



УДК 519.81
doi:10.21685/2587-7704-2021-6-2-11



Open
Access

RESEARCH
ARTICLE

Нечеткая модель принятия проектных решений на основе интервального анализа разнородной информации

Алексей Константинович Гришко

Пензенский государственный университет, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40
Alexey-grishko@rambler.ru

Андрей Владимирович Моисеев

Пензенский государственный университет, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40
fpite@pnzgu.ru

Елизавета Ильинична Гришко

Пензенский государственный университет, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40
fpite@pnzgu.ru

Юлия Евгеньевна Герасимова

Пензенский государственный университет, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40
fpite@pnzgu.ru

Аннотация. Предлагается методика выбора предпочтительного варианта проектного решения на ранних этапах жизненного цикла радиоэлектронных систем. Методика учитывает разнородность и неопределенность исходной информации.

Ключевые слова: модель принятия решений, интервальный анализ, радиоэлектронные системы

Для цитирования: Гришко А. К., Моисеев А. В., Гришко Е. И., Герасимова Ю. Е. Нечеткая модель принятия проектных решений на основе интервального анализа разнородной информации // Инжиниринг и технологии. 2021. Т. 6(2). С. 1–4. doi:10.21685/2587-7704-2021-6-2-11

Fuzzy model for design decision-making based on interval analysis of heterogeneous information

Aleksey K. Grishko

Penza State University, 40 Krasnaya Street, Penza, Russia
Alexey-grishko@rambler.ru

Andrey V. Moiseev

Penza State University, 40 Krasnaya Street, Penza, Russia
fpite@pnzgu.ru

Elizaveta I. Grishko

Penza State University, 40 Krasnaya Street, Penza, Russia
fpite@pnzgu.ru

Yuliya E. Gerasimova

Penza State University, 40 Krasnaya Street, Penza, Russia
fpite@pnzgu.ru

Abstract. The article proposes a methodology to select the preferred design solution at the early stages of the life cycle of radio-electronic systems. The technique takes into account heterogeneity and uncertainty of the source data.

Keywords: decision-making model, interval analysis, radio-electronic systems

For citation: Grishko A.K., Moiseev A.V., Grishko E.I., Gerasimova Yu.E. Fuzzy model for design decision-making based on interval analysis of heterogeneous information. Inzhiniring i tekhnologii = Engineering and Technology. 2021;6(2):1–4. (In Russ.). doi:10.21685/2587-7704-2021-6-2-11



Проектирование радиоэлектронных систем (РЭС) является сложной задачей, поскольку в процессе их разработки конструкторам необходимо обеспечить выполнение большого числа технических характеристик и показателей качества. При этом надо не забывать, что РЭС эксплуатируются в различных условиях, в том числе и экстремальных, когда должны быть обеспечены требуемый уровень надежности и высокая эффективность их применения.

Начальные стадии проектирования характеризуются высокой степенью неопределенности параметров РЭС, и разработчики в большинстве случаев встают перед выбором ее оптимальной структуры и конструкции из нескольких возможных вариантов. Нерациональные проектные решения на этом этапе могут привести к тому, что впоследствии будет затруднительно (или невозможно) получить РЭС с высокими показателями качества [1].

Структурная оптимизация требует для своей реализации наличие условий для сравнения частных критериев системы, которые, как правило, разнородны по своей природе, не всегда аддитивны и не имеют четких границ, т.е. представлены некоторыми диапазонами своих изменений. Это значит, что сравнивать улучшение (ухудшение) значения одного параметра РЭС с ухудшением (улучшением) другого крайне затруднительно.

Целью статьи является получение методики, позволяющей сравнивать разнородные параметры (критерии) с помощью построения интервальных отношений предпочтения и обеспечивающей оптимальное принятие проектного решения.

Так как оптимизируемых критериев много, то и решаемая задача будет относиться к задачам многокритериальной оптимизации. Поиск экстремумов функций, параметрами которых являются недетерминированные величины (стохастические, интервальные, слабоформализованные), требует обеспечения дополнительных математических условий [1–4].

В качестве традиционного подхода в условиях неопределенности предлагается применять вероятностные методы. Но при этом трудно формировать исходные данные и присваивать им вероятность, а значит, риск неэффективного выбора конструкции РЭС будет сохраняться даже при достоверном решении оптимизационной задачи.

Поэтому методически целесообразно для интервальной оценки неизвестных величин использовать неопределенности, имеющие интервальный вид, так как они наиболее просты и доступны для получения. Оперировать с такими величинами предлагается с помощью интервального анализа – теории, менее ограничительной по применению в сравнении с вероятностными методами, которые требуют больше исходной информации об оптимизационной модели.

Степень близости проектного решения к оптимальному определяется функцией принадлежности (ФП), которая в соответствии с теорией нечетких множеств располагается в диапазоне $[0,1]$. Это значит, что даются субъективные оценки каждой системе: насколько она лучше (предпочтительней, выигрышней) другой.

При выборе альтернатив в теории игр и принятий решений принято рассматривать (и учитывать) не только степень выигрыша, но и степень потерь (проигрыша). Применение такого подхода позволит получить более достоверное по оптимальности решение, но в отличие от теории нечетких множеств ФП будут располагаться в диапазоне $[-1,1]$.

