На правах рукописи

ЦАПКО СЕРГЕЙ ГЕННАДЬЕВИЧ

E-сетевые средства моделирования и имитации процессов функционирования сложных динамически реконфигурируемых систем в задачах построения компьютерных тренажеров

Специальность 05.13.01

Системный анализ, управление и обработка информации

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой

степени кандидата технических наук

Томск - 2003

Работа выполнена на кафедре Автоматики и Компьютерных систем Томского политехнического университета

Научный руководитель:
кандидат технических наук, доцент Барковский Александр Николаевич

Официальные оппоненты:
доктор технических наук, профессор Кочегуров Владимир Александрович
кандидат технических наук, доцент Жуковский Олег Игоревич

Ведущая организация:
научно-производственное объединение прикладной механики (НПО ПМ)
г. Железногорск

Защита диссертации состоится « 3 » декабря 2003 г. в 15 часов на заседании диссертационного Совета Д 212.269.06 при Томском политехническом университете по адресу: Россия, 634034, г. Томск, ул. Советская, 84.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Томского политехнического университета.

Автореферат разослан « 31 » октября 2003 г.

Ученый секретарь
диссертационного Совета М.А.Сонькин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы.

В настоящее время спутниковые системы ретрансляции и связи становятся все более распространенными вследствие того, что предоставляют потенциальным потребителям возможность оперативного получения необходимой им информации. Спутниковые системы ретрансляции и связи являются автоматическими, либо полуавтоматическими системами, что подразумевает удаленное управление космическим аппаратом (КА). Управление КА ведется из центра управления полетами (ЦУП), который является составной частью наземного комплекса управления (НКУ) КА. В состав НКУ входят также системы организации каналов связи с КА, терминальные пульты управления, системы жизнеобеспечения и поддержания работоспособности штатного состава НКУ КА.

Основной штатной единицей НКУ КА является оператор, в обязанности которого входят: анализ телеметрической информации (ТМИ), поступающей с борта КА и характеризующей работоспособность его подсистем; выработка адекватных действий на штатные и внештатные ситуации, возникающие в процессе эксплуатации КА; ручное управление функционированием подсистем КА в рамках заданного списка радиокоманд (РК). Как правило, от точности действий оператора зависит стабильность функционирования КА в целом. Поэтому существенную роль в обеспечении работоспособности и повышения ресурсоемкости КА играет уровень подготовленности операторов ЦУП КА. Для теоретической и практической подготовки операторов ЦУП КА разрабатываются тренажерные системы, обеспечивающие на профессиональном уровне процесс обучения и контроля полученных знаний.

Все существующие тренажерные системы можно разделить на натурные, полунатурные и программные эмуляторы реального объекта, подлежащего изучению. В настоящее время разработка и построение натурных и полунатурных тренажерных комплексов обучения операторов ЦУП КА экономически неоправданны, так как их конструкция подразумевает наличие программно-аппаратных модулей реально функционирующих КА. Современные методы построения тренажерных систем, основанные на использовании высокоскоростных вычислительных комплексов, позволяют осуществить эмуляцию процесса функционирования подсистем КА в реальном времени на уровне генерации псевдореальной ТМИ. Так как оператор оценивает функционирование подсистем КА на основе ТМИ, поступающей с борта КА, и воздействует на его подсистемы с помощью заранее определенной совокупности РК можно получить алгоритм взаимодействия оператора и реально функционирующей системы, который в дальнейшем может быть реализован программно. В настоящее время программные тренажерные системы получили наибольшее распространение по сравнению с натурными и полунатурными при

решении задач исследования влияния внешних факторов на функционирование сложной системы, а также для обучения операторов управления сложными техническими объектами.

