

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ СОВОКУПНОСТИ НАСТРОЕЧНЫХ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ*

Г. Б. Диго, Н. Б. Диго

*Отдел проблем надежности и качества,
ФГБУН «Институт автоматики и процессов управления Дальневосточного
отделения РАН», г. Владивосток; bernatsk@iacp.dvo.ru*

Ключевые слова и фразы: настроечные параметры; неопределенность; область возможных значений внутренних параметров; область работоспособности; техническая система.

Аннотация: Рассмотрена одна из основных задач параметрического синтеза при проектировании настраиваемых технических объектов – выбор оптимальной совокупности настроечных параметров. Для сокращения высокой вычислительной трудоемкости использованы аспекты реализации технологии многовариантного анализа.

Проблеме проектирования технических систем и устройств с учетом возможных параметрических отклонений, вызываемых обычно различными дестабилизирующими факторами стохастического характера и влияющих на показатели их качества, по-прежнему уделяется большое внимание. Одним из способов управления качеством и надежностью таких объектов, и в частности радиоэлектронных устройств и непрерывных технологических процессов, являются настройка и регулировка их параметров. Настройка позволяет компенсировать отклонения параметров технических объектов от расчетных значений, вызванные наличием производственных (технологических) разбросов, нестабильностью параметров, изменениями внешних условий и других воздействий.

Поскольку теоретические аспекты синтеза настраиваемых объектов все еще недостаточно разработаны, остаются актуальными такие проблемы, как выбор совокупности настроечных параметров и диапазонов их изменения, выбор стратегии настройки. В статье рассматривается выбор оптимальной совокупности настроечных параметров в вероятностной постановке, когда считаются известными характеристики стохастических отклонений параметров от своих номинальных значений.

Предположим, что совокупность внутренних параметров x_1, x_2, \dots, x_n некоторого технического объекта в n -мерном евклидовом пространстве E^n описана вектором $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$, ограничения на их возможные изменения образуют в этом же пространстве некоторую область $D: x \in D \subset E^n$ и задана область работоспособности $D_x \subset E^n$ (область допустимых изменений внутренних параметров, в которой выполняются условия работоспособности). Очевидно, что если выполняется условие $D \subseteq D_x$, то объект находится в работоспособном состоянии, и на-

* По материалам доклада на конференции ММТТ-2014.

стройка не требуется до тех пор, пока некоторые $x \in D$ не окажутся вне области работоспособности D_x , то есть для них будет выполняться условие $x \in D \setminus D_x$.

В такой ситуации, исходя из имеющейся априорной информации (например, технической документации), выделяем параметры r_1, \dots, r_k , с помощью которых можно настраивать объект, а пространство внутренних параметров E^n представляем в виде прямой суммы подпространств $E^n = R \oplus S$, $R \cap S = \emptyset$. Тогда элементы подпространства R будут ортогональны элементам подпространства S , каждое из них будет ортогональным дополнением другого, а размерность $\dim E^n = \dim R + \dim S$.

Очевидно, что подпространство R состоит из векторов размерности k с компонентами $r = (r_1, \dots, r_k) \in R$, а подпространство S имеет соответственно размерность $n - k$ и содержит векторы, компоненты которых не влияют на настройку объекта.

Настройка параметров сводится к изменению значений r_1, \dots, r_k , преобразующему вектор $x = (x_s + r) \in D \setminus D_x$ в скорректированный вектор

$$x^* = (x_s + r^*) \in D_x. \quad (1)$$

Согласно [1] будем считать, что вектор x настраиваем с помощью R , если существует такой вектор $r \in R$, что $(x_s + r) \in D \subseteq D_x$. Однако, в реальных условиях может оказаться, что выбранные или заданные настроечные параметры r_1, \dots, r_k не обеспечивают выполнение условия (1), то есть некоторые векторы $x \in D \setminus D_x$ не могут быть настроены данной совокупностью параметров. Для того чтобы оценить, насколько удачно сформировано подпространство R , в [1] введен численный критерий H_r (вероятность успешной настройки), характеризующий способность выбранной совокупности параметров настраивать объект.