Выбор оптимального проектного решения происходит с помощью построения нечетких отношений предпочтения [1–4], а в качестве критериев используем ФП, позволяющие количественно сравнивать разнородные данные о РЭС.

На основании [2–4] запишем:

$$S = \{S_\alpha, \alpha = \overline{1, n}\} - \text{множество проектных решений РЭС.}$$

$K_i(S_\alpha) = \left[\underline{K}_i(S_\alpha); \overline{K}_i(S_\alpha) \right]$ – частные критерии оптимальности (ЧКО), характеризующие вариант проектного решения S_α , где $\underline{K}_i(S_\alpha)$ – нижняя граница интервала, а $\overline{K}_i(S_\alpha)$ – верхняя граница интервала.

$K(S_a) = \{K_1(S_a), K_2(S_a), \dots, K_j(S_a), \dots, K_r(S_a)\}$ – векторный критерий, характеризующий каждое проектное решение РЭС.

$$P = \left(S_{k_1}^0, S_{k_2}^0, \dots, S_{k_{np}}^0 \right) - \text{множество вариантов РЭС, ранжируемых по отношению доминирования.}$$



В зависимости от условий оптимизационной задачи

$$K_i(S_{k_j}^0) = \min_{i=1,r;\alpha=1,n} [K_i(S_\alpha)], S_{k_j}^0 \in S^P$$

или

$$K_i(S_{k_j}^0) = \max_{i=1,r;\alpha=1,n} [K_i(S_\alpha)], S_{k_j}^0 \in S^P.$$

На основе анализа множества пар S_k и S_l вариантов РЭС $S = \{S_\alpha, \alpha = \overline{1, n}\}$ вводим нечеткие отношения предпочтения $R^u K_i(S_k, S_l)$ по i -му ЧКО $K_i(S_\alpha) = [K_i(S_\alpha); \overline{K_i(S_\alpha)}]$, $i = \overline{1, r}, \alpha = \overline{1, n}$ и определяем его ФП $\mu^u K_i(S_k, S_l)$ в соответствии с [2–4]:

$$\mu^u K_i(S_k, S_l) = \frac{K_i(S_k) - K_i(S_l)}{m_i} = \frac{[K_i(S_k); \overline{K_i(S_k)}] - [K_i(S_l); \overline{K_i(S_l)}]}{m_i},$$

где $K_i(S_k)$ и $K_i(S_l)$ – значения i -го скалярного ЧКО для систем S_k и S_l ; m_i – ширина шкалы интервальных оценок по i -му ЧКО [2, 5–8]. ФП также будет иметь интервальный вид $\mu^u K_i(S_k, S_l) = [\underline{\mu^u K_i(S_k, S_l)}; \overline{\mu^u K_i(S_k, S_l)}]$ и характеризовать каждую РЭС S_α , где:

$\underline{\mu^u K_i(S_k, S_l)} \in [-1; 0]$ – значение, характеризующее максимальную степень потерь при признании РЭС S_k , доминирующей РЭС S_l по скалярному ЧКО K_i ;

$\overline{\mu^u K_i(S_k, S_l)} \in [0; 1]$ – значение, характеризующее максимальную степень выигрыша при признании РЭС S_k , доминирующей РЭС S_l по скалярному ЧКО K_i ;

$\mu^u K_i(S_k, S_l) \in [-1; 0]$ означает абсолютное отсутствие доминирования РЭС S_k над РЭС S_l по скалярному ЧКО K_i ;

$\overline{\mu^u K_i(S_k, S_l)} \in [0; 1]$ означает абсолютное доминирование РЭС S_k над РЭС S_l по скалярному ЧКО K_i ;

$[\underline{\mu^u K_i(S_k, S_l)}; \overline{\mu^u K_i(S_k, S_l)}] \in [-1; 1]$ – интервальное значение, характеризующее степень выигрыша и степень потерь при признании РЭС S_k , доминирующей РЭС S_l по скалярному ЧКО K_i .

Отношение строгого интервального предпочтения РЭС S_k над РЭС S_l будет определяться его ФП $\mu_D^u K_i(S_k, S_l)$, которая характеризует интенсивность доминирования РЭС S_k над РЭС S_l по i -му ЧКО в виде

$$\mu_D^u K_i(S_k, S_l) = \mu^u K_i(S_k, S_l) - \mu^u K_i(S_l, S_k).$$

Отношение интервального недоминирования РЭС S_k над РЭС S_l будет определяться его ФП $\mu_{ND} K_i(S_k, S_l)$ как дополнение к $\mu_D^u K_i(S_k, S_l)$ в виде

$$\mu_{ND} K_i(S_k, S_l) = \begin{cases} 1, & \text{если } \mu_D^u K_i(S_k, S_l) < 0 \\ 1 - \mu_D^u K_i(S_k, S_l), & \text{если } \mu_D^u K_i(S_k, S_l) \geq 0. \end{cases}$$

Степень недоминируемости РЭС S_k ни одним другим РЭС по i -му скалярному ЧКО будет характеризоваться ФП в виде

$$\mu_D^* K_i(S_k) = \min \mu_{ND} K_i(S_k, S_l).$$



ФП $\mu_D^* K_i(S_k)$ показывает степень близости варианта проектного решения к оптимальному по i -му ЧКО.

