Агрегирование показателей свойств сложных технических систем на основе информационной свертки

Aggregation of complex technical systems property parameters based on information convolution

Козлов / Kozlov V.
Владимир Владимирович
(john682@mail.ru)
доктор технических наук, профессор.
ФГБВОУ ВО «Военно-космическая академия имени А. Ф. Можайского» МО РФ
(ВКА им. А. Ф. Можайского),
профессор кафедры стартовых и технических комплексов.
г. Санкт-Петербург

Лагун / Lagun A.
Андрей Валерьевич
(john682@mail.ru)
кандидат технических наук, доцент.
ВКА им. А. Ф. Можайского,
доцент кафедры стартовых и технических комплексов.
г. Санкт-Петербург

Миронов / Mironov E.
Евгений Андреевич
(john682@mail.ru)
кандидат технических наук, доцент.
ВКА им. А. Ф. Можайского,
доцент кафедры.
г. Санкт-Петербург

Антропова / Antropova A.
Александра Владимировна
ВКА им. А. Ф. Можайского,
начальник отделения кафедры конструкции ракет-носителей и ракетных двигателей.
г. Санкт-Петербург

Ключевые слова: сложная техническая система – complex technical system; оценивание – evaluation; информация – information; показатель – parameter.

Рассматриваются вопросы создания агрегирования численных значений показателей совместных и несовместных свойств сложных технических систем без привлечения экспертных оценок для весовых коэффициентов. В статье показано, что использование закона сохранения полной информации сложных технических систем позволяет достичь заданного уровня достоверности процесса оценивания и избежать субъективности такого процесса.

The article gives an insight into the development of aggregation of numerical values of parameters to evaluate shared and exclusive properties of complex technical systems without expert evaluations for weight coefficients. The article shows that the use of the complete information conservation law for complex technical systems allows achieving the desired level of authenticity of the evaluation process and avoiding the subjectivity of such a process.

Введение

В работе наше внимание направлено в основном на вопросы оценивания сложных технических систем (СТС). Как известно, процесс оценивания можно применять как к уже созданным системам, так и к тем, которые только создаются на уровне формирования их облика. Однако нам в большей степени интересен процесс созидания, а потому проблемы оценивания мы будем рассматривать с позиций создания новых технических систем. Предполагается, что всякие научные исследования следует начинать с семантики, поскольку неоднозначные трактовки явлений и объектов, закравшиеся в начале рассуждений, могут привести к большим сложностям при обсуждении результатов работы.

В этих представлениях нас укрепляет рассуждения Месаровича [1] об аксиоматических логических структурах. В частности, им утверждается, что «... если множество (правильных) высказываний на некотором формальном языке является «исчерпывающим» с точки зрения имеющихся знаний об интересующей нас системе, т.е. оно содержит все установленные и гипотетические факты о ее поведении, то системой называется некоторое собственное подмножество правильных высказываний».

Анализ нормативно-технической документации (НТД) в области создания многих СТС показывает,

0-2018.indd 44 26.09.2018 10:00:31

что множество эвристически задаваемых свойств целенаправленной системы постоянно растет.

Хронологический анализ [2] показывает также, что кроме традиционных свойств целевого назначения вначале появилось свойство стоимости, затем надежности, потом безопасность и т.д.

При этом появляется очевидные вопросы. Такие как:

– Что будет дальше?

– Сколько будет таких свойств?

– Как часто они будут назначаться, постоянно изменяя существующие НТД, и главное, сколько таких свойств нужно?

– Какова мощность множества таких свойств?

Ответы на эти вопросы далеко не тривиальны. В научном плане определение множества свойств СТС практически не ставится и не решается.

В этой работе мы попытаемся рассмотреть некоторые из этих вопросов и предложить пути их решения.

Описание процесса создания СТС

Создание СТС есть процесс ее синтеза. Для искусственно создаваемой системы, как правило, назначаются: неполный вербальный набор свойств по назначению, неполное множество элементов структуры, некоторые процессы функционирования, подлежащие реализации, а также ряд условий и ограничений, в рамках которых планируется достижение целей СТС.

В этих условиях (недостаточной информации) синтез СТС содержит в основном такие процедуры, как: генерация вариантов СТС и поиск оптимальной системы. В соответствии с самим понятием системы, синтезу подлежат структура системы, ее функции, параметры и показатели системы.

