях испытаний и измерений. Процедура МС заключается в организации и проведении оценивания размера величины, характеризующей некоторый объект несколькими различными лабораториями в соответствии с заранее установленными условиями.

Для реализации программы проверки квалификации лабораторий, провайдер (организатор) осуществляет рассылку участникам сличений эталона, характеризующегося номинальным значением $x_{\text{ном}}$ измеряемой величины. Лаборатории-участники направляют провайдеру результаты измерений в форме оценок x_i номинального значения и соответствующих стандартных неопределённостей $u(x_i)$. Провайдер проводит обработку полученных результатов, устанавливает опорное значение x_{ref} , т. е. оценку значения измеряемой величины, полученную по результатам всех участников, и формирует наибольшее согласованное подмножество результатов сличений, исключая ненадёжные результаты лабораторий.

В международной и российской практике используются различные методы обработки результатов межлабораторных сличений. Особый интерес представляет применение различных правил голосования [2] к нахождению опорного значения, т. к. при этом обеспечивается робастность (независимость от закона распределения) и точность получаемых результатов. В статье рассмотрены два осно-

ванных на процедурах голосования подхода, один из которых предложен Г. Нильсеном [3], а другой – авторами данной статьи [4, 5]. В результате анализа предполагается выяснить, какой из двух методов даёт более точную оценку номинального значения $x_{\text{ном}}$.

Методы нахождения опорного значения на основе процедур голосования

В алгоритме Нильсена [3] опорное значение x_{ref} определяется простым подсчетом "голосов". При этом интервал неопределённости $u(x_i)$ рассматривается как задающий границы прямоугольного распределения измеряемых значений. В соответствии с алгоритмом лаборатория даёт один голос каждому значению в пределах предоставленного ею интервала неопределённости и ни одного голоса – значениям вне этого интервала. Подсчитывая голоса, можно определить значение, которое большинство лабораторий считают наиболее вероятным опорным значением x_{ref} . Такой подход соответствует известному принципу голосования, получившему название "правило простого большинства" [2, 6]. Автор статьи [3] утверждает, что предложенный им алгоритм является одним из робастных методов обработки результатов сличений, работоспособных в случаях, когда закон распределения результатов измерений лабораторий отличается от нормального или неизвестен.

Задачу установления опорного значения измеряемой величины можно решить также в терминах проблемы агрегирования предпочтений [7], которая заключается в нахождении ранжирования консенсуса β для профиля предпочтения Λ , состоящего из m ранжирований (сформированных избирателями, экспертами, судьями и т. п.) n кандидатов (альтернатив).

Для того, чтобы преобразовать интервалы неопределенности m лабораторий в ранжирования, можно сформировать диапазон актуальных значений (ДАЗ) измеряемой величины, нижней границей которого является $a_1 = \min\{u_{\text{н}}(x_i) | i = 1, \dots, m\}$, а верхней границей – $a_n = \max\{u_{\text{в}}(x_i) | i = 1, \dots, m\}$. Значение a_1 выбирается равным наименьшей нижней границе интервалов неопределенности, предоставляемых лабораториями, а значение a_n равно наибольшей верхней границе этих интервалов. Затем ДАЗ разбивается на $n-1$ равных поддиапазонов. При этом границам интервалов разбиения соответствуют n значений измеряемой величины $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$. Эти границы выполняют роль альтернатив при определении ранжирования консенсуса. Лаборатории при этом соответствуют избирателям.

Предоставленный лабораторией результат измерения представляется ранжированием значений измеряемой величины, в котором более предпочтительными являются эквивалентные значения, входящие в интервал неопределенности этой лаборатории, а остальные значения из A в этом ранжировании будут менее предпочтительными и эквивалентными друг другу. Таким образом, каждое ранжирование содержит единственный символ строгого порядка “ \succ ” и $n-2$ символов эквивалентности “ \sim ”.

Полученные m ранжирований образуют профиль предпочтения Λ , для которого необходимо найти единственное ранжирование консенсуса β , обеспечивающее наилучший компромисс между ранжированиями профиля. Ранжирование консенсуса β можно находить, минимизируя расстояние Кемени между профилем и искомым ранжированием консенсуса [4–7]. В качестве опорного значения x_{ref} выбирается значение, занимающее крайнее левое положение в β , т. е. строго предпочитаемое остальным значениям. Если крайнее левое положение занимают несколько эквивалентных значений, то в качестве x_{ref} выбирается их медианное значение при $i, j, k = 1, \dots, m$:

$$Me(a_i^{(1)} \square a_j^{(1)} \square \dots \square a_k^{(1)}), a_i, a_j, a_k \in \beta. \quad (1)$$

Полученное методом агрегирования предпочтений (далее – МАП) опорное значение не должно зависеть от вида закона распределения результатов измерений, так как при обработке результатов сличений используются порядковые данные в форме ранжирований.

