

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗВИТИЯ РЕГИОНАЛЬНЫХ ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Датъев И.О., Маслобоев А.В.

Разработаны имитационные модели развития региональных информационно-коммуникационных систем (ИКС), учитывающие специфику их проблемной ориентации и влияние ассоциированных с ней случайных факторов на технико-экономические показатели функционирования. Создан базовый набор системно-динамических шаблонов для построения имитационных моделей развития региональных ИКС. Предложены формальные средства задания сценариев развития ИКС, позволяющие учесть в процессе имитационного эксперимента воздействия, приводящие к изменению закономерностей динамики параметров исследуемой системы.

Ключевые слова: имитационное моделирование, информационно-коммуникационная система, метод системной динамики, региональное развитие.

Введение

Для планирования развития информационно-коммуникационных систем (ИКС) региона необходимо оценить перспективные изменения требований к этим системам со стороны пользователей и условий, в рамках которых предполагается функционирование этих систем. Эффективным инструментом для решений этой задачи служат средства моделирования характеристик ИКС. В существующих работах [1-4], посвященных данной проблеме, в основном рассматриваются факторы технического характера. При этом не учитывается динамика социально-экономических показателей пользовательской среды - социальной и экономической структуры пользовательского пула, его территориальной распределенности. Вместе с тем, в некоторой среднесрочной перспективе динамика этих показателей может оказывать существенное влияние на различные характеристики ИКС - количество пользователей, структуру пользовательской среды, объемы трафика, нагрузку на вычислительные и коммуникационные узлы и т.п.

Специфические особенности и требования, выдвигаемые проблемной ориентацией информационно-коммуникационных систем, обусловлены тем, что, как правило, группы пользователей, решающие некоторый относительно устойчивый по составу комплекс задач, используют определенные классы информационных ресурсов, тематика которых связана с решаемы-

ми задачами. Исследование, проведенное в ходе выполнения данной работы, подтвердило, что использование различных сочетаний классов информационных ресурсов, связанных с проблемной ориентацией пользовательских групп, оказывает различное влияние на нагрузку ИКС. Таким образом, социальная структура, а также реализуемая пользователями социальная и экономическая деятельность оказывают влияние как на технические параметры функционирования региональных ИКС, так и на экономические характеристики, связанные с предоставлением доступа к этим системам. В свою очередь такие случайные факторы, как кризисные экономические явления в целом, кризисные экономические явления в определенной экономической отрасли, «внезапные» перераспределения финансовых потоков между отраслями, связанные с изменением политических курсов государства, запуск новых инновационных производств и т.д., влекут за собой изменения социально-экономической структуры и количественных характеристик состава пользовательской среды.

Для создания имитационных моделей развития региональных информационно-коммуникационных систем разработаны шаблоны системно-динамических моделей субъектов информационного обмена - поставщиков информационных услуг, классов информационных ресурсов, групп пользователей. Модель для исследования динамики функционирования и развития региональных ИКС и получения прогнозных показателей при реализации некоторого задаваемого сценария изменения социально-экономической среды формируется путем комбинирования необходимых шаблонов с последующей настройкой их параметров на исследуемый сценарий.

Разработанные шаблоны системно-динамических моделей реализованы в среде моделирования AnyLogic 5.4.1 [5]. Существенным преимуществом данной среды является возможность доступа к механизму формирования моделей на низком уровне - языке программирования (используется язык Java), что позволяет разрабатывать механизмы для автоматизированного формирования моделей динамической структуры.

Имитационная модель провайдера

Поставщики информационных услуг – провайдеры – это компании, фирмы, предоставляющие определенный набор услуг за определенную стоимость. В целом, от политик провайдеров зависит интенсивность использования информационных сетей потребителями. Каждый провайдер обладает технико-экономическими характеристиками, на основе которых пользователь выбирает наиболее «подходящего» провайдера. Ключевыми характеристиками, влияющими на выбор пользователя, являются: удельная цена информации, скорость передачи информации, бесперебойность работы провайдера.

С точки зрения провайдера, важнейшей характеристикой является прибыль, которая, в свою очередь, зависит от количества пользователей, удельной себестоимости информации, удельной цены информации, объемов продаж.

Количество абонентов провайдера зависит от численности населения в целом, а так же от структуры пользовательской среды.

Схема шаблона системно-динамической модели провайдера, реализованного в среде моделирования AnyLogic, представлена на рис. 1.