Основой любой программной тренажерной системы является программный имитатор динамического функционирования реального объекта, адаптацию к управлению которым требуется осуществить в течении обучения оператора на тренажере. В процессе разработки программных имитаторов функционирования подсистем КА возникает множество задач, зачастую неразрешимых с помощью стандартных языков и методов программирования. В частности, можно выделить ряд аспектов, таких как функционирование тренажерной системы в реальном, замедленном и ускоренном масштабах времени; многоплатформенность и многофункциональность применения конечной разработки; затраты на проектирование, внедрение, эксплуатацию и модернизацию тренажерной системы; экономический эффект. До настоящего времени построение программных имитаторов было основано на использовании математических функциональных зависимостей между основными параметрами реальной системы и создании на их основе конечного программного продукта, использующего фиксированный набор алгоритмов, реализующих параметрические преобразования. Рассмотренные концепции построения программных имитаторов привели к появлению программных продуктов, предназначенных для использования в конкретных задачах выбранной целевой области использования. Как правило, конечный программный продукт, предоставляемый пользователю, не подлежит модификации и для его использования требуется конкретный тип ЭВМ. Модернизация таких тренажерных систем требует вмешательства программиста-проектанта, что, в свою очередь, оценивается большими временными и материальными затратами, а зачастую и вовсе невозможно.

Актуальность диссертационной работы определяется существующей потребностью построения программных имитаторов на базе набора стандартных модулей, обеспечивающих построение максимально возможного набора тренажерных систем в минимальный временной интервал и с минимальными материальными затратами без участия программиста-проектанта. Существующие методы построения имитационных систем не позволяют разработать библиотеку простых программных модулей, и на основе этой библиотеки, создавать программный имитатор путем синтеза отдельных модельных компонент. Кроме того, отсутствие стандартных методов взаимодействия программного имитатора с пользователем тренажерной системы требует разработки методов динамического воздействия пользователя на имитационный процесс в реальном времени.

В силу выше изложенного следует отметить, что в настоящее время существует потребность в новых методах построения систем имитации динамики функционирования подсистем КА, обеспечивающих простоту конечной разработки,

наличие возможности модификации конечным пользователем структуры имитатора в зависимости от поставленных задач, а также временное масштабирование имитационного процесса. Кроме того, существует потребность в разработке новых методов взаимодействия пользователя и тренажерной системы в процессе проведения тренинга, а также в последующие моменты для оценки результатов тренировочного процесса.

Цель работы. Создание новых методов и развитие известных теоретических основ имитации динамики функционирования сложных управляемых динамически реконфигурируемых систем и разработка на этой основе новых методов и методологии построения тренажерных комплексов обучения операторов ЦУП КА, обеспечивающих процесс тренинга в режиме временного масштабирования и динамического взаимодействия пользователя с имитационной системой в процессе тренинга.

Основные задачи диссертационной работы, определяемые сформулированной выше целью, состоят в следующем:

1. Разработка методологии модельного представления процесса имитации динамики функционирования подсистем КА с помощью аппарата Е-сетей;
2. Разработка метода имитационного моделирования непрерывных процессов систем с распределенными параметрами с помощью аппарата Е-сетей;
3. Разработка механизма привязки модельного времени к реальному, а также введение коэффициента временного масштабирования в процессе динамического функционирования программного имитатора. Введение коэффициента временного масштабирования позволяет осуществлять имитацию в ускоренном и замедленном масштабах времени;
4. Разработка метода синтеза отдельных модельных компонентов сложной системы в единую Е-сетевую имитационную модель;
5. Разработка механизма трансформации значений внутренних параметров динамической имитационной модели в псевдореальную ТМИ;
6. Разработка методики оценки функциональных возможностей программных тренажерных комплексов и апробация программной тренажерной системы обучения операторов ЦУП КА, созданной на основе разработанных методов.

Научная новизна. Основным результатом диссертации является создание методов и разработка на их основе методологии построения имитаторов сложных управляемых динамически реконфигурируемых систем, которые в совокупности с методом привязки модельного времени к реальному и механизмом трансформации результатов работы динамической модели в псевдореальную ТМИ позволяют построить программный тренажерный комплекс обучения операторов ЦУП КА.

Новые научные результаты и основные положения, представленные к защите, сводятся к следующему.

1. Разработана новая методология модельного представления процесса имитации динамики функционирования подсистем КА. Данная методология отличается способом представления предметной области моделирования, основанного на введении метасвойств объектного представления Е-сетевой модели и описания иерархической структуры подсистем предметной области в виде базового набора объектов.

