

Системный анализ, управление и автоматизация

УДК 681.3

КАТЕГОРНЫЕ МЕТОДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

В.И. Батищев, Н.Г. Губанов

Самарский государственный технический университет
443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244
E-mail: vib@list.ru

Рассматриваются методы моделирования и формирования категорных моделей транспортной инфраструктуры, вопросы практического применения данных методов для создания информационных систем транспортного моделирования.

Ключевые слова: промышленная инфраструктура, транспортная система, системное моделирование, категорные методы.

Транспортной системе (ТС) присущи свойства сложных систем, среди которых следует выделить: многоаспектность и неопределенность их поведения, иерархию, структурное подобие и избыточность основных элементов и подсистем ТС, связей между ними, многовариантность реализации функций управления на каждом из уровней ТС, территориальную распределенность компонент. Однако ТС как составляющая крупномасштабных инфраструктурных промышленных систем (КИПС) имеет ряд особенностей: комплексная, а не отраслевая поддержка промышленных объектов; инерционность, связанная с крайне высокими затратами на коренное изменение структуры; направленность на развитие, реконструкцию и модернизацию существующих схем.

В данных условиях информационно-аналитические системы анализа состояния крупномасштабных инфраструктурных промышленных систем (ИАС КИПС) являются основным средством и инструментом системных исследований в данной области. Это обусловлено, с одной стороны, усложнением технических систем, когда эффективное формирование и отбор технических и организационных решений требует анализа десятков тысяч параметров [1, 2, 3]; с другой стороны, зачастую необходима не просто оценка отдельных параметров, а некоторой топологической структуры, что накладывает дополнительные сложности.

Системы данного класса активно внедряются в промышленно развитых странах. Так, системы транспортного моделирования повсеместно охватывают экономически развитые страны. Основными задачами, решаемыми при помощи данных систем, на разных уровнях принятия решений являются:

– моделирование, анализ и оптимизация структуры и параметров городской транспортной сети;

*Виталий Иванович Батищев – д.т.н., профессор.
Николай Геннадиевич Губанов – к.т.н., доцент.*

- повременный анализ загрузки дорог;
- имитация транспортной ситуации при ограничении движения на участках дорог;
- анализ эффективности введения в эксплуатацию новых участков ТС;
- прогноз транспортной ситуации с учетом перспектив развития жилищно-социальной инфраструктуры районов;
- моделирование, анализ и оптимизация системы общественного транспорта;
- разработка новых и повышение эффективности существующих маршрутных схем общественного транспорта;
- согласование интервалов движения и маршрутов различных видов общественного транспорта;
- формирование сети пересадочных пунктов;
- визуализация транспортных потоков различных районов сети;
- оперативный анализ загрузки дорог, перекрестков, развязок, зон парковки, пересадочных пунктов;
- анализ транспортных схем стоянок и подъездов к крупным социально-культурным и промышленным объектам;
- оптимизация и согласование работы светофоров.

Формирование новых методов создания таких систем является важной научной проблемой в области системного анализа, управления и обработки информации в промышленности. Создание комплексной методологии анализа и построения информационно-аналитических систем оценки состояния сложных технических объектов лежит в русле современных тенденций к интеграции информационно-измерительных систем, систем имитационного моделирования, систем интеллектуального анализа данных, а также подсистем управления базами данных и базами знаний.

Эффективное функционирование систем транспортного моделирования предполагает обработку разнородных данных: данных, заложенных в технической документации по комплексной транспортной системе (КТС), отраженных в градостроительной документации, в частности по протяженности участков дорог, их ширине, количеству полос, качеству покрытия; данных геоинформационного характера – схем, снимков со спутников зондирования поверхности Земли, электронных карт и т. д.; измерительной информации: интенсивности движения на участках дорог, перекрестках (данные измерения производятся по специальным методикам вручную либо при помощи автоматизированных систем); данных социально-экономического характера: по числу, категориям проживающих в районах жителей, численности работников предприятий, количеству посетителей офисных центров, торговых-развлекательных комплексов, вокзалов, спортивных сооружений; данных, накопленных в результате эксплуатации подобных систем в других регионах.