Экспериментальная проверка методов

Практическая программная реализация описанных выше методов была протестирована на 100 наборах данных сличений, полу-

ченных с помощью программного генератора равномерно и нормально распределенных псевдослучайных чисел. Случайные значения оценок x_i и соответствующих стандартных неопределенностей $u(x_i)$ были получены для номинального значения измеряемой величины $x_{\text{ном}} = 3$ и числа лабораторий $m = 15$.

В таблице 1 приведен пример равномерно распределенных данных сличений.

Таблица 1 – Пример сгенерированных данных

| Лаборатории | x_i | $u(x_i)$ |
|-------------|-------|----------|
| 1 | 2,68 | 0,39 |
| 2 | 2,73 | 0,42 |
| 3 | 3,38 | 0,72 |
| 4 | 2,72 | 0,41 |
| 5 | 3,23 | 0,65 |
| 6 | 2,93 | 0,51 |
| 7 | 2,53 | 0,32 |
| 8 | 2,92 | 0,51 |
| 9 | 2,28 | 0,2 |
| 10 | 3,29 | 0,68 |
| 11 | 3,33 | 0,7 |
| 12 | 3,3 | 0,68 |
| 13 | 2,68 | 0,39 |
| 14 | 3,22 | 0,64 |
| 15 | 2,92 | 0,51 |

На рисунке 1 показан пример результата обработки приведенных в таблице 1 данных методом Нильсена.

Получено опорное значение $x_{\text{ref}} = 2,68$, соответствующее наибольшему числу "голосов" лабораторий (показано на рисунке 1 красной горизонтальной линией). Заметим, что результат лаборатории 9 не представляется надёжным, так как ее интервал неопределенности не включает в себя опорное значение.

На рисунке 2 приведен пример обработки тех же данных методом агрегирования предпочтений. После разбиения ДАЗ на пять равных интервалов были получены шесть значений измеряемой величины: $a_1 = 2,08$; $a_2 = 2,48$; $a_3 = 2,89$; $a_4 = 3,29$; $a_5 = 3,70$ и $a_6 = 4,10$. Ранжирование λ_1 для лаборатории 1 имеет вид: $a_2 \sim a_3 \succ a_1 \sim a_4 \sim a_5 \sim a_6$; ранжирование λ_2 : $a_2 \sim a_3 \succ a_1 \sim a_4 \sim a_5 \sim a_6$; ранжирование λ_3 : $a_3 \sim a_4 \sim a_5 \sim a_6 \succ a_1 \sim a_2$ и т. д. Найденное по правилу Кемени итоговое ранжирование консенсуса с учетом множественности решений имеет вид:

$$\beta = \{ a_3 \succ a_2 \sim a_4 \succ a_5 \succ a_1 \sim a_6 \}.$$

В нем первое место, строго предпочитаемое остальным, занимает значение $a_3 = 2,89$, поэтому оно выбирается в качестве опорного значения x_{ref} .

АЛГОРИТМЫ ГОЛОСОВАНИЯ В ПРОГРАММАХ ПРОВЕРКИ КВАЛИФИКАЦИИ ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ ЛАБОРАТОРИЙ

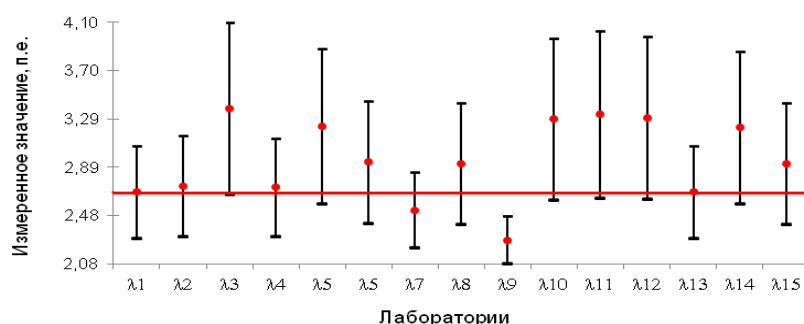


Рисунок 1 – Оценка результатов измерений лабораторий методом Нильсена

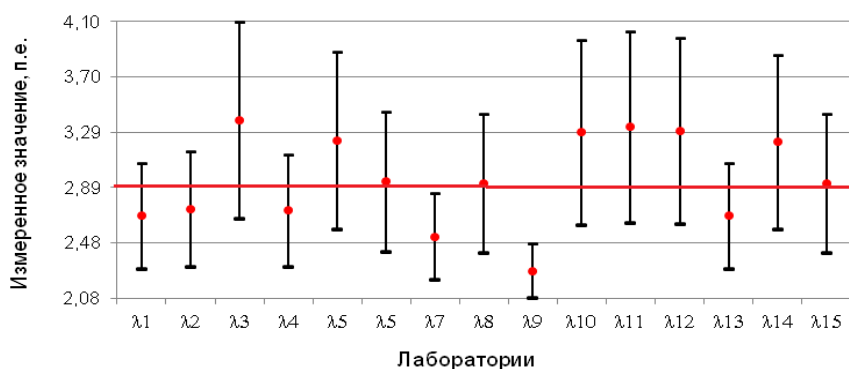


Рисунок 2 – Оценка результатов измерений лабораторий методом агрегирования предпочтений

Для того, чтобы оценить качество метода M обработки результатов сличений, для каждой из 100 решенных в ходе экспериментальных исследований индивидуальных задач были вычислены отклонения

$$d = |x_{\text{ref}}(M) - x_{\text{ном}}|, \quad (2)$$

полученных каждым из рассматриваемых методов опорных значений $x_{\text{ref}}(M)$ от номинального значения $x_{\text{ном}}$.

