

УДК 681.324

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРЕТО-ОПТИМАЛЬНЫХ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ В АВИОНИКЕ

Ю.А. Гатчин, П.П. Парамонов

Рассматриваются методологические основы формирования на множестве проектных решений в авионике подмножества эффективных по Парето решений и выбора наиболее эффективного проектного решения в векторном пространстве частных критериев качества.

Ключевые слова: бортовое оборудование, многопараметрическая оптимизация, множество Парето.

Введение

В работе [1] сформулирована задача параметрического синтеза бортового радиоэлектронного оборудования (БРЭО) по множеству частных показателей качества $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_\zeta \in \Xi$, задаваемых в тактико-техническом задании (ТТЗ) на его разработку и составляющих вектор Ξ параметров проекта для каждой проектной альтернативы S_i .

Поскольку основная аксиома оценки по нескольким показателям утверждает невозможность строгого математического доказательства существования максимально предпочтительного объекта по всем критериям $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_\zeta$ одновременно (рис. 1), то любое проектное решение из числа недоминирующих (т.е. не являющихся менее предпочтительными по всем показателям сразу) может быть признано в качестве искомого варианта проектирования.

Таким образом, сложность проблемы выбора проектного решения по совокупности показателей связана не столько с трудностями вычислений при генерации проектных решений, сколько с концептуальной обоснованностью методологии выбора «наилучшего» проектного решения при одновременном $\xi_1 \rightarrow \min, \xi_2 \rightarrow \min, \dots, \xi_\zeta \rightarrow \min$. В этой связи актуальным является решение задачи [1] параметрического синтеза БРЭО на множестве эффективных по Парето проектных решений.

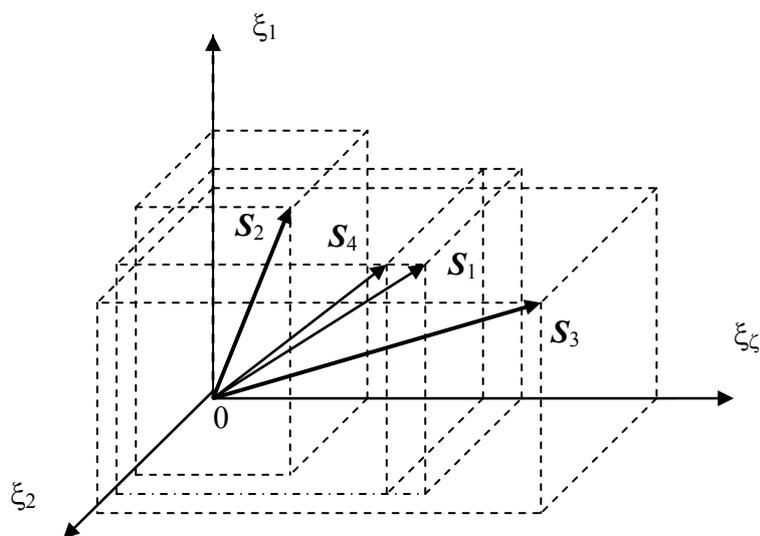


Рис.1. Геометрическое представление вектора параметров БРЭО для четырех различных вариантов S_j проектных решений

Принцип формирования множества эффективных по Парето проектных решений

Способ многокритериальности выбора состоит в отказе от выделения единственной наилучшей альтернативы и соглашении о том, что предпочтение одной альтернативе перед другой можно отдавать, только если первая альтернатива оказывается лучше второй по всем частным показателям. Если предпочтения хотя бы по одному частному критерию расходятся с предпочтениями по другому, то такие альтернативы являются несравнимыми.

В результате попарного сравнения альтернатив все худшие по всем критериям альтернативы отбрасываются, а все оставшиеся несравнимые между собой (недоминируемые) принимаются. Если все минимально достижимые значения частных критериев не относятся к одной и той же альтернативе, то принятые альтернативы образуют множество Парето.

