УДК 004.94

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ РАЗРАБОТКИ ЯЗЫКА МОДЕЛИРОВАНИЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИФРОВОЙ ИНФОРМАЦИИ О МЕСТНОСТИ В ИНТЕРЕСАХ ПОВЫШЕНИЯ УРОВНЯ АВТОМАТИЗАЦИИ

Галанкин А.В., Негодин Д.В.

Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского, Санкт-Петербург, e-mail: Biruk98@gmail.com

В современных условиях существует большое количество разнообразных информационных технологий выполнения специальных функций, предназначенных для решения как специализированных задач, так и задач общего назначения. Большинство из них не учитывают в качестве исходных данных результаты моделирования с использованием специального программного обеспечения, что существенно ограничивает их использования для обработки данных, связанных с функционированием сложных систем различного назначения. Актуальность данного материала обусловлена необходимостью автоматизации обработки цифровой информации о местности за счет проектирования и дальнейшей разработки трехуровневого языка моделирования функционирования сложных систем. Первый уровень представляет собой разработку модели функционирования сложной системы при помощи выбранного математического аппарата, в качестве которого выбраны М-сети, относящиеся к классу семантических сетей и представляющие собой формализованный способ описания ситуации. Второй уровень реализует разработанную модель при помощи специального программного обеспечения в специализированной среде моделирования с учетом возможностей объектного программирования, а третий уровень, выраженный специальным программным обеспечением обработки пространственно-временных данных, визуализирует конечный результат удобным для пользователя образом. Совокупность вышеобозначенных уровней позволяет предложить технологию разработки трехуровневого языка моделирования функционирования сложных систем.

Ключевые слова: сложные системы, язык моделирования, цифровая информация о местности

IMPROVEMENT OF THE TECHNOLOGY FOR THE DEVELOPMENT OF THE LANGUAGE OF MODELING THE FUNCTIONING OF COMPLEX SYSTEMS USING DIGITAL INFORMATION ON LOCATION IN THE INTERESTS OF INCREASING THE LEVEL OF AUTOMATION

Galankin A.V., Negodin D.V.

Military Space Academy, St. Petersburg, e-mail: Biruk98@gmail.com

In modern conditions, there is a large variety of information technologies to perform special functions designed to solve both specialized tasks and General purpose. Most of them do not take into account as initial data the results of modeling using special software, which significantly limits their use for data processing related to the functioning of complex systems for various purposes. The relevance of this material is due to the need to automate the processing of digital information about the terrain through the design and further development of a three-level language for modeling the functioning of complex systems. The first level is the development of a model of functioning of a complex system with the help of the selected mathematical apparatus, which is selected as M-networks belonging to the class of semantic networks and representing a formalized way to describe the situation. The second level implements the developed model with the help of special software in a specialized modeling environment, taking into account the capabilities of object programming, and the third level, expressed by special software for processing spatio-temporal data, visualizes the end result in a user-friendly way. The combination of the above levels allows us to propose a technology for the development of a three-level language for modeling the functioning of complex systems.

Keywords: complex systems, modeling language, digital terrain information

Основной проблемой при работе со сложными системами (СС) является их рациональное использование, т.е. эффективное управление СС. Под сложными системами будем понимать системы, характеризующиеся множеством возможных состояний, каждое из которых описывается набором значений ее конкретных параметров [1–3].

Повышение эффективности реализации процессов управления СС и необходимость обработки больших объемов данных требует широкого внедрения специализированных систем управления и применения современных средств обработки и анализа информации. В качестве подобных разработок могут применяться географические информационные системы.

Географическая информационная система – это система сбора, хранения, анализа и графической визуализации пространственных (географических) данных и связанной с ними информацией о необходимых объектах [4, 5].

Одно из основных направлений применений геоинформационных систем – это решение информационно-расчетных задач, использующих в качестве исход-

ных данных пространственно-координатную информацию.

Под информационно-расчетными задачами имеются в виду задачи, для решения которых необходимо применять данные, получаемые с использованием векторной графики («двумерные» карты), а также применяя матрицу высот цифровых карт местности («псевдотрехмерные» карты).

Второе направление внедрения цифровых карт – оперативное отображение обстановки – берет свое начало в военном деле, но нашло применение не только там.

Такое свойство системы, как оперативность, имеет значение при условии когда время на принятие решение ограничено, и ответственному за принятие решения лицу необходима автоматизации определенных действий для получения данных, на основе которых вышеобозначенное решение и будет приниматься.

С постоянно меняющейся обстановкой связано и третье направление использования цифровых карт. Речь идет об издании обычных бумажных карт. До сих пор подготовка к изданию даже не очень сложной карты была делом весьма трудоемким. Наличие цифровой карты делает этот процесс почти автоматическим.