Весь процесс синтеза СТС сложен и недостаточно формализован. Однако следует констатировать, что наибольшие проблемы для такого процесса представляют процедуры структурного синтеза. Если сегодня известны некоторые подходы к структурному анализу [3], то структурный синтез практически не разработан. Вместе с тем сегодня опубликован ряд работ, например [4], где показаны процедуры структурного синтеза механизмов, а также работы [5], где показаны методологические подходы к реализации процедур синтеза для систем потокораспределения.

В этих работах указывается, что исходным этапом создания любой системы является формулировка требований, которым должна отвечать система.

Поскольку задача синтеза структуры состоит в определении состава и связей элементов, обеспечивающих выполнение заданных функций, следовательно, необходимо четко сформулировать перечень таких функций, что составляет основу исходных данных при синтезе структуры. С такими тезисами сложно не согласиться, однако здесь просматривается еще несколько проблем, которые следует решить. К таким проблемам следует отнести следующие.

Во-первых, как и каким образом задать полный набор функций (или свойств и их показателей), придающих СТС требуемые качества.

Во-вторых, каким образом агрегировать частные свойства (показатели) в итоговую оценку, на основании которой выполняется процедура оптимизации сгенерированного множества вариантов СТС. Обычно эти проблемы не ставятся и не решаются на формальном языке математики.

Вместо этого решение проблем синтеза СТС строится на основе опыта и интуиции проектировщика и эксплуатирующего персонала. Следует отметить, что теоретическую помощь в этих вопросах обычно ищут в системотехнике, системном анализе и ряде других научных дисциплин. Так (пока только в научной литературе) вводятся свойство эффективности, как интегрального свойства, по которому следует принимать решение. Общность и широкое толкование этого свойства сегодня приводит лишь к его записи в виде вектора основных компонентов.

Векторный показатель эффективности наиболее методически адекватен этому свойству, однако оценивание по нему рождает свои проблемы. Здесь основная проблема состоит в том, что компоненты вектора имеют свои метрики и пространства численных значений. Поэтому их объединения приводит к поиску новых непонятных пространств и их пересечений.

Обычно выход из этого положения предлагается в виде двух альтернатив:

Использование математических систем предпочтений (для структур, функций и численных значений параметров свойств СТС) или использование мнения лица, принимающего решение (ЛПР), или групп экспертов.

Системы предпочтения для структур сегодня ограничены исследованием таких основополагающих характеристик структур как связность, достижимость, компактность, централизованность, сложность и иерархичность [3].

Следует отметить, что эти показатели структур мало информативны. Они вводятся искусственно и из их определения неясны следующие моменты:

– что именно показывают эти показатели;

– какие численные значения этих показателей предпочтительнее;

– как эти показатели агрегировать в итоговую оценку;

– какой букет из них следует принимать как наилучший.

Несколько лучше обстоит дело с системой предпочтений функций (математическим описанием операций СТС). Для них есть серьезные результаты, полученные в области теории систем [1]. Суть этих предпочтений сводится к необходимости минимальной реализации пространств состояний СТС. Использование мнения экспертов и ЛПР, несмотря на оттенок субъективизма, мера вынужденная.

Такую вербальность можно было бы преодолеть, если бы существовала объективная иерархическая

3-2018.indd 45 26.09.2018 10:03:31

система оценивания, для которой на каждом уровне иерархии располагались бы свойства равной значимости. В этом случае процедуры их агрегирования в итоговые оценки соответствующего уровня иерархии не требовали бы тех усилий, которые приходится предпринимать в случаи агрегирования неполного множества показателей из разных уровней иерархии. Таким образом, при рассмотрении синтеза СТС на современном этапе познания, складывается представление, что этот процесс неизбежно содержит элементы оккультных знаний и оттенок некого математического хауса, который преодолевается опытом («сыном ошибок трудных»).

Оценивание сложных технических систем представляется в виде комплекса проблем. Среди таких проблем можно выделить количество свойств и их показателей, построение иерархии таких свойств (показателей) и агрегирование показателей свойств в итоговую оценку.

В статье описываются лишь подходы к агрегированию показателей из нижележащего уровня иерархии в более высокий уровень иерархии.