Актуальность приближенного построения множества Парето обусловлена принципом Эджворта [2], согласно которому при «разумном» поведении лица, принимающего решение – главного конструктора проектной организации – выбор решения следует производить на основе множества Парето [3]. Пусть $\xi_i = f_i(\Psi), i = 1, 2, \dots, \zeta$ – значение i -го параметра БРЭО в точке $\Psi^j = \{\psi_1^j, \psi_2^j, \dots, \psi_\psi^j\}, j = 1, 2, \dots, \psi$, полагая, что

$\{\xi_1^j, \xi_2^j, \dots, \xi_\zeta^j\} = \{\xi_1^k, \xi_2^k, \dots, \xi_\zeta^k\}$ тогда и только тогда, когда $j=k$. Упорядоченный список (в порядке убывания) всех проектных решений критериального множества составляет кортеж по предпочтениям $\{\xi_i^j\}, j = 1, 2, \dots, N_s$. В результате такого отображения точкам множества допустимых проектных решений соответствует множество точек \mathbf{K} с координатами $\{k^1, k^2, \dots, k^\zeta\}$, каждая из которых принимает целочисленное значение на интервале $[1, 2, \dots, N_s]$. При этом в каждой из гиперплоскостей размерности $\zeta - 1$, параллельных координатам, лежит одна и только одна из точек множества \mathbf{K} .

Множество \mathbf{K} лежит в ζ -мерном кубе размером $(N_s - 1) \times (N_s - 1) \times \dots \times (N_s - 1)$. В силу построения любая точка множества \mathbf{K} расположена на пересечении ζ гиперплоскостей размерности $\zeta - 1$, параллельных координатным гиперплоскостям и проходящих через точки $\{k^1, k^2, \dots, k^\zeta\}$. По той же причине из $\|\xi_1^i, \xi_2^i, \dots, \xi_\zeta^i\| \geq \|\xi_1^j, \xi_2^j, \dots, \xi_\zeta^j\|$ следует, что $\|k_i^1, k_i^2, \dots, k_i^\zeta\| \leq \|k_j^1, k_j^2, \dots, k_j^\zeta\|$, а значит, выявление точек, оптимальных по Парето, на множестве значений критериев оптимизации Ξ эквивалентно аналогичной операции на числовом множестве \mathbf{K} по правилам сравнения \leq . Тогда среди всех точек множества \mathbf{K} , принадлежащих множеству Парето по условию $(\zeta - 1)N_s + 1 \geq k_i^1 + k_i^2 + \dots + k_i^\zeta$, предпочтительными являются те варианты проектных решений, для которых $\sum_{\ell=1}^{\zeta} k_i^\ell > \sum_{\ell=1}^{\zeta} k_j^\ell$.

Таким образом, решение задачи параметрического синтеза, сформулированной в [1], для случая многопараметрической оптимизации [4] проектных решений, составляет $F^*(\Xi^*) = \min_{\Psi \in G_\Psi} \{F(\Xi(\Psi))\}$, где Ψ – вектор варьируемых параметров аппаратуры, входящей в БРЭО, принадлежащий непустому множеству допустимых значений $G_\Psi \subset G^{g_1}$; $F(\Xi) = F(\xi_1(\Psi), \xi_2(\Psi), \dots, \xi_\zeta(\Psi))$ – векторный критерий оптимальности, осуществляющий отображение множества G_Ψ в непустое критериальное множество $G_F \subset G^{g_2}$; Ξ^* – искомое решение задачи проектирования БРЭО; G^{g_1} и G^{g_2} – арифметические векторные пространства размерности $g_1 \geq 1$ и $g_2 \geq 1$ соответственно. Запись $\min_{\Psi \in G_\Psi} \{F(\Xi(\Psi))\}$ предполагает, что лицо, принимающее решение, – главный конструктор проектной организации – стремится уменьшить значения частных критериев оптимальности $\xi_1(\Psi), \xi_2(\Psi), \dots, \xi_\zeta(\Psi) \in \Xi$, полагаемых однозначными функциями вектора Ψ параметров подсистем, входящих в БРЭО в качестве элементов агрегатной базы.

Рассматривая критерии $\xi_1(\Psi), \xi_2(\Psi), \dots, \xi_\zeta(\Psi) \in \Xi$ как аддитивно-сепарабельные при $F = F(\Xi)$, можно записать: $F^1 \leq F^2$, если $\xi_i^1 \leq \xi_i^2, i = 1, 2, \dots, \zeta$. В этом случае векторное решение F^1 из критериального множества доминирует по Парето решение F^2 из того же множества.