2. Предложен новый метод моделирования непрерывных процессов систем с распределенными параметрами, заключающийся:

a. в расширении свойств позиции-очереди базового набора Е-сетевого аппарата;
b. в разработке алгоритма и введении новых функций преобразования атрибутов позиции-очереди;
c. в организации предложенного режима функционирования Е-сетевой модели на основе позиции-очереди, использующего ее новые свойства, которые позволяют осуществить имитацию динамики функционирования систем с распределенными параметрами.

3. Предложены новые принципы взаимодействия динамически функционирующей имитационной модели с внешней средой. Предложенные принципы позволяют обеспечить динамическое взаимодействие пользователя с имитационным процессом, а также практически реализовать имитацию влияния внешних факторов на параметрическую реконфигурацию имитационной модели в процессе ее функционирования.

4. Предложен метод привязки модельного времени к реальному с заложенным принципом масштабирования. На основе данного метода разработан алгоритм преобразования физических величин, функционально зависимых от реального времени. Разработанный алгоритм позволяет осуществить имитацию функционирования сложной системы в замедленном масштабе времени, а также в режиме ускорения, что является необходимым в задачах тренинга операторов ЦУП КА.

5. Расширен базовый набор типов элементарных Е-сетей за счет введения синхронного перехода. Введение синхронного перехода позволяет решить проблему возникновения тупиковых ситуаций при изменении маршрута движения фишки в процессе функционально-параметрической реконфигурации, осуществляемой в реальном времени.

6. Предложен метод формирования вектора мгновенного состояния динамически функционирующей имитационной модели, на основе которого разработан механизм трансформации результатов работы динамической имитационной модели в псевдореальную ТМИ.

Практическая значимость работы. Представленные в диссертационной работе результаты представляют собой новый информационно-методологической подход к имитации динамики функционирования сложных управляемых динамически реконфигурируемых систем, позволяющий реализовать концепции объектно-ориентированного моделирования в задачах построении программных тренажерных комплексов обучения операторов ЦУП, что, в свою очередь, позволяет разрабатывать принципиально новые модели тренажеров на основе базового набора имитационных моделей без участия специалиста-проектанта.

Создана базовая библиотека Е-сетевых моделей, обеспечивающая возможность построения имитатора КА из ее компонентов и позволяющая осуществить построение принципиально новой тренажерной системы на основе синтеза модулей из своего состава.

Апробирован программный тренажерный комплекс обучения операторов ЦУП КА, построенный на основе базовой библиотеки Е-сетевых моделей. Результаты работы использованы в НПО ПМ г.Железногорска в рамках проекта построения тренажерного комплекса обучения обслуживающего персонала КА класса «SESAT».

Реализация результатов работы. Реализация результатов работы осуществлена в разработке и создании: средств моделирования и имитации функционирования подсистем КА в реальном масштабе времени; аппаратуры преобразования модельных отчетов в телеметрическую информацию; опытных образцов тренажерного комплекса. Работа выполнялась в рамках хоздоговорных работ по следующим тематикам: "Разработка программно - управляемого имитатора телеметрической информации", "Разработка и поставка программно-аппаратных средств приема и обработки телеметрической информации", "Разработка и поставка имитационного программно-аппаратного комплекса", заключенных с НПО ПМ, "Теоретические и экспериментальные исследования принципов синтеза и применения динамически настраиваемых сетевых имитационных моделей процессов функционирования структур БКУ в интересах КА связи народно-хозяйственного назначения", заключенным с ЦНИИМАШ.

Апробация диссертационной работы

Результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на: Международной научно-технической конференции «XXII гагаринские чтения», проходившей в Москве в 1996 году; Международной научно-технической конференции "Спутниковые системы связи и навигации" (Красноярск 1997); русско-корейских интернациональных симпозиумах (Корея 1997, Новосибирске 1998, Корея 2001); Международной конференции по проблемам управления (Москва 1999); Международной научно-технической конференции «Новые технологии управления движением технических объектов» (Новочеркасск 1999); Международной научно-технической конференции «Теория и практика имитационного моделирования и

создания тренажеров» (Пенза 1999); Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Современные техника и технологии» (Томск 2002); на научных семинарах кафедры «Автоматики и компьютерных систем» Томского политехнического университета.

