

## АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ ИНТЕРВАЛЬНОГО ГОЛОСОВАНИЯ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ДАННЫХ В БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЯХ

Худоногова Л. И.

Томский политехнический университет  
[likhud@tpu.ru](mailto:likhud@tpu.ru)

### Введение

Голосование является одним из эффективных методов решения проблемы согласования неточных, неполных или противоречивых данных, полученных из разных источников [1]. Под голосованием понимается процедура измерения уровня согласованности мнений  $m$  избирателей (участников) относительно ряда  $n$  кандидатов (альтернатив). Задачей голосования является нахождение консенсуса, представляющего собой обобщенное мнение участников. В интервальном голосовании каждый участник представляет свое мнение в виде интервала значений на вещественной оси, и все значения из этого интервала (альтернативы) являются одинаково предпочтительными с точки зрения участника. Результатом такого голосования становится интервал значений, выражающий наилучший компромисс представленных мнений. Использование интервалов позволяет участнику не ограничиваться одним значением, если несколько альтернатив представляются ему в равной мере подходящими. Основой любого алгоритма голосования является правило отбора, определяющее, как результат голосования будет получен. В данной статье проводится анализ алгоритмов голосования с целью оценки их пригодности для обработки измерительных данных в беспроводных сенсорных сетях (БСС).

### Алгоритмы на основе правил абсолютного и относительного большинства

В [1-3] рассматриваются простые алгоритмы интервального голосования, основанные на правилах абсолютного и относительного большинства. В приведенных работах интервал  $I$ , выражающий мнение участника, представляется своими нижней ( $l$ ) и верхней ( $u$ ) границами, т.е. наименьшим и наибольшим значением из упорядоченного ряда альтернатив.

В соответствии с правилом относительного большинства, подсчитывается число участников, проголосовавших за каждую из альтернатив. «Победителем» становится альтернатива, набравшая наибольшее количество голосов. В отличие от алгоритмов, где мнение участника представляется единственной альтернативой, интервальное голосование не требует прямого подсчета или попарного сравнения всех предпочитаемых альтернатив, за счет чего временная сложность алгоритма интервального голосования значительно снижается. Результирующий интервал находится как

пересечение интервалов большинства участников. На рис. 1 показан пример интервального голосования с применением правила относительного большинства. Границы полученного результирующего интервала  $I_r$  обозначены пунктирными линиями.

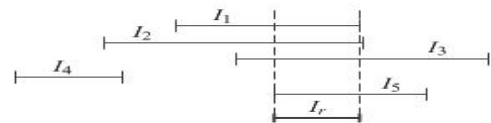


Рис. 1. Интервальное голосование на основе правила относительного большинства

Несмотря на то, что алгоритм, основанный на определении интервала посредством пересечения, прост, он может привести к возникновению парадоксов голосования. Предположим, что при голосовании получены интервалы от четырех участников, как показано на рис.2. Применяя правило относительного большинства, можно найти два непересекающихся интервала  $[a, b]$  и  $[c, d]$ , каждый из которых имеет одинаковое количество голосов. В таком случае неясно, какой интервал следует выбрать в качестве результирующего, поскольку нет причин считать один из них предпочтительнее другого.

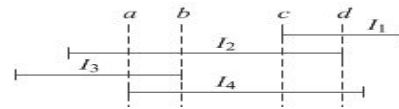


Рис.2. Парадокс голосования

Согласно правилу абсолютного большинства, победителем считается альтернатива, собравшая больше половины голосов. В [3] представлены два алгоритма на основе правила абсолютного большинства применительно к интервальному голосованию. Результирующие интервалы  $I_{r1}$  и  $I_{r2}$  для двух алгоритмов соответственно показаны на рис. 3. Как видно на рисунке, полученные интервалы достаточно широки. С одной стороны, это дает основание утверждать, что верная альтернатива с высокой степенью вероятности попадает в результирующий интервал. С другой стороны, чем шире получившийся интервал, тем ниже точность определения результата. Кроме того, правило абсолютного большинства также может приводить к появлению парадоксов.

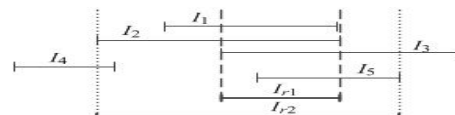


Рис.3. Интервальное голосование на основе правила абсолютного большинства

### Алгоритм на основе агрегирования предпочтений

В [4] представлен принципиально новый подход к интервальному голосованию, где интервал представляется в виде ранжирования альтернатив, которое может включать строгое отношение предпочтения и отношение эквивалентности. Пусть среди  $m$  участников голосования каждый  $k$ -ый участник предоставляет интервал  $I_k$  (Рис.4). Расположим каждый интервал на числовой прямой конечной длины. Разделим прямую на  $n - 1$  отрезков равной длины, присвоив верхней границе каждого отрезка значение из множества альтернатив  $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ . Теперь сформируем множество отношений предпочтения  $\Lambda = \{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m\}$ , где каждое из  $m$  ранжирований  $\lambda = \{a_1 > a_2 > \dots > a_n \sim a_n \sim \dots \sim a_1\}$  может содержать строгое отношение предпочтения  $>$  и отношение эквивалентности  $\sim$  между альтернативами  $a$ . Если альтернатива  $a_i$  попадает в интервал  $I_k$ , она находится в отношении строгого предпочтения к альтернативам, расположенным за пределами интервала, и эквивалента альтернативам внутри интервала. Для профиля предпочтения  $\Lambda$  строится матрица профиля  $P = [p_{ij}]$  по формуле (1):