В настоящее время геоинформационным системам не хватает универсального инструментария, позволяющего использовать геоинформационные данные в полном объеме их возможностей. Проблема заключается в обработке и включении в систему различной по своему характеру и источнику создания информации. Проявляется несовершенство географических информационных систем, заключающееся в недостаточном наборе инструментариев для моделирования и анализа пространственной информации.

Объекты, входящие в географические информационные системы, имеют, как правило, помимо геодезических данных, еще и технологические характеристики, представляемые в виде разнообразных баз данных. Но помимо этих справочных характеристик необходима дополнительная информация, связанная с типом представления картографической информации, с технологическими расчетами и с включением в информационную систему технической документации.

Цель исследования: разработать технологию разработки языка моделирования функционирования сложных систем.

Для успешного решения обозначенных задач необходимо научно-теоретическое и программное обеспечение, позволяющее на основе географических информационных систем создать единую информационную среду, включающую в себя как стандартные функции географических информационных систем, так и технологические, связанные с системами автоматизированного проектирования и современными методами получения данных, то есть необходима разработка языка моделирования функционирования сложных систем с использованием цифровой информации о местности (ЯМ).

Рассмотрим основные понятия, необходимые для формализации задачи разработки инструментария моделирования СС. Будем исходить из предположения, что процесс применения СС развивается на временном интервале $[t_0, t_1]$.

Предметная область (ПрО) данной задачи задается выражением $M^{\text{по}} = \{S, R\}$, где $S = \{S_i\}$, $i = 1(1)I$ – множество объектов ПО, $R = \{r_j\}$, $J = 1(1)J$ – множество отношений между выделенными объектами. Каждому объекту ПрО S_i из множества объектов ПрО S соответствует кортеж

$$s_i = \langle Q^i, V^i, W^i \rangle,$$

где Q^i – имя (идентификатор) i-го объекта;
$V^i(t) = \{v_n^i(t)\}$, $n = l(1)N^i$ – множество параметров, характеризующих состояние i-го объекта в момент времени t;
$W^i(t, t') = \{w_m^i(t, t')\}$, $m = 1(1)M^i$ – множество показателей, описывающих изменение состояния i-го объекта на интервале $[t, t']$.
Объекты ПО могут быть трех типов:
α – объекты типа «воинское формирование» (ВФ);
β – объекты местности;
γ – объекты типа «климатические и метеоусловия».

Для каждого типа объектов необходимо описание множества параметров и множество показателей.

Таким образом,

$$s_i = \langle Q^i_\varphi, V^i_\varphi, W^i_\varphi \rangle,$$

φ – тип объекта (α, β, γ).

Считается, что вектор параметров $V(t_0)$ задан и описывает состояние объектов ПрО на начало интервала планирования t_0, а вектор показателей $W(t_0, t_1)$, описывающий изменение состояния объектов ПрО на всем интервале планирования $[t_0, t_1]$, рассчитывается в органе управления по известному вектору $V(t_0)$ на этапе оценки обстановки.

Предположим, что к началу интервала планирования t_0 известен план действий рассматриваемой СС π^s. Тогда в ходе этапа выработки вариантов решений на применение СС на основании проведенного прогноза изменения обстановки на территории заданного района действий и поступившего в орган управления плана π^s необходимо

сформировать некоторое множество альтернативных планов применения СС $P = \{\pi_k\}$, $k = 1(1)K$, удовлетворяющих условию допустимости $P = \{\pi_k \mid W(\pi_k)\ \varepsilon\ W^\circ, k = 1(1)K\}$.

Содержательно данное условие определяет требование принадлежности значений компонент вектора показателей $W(\pi_k)$, характеризующих план π_k, к некоторой допустимой области значений W°.

На заключительном этапе лицом, принимающим решение, осуществляется выбор из множества сформированных альтернативных планов действий $P = \{\pi_k\}$ некоторого рационального плана действий π^*, наилучшего в смысле системы предпочтений ЛПР $\Lambda(W)$.

Формализация применения СС позволяет сделать следующий вывод: инструментарий для моделирования применения СС должен реализовывать отображение

$$F^\circ : \{[t_0, t_1], V(t_o), W(t_o, t_1), W^0, \Lambda(W), \pi^s, P,\} \text{--->} \pi^*,$$

где $[t_0, t_1]$ – интервал планирования;
$V(t_0)$ – параметры состояния объектов предметной области на момент t_0;
$W(t_o, t_1)$ – показатели изменения состояния объектов предметной области на интервале $[t_o, t_1]$;
W° – область допустимых значений показателей;
$\Lambda\ (W)$ – система предпочтений ЛПР в пространстве показателей плана действий;
π^s – план действий рассматриваемого ВФ;
P – множество допустимых планов действий;
π^* – искомый рациональный план действий.

