

УДК 621.396

А.А. ЛАВРУТ¹, А.М. МАРТИНЕНКО², Т.В. ЛАВРУТ²¹Военный институт телекоммуникаций и информатизации Национального технического университета Украины “КПИ”, Украина²Полтавский национальный технический университет имени Ю. Кондратюка, Украина

ОПИСАНИЕ СИСТЕМЫ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ КАК СЛОЖНОГО ДИНАМИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА ПРИ ПОМОЩИ МЕТОДА КРОНА

В статье предлагается применение метода Крона при проектировании систем спутниковой связи. Метод Г. Крона дает возможность осуществлять проектирование любых сложных систем в переходной ситуации, когда вместо старых путей в качестве системы координат выбираются новые пути, ориентированные на устойчивое развитие, согласованное с общими законами природы. Таким образом, применяя тензорный метод Крона для анализа системы спутниковой связи, как сложного объекта, возможно одновременно учитывать противоречивые параметры системы и воздействующие на нее факторы в различных (изменяющихся) условиях функционирования, сохраняя целостность ее рассмотрения.

Ключевые слова: система спутниковой связи, метод Крона, тензорный анализ.

Введение

Руководство видов и родов войск должно обеспечивать быстрое, устойчивое, надежное, непрерывное и гибкое управление боевыми соединениями и частями как в мирное, так и в военное время не только на территории Украины, но и за ее пределами (при выполнении миротворческих операций). Повысить эффективность управления частями возможно за счет внедрения системы спутниковой связи во все органы управления. Это позволит оперативно и надежно передавать необходимую информацию и организовывать связь на необорудованных районах. С помощью спутниковой связи командование будет иметь возможность своевременно и качественно доводить до объектов управления соответствующие приказы и обеспечивать контроль за их выполнением [1].

В соответствии с нормативно-законодательной базой Украины одними из приоритетных направлений являются: внедрение космической деятельности в интересах национальной безопасности и обороны Украины, а также других центральных органов исполнительной власти, предприятий всех форм собственности, которые входят в Единую общегосударственную систему связи Украины; военно-теоретические научные исследования по вопросам использования космических систем в интересах национальной безопасности и обороны, разработки нормативно-технического обеспечения использования космических систем и средств военного и двойного назначения; опытно-конструкторских работ по

созданию космических систем и средств двойного назначения [1 – 5].

Система спутниковой связи (ССС) является сложной системой, на эффективность работы которой влияют множество как внешних, так и внутренних параметров. Учесть множество одновременно влияющих друг на друга параметров системы с учетом сложившейся помеховой обстановки с использованием “традиционного” математического аппарата не представляется возможным.

Таким образом, целью статьи является рассмотрение возможности применения метода Крона для описания функционирования СССР, как сложного динамического объекта.

1. Особенности построения системы спутниковой связи

Аппаратура и емкости коммерческих систем связи становятся неотъемлемой частью современных военных систем связи, обеспечивая низкие затраты, высокую пропускную способность и новые виды обслуживания военных абонентов. Создание перспективной СССР требует оптимального сочетания военного и коммерческого сегментов [2 – 5].

Оптимальная архитектура современных СССР должна включать как специализированные спутники военной связи, так и каналы, арендованные в гражданских системах [6, 7].

То есть, с одной стороны такая СССР должна обеспечивать высокую пропускную способность, скорость передачи информации, эффективное ис-

Поскольку один и тот же физический объект можно измерить по отношению к бесконечному числу систем отсчета (координат) и каждое измерение дает набор чисел, то теперь один символ представляет бесконечное количество таких наборов чисел вместо одного.

Векторный анализ, однако, является весьма ограниченным типом организации, поскольку он представляет объекты, существующие в трехмерном евклидовом пространстве.

Более совершенный тип организации требует ввести обобщенные координаты и использовать новые типы пространств, имеющих более трех измерений и более сложную структуру. Эти новые пространства наполнены новыми типами объектов, каждый из которых обозначается одним символом. Эти пространства и объекты, существующие в них, порождаются “группой преобразований” так, что имеется столько пространств, сколько соответствующих им “групп преобразований”.