Агрегирование показателей свойств СТС

Мы рассматриваем показатели свойств сложных технических систем, масштабированные в диапазоне $0 \div 1$ и не имеющие размерности. При этом под агрегированием здесь понимается преобразование исходной модели в модель с меньшим числом переменных или ограничений, дающих приближенное по сравнению с исходной описание изучаемого процесса или объекта [6].

Процедура поиска выражения для агрегированного показателя при наличии значений нескольких показателей может быть (как кажется на первый взгляд) частично упрощена, если использовать свертки частных значений показателей. Однако при этом возникают новые две задачи:

Во-первых, задача о доказательстве полноты таких частных показателей.

Во-вторых, собственно задача свертки частных показателей в общий показатель.

Сегодня чаще всего используются эвристические свертки (экономические, вероятные и др.).

С математической точки зрения используются аддитивные свертки по Нейману [7] и Гермейеру вида:

$$P_0 = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i p_i, \quad \sum_i \lambda_i = 1, \quad \lambda_i > 0 \quad i \in 1 \div n$$

где P_0, p_i, λ_i, n – значение агрегированного показателя, значения частных показателей, значения весовых коэффициентов и общее количество частных показателей, подлежащих агрегированию.

Как указано в [11] аддитивные свертки целесообразно использовать для независимых свойств.

Для мультипликативных сверток вида:

$$P_0 = \prod_{i=1}^{n} p_i^{\lambda_i} \quad \sum_i \lambda_i = 1, \quad \lambda_i > 0 \quad i \in 1 \div n$$

характерно, что низкое значение хотя бы по одному показателю влечет за собой низкое значение агрегированного показателя, что в большей степени подходит к агрегированию связанных свойств сложной технической системы.

Для обоих вариантов математического выражения сверток остается «загадкой» назначение весовых показателей. Как правило, эту задачу возлагают на ЛПР или на экспертов. В обоих случаях такое агрегирование имеет оттенок субъективизма. В этой статье и в [8] сделана попытка уйти от такого рода субъективизма и агрегирование выполнять на формальном математическом уровне.

В обоих случаях (аддитивной или мультипликативной свертки) формальному агрегированию необходимо дополнительное соотношение, которое позволило бы разрешить аддитивную или мультипликативную систему уравнений, имеющих три неизвестных и две переменных.

Для агрегирования двух или нескольких показателей в общую оценку здесь предложено использовать закон сохранения информации.

В статье [8] описан общий подход использования закона сохранения информации. Там же описан вариант использования информационной свертки для двух показателей связанных свойств.

В этой статье мы приводим вариант агрегирования для двух показателей несвязанных свойств. В обеих статьях используется один и тот же методический подход, который сводится к тому, что необходимо найти такое преобразование исходных значений двух показателей, которое было бы эквивалентно по информационному содержанию новым двум промежуточным значениям, причем равным друг другу.

В работе [8] нами была использована схема, изображенная на рис. 1, которая привела к решению трансцендентного уравнения вида:

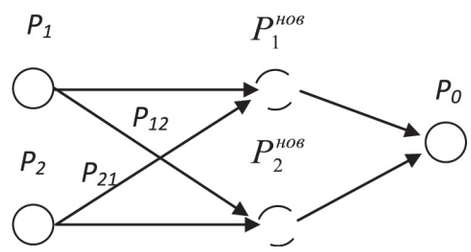

Рис. 1. Схема агрегирования показателей связанных свойств

$$P_0 \cdot P_1 \left[\ln(P_1 \cdot P_2) - \ln(P_0 \cdot P_2)\right] + P_0 \cdot P_2 \left[\ln(P_1 \cdot P_2) - \right.$$
$$\left. - \ln(P_0 \cdot P_1)\right] + \ln(P_1 \cdot P_2) = \ln(P_0^2)$$

$$\left.\begin{aligned} P_0 &= p_1^{\lambda_1} \cdot p_2^{\lambda_2} \\ \lambda_1 + \lambda_2 &= 1 \end{aligned}\right\}$$

3-2018.indd 46 26.09.2018 10:03:32

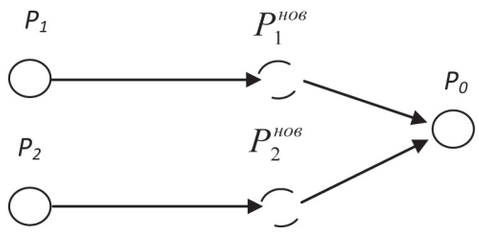

Рис.2. Схема агрегирования показателей несвязанных свойств

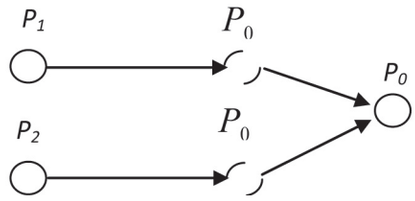

Рис. 3. Схема агрегирования показателей несвязанных свойств

Тогда для двух независимых показателей схему агрегирования можно представить в следующем виде (рис. 2).