Каждый язык моделирования должен отражать определенную структуру понятий для описания широкого класса явлений. Выбрав для решения задачи моделирования процесса функционирования системы конкретный язык, исследователь получает в распоряжение тщательно разработанную систему абстракций, предоставляющих ему основу для формализации процесса функционирования исследуемой системы [1, 2].

В целях соблюдения основных вышеуказанных моментов язык моделирования необходимо разбить на уровни. Согласно [1, 2], существует три главных уровня автоматизированных систем управления, на которых принимаются решения: внешний, концептуальный и внутренний. Каждый из них предназначен для различных групп пользователей и описывает систему на различных уровнях абстрагирования. На каждом уровне обеспечивается совместимый с ее описанием рабочий язык для сбора, обработки и хранения информации в системе.

Пользователь на внешнем уровне видит только относящееся к нему подмножество полной системы, обычно модифицируемое с целью отражения его собственного взгляда на вещи. Это – персонализированный уровень системы, он наиболее подходит для лиц, принимающих решения.

Концептуальный уровень содержит единое, полное описание системы и подчеркивает ее семантику, полноту и непротиворечивость. На этом уровне однозначно называются множества данных, строится исчерпывающий справочник данных, разрешаются противоречия имен и проводится сравнение алгебраических правил отклонений для обеспечения непротиворечивости и исключения избыточности. Работа на концептуальном уровне требует системного подхода для установления связей между полной моделью и внешними пользователями, для разрешения противоречий и обнаружения ошибок (непротиворечивость), для запоминания и обеспечения всей необходимой информацией всех узаконенных пользователей (полнота).

Внутренний уровень имеет дело с проблемами эффективности и реализации. На этом уровне выбираются структуры данных, решается физическое размещение данных, разрабатываются и реализуются алгоритмы [2].

Таким образом, первый уровень ЯМ – пользовательский: при помощи средств визуального моделирования пользователь ставить задачу на подложке из цифровой карты местности, т.е. уровень представления поставленной задачи с помощью условных знаков и обозначений операторами автоматизированных рабочих мест.

Второй уровень ЯМ это перевод данных из поставленной пользователем визуализированной задачи в термины непосредственно самого ЯМ, т.е. конвертация задачи, поставленной в терминах условных знаков и обозначений, в термины ЯМ с возможностью представления поставленной задачи в виде отображения совокупности графических нотаций элементов ЯМ, описывающих ее по правилам применения этих элементов.

И третий – представление поставленной задачи моделирования в виде, удобном для дальнейшего просчета ЭВМ исследуемой ситуации с помощью выбранного математического аппарата.

Первый уровень ЯМ наиболее понятен – это использование привычных условных знаков и обозначений в рассматриваемой конкретной области знаний и оперирование ими определенным образом на трехмерной электронной карте.

А вот второй и третий уровни ЯМ требуют подробного раскрытия.

Для полного описания второго уровня необходим теоретический аппарат языка, а именно, элементы, словарь, графические нотации элементов и правила использования элементов ЯМ.

Согласно [2], концепцию взаимосвязей элементов языка как сложной системы (архитектуру ЯМ), а следовательно, и технологию перехода от моделируемой системы к ее машинной модели можно представить следующим образом:

1) объекты моделирования описываются (отображаются в языке) с помощью некоторых атрибутов языка;

2) атрибуты взаимодействуют с процессами, адекватными реально протекающим явлениям в моделируемой системе;

3) процессы требуют конкретных условий, определяющих логическую основу и последовательность взаимодействия этих процессов во времени;

4) условия влияют на события, имеющие место внутри объекта моделирования и при взаимодействии с внешней средой;

5) события изменяют состояния модели системы М в пространстве и во времени.

Наиболее современным подходом к разработке программного обеспечения является объектно-ориентированный. А так как конечной целью проектирования и разработки ЯМ является его программная реализация, то сам процесс моделирования следует осуществлять в объектно-ориентированных терминах.

Правила применения элементов ЯМ – это правила разработки графических представлений исследуемой ситуации при помощи элементов ЯМ. Они могут и должны формулироваться проектировщиками и разработчиками, знающими специфические особенности определенной области знаний.

Для полного описания третьего уровня необходим математический аппарат языка. С этой целью выбраны М-сети, относящиеся к классу семантических сетей и представляющие собой формализованный способ описания ситуации.

М-сети представляют собой разновидность семантических сетей, состоящую из множества узлов и связей между ними. «Изюминкой» подобных сетей является числовая характеристика узла, которая изменяет свое значение под влиянием воздействия связей, повышающих или понижающих ее определенным образом [6].

Два основных элемента М-сетей – это узлы, называемые *i*-моделями, и связи. Узлы М-сети есть формальные элементы, которым может быть поставлено в соответствие определенное понятие, н-р, обеспеченность системы определенного вида ресурсом. С функциональной точки зрения *i*-модель есть набор некоторых операторов или алгоритмов переработки информации. Таким образом, любое глобальное понятие (сущность, процесс, модель) можно детализировать до необходимой степени.