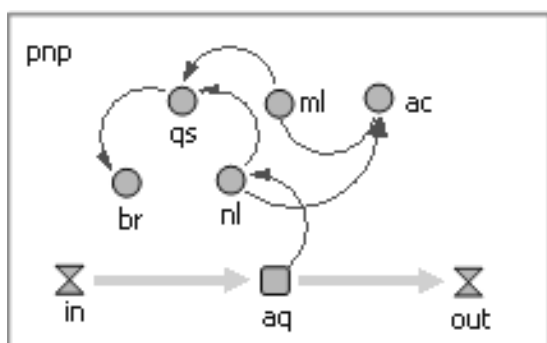


Рис. 1. Фрагмент шаблона имитационной модели провайдера

Основные параметры шаблона провайдера:

aq – количество пользователей p -го тарифного плана k -го провайдера;

ac – средняя цена для абонента переданной единицы информации;

br – скорость передачи данных k -го провайдера:

$$br = \langle gbr, avbr, br_{\max} \rangle,$$

где gbr – гарантированная скорость, $avbr$ – средняя скорость, $br_{\max}$ – максимальная скорость;

nl – количество подключений;

ml – максимальное количество подключений без уменьшения скорости и бесперебойности (мощность провайдера);

qs – бесперебойность работы провайдера, которая определяется следующим образом:

$$qs = un / at,$$

где un – суммарное время неработоспособности провайдера за определенный промежуток времени, at – общая длительность этого промежутка времени;

in – увеличение количества пользователей;

out – уменьшение количества пользователей.

Модели поставщиков информационных услуг, построенные на основе разработанного системно-динамического шаблона, позволяют получать прогнозные оценки количества пользователей различных типов, демографических секторов, социально-экономических групп для каждого провайдера с учетом технико-экономических характеристик предоставляемых информационных услуг.

Имитационная модель класса ресурса

Класс информационного ресурса представляет собой агрегированную характеристику, являющуюся сочетанием количества и объема объектов ресурса и поставленным ей в соответствие названием, отражающим тематику и предназначение ресурса. По отношению к контенту данных ресурсов, можно сказать, что они должны обладать некоторыми структурными (дизайнерскими) особенностями, например, соотношением текста и графики на страницах. Подобные особенности с технической точки зрения, выражаются в определенном количестве размещенных на страницах ресурсов объектов специфического размера.

Были выделены следующие классы ресурсов: галереи, новости, Интернет-магазины, форумы.

Выборка веб-страниц осуществлялась случайным образом. Решение о соответствии веб-страницы той или иной тематике принималось человеком.

В соответствии с выделенными классами ресурсов были рассчитаны групповые средние значения размеров «тел» HTML-страниц и встроенных объектов. По этим данным были вычислены значения математических ожиданий, дисперсий и средних квадратических отклонений, построены графики плотностей распределений размеров HTML-файлов и встроенных объектов.

Были проанализированы и выделены основные параметры, влияющие на трафик при использовании ресурсов определенных классов и разработан шаблон системно-динамической модели классов информационных ресурсов, схема которого представлена на рис. 2.

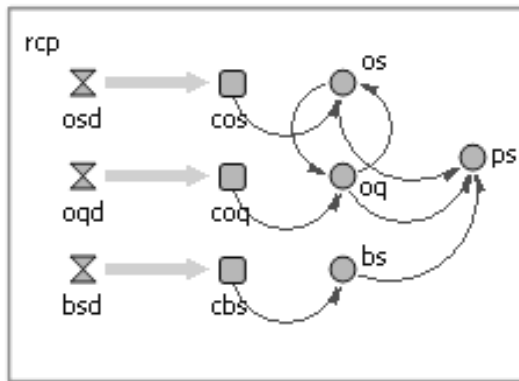


Рис. 2. Шаблон имитационной модели класса ресурсов

Набор основных параметров шаблона класса ресурсов включает:

ps – размер страницы ресурса класса k ;

bs – статистическое распределение размеров «тел» страниц класса информационного ресурса:

$$bs = bs(M(X), \sigma),$$

где X – множество, содержащее перечисление размеров «тел» страниц класса информационного ресурса; $X = \{x_i\}$, i – индекс элемента множества X ; x_i – i -ый элемент множества X , содержащий размер «тела» страницы; $M(X)$ – математическое ожидание; σ – среднее квадратическое отклонение; oq – статистическое распределение количества объектов на странице класса информационных ресурсов; os – статистическое распределение размеров объектов класса ресурсов.

В результате, модели классов ресурсов, построенные на основе разработанных шаблонов, позволяют учитывать специфику информационных ресурсов, необходимых для решения задач типичного представителя различных групп пользователей.