Это значит, что в условиях неопределенности (или частичной неопределенности) на ранних этапах проектирования РЭС можно вместо коэффициентов важности, которые вводятся экспертным или эвристическим методом, использовать значения $\mu_D^* K_i(S_k)$.

Безусловно, у предлагаемого подхода сохраняются недостатки, связанные с субъективностью определения предпочтительности одного критерия над другим. Но в реальных практических задачах относительную важность критериев зачастую невозможно достоверно описать с помощью соответствующих коэффициентов.

В то же время предлагаемый метод не требует большого объема исходной информации, адекватно отражает разнородную информацию о качестве РЭС, имеет корректный математический аппарат решения систем уравнений с неопределенностями с приемлемой точностью.

Список литературы

1. Орловский С. А. Проблемы принятия решений при нечеткой исходной информации. М. : Наука, 1981. 203 с.
2. Гилл Ф., Мюррей У., Райт М. Практическая оптимизация. М. : Мир, 1985. 509 с.
3. Шарый С. П. Конечномерный интервальный анализ. Новосибирск : Изд-во XYZ, 2015. 606 с.
4. Гришко А. К. Выбор оптимальной стратегии управления надежностью и риском на этапах жизненного цикла сложной системы // Надежность и качество сложных систем. 2017. № 2 (18). С. 26–31. doi: 10.21685/2307-4205-2017-2-4.
5. Гришко А. К., Кочегаров И. И., Лысенко А. В. Многокритериальный выбор оптимального варианта сложной технической системы на основе интервального анализа слабоструктурированной информации // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2017. № 3 (21). С. 97–107.
6. Гришко А. К., Лысенко А. В., Моисеев С. А. Прогнозирование и оптимизация управления процессов проектирования сложных технических систем в масштабе реального времени // Надежность и качество сложных систем. 2018. № 1 (21). С. 40–45. doi: 10.21685/2307-4205-2018-1-5.
7. Grishko A., Goryachev N., Kochegarov I., Yurkov N. Dynamic Analysis and Optimization of Parameter Control in Radio Systems in Conditions of Interference // International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON) (Moscow, Russia, May 12–14, 2016). Moscow, 2016. P. 1–4. doi: 10.1109/SIBCON.2016.7491674.
8. Grishko A., Kochegarov I., Goryachev N. Multi-criteria Optimization of the Structure of Radio-electronic System in Indeterminate Conditions // XX IEEE International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM) (Saint Petersburg, Russia, 2017). Saint Petersburg, 2017. P. 210–212. doi: 10.1109/SCM.2017.7970540.

References

1. Orlovskiy S.A. *Problemy prinyatiya resheniy pri nechetkoy iskhodnoy informatsii = Decision-making problems with fuzzy initial information*. Moscow: Nauka, 1981:203. (In Russ.)
2. Gill F., Murray U., Rayt M. *Prakticheskaya optimizatsiya = Practical optimization*. Moscow: Mir, 1985:509. (In Russ.)
3. Sharyy S.P. *Konechnomernyy interval'nyy analiz = Finite-dimensional interval analysis*. Novosibirsk: Izd-vo XYZ, 2015:606. (In Russ.)
4. Grishko A.K. Selecting the optimum strategy for managing reliability and risk at the life cycle stages of a complex system. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh system = Reliability and Quality of Complex Systems*. 2017;2(18):26–31. (In Russ.). doi: 10.21685/2307-4205-2017-2-4.
5. Grishko A.K., Kochegarov I.I., Lysenko A.V. Multicriterial choice of the optimal variant of a complex technical system based on the interval analysis of weakly structured information. *Izmerenie. Monitoring. Upravlenie. Kontrol' = Measuring. Monitoring. Management. Control*. 2017;3(21):97–107. (In Russ.)
6. Grishko A.K., Lysenko A.V., Moiseev S.A. Prediction and optimization of processes of design management of complex technical systems in real time. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh system = Reliability and Quality of Complex Systems*. 2018;1(21):40–45. (In Russ.). doi: 10.21685/2307-4205-2018-1-5.
7. Grishko A., Goryachev N., Kochegarov I., Yurkov N. Dynamic Analysis and Optimization of Parameter Control in Radio Systems in Conditions of Interference. *International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON) (Moscow, Russia, May 12–14, 2016)*. Moscow, 2016:1–4. doi: 10.1109/SIBCON.2016.7491674.
8. Grishko A., Kochegarov I., Goryachev N. Multi-criteria Optimization of the Structure of Radio-electronic System in Indeterminate Conditions. *XX IEEE International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM) (Saint Petersburg, Russia, 2017)*. Saint Petersburg, 2017:210–212. doi: 10.1109/SCM.2017.7970540.

Поступила в редакцию / Received 02.06.2021

Поступила после рецензирования и доработки / Revised 03.07.2021

Принята к публикации / Accepted 10.07.2021