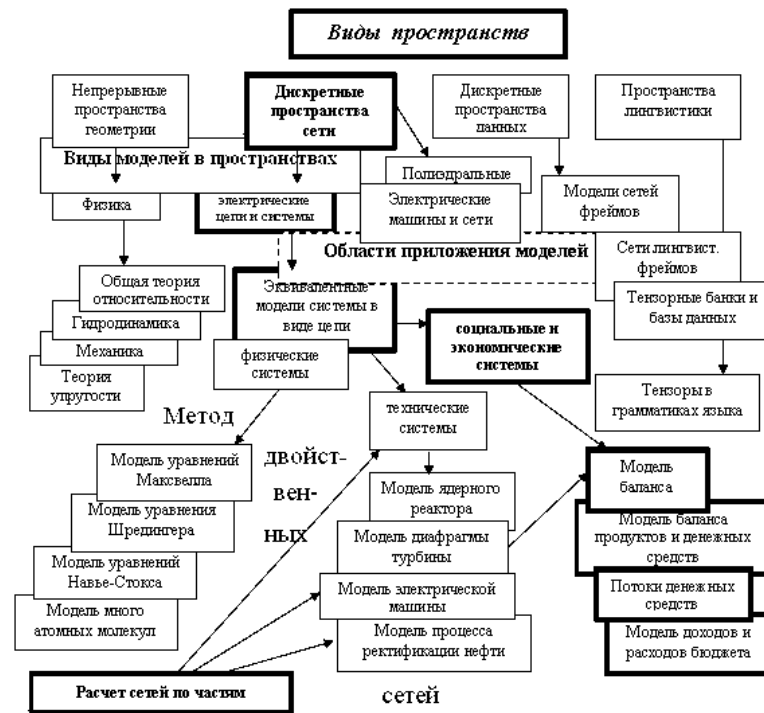


Рис. 1. Области применения тензорного метода

Тензорный анализ занимается систематическим изучением этих обобщенных пространств и объектов в них. С этой точки зрения тензорный анализ можно рассматривать как расширение и обобщение векторного анализа от трех- до n -мерных пространств и от евклидовых до неевклидовых пространств. Будучи однажды установлены тензорные уравнения позволяют находить уравнения поведения или характеристики любой системы подстановкой частных констант.

Эта гибкость тензоров позволяет при изучении разнообразнейших систем выделить одну, которая имеет наиболее простую структуру, и изучать свойства и уравнения только этой частной системы [13].

Таким образом, тензорные методы дают возможность решать такие проблемы, к которым невозможно приблизиться либо из-за вычислительных трудностей, либо из-за трудности в наглядном представлении сущности проблемы; а так же дает возможность использовать рассуждения и результаты одной решенной проблемы в решении многих других проблем.

3. Суть метода

Основным свойством всякого тензора по Крону является то, что с помощью группы матриц преобразования можно найти, по определенным правилам, его составляющие в любой системе координат. Это способствует упрощению анализа разнообразных систем [13].

Определить поведение некоторой системы можно двумя способами, которые могут быть применены каждый в отдельности или оба одновременно.

1. Сложная система разбивается на несколько составляющих систем удалением некоторых, определенным образом выбранных связей так, чтобы каждую составляющую систему можно было легко анализировать. Это разложение может быть выполнено в несколько последовательных приемов.

Если один элемент системы характеризуется определенными измеримыми величинами, то множество таких элементов характеризуется n -матрицами этих же величин.

Множество элементов характеризуется тем же числом символов того же типа, что и один элемент, но отличается тем, что отдельные числа заменяются n -матрицами различной размерности. Следовательно, нужно заметить, что n -матрицы – это совсем не случайный набор каких угодно чисел. В каждой задаче должно использоваться ровно такое количество n -матриц, сколько имеется в ней понятий, выраженных в измеримых величинах. Количество n -матриц может быть увеличено или уменьшено только в соответствии со строгими правилами, вытекающими из природы решаемой задачи.

Таким образом, необходимо сначала выполнить анализ простой системы с одной (или более) степенью свободы. После этого можно перенести все этапы этого анализа на сложную систему, заменяя каждую величину соответствующей ей n -матрицей [13].