Полученные результаты приведены на рисунке 3. Из графиков (для наглядности значения d на графиках упорядочены по возрастанию) видно, что метод агрегирования предпочтений дал более близкие к номинальному значению оценки x_{ref} , чем метод Нильсена (в 75 случаях при нормальном распределении и в 82 случаях при равномерном распределении).

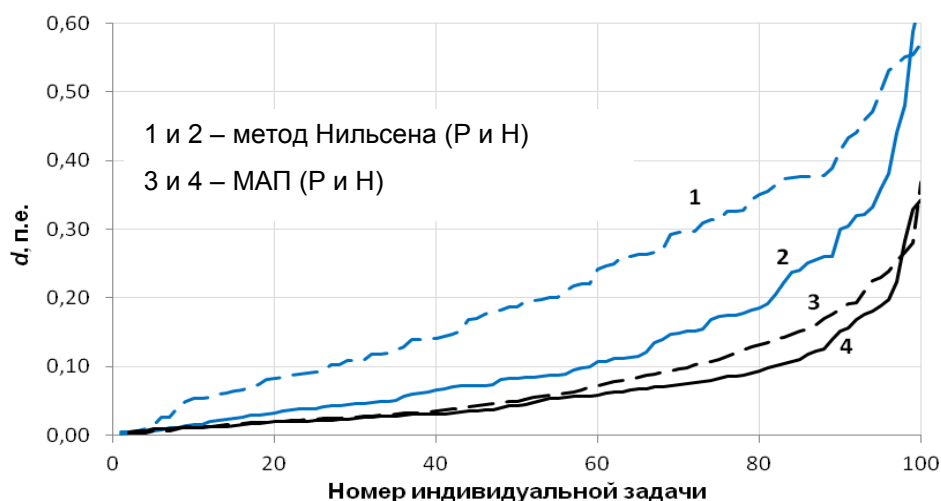


Рисунок 3 – Отклонения d , полученные методом Нильсена и МАП для равномерного (Р) и нормального (Н) распределений результатов сличений

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье рассмотрено применение методов на основе алгоритмов голосования в программах проверки квалификации испытательных лабораторий. Проведенные исследования позволяют сделать вывод, что метод агрегирования предпочтений может быть рекомендован к применению в программах проверки квалификации испытательных лабораторий, так как по сравнению с методом Нильсена позволяет находить более точную оценку опорного значения и характеризуется большей робастностью.

Работа выполнена в рамках базовой части государственного задания «Наука» Министерства образования и науки РФ (проект № 2078).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ ИСО/МЭК 17025 – 2009. Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий. – М.: Стандартиформ, 2013. – 34 с.
2. Parhami, B. Distributed Interval Voting with Node Failures of Various Types / B. Parhami // 12th IEEE Workshop on Dependable Parallel, Distributed and Network-Centric Systems (DPDNS'07). – Long Beach, California USA, 2007. – P. 1–7.

3. Nielsen, H. S. Determining consensus values in interlaboratory comparisons and proficiency testing. / H.S. Nielsen // Proceedings of NSCL International Workshop and Symposium. – Tampa, Florida, USA, 2003. – P. 1–16.

4. Muravyov, S. V. Largest consistent subsets in interlaboratory comparisons: preference aggregation approach. / S. V. Muravyov, I. A. Marinushkina // Joint International IMEKO TC1+TC7+TC13 Symposium. – Jena, Germany, 2011. – P. 287–290.

5. Муравьев, С. В. Агрегирование предпочтений как метод решения задач в метрологии и измерительной технике / С. В. Муравьев // Измерительная техника. – 2014. – № 2. – С. 19–24.

6. Литвак, Б. Г. Экспертная информация: Методы получения и анализа. / Б. Г. Литвак – М.: Радио и связь, 1982. – 184 с.

7. Muravyov, S. V. Ordinal measurement, preference aggregation and interlaboratory comparisons. / S. V. Muravyov // Measurement. – 2013. – V. 46. – № 8 – P. 2927–2935.

Муравьев С.В. – д.т.н., профессор кафедры компьютерных измерительных систем и метрологии Томского политехнического университета, e-mail: muravyov@tpu.ru, тел. (3822) 41-75-27.

Маринушкина И.А. – аспирант кафедры компьютерных измерительных систем и метрологии Томского политехнического университета, e-mail: irinamar@tpu.ru, тел. (3822) 41-75-27.