В качестве некоторого обобщения основных источников, формирующих информационное пространство, можно назвать: данные на выходе информационно-измерительных систем; известные закономерности, заложенные в техдокументации, где данными являются объективные законы реального мира, накопленные в фактографических и документальных системах; выявленные закономерности, в частности имитационные модели. Каждый из источников в настоящее время является информационной основой для соответствующих направлений системного анализа, моделирования и управления сложными системами. Однако каждый вид ресурса обладает рядом принципиальных ограничений, существенно сужающих область его применения; в то же время есть существенные предпосылки для системной интеграции

перечисленных ресурсов. Применение комбинации подходов правдоподобного и достоверного вывода позволит получать новые нелинейные эффекты при синтезе информационно-аналитических систем.

Возникает необходимость в конструктивном формальном аппарате, инвариантном к представлению и обработке разнородной информации из вышеперечисленных источников. Анализ современных тенденций, связанных с автоматизацией оценки состояния сложных технических объектов, показал, что существенное усложнение объекта анализа приводит к тому, что результаты, полученные с использованием отдельных, разрозненных, хотя и глубоко исследованных, методов системного анализа, управления, интеллектуальных технологий не приносят вполне удовлетворительного результата. Это подтверждается активизацией на настоящий момент исследований, опирающихся на синтез различных методов, создание некоторых надпредметных метасистем, формирующих семантические конструкции, обобщающие накопленный опыт, методологии и информационные технологии системных исследований. Сложность объекта анализа объективно, в силу необходимости выполнения условия адекватности, порождает и сложность информационной системы анализа состояния. Данный факт определяет важность и актуальность разработки конструктивных методологий анализа, синтеза и управления информационными системами анализа вкуче с объектами анализа. Постоянно увеличивающаяся стоимость информационных ресурсов в современной экономике обуславливает прагматические требования к максимальному использованию накопленных баз данных, баз знаний, фактографических и документальных систем. Данный факт определяет актуальность вопросов отчуждения, адаптации и повторного использования накопленных моделей, технических решений. Несмотря на обилие научно-технических идей, методов и информационных технологий переноса результатов исследования системных закономерностей с одного объекта исследования на другой вопрос остается до сих пор не вполне решенным из-за уникальности объекта анализа. Данный факт ведет к необходимости дополнительных процедур декомпозиции, некоторых допущений, формирования и анализа гипотез для выявления и проверки условий эквивалентности объектов анализа.

Анализ показал перспективу локальной организации для построения систем данного класса, что обусловлено относительной самостоятельностью элементов сложно-структурированного объекта анализа, а также исходя из постановки задачи исследования – существенный дефицит информации об организации объекта анализа в целом и наличия в то же время данных отдельных элементов о других подсистемах, собранных с других объектов.

С основой на категорные методы представления и структуризации информации в информационных системах анализа состояния сложных объектов [6] и с учетом специфики формирования транспортных систем построен формально-математический аппарат на основе категорного подхода, инвариантный к видам обрабатываемой информации и этапам обработки данных.

Анализ средств представления данных для формирования многомодельных комплексов показал перспективу использования категорно-функторного аппарата, который, основываясь на гомоморфном (структурно эквивалентном) отображении, позволяет описывать объекты инвариантно их внутренней структуре через морфизмы (отличия) их друг от друга. Предложен формально-математический аппарат на основе категорного подхода для представления данных, основанный на включении сформированной категории обобщенных вычислительных моделей в продукционные

системы представления знаний, что позволило с единых позиций подойти к формализации данных и процессов на различных этапах обработки информации.

Как было отмечено выше, конструктивным путем снижения неопределенности в процессах предварительной подготовки данных процедур поддержки принятия решений является синтез дедуктивных, индуктивных и абдуктивных методов логического вывода [7, 8]. Данные методы основаны на таких общенаучных понятиях, как отношения «общее – частное».

Структура и функционирование аналитических систем S зависит от следующих информационных сущностей: объекта анализа (СТО) Q ; цели функционирования аналитической системы G , определяемой конкретной задачей принятия решения; полимодельного комплекса, задающего структуру системы, M ; среды, определяющей параметры системы, C , а также отношений между данными структурами $R = (r_{Q,M}, r_{Q,C}, r_{Q,G}, r_{M,C}, r_{Q,M}, r_{Q,C})$.

Пусть $d = \langle n_i^d, C_d \rangle$, где n_i^d – имя параметра объекта анализа СТО; C_d – значение параметра n_i^d . Обобщая фреймовую модель представления декларативных знаний, представим информационные источники (ИИ) в следующем виде: $D = \langle D^N, D^L, D^K \rangle$, где D – база данных; D^N – данные с измерительного тракта системы; D^L – данные, накопленные в процессе эксплуатации систем подобного класса в других регионах; D^K – данные, аккумулированные в градостроительной документации.