Вид окончательного уравнения сложной системы с n степенями свободы совпадает с видом окончательного уравнения простой системы с одной (или более) степенью свободы, отличаясь только тем, что каждая величина заменена n -матрицей.

Система может быть образована из двух или более элементов существенно различного типа, так что для каждого из этих элементов необходимо отдельное уравнение. Этот рабочий прием называется “постулатом первого обобщения”.

Использование n -матриц предлагает новый подход, не вытекает из обычных соображений, и окончательный ответ получается в новой форме, требующей намного меньше вычислительной работы [11-13].

2. В дополнение к разложению сложной системы на несколько составляющих систем, необходимо принять новые, более простые, координаты для исходной или для составляющих ее систем. Например, заменить, если это возможно, криволинейные координаты прямолинейными. Новые координаты могут быть воображаемыми, например, симметричные составляющие, нормальные координаты, или же могут существовать в действительности.

Правила перехода от уравнений “элементарной” (или “примитивной”) системы к уравнению действительной системы составляют содержание так называемой “теории преобразования” или “преобразования координат”. Эти преобразования представляют собою основу тензорного анализа.

Множество разнообразных систем отличаются друг от друга только числом и способом соединения основных элементов, а различные “теории” отличаются только принятой системой воображаемых координат. Аналитическая работа требуется только при исследовании основных элементов. Соединение этих элементов в данную систему представляет со-

бой стандартный процесс. Для определения тензоров любой конкретной системы реального мира нужно только найти частную матрицу преобразования, отличающую данную систему от элементарной системы. Раз группа преобразования найдена, тензоры данной системы получаются с помощью стандартных правил преобразования. Когда составляющие тензоров данной системы найдены, искомое уравнение поведения системы составляется как копия уравнения элементарной системы.

Фундаментальное предположение тензорного анализа состоит в том, что:

- новая система описывается тем же числом n -матриц и того же типа, что и старая система, но отличается от нее численным значением компонент n -матриц;

- уравнение новой системы, записанное в n -матрицах, имеет тот же вид, что и уравнение старой системы;

- n -матрицы новой системы могут быть найдены из n -матриц старой системы с помощью рутинного преобразования.

Эти положения (или их эквиваленты) названы Кронем “постулатом второго обобщения” [11-13].

Таким образом, переход от одного способа соединения к другому не требует введения новых n -матриц и изменения расположения n -матриц в уравнении. Отличие состоит только в том, что новые n -матрицы имеют компоненты, отличающиеся от компонент матриц прежнего уравнения.

Операция перехода от одного способа соединения к другому названа “преобразованием” или “заменой переменных”.

Постулат второго обобщения утверждает, что одному и тому же символу A соответствует не одна n -матрица, а очень большое количество n -матриц, каждая из которых имеет одну и ту же размерность, одно и то же число осей, но отличаются значениями компонент [13].

Теперь каждый символ или базовая буква означает бесконечное число n -матриц, которые образуют новую математическую сущность, называемую “геометрический объект”.

Это означает, что с каждым геометрическим объектом в каждой частной системе координат связана n -матрица, которая дает значение компонент одного и того же геометрического объекта в этой частной системе координат. Если система координат изменяется, то изменяются компоненты геометрического объекта (идентифицируемые штрихами индексов), но сам геометрический объект остается неизменным.

С введением новой сущности – геометрического объекта – вместо n -матрицы необходимо ввести новую терминологию и новые обозначения:

– при использовании индексного обозначения n -матрица отличается от геометрического объекта путем заключения индексов n -матрицы в скобки: $Z_{(\alpha)(\beta)}$. Таким образом, $Z_{\alpha\beta}$ – геометрический объект, представляемый n -матрицами в бесконечном числе систем координат; $Z_{(\alpha)(\beta)}$ – n -матрица, имеющая компоненты только в данной системе координат;

– уравнение, в котором, каждый символ представляет геометрический объект, а не просто n -матрицу, называется, инвариантным, а не матричным уравнением.

Процесс построения уравнений сложных систем из уравнений их составных частей служит ключом к тензорному анализу. Без этого процесса изучение всякой отдельной системы представляет собой изолированную задачу, подлежащую решению каждый раз с самого начала [11 – 13].

