

УДК 519.6

Многообъектное многокритериальное многоличностное автоматизированное проектирование (3М CAD)

Карпенко Анатолий Павлович

apkarpenko@mail.ru

SPIN-код: 3524-2924

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. Рассматриваем процесс автоматизированного проектирования сложных (многообъектных) технических систем, когда проектирование разных подсистем осуществляют разные проектные коллективы (многоличностное проектирование). Задача проектирования является многокритериальной. Решения задачи проектирования отыскиваем на множестве Парето этой задачи. С другой стороны, полагаем, что искомое решение должно быть устойчивым (стабильным) в смысле устойчивости по Нэшу. Обсуждаем проблемы, которые возникают при решении задачи 3-М автоматизированного проектирования и при построении системы 3М CAD.

Ключевые слова: автоматизированное проектирование, много-объектные технические системы, многокритериальное проектирование, групповое проектирование

Введение. Современные высокотехнологические изделия представляют собой совокупность большого числа тесно интегрированных подсистем, то есть в терминах теории управления являются многообъектными системами. Проектирование различных подсистем таких изделий производится разными компаниями и/или разными подразделениями одной компании. При этом неизбежно используются различные критерии оптимальности, так что задача проектирования оказывается многокритериальной (МКО задачей). Лиц, принимающих решения (ЛПР) относительно каждой из указанных подсистем, называем главными конструкторами. Противоречия между главными конструкторами, обусловленные противоречивостью их критериев оптимальности, устраняются с помощью генерального конструктора. Таким образом, с точки зрения теории принятия решений рассматриваемая задача проектирования является задачей группового (многоличностного) принятия решений. 3М-автоматизированным проектированием (3М-CAD) называем многокритериальное многоличностное проектирование многообъектных систем.

По общим правилам решения МКО задач, решение задачи 3М-CAD следует искать на множестве Парето этой задачи, то есть использовать эффективные решения [1]. С другой стороны, поскольку речь идет о групповом принятии решений, искомое решение должно быть устойчивым (стабильным), например, в смысле устойчивости по Нэшу [1]. Таким образом, как и в работе [1], рассматриваем стабильно-эффективные решения задачи 3М-CAD. Аппаратно-программную систему, которая поддерживает решение

задачи 3М-CAD, называем 3М-САПР и интерпретируем как систему поддержки принятия решений (СППР).

Методы и материалы; результаты. Проектируемая система $\mathbf{S}$ является структурно сложной системой и состоит из $|\mathbf{S}|$ сильно связанных динамических подсистем $\{S_i\} = \{S_i, i \in [1:|\mathbf{S}|]\}$, каждая из которых эволюционирует во времени t в соответствии с уравнением $X_i^r(t) = T_i(P_i^r, X_i^r(t_0))$, $t \in [t_0; t_e]$, где X_i — $|X_i|$ -мерный вектор фазовых переменных подсистемы S_i ; T_i — ее эволюционный оператор (обычно, дифференциальный); P_i — $|P_i|$ -мерный вектор свободных (варьируемых) параметров; $r = 0, 1, 2, \dots$ — номер шага принятия решений. Текущее множество допустимых значений вектора P_i^r обозначаем D_i^r .

Эффективность функционирования подсистемы S_i определяет $|F_i|$ -мерный векторный критерий оптимальности $F_i(\mathbf{X}, P_i)$, где в общем случае $\mathbf{X} = (X_1, X_2, \dots, X_{|\mathbf{S}|})$. Критерий оптимальности $F_i(\mathbf{X}, P_i)$ стремится, для определенности, минимизировать ЛПР _{i} (i -й главный конструктор), варьируя только «свои» свободные параметры P_i :

$$F_i(\mathbf{X}^r, P_i^r) \rightarrow \min_{P_i^r \in D_i^r}, \quad i \in [1:|\mathbf{S}|]. \quad (1)$$

Функция генерального конструктора ЛПР₀ состоит в управлении относительным весом свойств стабильности и эффективности решений, найденных главными конструкторами $\{\text{ЛПР}_i\}$, путем сужения области компромиссов (множества Парето).

В математическом плане взаимодействие $\{\text{ЛПР}_i\}$ в процессе решения задачи (1) на шаге r принятия решений представляет собой бескоалиционную игру вида

$$\Gamma^r = \langle \{\text{ЛПР}_i\}, \{D_i^r\}, \{F_i(\mathbf{X}^{r-1}, P_i^r)\}; i \in [1:|\mathbf{S}|] \rangle, \quad (2)$$

где ЛПР _{i} — i -й игрок; D_i^r — его допустимая стратегия; $F_i(\mathbf{X}^{r-1}, P_i^r)$ — вектор выигрышей этого игрока в игровой ситуации $\mathbf{P}^{r-1} \in \mathbf{D}^{r-1}$, возникшей в результате выбора всеми игроками своих стратегий $\{P_i^{r-1}\}$ на $(r-1)$ -м шаге принятия решений.

В терминах игры (2) стратегия $\bar{P}_i^r$ игрока ЛПР _{i} является (локально) Парето-оптимальной, если для любого из частных критериев оптимальности $f_{i,j}$, $j \in [1:|F_i|]$ этого игрока справедливо соотношение $f_{i,j}(\mathbf{X}^{r-1}, \bar{P}_i^r) \leq f_{i,j}(\mathbf{X}^{r-1}, P_i^r)$,

$j \in [1:|F_i|]$, $P_i^r \neq \bar{P}_i^r$. Формально набор стратегий $\tilde{\mathbf{P}}^r = \{\tilde{P}_i^r\}$ слабо равновесен по Нэшу, если для каждого из игроков $\{\text{ЛПР}_i\}$ и для каждого из его частных критериев оптимальности $\{f_{i,j}(\mathbf{P})\}$ имеет место неравенство (для простоты записи опущен вектор фазовых переменных $\mathbf{X}^r$)

$$f_{i,j}(\tilde{P}_1^r, \tilde{P}_2^r, \dots, P_i^r, \dots, \tilde{P}_{|S|}^r) > f_{i,j}(\tilde{P}_1^r, \tilde{P}_2^r, \dots, \tilde{P}_i^r, \dots, \tilde{P}_{|S|}^r) + \Delta P_{i,j},$$

$$i \in [1:|S|], \quad j \in [1:|F_i|],$$

где $\{\Delta P_{i,j}\}$ — определяемая ЛПР₀ совокупность констант, которые также могут использоваться ЛПР₀ для управления относительным весом свойств стабильности и эффективности найденных решений.

Заключение. Основная научная проблема, решение которой необходимо для создания ЗМ-САПР, состоит в разработке и исследовании эффективности методов группового принятия многокритериальных решений на основе аппроксимаций множества Парето и множества точек равновесия по Нэшу [2]. Кроме того, необходима разработка структуры программной системы поддержки группового принятия решений при ЗМ-автоматизированном проектировании сложных технических систем, реализация прототипа указанной программной системы, исследование эффективности принятых алгоритмических и программных решений.

Список источников

- [1] Ванин А.В., Воронов Е.М., Серов В.А. Разработка метода многокритериальной оптимизации иерархической системы управления на основе координированных стабильно-эффективных компромиссов. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Естественные науки*, 2018, № 6, с. 31–47.
- [2] Карпенко А.П. *Анализ и синтез популяционных алгоритмов глобальной оптимизации*. В 2 т. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2024, 446 с.