Имитационные модели пользовательских групп

Рассматривать и моделировать каждого пользователя в отдельности является трудоемким, ресурсозатратным процессом. Поэтому в работе выделяются пользовательские типы, определяющие характеристики пользователей относительно используемых ими классов ресурсов. Кроме того, существует возможность выделять целевые группы пользователей, которые представляют интерес (для заказчика, конечного пользователя – исследователя модели) с точки зрения потребления трафика, то есть производить разбиение множества пользователей, например, на демографические сектора, социально-экономические группы и

т.д. При этом, с точки зрения потребления трафика, целевые группы представляются как совокупность пользователей различных типов, поэтому необходимо задать соотношения, определяющие состав данных групп относительно пользовательских типов. Таким образом, отдельный пользователь не выделяется, но подразумевается, учитывается. Такое разбиение множества пользователей на целевые группы позволяет учитывать и исследовать специфику их проблемной ориентации. Кроме того, становится возможным исследовать влияние случайных факторов, ассоциированных с каждой из проблемно-ориентированных областей, на характеристики этих групп.

Имитационная модель демографического сектора

Модель демографический сектор позволяет получать прогнозные оценки численности населения территориального образования различных возрастных групп. Схема шаблона системно-динамической модели демографического сектора, реализованного в среде моделирования AnyLogic, представлена на рис. 3.

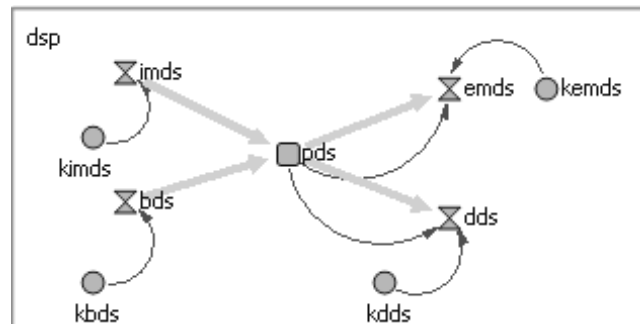


Рис. 3. Структура шаблона системно-динамической модели демографического сектора

Основные параметры шаблона демографического сектора:

$kdds$ – коэффициент смертности (количество умерших на 100 человек);

dds – смертность (численность умерших) демографического сектора q ;

pds – количество людей демографического сектора q ;

bds – количество родившихся;

$kbds$ – коэффициент рождаемости (количество рождающихся на 100 человек);

$kimds$ – коэффициент иммиграции демографического сектора q ;

$imds$ – количество иммигрирующих демографического сектора q ;

$kemds$ – коэффициент эмиграции демографического сектора q ;

$emds$ – количество эмигрирующих демографического сектора q .

Шаблон системно-динамической модели демографического сектора позволяет строить модели для получения прогнозных оценок численности населения различного возраста. В дальнейшем эти оценки используются для моделирования численности пользователей.

Имитационная модель пользовательского типа

Модель пользовательского типа является базовой и определяет предпочтения пользователей относительно классов ресурсов, а так же интенсивность их использования. Кроме того, модель пользовательского типа содержит параметры, определяющие важность отдельных технических характеристик поставщиков информационных услуг для пользователей данного типа. Структурная схема фрагмента шаблона системно-динамической модели пользовательского типа, реализованного в среде моделирования AnyLogic, представлена на рис. 4.

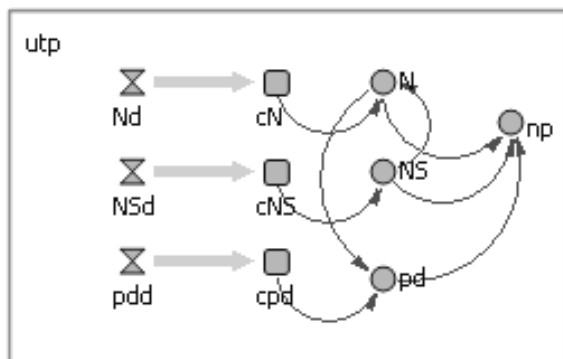


Рис. 4. Фрагмент шаблона системно-динамической модели типа пользователя

Основные параметры шаблона пользовательского типа:

pd – доли пользователей типа h каждой социально-экономической группы или демографического сектора;

np – количество запрошенных страниц за определенный период времени;

NS – статистическое распределение количеств сеансов использования сети в сутки за определенный период;

N – статистическое распределение количества веб-страниц, запрошенных в течение сеанса.