Как было оговорено выше, здесь используется условие $P_1^{нов} = P_2^{нов}$, обеспечивающее агрегирование при условии $\lambda_1 = \lambda_2 = 0{,}5$ «автоматически», что дает результат $P_1^{нов} = P_2^{нов} = P_0$.

Таки образом схема агрегирование может иметь вид (рис. 3)

Тогда можно записать:

$$P_1\lambda_1 = P_0 \text{ и } P_2\lambda_2 = P_2(1-\lambda_1) = P_0$$

В результате можно видеть, что

$$P_0 - P_0 = 0 = P_1\lambda_1 - P_2(1-\lambda_1).$$

Далее видно, что $(P_1 + P_2)\lambda_1 = P_2$ или $\lambda_1 = \dfrac{P_2}{P_1 + P_2}$.

Аналогично можно получить соотношение

$$\lambda_2 = \frac{P_1}{P_1 + P_2}$$

Тогда

$$P_0 = P_1\lambda_1 + P_2\lambda_2 = 2\frac{P_1P_2}{P_1 + P_2}$$

Для иллюстрации полученного результата примем условие $P_1 + P_2 = 1$, что даст следующий результат (рис. 4)

Сравнивая вариант агрегирования показателей связанных [8] и несвязанных свойств (рис. 5) видно, что информационное наполнение значений агрегированных показателей для связанных свойств выше, чем для показателей несвязанных свойств, что само по себе обосновано.

Выводы

Анализ полученных соотношений по агрегированию показателей связанных [8] и несвязанных свойств показывает, что для связанных свойств вес (λ) того или иного показателя с низким числовым значением менее значим, чем для показателей несвязанных свойств, о

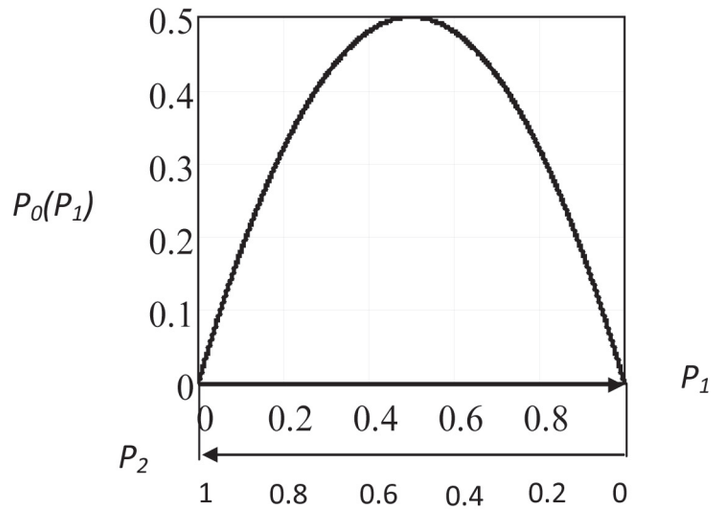

Рис. 4. Зависимость агрегированного показателя от показателей несвязанных свойств при условии $P_1 + P_2 = 1$