Предположим, что распределение вероятностей вектора $x \in D$ задано плотностью $f(x) = f(x_1, \dots, x_n)$, выбрано подпространство R настроечных параметров размерности k , тогда случайными остаются $n - k$ параметров, не обеспечивающих настройку. Они имеют плотность распределения

$$\varphi(x_s) = \int \dots \int_R f(x_1, \dots, x_n) dx_{\alpha_1} dx_{\alpha_2} \dots dx_{\alpha_k}, \quad (2)$$

а вероятность успешной настройки описывается выражением:

$$H_r = \int \dots \int_S \varphi(x_{s_1}, \dots, x_{s_{n-k}}) dx_{s_1} \dots dx_{s_{n-k}}. \quad (3)$$

В выражении (2) индексы $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_k$ соответствуют k выбранным настроечным параметрам, индексы s_1, s_2, \dots, s_{n-k} в (3) – остальным параметрам; S – подпространство параметров, не обеспечивающих настройку.

Отмечено, что необходимость перехода к рассмотрению настроечных параметров возникает, когда не вся область D содержится в D_x . Для установления этого факта могут быть использованы алгоритмы, предложенные в [2–5]. Если в результате проведенной проверки окажется, что $D \subseteq D_x$, то задача выбора минимального числа настроечных параметров не стоит.

Чтобы принять решение о необходимости настройки каких-либо параметров, в [1] предлагается сначала оценить вероятность выполнения условий работоспособности с учетом возможных параметрических возмущений в варианте, не требующем настройки,

$$H_0 = \int \dots \int_{D_x} f(x_1, x_2, \dots, x_n) dx_1 \dots dx_n. \quad (4)$$

Если для заданного значения $H_{t,p}$ (допустимой вероятности работоспособности объекта без настройки) и H_0 из (4) выполняется условие $H_0 < H_{t,p}$, то возникает задача настройки минимальным числом параметров [1]. При ее решении может оказаться, что вероятность успешной настройки ни для одного набора параметров не превышает заданного значения $H_{t,p}$. Такой результат позволяет утверждать, что при заданных условиях работоспособности задача не имеет решения и их необходимо ослабить. Если вероятность успешной настройки превысит значение $H_{t,p}$ только для одного набора параметров, задача имеет единственное решение. Если же таких наборов окажется несколько, то необходим дополнительный критерий, позволяющий выбрать из нескольких допустимых решений наилучшее. При этом должны учитываться существенные для конкретной ситуации факторы. Как частный случай таким критерием может быть максимальное значение вероятности успешной настройки.

Очевидно, что применительно к каждому реальному объекту уже на этапе предварительного анализа по имеющейся технической документации можно выявить параметры, не поддающиеся регулированию, и сразу исключить их из рассмотрения в качестве настроечных. Из оставшихся параметров должна быть выбрана минимальная их совокупность, обеспечивающая требуемую настройку. Этого можно достичь проверкой возможных вариантов настройки одним, двумя и т.д. r параметрами до тех пор, пока не будет выполнено условие (1). При небольшом числе параметров может использоваться метод прямого перебора, а в других случаях для уменьшения временных затрат в процессе вычислений предлагается использовать многовариантную технологию путем организации на многопроцессорных компьютерах параллельных вычислительных потоков для одновременного проведения расчетов по разным сочетаниям настроечных параметров. При этом каждый поток должен реализовывать один из вариантов на отдельном процессоре.

В качестве главного критерия качества распараллеливания вычислений рассматривается сокращение общего времени решения и, кроме того, учитывается зависимость возможности распараллеливания от числа имеющихся процессоров (ограничения на число вариантов). Распараллеливание базируется на декомпозиции последовательного алгоритма вычислений, а единицей параллелизма является однократный расчет по каждому из вариантов.

Из возможных вариантов распараллеливания по данным выбран простейший, отличающийся алгоритмической простотой и не требующий в ходе решения обмена информацией между процессорами. Несмотря на такие недостатки, как невозможность подключать простаивающие процессоры и разгружать занятые при асинхронном времени расчета из-за автономного владения информацией и отсутствия обмена нею, учитывалось, что отсутствие передачи данных от одного процессора к другому ускоряет процесс вычислений больше, чем пошаговый обмен информацией между ними.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке гранта РФФИ, проект № 14-08-00149.