$$p_{ij} = \sum_{k=1}^m \begin{pmatrix} 0 & \text{если } a_i^k > a_j^k \\ 1 & \text{если } a_i^k \sim a_j^k \\ 2 & \text{если } a_i^k < a_j^k \end{pmatrix}, \quad i, j = 1, \dots, n. \quad (1)$$

Правило Кемени позволяет найти отношение консенсуса  $\beta$ , такое, что расстояние  $D(\beta, \Lambda)$  от ранжирования  $\beta$  до профиля  $\Lambda$  минимально:

$$\beta = \arg \min_{\lambda \in \Pi} D(\lambda, \Lambda) = \sum_{i < j} p_{ij}, \quad (2)$$

где  $D(\lambda, \Lambda)$  – расстояние между некоторым ранжированием  $\lambda$  и профилем  $\Lambda$  [5]. Для нахождения отношения консенсуса применяется рекурсивный алгоритм ветвей и границ. В случае получения более чем одного оптимального решения все решения преобразуются в единственное итоговое отношение консенсуса  $\beta_{fin}$  в соответствии с правилами, описанными в [4]. В полученном отношении консенсуса альтернатива  $a_f$ , стоящая на первом месте, принимается за середину результирующего интервала. Границы интервала определяются как наименьшее из двух значений: максимальная нижняя граница ( $l_k \leq a_f$ ) и минимальная верхняя граница ( $u_k \geq a_f$ ) интервалов (Рис.4).

### Использование интервального голосования для обработки измерительных данных

Обработка результатов измерений сенсоров в БСС необходима при экологическом мониторинге, медицинском мониторинге и пр. Целью такой обработки является получение точного значения измеряемой величины на основании неточных или неполных результатов измерений сенсоров.

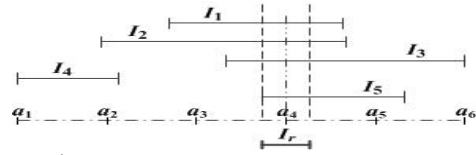


Рис.4. Интервальное голосование на основе агрегирования предпочтений по правилу Кемени

Данные с соседних узлов сети в одной исследуемой области, агрегируются для нахождения максимально возможного точного значения величины. Данные с соседних узлов сети в одной исследуемой области, агрегируются для нахождения максимально возможного точного значения величины. Обладая информацией о погрешности сенсора  $U(x_k)$ , узел предоставляет данные в форме интервала  $[x_k \pm U(x_k)]$ , где  $x_k$  – значение величины, измеренное  $k$ -ым сенсором. Центральный узел после получения данных запускает алгоритм интервального голосования, определяющий интервал неопределенности и значение измеряемой величины.

### Заключение

Описанные алгоритмы интервального голосования были использованы для обработки данных численного моделирования работы БСС. Результат: правило Кемени позволяет получить узкий результирующий интервал неопределенности и наиболее близкое к номинальному значение измеряемой величины [4]. Использование правила Кемени исключает вероятность возникновения парадоксов при голосовании. Хотя временная сложность алгоритма на основе агрегирования предпочтений выше, чем при использовании правил большинства, при числе участников до двадцати время работы алгоритма не превышает нескольких секунд.

### Список использованных источников

1. Parhami, B. Voting: a paradigm for adjudication and data fusion in dependable systems // Dependable Computing Systems: Paradigms, Performance Issues, & Applications, Wiley, 2005, pp. 87-114.
2. Berg D., Norine S., Su F.E., Thomas R., Wollan P. Set intersections, perfect graphs, and voting in agreeable societies // Manuscript, August 2006.
3. Parhami B. Distributed interval voting with node failures of various types // Proceedings of the IPDPS 2007, California, USA, 2007, pp. 1-7.
4. Muravyov S.V., Khudonogova L.I. Multisensor accuracy enhancement on the base of interval voting in form of preference aggregation in WSN for ecological monitoring // Proceedings of the ICUMT 2015.– Czech Republic, 2015.– P. 293-297.
5. Muravyov S.V. Preference aggregation as a way to solve problems in me-trology and

instrumentation // Measurement Techniques. – 2014.  
– Vol. 57, iss. 2. – P. 132-138.