В случае D^N выполняется следующее условие: $D^N = \langle X_k^{in} = X_k^{out}, F_j^{X_k^{in} \rightarrow X_k^{out}} = \emptyset \rangle$. D^L – данные, представляющие собой «черный ящик», предметом мониторинга является множество входных и множество выходных параметров, когда по входным и выходным значениям восстанавливается (подбирается) модель (отображение) входных параметров в выходные $D^L = \langle X_k^{in}, X_k^{out}, F_j^{X_k^{in} \rightarrow X_k^{out}} = \emptyset \rangle$; D^K – данные (знания), полученные как результат научно-исследовательской и опытно-конструкторской деятельности $D^K = \langle X_k^{in}, X_k^{out}, F_j^{X_k^{in} \rightarrow X_k^{out}} \rangle$. Приняв во внимание, что составляющие системы – программные объекты и взяв за основу систему продукций, рассмотрим следующую формальную модель: $P_i = \langle M, M', R_i, O_i \rangle$, где в качестве множества заданных литералов M_i продукционной системы и множества формируемых литералов M_i' продукционной системы определены обобщенные вычислительные модели, R_i – множество продукций i -того вида, O_i – множество процедур присвоения i -того вида. $M = \langle A, F_M \rangle$, где $A = \{ \alpha_i, i = 1, \dots, n \}$ – конечное множество параметров состояния объекта, F_M – конечное множество отношений на множестве параметров из A . $F = \langle f_i, i = 1, \dots, k | \alpha \in A \rangle$ – отношение на множестве параметров $f = \langle A, gr(f) \rangle$. Множество всех отображений ω для всех отношений $f \in F_M$, входные $in(\omega) = Z_A^{in}$ параметры для оператора ω , выходные $out(\omega) = Z_A^{out}$ параметры для оператора ω .

В качестве объектов категории M определены вычислительные модели $Ob(M_i^k)$; для каждой пары объектов $Ob(M_i^k)$ и $Ob(M_j^k)$ определено множество морфизмов $Hom(M_i^k, M_j^k)$; для любой тройки объектов определена композиция $Ob(M_i^k)$, $Ob(M_j^k)$ и $Ob(M_k^k)$; морфизмов $\varphi \in Hom(M_i^k, M_j^k)$ и $\psi \in Hom(M_j^k, M_k^k)$ опре-

делена композиция $\varphi\psi \in \text{Hom}(M_i^k, M_i^k)$; для каждого объекта $Ob(M_i^k)$ определен единичный морфизм $1_x \in \text{Hom}(M_i^k, M_i^k)$.

При таком аппарате формализации специалисты выделяют следующие уровни [7, 8] представления системной модели: параметрический уровень; структурный уровень, включающий в себя контурный уровень, структурный неприводимый уровень, структурный производный уровень; семантический уровень, включающий в себя функциональный уровень, семантический уровень. Все перечисленные уровни представления описываются в форме системы преобразования обобщенных вычислительных моделей, изложенной выше.

Данная система многоуровневого представления позволила создать базу знаний, обобщив фрагменты существующих транспортных систем. Для обобщения был реализован подход, основанный на методах адаптивного резонанса [7], заключающийся в поддержке конкурирующих гипотез на различных уровнях представления распознаваемого объекта.

На основе предложенного формального аппарата создана методология целевого формирования полимодельного комплекса, который характеризуется как разнородная сетевая структура с иерархическими элементами. Созданы методы автоматического формирования множества алгоритмов вычисления целевых параметров на основе анализа предварительной обработки данных. Созданы и исследованы алгоритмы реализации разработанных методов индуктивного вывода.

Взяв за основу подход [8] к построению порядка на множестве образцов, сформируем правила структурирования полученной информации: если M_b^k – базис модели, (M_0^k, ψ) – исходная ситуация, а (M_i^k, λ) – производная ситуация, $\lambda \in \text{Hom}(M_i^k, M_b^k) \& \exists \omega \in \text{Hom}(M_0^k, M_i^k)$ – условие сопоставимости, то $\exists (\mu \in \text{Hom}(M_i^k, M_j^k)) \rightarrow ((M_i^k, \varphi)N(M_j^k, \nu))$, где N – операция наследования.