Список литературы

1. Абрамов, О. В. Выбор параметров настройки технических устройств и систем / О. В. Абрамов // Проблемы управления. – 2011. – № 4. – С. 13 – 19.
2. Абрамов, О. В. Об использовании параллельных вычислений в задачах оптимального параметрического синтеза / О. В. Абрамов // Надежность и качество 2009: тр. Междунар. симпозиума, г. Пенза, 25 – 31 мая 2009 г.: в 2 т. / Пензенский гос. ун-т. – Пенза, 2009. – Т. I. – С. 49 – 52.
3. Параллельные алгоритмы построения области работоспособности / О. В. Абрамов [и др.] // Информатика и системы управления. – 2004. – № 2. – С. 121 – 133.
4. Катуева, Я. В. Параллельная реализация некоторых методов оптимизации нулевого порядка в задаче параметрического синтеза динамических стохастических систем / Я. В. Катуева // Параллельные вычисления и задачи управления PACO'2006: тр. III Междунар. конф. памяти И. В. Прангишвили, г. Москва, 2 – 4 окт. 2006 г. / Ин-т проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН. – М., 2006. – С. 204 – 213.
5. Катуева, Я. В. Использование параллельных алгоритмов прямого моделирования Монте-Карло в моделях параметрического синтеза / Я. В. Катуева // Вторая Международная конференция по проблемам управления. Избранные труды в двух томах, г. Москва, 17 – 19 июня 2003 г. / Ин-т проблем управления. – М., 2003. – Т. 2. – С. 167 – 173.

Selection of Optimal Set of Adjusting Parameters of Technical Objects

G. B. Digo, N. B. Digo

*Department of Reliability and Quality Problems,
Institute of Automation and Control Processes of RAS, Vladivostok;
bernatsk@iacp.dvo.ru*

Key words and phrases: adjusting parameters; domain of possible values of internal parameters; engineering system; serviceability domain; uncertainty.

Abstract: One of the main tasks of parametric synthesis at designing of adjusted technical objects (a choice of optimum set of adjusting parameters) was considered. Aspects of implementation of multivariate analysis technology to reduce high computing labor input were used.

References

1. Abramov O.V. *Problemy upravleniya 2011* (Control Sciences 2011), no. 4, pp. 13-19.
2. Abramov O.V., in *Nadezhnost' i kachestvo 2009* (Reliability & Quality 2009), Proceedings of the International Symposium, 25-31 May 2009, Penza, vol. 1 of 2, pp. 49-52.
3. Abramov O.V., Digo G.B., Digo N.B., Katueva Ya.V. *Informatika i sistemy upravleniya*, 2004, no. 2, pp. 121-133.
4. Katueva Ya.V., in *Parallelnyye vychisleniya i zadachi upravleniya, PACO'2006* (Parallel computations and control problems), Proceedings of the III International Conference Memory I.V. Prangishvili, 2-4 Oktober 2006, Moscow, pp. 204-213.

5. Katueva Ya.V., in *Vtoraya mezhdunarodnaya konferentsiya po problemam upravleniya. Izbrannye trudy v dvukh tomakh* (The Second International Conference on Control. Selected works in two volumes), 17-19 June 2003, Moscow, vol. 2 of 2, pp. 167-173.

Auswahl der optimalen Gesamtheit der abstimrenden Parameter der technischen Objekte

Zusammenfassung: Es wird eine der Hauptaufgaben der parametrischen Synthese bei der Projektierung der gestimmten technischen Objekte – die Auswahl der optimalen Gesamtheit der abstimrenden Parameter betrachtet. Für die Kürzung des hohen Rechenarbeitsaufwandes werden die Aspekte der Realisierung der Technologie der variantenreichen Analyse verwendet.

Choix de l'ensemble optimal des paramètres adaptatifs des objets techniques

Résumé: Est examiné un des problèmes essentiels de la synthèse paramétrique lors de la conception des objets techniques adaptables – choix de l'ensemble optimal des paramètres adaptatifs. Pour la réduction du coefficient d'engagement du personnel sont utilisés les aspects de la réalisation de la technologie de l'analyse multivariative.

Авторы: *Дуго Галина Борисовна* – научный сотрудник лаборатории управления надежностью сложных систем Отдела проблем надежности и качества; *Дуго Наталья Борисовна* – научный сотрудник лаборатории управления надежностью сложных систем Отдела проблем надежности и качества, ФГБУН «Институт автоматизации и процессов управления Дальневосточного отделения РАН», г. Владивосток.

Рецензент: *Абрамов Олег Васильевич* – доктор технических наук, профессор, заведующий лабораторией управления надежностью сложных систем Отдела проблем надежности и качества, ФГБУН «Институт автоматизации и процессов управления Дальневосточного отделения РАН», г. Владивосток.