Публикации. По теме диссертационной работы опубликовано 22 статьи и тезисов докладов.

Структура работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и 6 приложений. Она изложена на 163 страницах машинописного текста, включает 65 рисунков, список литературы из 92 наименований и дополнена приложениями на 28 страницах.

В первой главе рассмотрены основные задачи и обоснована роль тренажерной техники при подготовке операторов управления сложными техническими системами. Приведена классификация существующих тренажерных систем в соответствии со спецификой их применения. Проведен анализ нормативных документов, регламентирующих порядок проведения тренировочных занятий операторов ЦУП КА, и на основе проведенного анализа определены основные требования, предъявляемые к средствам тренажирования. Раскрыты принципы построения тренажерного комплекса подготовки операторов ЦУП КА, а также разработана его структура с учетом специфики целевой области использования.

Также в первой главе приведены основные положения разработанной методологии модельного представления процесса имитации динамики функционирования подсистем КА. Особенностью предложенной методологии является то, что для представления процесса имитации динамики функционирования подсистем КА создается базовый набор объектно-ориентированных имитационных моделей, при помощи которого пользователь-специалист в предметной области создает и эксплуатирует имитационные модели, не касаясь при этом абстрактной математики выбранного средства моделирования. Все обращения к модели происходят в терминах предметной области.

Разработанная система базовых моделей является открытой для проектанта тренажерной системы, и поэтому возможности базового набора не ограничены его применимостью только для имитации динамики функционирования подсистем конкретного КА, а могут быть расширены путем усовершенствования моделей базового набора или путем создания новых моделей.

Представленная методология описана в терминах графического языка SADT, реализованного в программном продукте IDEF0.

На рисунке 1 представлена IDEF-диаграммама первого уровня иерархически связанных страниц «Имитация функционирования подсистем КА», основными функциями которой являются: системный анализ предметной области, создание базового набора объектно-ориентированных имитационных моделей подсистем КА,

верификация имитационных моделей в динамике, эксперименты с имитационной моделью.

Приведенная диаграмма является базовой структурой для разработки последующих IDEF-диаграмм, которые конкретизируют и детализируют структурные блоки и связи между ними, показанные на рисунке 1.

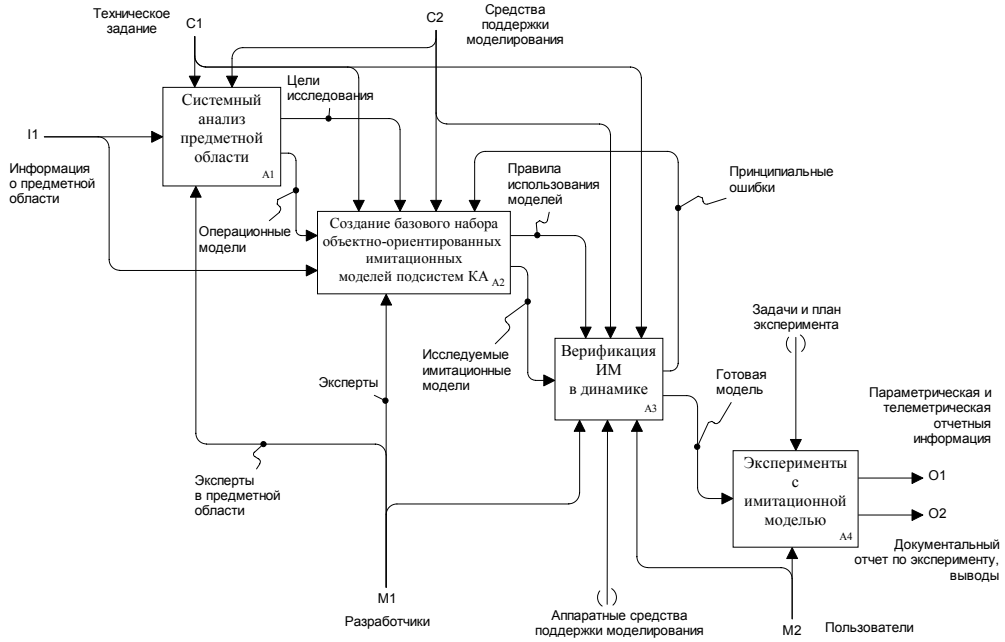

Рис.1. Функциональная диаграмма «Имитация функционирования подсистем КА»