Поскольку в задачах проектирования приходится иметь дело с более сложными системами, с гораздо большим числом взаимных связей, чем в физике и геометрии, тензорный анализ является по преимуществу инструментом проектирования.

4. Обобщенное представление системы спутниковой связи как сложного динамического объекта

Для полного описания внутренних параметров модели ССС была проведена декомпозиция [6, 7] и система была представлена в виде четырех основных компонентов: бортового ретранслятора, среды распространения; земного сегмента, включающего абонентские станции и центральную управляющую станцию; а так же постановщиков помех. Каждый из компонентов системы можно выразить функциональной зависимостью, описывающей взаимосвязь внутренних параметров и алгоритмов функционирования.

Например, в нашем случае, состояние системы спутниковой связи можно представить в виде матрицы состояния в определенный момент функционирования, где учтены основные ее характеристики [6]. Смена системы координат – это рассмотрение ССС в различных условиях функционирования. А проекции тензора могут отображать величины показателей, которые характеризуют основные ее свойства в принятом для рассмотрения аспекте.

Очевидно, что при изменении состояния ССС изменяются (или должны изменяться) и значения компонентов, входящих в матрицу [7].

Для построения тензорной математической модели необходимо ввести какую-либо систему отсчета. Например, допуская, что характеристики и алго-

ритмы являются основными составляющими, можно уподобить их координатным осям некой обобщенной системы координат. Обозначим оси системы следующим образом: характеристики бортового ретранслятора – 1, характеристики передающей и приемной земных станций – 2 и 3 соответственно, характеристики центральной земной станции – 4, и так далее [7]. Тогда можно записать тензор, который содержит компоненты всех векторов вышеуказанной системы:

$$A_{ik} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1k} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{i1} & a_{i2} & \dots & a_{ik} \end{pmatrix},$$

где, например, a_{31} есть первый компонент третьего вектора, компонент среды распространения в векторе характеристик передающей земной станции или a_{72} – есть второй компонент седьмого вектора, компонент постановщика помех в векторе алгоритма адаптации.

Каждый компонент данного геометрического объекта, являясь одной из основных характеристик системы, так же является n -матрицей.

Тензорный характер вышеуказанного объекта состоит в том, что при различных изменениях его компонент тензор остается целостным (при любых сочетаниях характеристик и алгоритмов система остается всегда). К примеру, при изменении характеристик среды распространения (ухудшении погодных условий) изменяются и компоненты тензора – изменение длины пакета, переход в широкополосный режим, увеличение мощности ретранслятора, переход на использование других сигнально-кодовых конструкций, изменение алгоритма предоставления канала связи и т.д.

Тем самым, зная значения компонентов тензора (параметров состояния ССС) в одной системе координат (в данный момент функционирования) возможно определить ее параметры и характеристики в следующий момент, т.е. в изменившихся условиях обстановки [7].

Заключение

Система спутниковой связи является сложным, для математического представления и моделирования, динамически изменяющимся объектом, который в процессе прогнозирования своего поведения ставит нас перед вычислительными трудностями.

Метод Г. Крона дает возможность осуществлять проектирование любых сложных систем в переходной ситуации, когда вместо старых путей в качестве системы координат выбираются новые пути,

ориентированные на устойчивое развитие, согласованное с общими законами природы.

Таким образом, применяя тензорный метод Крона для анализа системы спутниковой связи, как сложного объекта, возможно одновременно учитывать противоречивые параметры системы и воздействующие на нее факторы в различных (изменяющихся) условиях функционирования, сохраняя целостность ее рассмотрения.

Литература

1. Карпенко В.І. Супутниковий зв'язок: минуле, сучасне та перспективи / В.І. Карпенко, Ю.Г. Даник // Наука і оборона. – 2001. – № 1. – С. 38-42.
2. Про затвердження Загальнодержавної цільової науково-технічної космічної програми України на 2008-2012 роки: Закон України від 30.09.2008 р. // Відом. Верхов. Ради України. – 2009. – № 12.
3. Про космічну діяльність: Закон України від 15.11.1996 р. // Відом. Верхов. Ради України. – 1997. – № 1.
4. Концепція розвитку зв'язи в Україні до 2010 // Відом. Верхов. Ради України. – 1995. – № 20.
5. Про зв'язок: Закон України від 15.05.95 // Відом. Верхов. Ради України. – 1995. – № 20.
6. Лаврут О.О. Возможность реализации динамического изменения режима функционирования

системы спутниковой связи при помощи использования тензорного анализа / О.О. Лаврут // Системы обработки информации. – X., 2009. – Вып. 6 (80). – С. 67-71.