Кроме того, в модели присутствуют следующие параметры, определяющие предпочтения

пользователей данного типа в отношении классов ресурсов и параметры, определяющие важность отдельных технических характеристик поставщиков информационных услуг для пользователей данного типа:

E – долевое соотношение информационных страниц ресурсов различных классов,

$$E = \{pdrc_k\},$$

где $pdrc_k$ – доля ресурса класса k (от общего количества страниц np) в трафике пользователя типа h ; q задает предпочтение пользователя: q близко к 1 – важна цена, q близко к 0 – важна скорость, $q \in [0, 1]$; u – значимость времени бесперебойной работы поставщика информационных услуг; $u=1$ – наибольшая значимость, $u \in [0, 1]$.

Таким образом, модели типов пользователей, построенные на основе разработанного шаблона позволяют разделять множество пользователей на типы с точки зрения различных социально-экономических и технических признаков, предоставляя возможность учитывать цели использования информационно-коммуникационных сетей.

Имитационная модель социально-экономической группы

В зависимости от особенностей региона или территориального образования пользователей ИКС можно разделить на различные группы, в соответствии с родом их социальной или экономической активности. Под социально-экономической группой понимается совокупность пользователей, объединенных общими социальными и/или экономическими признаками. В рамках решаемой задачи основными характеристиками группы является ее численность и уровень доходов, определяющий возможности влияния группы на региональный рынок информационных услуг.

Каждая социально-экономическая группа генерирует трафик, обладающий некоторыми специфическими особенностями, обусловленными решением некоторого относительно устойчивого по составу комплекса задач и использованием определенных классов информационных ресурсов, тематика которых связана с решаемыми задачами.

Пример реализации шаблона системно-динамической модели социально-экономической группы в среде моделирования AnyLogic представлен на рис. 5.

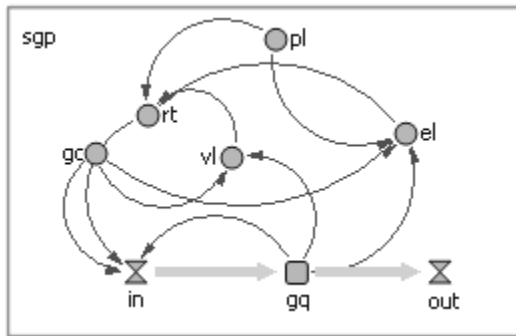


Рис. 5. Структура шаблона системно-динамической модели социально-экономической группы

Набор основных параметров шаблона социально-экономических групп:

gq – численность социально-экономической группы m ,

el – уровень доходов социально-экономической группы m , $el \in (0, 1]$,

rt – рейтинг (популярность) социально-экономической группы;

vl – уровень сложности получения единицы условного продукта социально-экономической группы – определяется экспертом, $vl \in (0, 1]$;

gc – емкость группы – максимальная численность – определяется экспертом или на основе статистических данных;

in – увеличение количества пользователей социально-экономической группы;

out – уменьшение количества пользователей социально-экономической группы.

В результате, модели групп пользователей, провайдеров и классов ресурсов, построенные на основе разработанных шаблонов, позволяют учитывать не только общее количество пользователей информационных систем, но и специфику информационных ресурсов, необходимых для решения задач типичного представителя различных социально-экономических групп пользователей.

С использованием разработанных шаблонов реализованы имитационные модели, которые позволяют прогнозировать характеристики нагрузки на региональные ИКС и стоимостные показатели предоставления информационно-коммуникационных услуг. Средствами моделирования указанные параметры могут определяться как для региональной ИКС в целом, так и дифференцировано для различных групп пользователей. Дифференцированная оценка информационно-коммуникационных потребностей групп пользователей позволит целенаправленно планировать развитие ИКС, обеспечивающее наиболее рациональное распределение инвестиций с целью удовлетворения прогнозируемых потребностей.

Механизм задания сценариев развития ИКС

Конкретный исследуемый сценарий изменения структуры и параметров ИКС (состав и стратификация пользовательской среды, технико-экономические параметры информационно-коммуникационных услуг, технические характеристики классов ресурсов) задается множеством модификаторов следующего вида:

$$Scn = \{scn_z\},$$

где scn_z – модификатор z , $z = \overline{1, N_{Scn}}$, N_{Scn} – количество сценарных изменений.