Постепенное введение все больших уровней детализации обеспечивает приемлемый объем новой информации на каждом последующем уровне иерархии. Каждая компонента может быть декомпозирована на другой (дочерней) диаграмме. Каждая диаграмма иллюстрирует "внутреннее строение" блока на родительской диаграмме.

Таким образом, получен набор IDEF-диаграмм, отражающий предметную область в виде многоуровневой иерархической структуры, которая раскрывает основные положения методологии модельного представления процесса имитации динамики функционирования подсистем КА.

Во второй главе обоснована необходимость использования объектно-ориентированного подхода при построении программного имитатора любой сложной системы. Обоснован выбор аппарата Е-сетевого моделирования в качестве формализма, обеспечивающего возможность решения задач построения тренажерных комплексов.

Разработаны принципы Е-сетевого метода моделирования систем с распределенными параметрами, заключающиеся в оригинальной модификации алгоритмов преобразования атрибутов фишек, принадлежащих позиции-очереди.

Разработан метод Е-сетевого моделирования взаимодействующих процессов, позволяющий решить задачу параллелизма функционирования логически разделенных подсистем сложной системы при Е-сетевом моделировании. Данный

метод обеспечивает параметрическую взаимосвязь отдельных E-сетевых компонент базового набора в процессе их динамического функционирования. Можно выделить основные положения данного метода:

1. Любая сложная система разбивается на ряд простых подсистем, логика функционирования которых поддается простому описанию с помощью аппарата E-сетей. Для каждой простой подсистемы определяются: внутренняя структура, представленная E-сетевым графом и программной моделью, характеризующей параметрические преобразования в процессе динамического изменения маркировки E-сетевого графа; начальное состояние маркировки, характеризующее текущее состояние моделируемой подсистемы; вектор входных воздействий и вектор выходных параметров. Из полученных E-сетевых моделей формируется базовая библиотека E-сетеых моделей для имитации функционирования выбранной системы.

2. Производится анализ векторов входных воздействий и выходных параметров E-сетевых моделей из базового набора, обеспечивающий построение объединенных векторов входных воздействий и выходных параметров синтезированной имитационной модели рассматриваемой сложной системы. Обобщенную структурную схему передачи информации в процессе модельного эксперимента можно представить в виде, как показано на рисунке 2.