7. Лаврут О.О. Тензор – можлива модель опису системи супутникового зв'язку як складного динамічного об'єкту / О.О. Лаврут, О.Ю. Стрюк, К.О. Польщиков // Системи озброєння та військова техніка. – 2009. – № 4 (20). – С. 131-135.

8. Батищев Д.И. Методы оптимального проектирования. / Д.И.Батищев // Учеб. пособие для вузов. – М.: Радио и связь, 1984. – 248 с.

9. Поповський В.В. Математичні основи теорії телекомунікаційних систем / В.В. Поповський, С.О. Сабурова, В.Ф. Олійник, Ю.І. Лосєв, Д.В. Агєєв та ін.: За загальною редакцією В.В. Поповського.- Харків: ТОВ “Компанія СМІТ”, 2006. – 564 с.

10. Лемешко А.В. Категориально-тензорное представление телекоммуникационной системы / А.В.Лемешко, О.Ю.Евсеева, А.В.Чечуй // Наукові записки УНДІЗ. – 2008. – № 2 (4). – С. 3-15.

11. Крон Г. Исследование сложных систем по частям – диакоптика. / Г. Крон // М., 1972. – 542 с.

12. Крон Г. Тензорный анализ сетей. / Г.Крон //– М.: Сов. радио, 1978. – 719 с.

13. Uni-dubna.ru [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.uni-dubna.ru/departments/sustainable_development/Portal/scientific_knowledge/method/overview_of_method/

Поступила в редакцію 12.02.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф., проф. кафедри автоматизації та комп'ютерних технологій В.А. Краснобаєв, Харківський державний технічний університет сільського господарства, Україна.

ОПИС СИСТЕМИ СУПУТНИКОВОГО ЗВ'ЯЗКУ ЯК СКЛАДНОГО ДИНАМІЧНОГО ОБ'ЄКТУ ЗА ДОПОМОГОЮ МЕТОДУ КРОНА

О.О. Лаврут, А.М. Мартиненко, Т.В. Лаврут

В статті пропонується застосування методу Крона при проектуванні систем супутникового зв'язку. Показано, що застосовуючи тензорний метод Крона для аналізу системи супутникового зв'язку, як складного динамічного об'єкту, можливо одночасно враховувати суперечливі параметри системи і всі фактори, що на неї впливають в різних умовах функціонування, зберігаючи цілісність її розгляду.

Ключові слова: система супутникового зв'язку, метод Крона, тензорний аналіз.

DESCRIPTION OF SATELLITE COMMUNICATION NETWORK AS DIFFICULT DYNAMIC OBJECT THROUGH METHOD OF KRON

A.A. Lavrut, A.M. Martinenko, T.V. Lavrut

Application of method of Kron at planning of satellite communication networks is offered in the article. It is shown that applying the tensor method of Kron for the analysis of satellite communication network, as difficult dynamic object, it is possible simultaneously to take into account the contradictory parameters of the system and all factors affecting her under various conditions functioning, saving integrity of its consideration.

Keywords: satellite communications system, method of Kron, tensor analysis.

Лаврут Александр Александрович – канд. техн. наук, доц., докторант Военного института телекоммуникаций и информатизации Национального технического университета Украины “КПИ”, Украина.

Мартиненко Анатолий Михайлович – канд. воен. наук, доц., проректор по корпоративному управлению Полтавского национального технического университета им. Ю. Кондратюка, Полтава, Украина.

Лаврут Татьяна Валерьевна – канд. геогр. наук, доцент кафедры организации и технологии строительства и охраны труда Полтавского национального технического университета им. Ю. Кондратюка, Полтава, Украина.