

УДК 519.6

Многообъектное многокритериальное многоличностное автоматизированное проектирование

Карпенко Анатолий Павлович apkarpenko@mail.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Рассматриваем процесс автоматизированного проектирования сложных (много объектных) технических систем, когда проектирование разных подсистем осуществляют разные проектные коллективы (много личностное проектирование). Задача проектирования является многокритериальной и критерии оптимальности указанных коллективов, вообще говоря, различны и взаимно противоречивы. 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. Предлагаем формализацию задачи 3М автоматизированного проектирования, а также структуру соответствующей системы 3М-CAD. 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 и противоречивые 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).

Постановка задачи 3М-АП. Проектируемая система S является структурно сложной системой и состоит из $|S|$ сильно связанных динамических подсистем $\{S_i\} = \{S_i, i \in [1: |S|]\}$, 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; $X_i(t_0)$ — начальное состояние подсистемы; t_0, t_e — заданные моменты времени; $r = 0, 1, 2, \dots$ — номер шага принятия решений (рис. 1). Текущее множество допустимых значений вектора P_i^r обозначаем D_i^r . Для простоты записи опускаем аргумент t в обозначениях фазовых переменных.

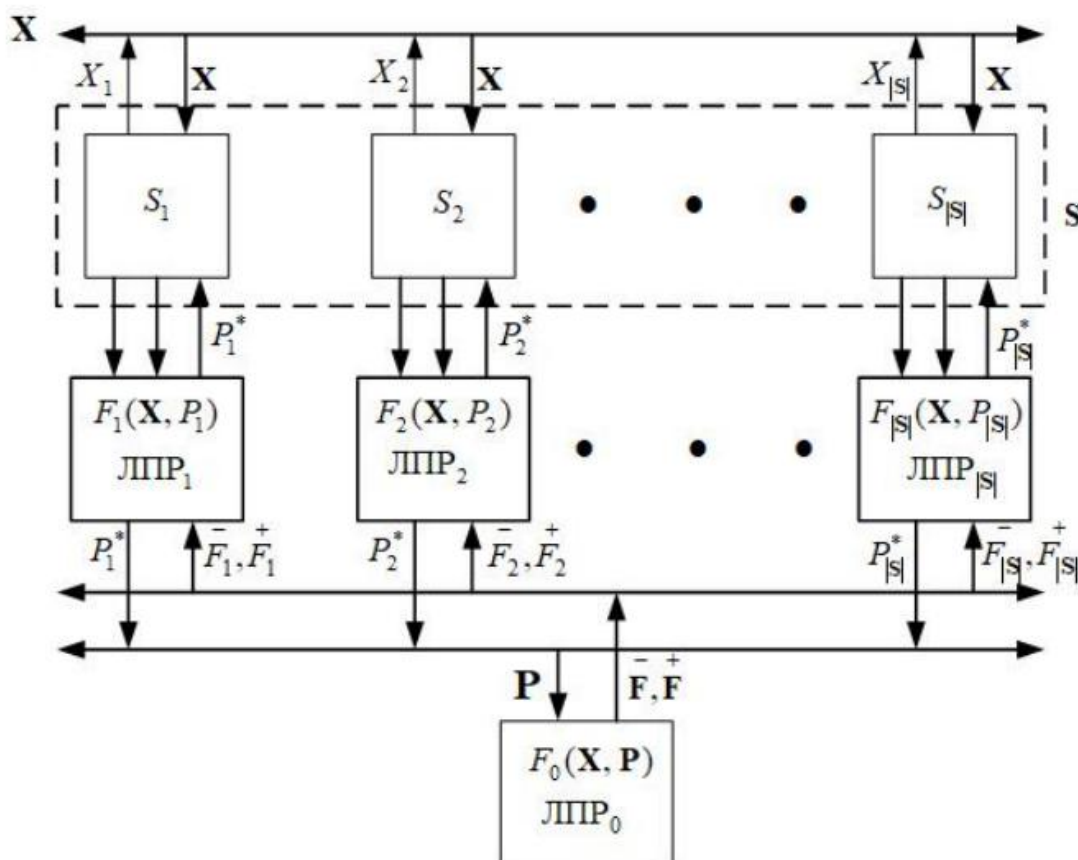


Рис. 1. К постановке задачи: для простоты записи аргумент t в обозначениях фазовых переменных и номер шага r опущены

Эффективность функционирования подсистемы S_i определяет $|F_i|$ -мерный векторный критерий оптимальности $F_i(X, P_i)$, где в общем случае $X = (X_1, X_2, \dots, X_{|S|})$. Критерий оптимальности $F_i(X, P_i)$ стремится, для опре-

деленности, минимизировать ЛПР_{*i*} (*i*-ый главный конструктор), варьируя только «свои» свободные параметры P_i :