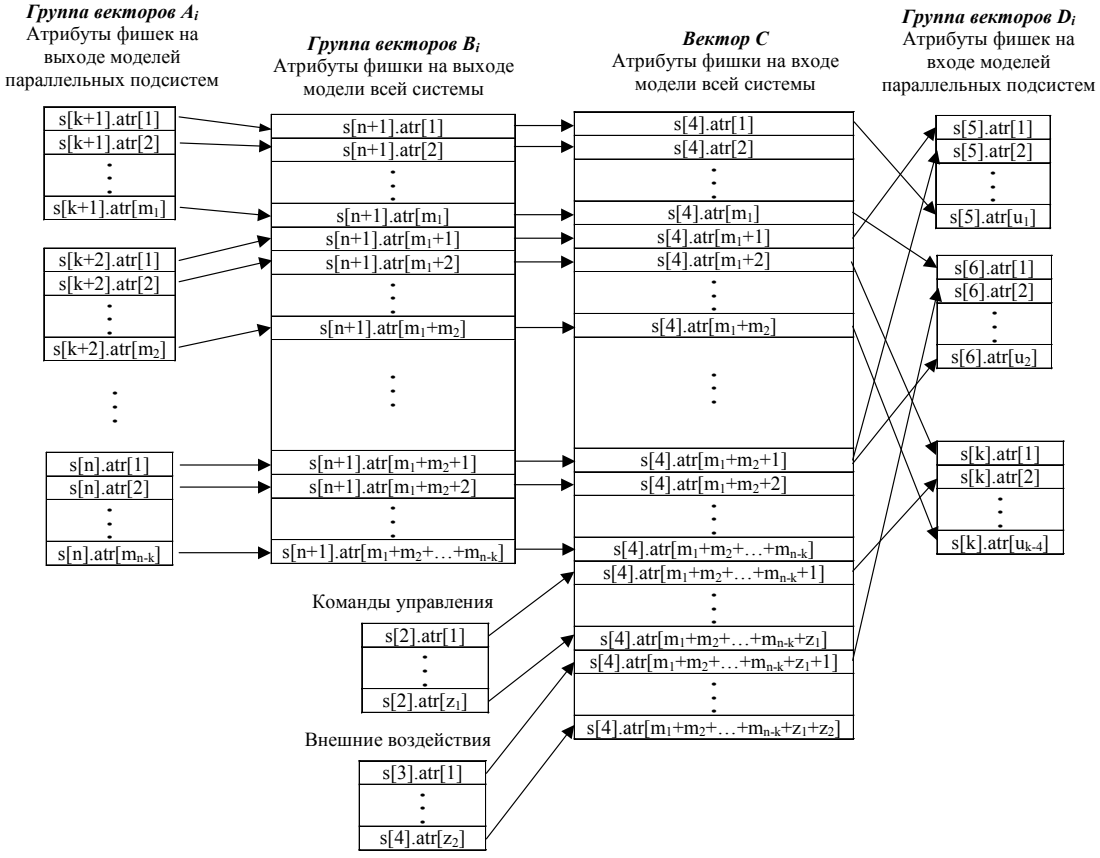

Рис.2. Передача информации в процессе моделирования

На этом рисунке в группу векторов A_i входят векторы выходных параметров каждой из параллельно функционирующих подсистем. Далее параметры векторов группы A_i объединяются в единый вектор, характеризующий состояние системы в

текущий такт моделирования. Полученный вектор относится к группе векторов B_i. Группа векторов B_i характеризует суммарное воздействие, оказываемое на сложную систему.

Она объединяет внутренние воздействия, отражающие взаимосвязи внутренних подсистем, а также внешние воздействия и команды управления. Из группы векторов B_i формируется вектор C, который является объединенным вектором векторов суммарных воздействий параллельно функционирующих подсистем.

3. Обеспечивается синтез имитационной модели сложной технической системы на основе разработанной библиотеки модельных компонентов. Вход каждой E-сетевой модели из библиотеки объединяется со стандартным размножающим переходом, входящим в базовый состав элементарных E-сетей, а каждый выход – с объединяющим переходом. Размножающий и объединяющий переходы соединяются обратной связью как это показано на рисунке 3.