Каждый модификатор представляет собой кортеж, содержащий: идентификатор объекта модели, параметры которого будут изменяться; идентификатор модифицируемого параметра; момент модельного времени, в который активизируется функция модификации; собственно функция – модификатор, задающая правила изменения данного параметра.

$$scn_z = \langle objn, parn, Mod \rangle,$$

где $objn \in \{ds_i, sg_m, ut_h, pn_j, rc_k\}$ – имя объекта; $parn$ – имя параметра, принадлежащего объекту; $Mod = \{mod_p\}$ – множество функций-модификаторов, где $p = \overline{1, N_{Mod}}$, N_{Mod} – количество функций-модификаторов.

$$mod_p = \{time, val, tval\},$$

где $time$ – момент модельного времени, представленное в формате dd.mm.yyyy; val – значение параметра; $tval$ – тип значения (абсолютное, относительное, функциональное).

$$tval \in \{abt, ret, fut\},$$

где abt – абсолютный тип, ret – относительный тип, fut – функциональный тип.

Предложенный механизм задания сценариев развития моделируемого процесса обеспечивает достаточно простые средства «наложения» последовательных изменений закономерностей динамики параметров ИКС. Это позволяет учесть при моделировании явления, которые влияют на функционирование ИКС, но не могут быть априорно заданы при определении начальных параметров сеанса имитации.

Заключение

Разработанные имитационные модели развития региональных информационно-коммуникационных систем позволяют производить прогнозирование нагрузки на региональные ИКС и стоимости предоставленных информационно-коммуникационных

услуг в целом, а также прогнозировать долевые составляющие этих показателей (ассоциированные с различными группами пользователей) в частности, для планирования развития региональной коммуникационной инфраструктуры.

Важной особенностью разработанных имитационных моделей является возможность задания сценарных изменений для параметров объектов модели, что позволяет учитывать внезапные изменения социально-экономических и технических условий функционирования региональных коммуникационных сред. Предназначение сценарных изменений заключается в имитации случайных воздействий в определенные моменты модельного времени. Подобные изменения, как правило, невозможно предсказать, основываясь только на законах функционирования, заложенных в модель. Однако наличие механизма задания сценарных изменений позволяет прогнозировать влияние, оказываемое этими изменениями на показатели функционирования ИКС.

Таким образом, основными преимуществами разработанных имитационных моделей являются возможность выделения проблемно-ориентированной (связанной с группой пользователей) составляющей нагрузки на ИКС, а также возможность прогнозирования влияния случайных факторов, ассоциированных с различными предметными областями, что позволяет получать обоснованные прогностические оценки параметров функционирования ИКС и производить эффективное планирование их развития.

В ходе исследований были получены следующие основные результаты, имеющие фундаментальное значение:

- создан базовый набор системно-динамических шаблонов для построения имитационных моделей развития региональных ИКС.

- разработаны формальные средства задания сценариев развития ИКС, позволяющие учесть в процессе имитационного эксперимента воздействия (в том числе – случайные), приводящие к изменению закономерностей динамики параметров исследуемой системы.

Работа выполнена по программе Отделения нанотехнологий и информационных технологий РАН «Фундаментальные основы информационных технологий и систем» (проект № 2.6).

Литература

1. Вишневский В.М. Теоретические основы проектирования компьютерных сетей. М.: Техносфера, 2003. – 512 с.
2. Comer D. The Internet Book: Everything You Need to Know About Computer Networking and How the Internet Works, 4rd edition. Prentice Hall, 2006. – 416 p.
3. Ямпольский В.З., Комагоров В.П., Солдатов В.Н. Моделирование сетей передачи и обработки информации. Новосибирск: Наука, 1986. – 136 с.
4. Turk T. System dynamics simulation of computer networks: Price-controlled QoS framework // Mathematics and Computers in Simulation. Vol.78, Iss.1, Elsevier Science Publishers B.V. Amsterdam, The Netherlands, 2008. – P. 27-39.
5. Карпов Ю.Г. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5. СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 400 с.

REGIONAL INFORMATION AND COMMUNICATION SYSTEMS DEVELOPMENT SIMULATION

Datyev I.O., Masloboev A.V.

Regional information and communication systems (ICS) development simulation models, which take into consideration the specificity of its problem orientation and associated with it chance factors impacts on functioning techno-economic indicators, have been designed. The system dynamic patterns core set used for regional ICS development simulation models construction has been developed. Formal specification tools used for ICS development scenarios definition, which allow taking into account random actions within the simulation which adduce to mechanisms changing of ICS parameters dynamics, have been proposed.

Keywords: simulation, information and communication system, system dynamics method, regional development.

Датъев Игорь Олегович, аспирант Института информатики и математического моделирования технологических процессов (ИИММ ТП), Кольский научный центр РАН (г. Апатиты, Мурманская обл.). E-mail: datyev@iimm.kolasc.net.ru

Маслобоев Андрей Владимирович, к.т.н., доцент, научный сотрудник ИИММ ТП РАН. E-mail: masloboev@iimm.kolasc.net.ru