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

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). Полагаем, что ЛПР₀ стремится минимизировать неявно заданный глобальный критерий качества функционирования всей системы $F_0(\mathbf{X}^r, \mathbf{P}^r)$, который определяет баланс между эффективностью принятых $\{\text{ЛПР}_i\}$ решений и их устойчивостью:

$$F(\mathbf{X}^r, \mathbf{P}^r) \rightarrow \min_{\mathbf{P}^r \in \mathbf{D}^r}.$$

Здесь $\mathbf{P}^r = (P_1^r, P_2^r, \dots, P_{|S|}^r)$ — объединенный вектор варьируемых параметров; $\mathbf{D}^r = \bigcup_{i \in [1: |S|]} D_i^r$ — соответствующее множество допустимых значений. ЛПР₀ добивается указанного баланса путем дополнительных ограничений на компоненты векторов варьируемых параметров $\{P_i\}$ вида $\bar{P}_i^r \leq P_i^r \leq \bar{P}_i^r$, где неравенства понимаются покомпонентно.

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

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

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 $(r-1)$ -ом 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

$$f_{i,j}(\mathbf{X}^{r-1}, \bar{P}_i^r) \leq f_{i,j}(\mathbf{X}^{r-1}, P_i^r), j \in [1: |F_i|], P_i^r \neq \bar{P}_i^r,$$

то есть любая стратегия, отличная от $\bar{P}_i^r$, приводит к увеличению значений хотя бы одного из указанных частных критериев оптимальности.

Не формально, набор стратегий $\bar{\mathbf{P}}^r = \{\bar{P}_i^r\}$ является равновесным по Нэшу, если ни одному из игроков $\{\text{ЛПР}_i\}$ не выгодно отклоняться от его стратегии $\bar{P}_i^r$, так что каждому из участников целесообразно использовать равновесную по Нэшу стратегию. Формально набор стратегий $\bar{\mathbf{P}}^r = \{\bar{P}_i^r\}$ 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 $\mathbf{X}^r$)

$$f_{i,j}(\tilde{P}_1^r, \tilde{P}_2^r, \dots, \tilde{P}_i^r, \dots, \tilde{P}_{|S|}^r) > f_{i,j}(\tilde{P}_1^r, \tilde{P}_2^r, \dots, \tilde{P}_i^r, \dots, \tilde{P}_{|S|}^r) + \Delta P_{i,j}, i \in [1: |S|], \\ j \in [1: |F_i|],$$

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

Задача отыскания эффективных (Парето оптимальных) и стабильных (устойчивых по Нэшу) решений имеют следующие основные особенности:

- высокая размерность вектора варьируемых параметров $\mathbf{P}$ (порядка 100);
- сложная структура множества допустимых значений $\mathbf{D}$, обусловленная большим числом (порядка 100) и нелинейностью ограничивающих функций, формирующих это множество;

- высокая размерность критериальной вектор-функции $\mathbf{F}(\mathbf{X}, \mathbf{P}) = \{F_i(\mathbf{X}, P_i)\}$ (порядка 100);

- высокая вычислительная сложность указанной функции (порядка 100 часов процессорного времени на современных однопроцессорных ЭВМ).

Заключение. Основная научная проблема, решение которой необходимо для создания 3М-САПР, состоит в разработке и исследовании эффективности методов группового принятия многокритериальных решений на основе аппроксимаций множества Парето и множества точек равновесия по Нэшу. Кроме того, необходима разработка структуры программной системы поддержки группового принятия решений при 3М-автоматизированном проектировании сложных технических систем, реализация прототипа указанной программной системы, исследование эффективности принятых алгоритмических и программных решений.

Для обеспечения диалога в реальном времени, 3М-САПР должна обеспечивать параллельное интегрирование модельных систем дифференциальных уравнений (в том числе, жестких) с использованием, многоядерных процессоров, вычислительных кластеров и графических процессорных устройств. С той же целью 3М-САПР должна обеспечивать параллельное построение аппроксимаций множества (фронта) Парето, а также приближенных точек равновесия по Нэшу [2–5].

Литература

- [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.
- [3] Ehrgott M. *Multicriteria Optimization*. Springer, 2005.
- [4] Ларичев О.И. *Теория и методы принятия решений, а также хроника событий в Волшебных Странах*. Москва, Логос, 2002, 296 с.

- [5] 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.

Multi-object multi-criteria multi-personal computer-aided design

Karpenko Anatoly Pavlovich

apkarpenko@mail.ru

BMSTU, Moscow, Russia

We consider the process of automated design of complex (multi-object) technical systems, when the design of different subsystems is carried out by different design teams (multi-person design). The design problem is multi-criterial and the optimality criteria of the specified teams, generally speaking, are different and mutually contradictory. We seek solutions to the design problem on the Pareto set of this problem. On the other hand, we believe that the desired solution must be stable in the sense of Nash stability. We propose a formalization of the 3-M automated design problem, as well as the structure of the corresponding 3M CAD system. We discuss the problems that arise when solving the 3-M automated design problem and when building the 3M CAD system.

Keywords: *automated design, multi-object technical systems, multi-criteria design, group design*