Неформально, множество Парето G_F^* задачи многокритериальной оптимизации (G_F^* – эффективное по Парето множество, порожаемое множеством векторов $\Psi \in G_\Psi$, $G_F^* = F(G_\Psi)$) можно определить как совокупность векторов $F \in G_F$, среди которых нет доминирующих. Формально, $G_F^* = \{F^* \in G_F : \{F' \in G_F : F' \leq F\} = 0\}$.

Заключение

Применение метода выявления Парето-оптимальных вариантов проектных решений апробировано на практике в разработках ФГУП «СПб ОКБ «Электроавтоматика» им. П.А. Ефимова». При проектировании изделий класса БЦВМ (бортовых цифровых вычислительных машин), состоящих из различных модулей авионики, было сформировано (рис. 2) множество эффективных по Парето модулей-вычислителей, составивших агрегатную базу построения БЦВМ семейства БЦВМ90-6ХХ.

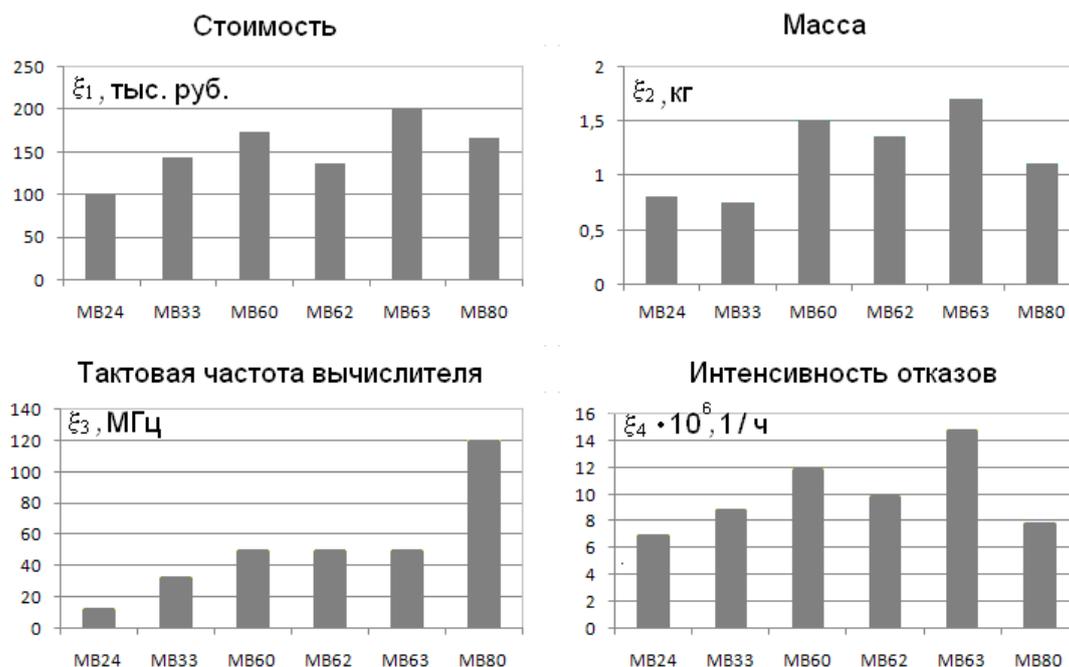


Рис. 2. Техничко-экономические показатели различных модулей-вычислителей, используемых при проектировании БЦВМ

Литература

1. Гатчин Ю.А., Видин Б.В., Жаринов И.О., Жаринов О.О. Модели и методы проектирования интегрированной модульной авионики // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2010. – №1. – С. 12–20.
2. Ногин В.Д. Принятие решения в многокритериальной среде: количественный подход. – М.: Физматлит, 2002. – 176 с.
3. Белокуров С.В. Эффективный алгоритм выбора недоминируемых решений в численных векторных схемах // Вестник Воронежского института МВД России. – 2008. – № 2. – С. 86–90.
4. Карпенко А.П., Котов И.О. Распараллеливание некоторых методов приближенного построения множества Парето в задачах многокритериальной оптимизации / Сб. трудов 9-ой международной конференции «Научно-технические технологии и интеллектуальные системы», 18.03.2007. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. – Ч. 2, с. 194–197.

Гатчин Юрий Арменакович

– Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, доктор технических наук, профессор, <http://faculty.ifmo.ru/csd/>

Парамонов Павел Павлович

– СПб ОКБ «Электроавтоматика» имени П.А. Ефимова», директор – генеральный конструктор, доктор технических наук, профессор, postmaster@elavt.spb.ru