3-2018.indd 47 26.09.2018 10:03:33

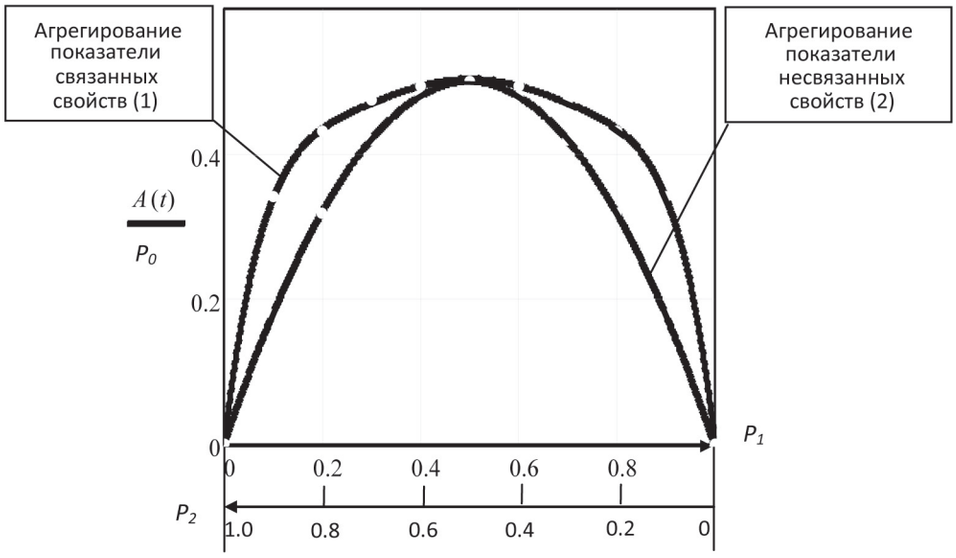

Рис. 5. График сравнения зависимостей агрегированного показателя для показателей связанных (1) и несвязанных свойств (2)

чем свидетельствует численный пример для одинаковых значений агрегируемых показателей $(P_1 = 0.2; P_2 = 0.8)$:

– связанные свойства $\mathbf{0.2}^{0.447} \cdot \mathbf{0.8}^{0.5523} = \mathbf{0.43}$;;

– несвязанные свойства $\mathbf{0.2} \cdot 0.8 + \mathbf{0.8} \cdot 0.2 = \mathbf{0.32}$..

Предложенные здесь и в статье [8] алгоритмы информационных сверток, основанных на законе сохранения информации [9] и аппарате оценивания информации, предложенный Шенноном [10], позволяют выполнить свертки не только двух показателей, но и иного количества разнотипных показателей без привлечения субъективных суждений ЛПР.

Литература

1. Месарович, М. Теория иерархических многоуровневых систем / М. Месарович, Д. Мако,
И.М. Такахара. – М.: Мир, 1978. – 311 с.

2. Бирюков, Г. П. Основы проектирования ракетно-космических комплексов /
Г.П. Бирюков [и др.]. – СПб.: Издательство Алфавит, 2002. – 395 с.

3. Резников, Б. А. Системный анализ и методы системотехники: Учебник / Б.А. Резников. – МО, 1990. – 522 с.

4. Левитский, Н. И. Теория механизмов и машин: Учеб. пособие / Н.И. Левитский. – 2-е изд. – М.: Наука Гл. ред. физ. мат. лит., 1990. – 592 с.

5. Козлов, В. В. Синтез функциональной структуры систем потокораспределения / В.В. Козлов, Н.Ф. Аверкиев, Б.К. Гранкин // Сборник трудов международной научно-практической конференции по современным проблемам прикладной информатики. 23–25 мая 2012 г. – СПб.: изд. «Элмор», 2012. – С. 19–24.

6. Надежность и эффективность в технике: Справочник: В 10 т. / Ред. Совет.: В.С. Авдуевский (пред.) [и др.] – М.: Машиностроение, 1986.

7. Моргенштерн, О. Теория игр и экономическое поведение [: пер. с англ.] / О. Моргенштерн, Дж. фон Нейман. – М.: Книга по Требованию, 2012. – 708 с.

8. Особенности оценивания свойств сложных технических систем на этапе проектирования [Электронный ресурс] / В.В. Козлов [и др.] // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования: Научный интернер-журнал. – 2017. – № 4 (38). – Режим доступа: iea.gostinfo.ru/files/2017_04/2017_04_05.pdf, свободный. – Загл. с экрана.

9. Реньи, А. Трилогия о математике / А. Реньи. – М., 1980. – 235 с.

10. Шеннон, К. Работы по теории информации и кибернетики [: пер. с англ.] / К. Шеннон. – М.: Издательство иностранной литературы, 1963. – 832 с.

11. Математическая энциклопедия: в 5 т./ Гл. ред. И. М. Виноградов. – М.: Сов. энцикл., 1977–1985.

0-2018.indd – 48 26.09.2018 10:00:33