Основная числовая характеристика *i*-модели – возбужденность *П* (или, как было описано выше, активность). Возбужденность *i*-модели *j* в дискретный момент *t* будем обозначать $П^t_j$ Возбуждение по направленным связям передается от одних *i*-моделей к другим через возбуждающие или тормозящие связи.

Связь же характеризуется упорядоченным набором параметров R, называемым проходимостью связи, и задается вектором $R_{ij} = < r_{ij}, \tilde{r}_{ij}, r_{(0)ij}, \tilde{r}_{(0)ij}$, где r_{ij} и $\tilde{r}_{ij}$ – усиливающий и тормозной компоненты проходимости связи, $r_{(0)ij}$ и $\tilde{r}_{(0)ij}$ – остаточные составляющие этих компонент, при помощи которых организована долговременная память связей – своеобразный архив или «память».

Если классифицировать М-сети по влиянию извне, то можно выделить внутренние и граничные *i*-модели. Граничные *i*-модели делятся на рецепторные и модели действий (результирующие *i*-модели) [6].

Таким образом, М-сеть μ можно описать следующим образом:

$$\mu = <P, S, R, F, C, I>,$$

где *P* – множество *i*-моделей; *S* – множество связей между *i*-моделями; *R* – группа характеристик самообучения; *F* – группа характеристик самоорганизации; *C* – начальное распределение проходимостей связей; *I* – начальное распределение возбуждений *i*-моделей.

За счет изменений характеристик связей, передающих изменение узлам М-сети, становится возможным реализовать процессы самообучения и самоорганизации, которые могут приводить к образованию *i*-моделей «второго слоя», то есть ансамблей из исходных *i*-моделей, которые в свою очередь, могут образовывать ансамбли «третьего слоя» и т.д. Ансамбли такого рода можно рассматривать как новые функциональные элементы М-сети, а процесс их образования – как процесс формирования новых сложных понятий на базе имевшихся ранее.

В связи с тем, что практика разработки завершенных версий программных продуктов является достаточно сложной и трудоемкой задачей для демонстрации пригодности и эффективности предлагаемого подхода моделирования функционирования сложных систем, был разработан макет специализированного моделирующего комплекса.

Для оценки вклада в повышение оперативности принятия решения было рассмотрено три варианта решения задачи:

1) с использованием макета специализированного моделирующего комплекса;

2) с использованием электронной топографической карты и пакета прикладных программ;

3) с использованием экспертной оценки на основе топографической карты района применения.

Полученные данные позволили сделать вывод о том, что применение моделирующего комплекса на примере макета по сравнению с традиционными вариантами, использующими топографические карты местности, позволяет повысить оперативность нанесения текущей обстановки в районе применения в 1,6–1,8 раза, оперативность проведения оперативно-тактических расчетов – в 2–2,25 раза, оперативность оформления решения лицом, принимающим решение – в 1,5–1,7 раза, а также увеличить количество предлагаемых решений. Результаты работы апробированы в ходе проведения тактико-специальных учений и в учебном процессе ВКА имени А.Ф. Можайского.

Заключение

Таким образом, предложена технология разработки трехуровневого языка моделирования функционирования сложных систем. Первый уровень представляет собой разработку модели функционирования сложной системы при помощи выбранного математического аппарата, второй – реализацию разработанной модели при помощи специального программного обеспечения в специализированной среде моделирования с учетом возможностей объектного программирования, а третий уровень, выраженный специальным программным обеспечением обработки пространственно-временных данных, визуализирует конечный результат удобным для пользователя образом.

Список литературы

1. Моделирование систем и процессов: учебник для академического бакалавриата / Под ред. В.Н. Волковой, В.Н. Козлова. М.: Издательство Юрайт, 2015. 449 с.

2. Советов Б.Я., Яковлев С.А. Моделирование систем: учебник для академического бакалавриата. 7-е изд. М.: Издательство Юрайт, 2014. 343 с.

3. Волков В.Ф., Галанкин А.В., Федер А.Л. Общая характеристика процесса автоматизированного управления сложными организационно-техническими системами специального назначения Воздушно-космических сил // Наукоемкие технологии в комических исследованиях Земли. 2015. Т. 7. № 6. С. 50–54.

4. Капралов Е.Г., Тикунов В.С., Кошкарев А.В. Геоинформатика. Учебник для студентов высших учебных заведений. М.: Академия, 2010. 400 с.

5. Миронов А.В. Аспекты применения геоинформационных систем в военном деле // Проблемы безопасности российского общества. 2011. № 1. С. 74–79.

6. Николенко С.И., Кадурин А.А., Архангельская Е.В. Глубокое обучение. Погружение в мир нейронных сетей. СПб.: Питер, 2018. 480 с.