Условие обобщения двух моделей выразится в следующем виде: $(M_i^k, \varphi); (M_j^k, \nu); \exists \eta: M_i^k \rightarrow M_m^k, \exists \mu: M_j^k \rightarrow M_m^k \& \exists \eta_1: M_i^k \rightarrow M_{m_1}^k, \exists \mu_1: M_j^k \rightarrow M_{m_1}^k \& \exists (\chi \in \text{Hom}(M_m^k, M_{m_1}^k)) \rightarrow (M_m^k, \beta)$.

Правило определения частного случая: $(M_i^k, \varphi); (M_j^k, \nu); \exists \eta: M_i^k \rightarrow M_m^k \& \exists \mu: M_j^k \rightarrow M_m^k \exists \eta_1: M_i^k \rightarrow M_{m_1}^k \& \exists \mu_1: M_j^k \rightarrow M_{m_1}^k \& \exists (\vartheta \in \text{Hom}(M_n^k, M_{m_1}^k)) \rightarrow (M_n^k, \beta)$.

В результате формируется структура из множества классов моделей. Каждая из них представлена иерархической структурой, элементы которой связаны отношением «общее – частное».

При формировании многомодельных комплексов применяется следующая стратегия оперирования вычислительными моделями [9]: модель является объектом дедуктивного вывода и формирует более детальный результат либо модель является объектом индуктивного вывода для структур более высокой иерархии.

Таким образом, задание цели анализа вызывает активизацию нескольких конкурирующих вычислительных схем $\Upsilon = (\Gamma_1, \Gamma_2, \dots, \Gamma_n)$, формирование которых осуществляется на основе $I(\Upsilon, \gamma_j^k)$ множества игровых ситуаций.

На основе предложенных методов многоуровневого формального представления, распознавания и обобщения фрагментов транспортной сети была сформирована база знаний, включающая в себя несколько десятков классов элементов транспорт-

ной сети. Данная база позволила существенно снизить затраты по созданию системной модели транспортной системы г. Самары.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Батищев В.И., Губанов Н.Г.* Методы автоматизации формирования информационных систем транспортного моделирования // Актуальные проблемы автотранспортного комплекса: межвузовский сб. научных статей. – Самара: Самар. гос. тех. ун-т, 2010. – С. 182-185.
2. *Батищев В.И., Мелентьев В.С.* Аппроксимационные методы и системы промышленных измерений, контроля, испытаний, диагностики // М.: Машиностроение-1, 2007. – 393 с.
3. *Охтилев М.Ю., Соколов Б.В., Юсупов Р.М.* Интеллектуальные технологии мониторинга и управления структурной динамикой сложных технических объектов. – М.: Наука, 2006. – 410 с.
4. *Батищев В.И., Губанов Н.Г.* Аппликативно-категорные методы адаптивного формирования информационных систем анализа состояния сложных технических объектов // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Тр. XI Международ. конф. – Самара: СНЦ РАН, 2008. – С. 186-190.
5. *Батищев В.И., Губанов Н.Г.* Методы адаптивного формирования информационных систем анализа состояния сложных технических объектов // Прикладная информатика. – №6(24). – 2009. – С. 152-156.
6. *Батищев В.И., Губанов Н.Г.* Категорные методы комплексного представления и структуризации разнородных данных в информационных системах анализа сложных объектов // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Тр. XII Международ. конф. – Самара: СНЦ РАН, 2010. – С. 263-267.
7. *Потапов А.С.* Распознавание образов и машинное восприятие: общий подход на основе принципа минимальной длины описания. – СПб.: Политехника, 2007. – 548 с.: ил.
8. *Губанов Н.Г.* Категорный подход при формировании полимодельных комплексов сложных систем // Вестник Самар. гос. техн. ун-та. Сер. Технические науки. – 2008. – Вып. 1 (21). – С. 183-185.
9. *Батищев В.И., Губанов Н.Г.* Методология оперативной реструктуризации информационных систем анализа состояния сложных технических объектов // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Тр. X Международ. конф. – Самара: СНЦ РАН, 2008. – С. 176-180.

Статья поступила в редакцию 24 мая 2011 г.

UDC 681.3

CATEGORIAL MODELLING OF TRANSPORT INFRASTRUCTURE SYSTEMS

V.I. Batischev, N.G. Gubanov

Samara State Technical University
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100

Methods of transport infrastructure modeling and categorical models forming are referred. Problems of practical application of given methods for building information systems of transport models are investigated.

Keywords: *industrial infrastructure, transport system, system modeling, categorical methods.*

V.I. Batischev – Doctor of Technical Sciences, Professor.

N.G. Gubanov – Candidate of Technical Sciences, Associate professor.