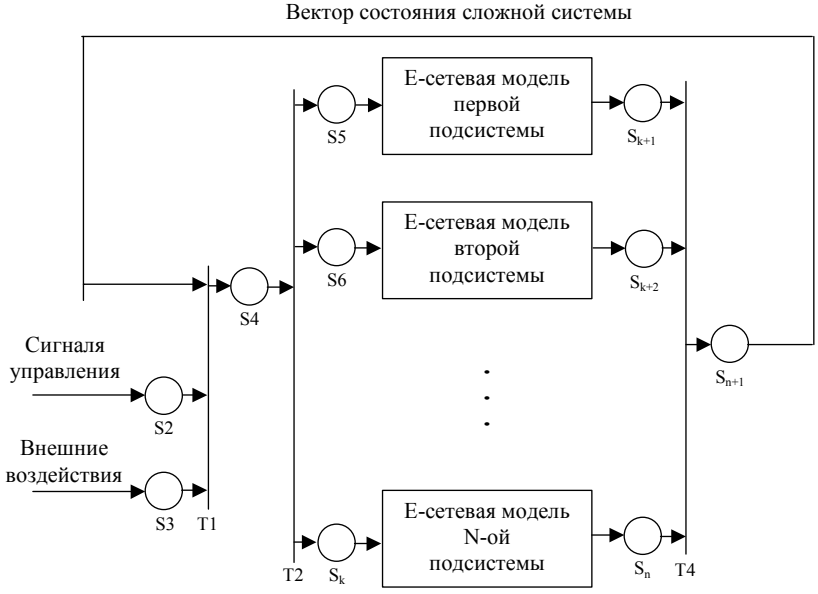

Рисунок 3. Связь E-сетевых моделей из базовой библиотеки

В данном случае размножающим переходом является переход T2, а объединяющим – переход T4. На вход перехода T4 поступают выходные фишки всех параллельно функционирующих подсистем. В переход T4 добавляется функция, которая формирует фишку в позиции S_{n+1}, атрибутами которой будут атрибуты фишек, поступивших на вход перехода T4.

Данная фишка характеризует состояние сложной системы, а ее атрибуты характеризуют параметры векторов входных воздействий параллельно функционирующих подсистем. Функция формирования атрибутов данной фишки отражена на рисунке 2, где показан пример формирования вектора C из набора векторов B_i. Фишка, сформированная на выходе перехода T4, поступает через переход T1 на вход размножающего перехода T2. В переходе T2 вводится функция формирования векторов входных воздействий для каждой из параллельно функционирующих подсистем. Действия данной функции отражены графически на

рисунке 2 при формировании группы векторов D_i из вектора C, который характеризуется атрибутами фишки прошедшей переход T1. Параметры векторов входных воздействий, в параллельно функционирующие E-сетевые модели, будут передаваться с атрибутами входных фишек (S_5, S_6, …, S_k). На рисунке 3 введен переход T1, который позволяет вводить в функционирующую модель внешние воздействия, а также влиять на работу E-сетевой модели посредством управляющих сигналов.

Таким образом, полученная E-сетевая модель сложной системы будет состоять из параллельно функционирующих моделей простых подсистем. Параллелизм функционирования E-сетевых моделей обеспечивается механизмом тактирования, а взаимосвязь – возможностью передачи параметров посредством атрибутов движущейся фишки.

Также в данной главе разработан механизм использования E-сетевого аппарата для моделирования параметрически реконфигурируемых систем, который реализуется введением дополнительного вектора параметров, определяющих внешние воздействия на моделируемую систему.

Для сохранения вектора состояния модели в момент окончания модельного эксперимента предложено расширить функциональный набор аппарата E-сетей функцией сохранения значений атрибутов фишек, которая имеет вид:

а) для простых позиций

$$f_S^P : N_P \times N_A^P \to V^{lp},$$

где N_P - множество номеров простых позиций;

N_A^P - множество номеров атрибутов фишки, находящейся в p-ой позиции;

V^{lp} - множество значений l-го атрибута фишки, находящейся в p-ой позиции.

б) для позиций-очередей

$$f_S^q : N_Q \times N_M^q \times N_A^{mq} \to V^{lmq}$$

где N_Q - множество номеров позиций-очередей;

N_M^q - множество номеров фишек, находящихся в q-ой позиции-очереди;

N_A^{mq} - множество номеров атрибутов m-ой фишки, находящейся в q-ой позиции-очереди;

V^{lmq} - множество значений l-го атрибута m-ой фишки, находящейся в q-ой позиции-очереди.

В третьей главе рассмотрены основные задачи моделирования динамики функционирования сложных систем в реальном времени. Обоснована необходимость использования аппарата временного масштабирования при построении программных тренажерных комплексов. Для привязки модельного времени к реальному введен

дополнительный модуль, формирующий пару параметров, обеспечивающих передачу в модель информации о значении разности реального времени предыдущего и текущего срабатываний данного модуля, а также о значении текущего реального времени. Разработанный модуль является одним из компонентов базового набора Е-сетевых моделей, используемых для синтеза имитационной модели сложной системы. Е-сетевой граф данного модуля располагается параллельно относительно графов остальных Е-сетевых моделей, как показано на рисунке 4.

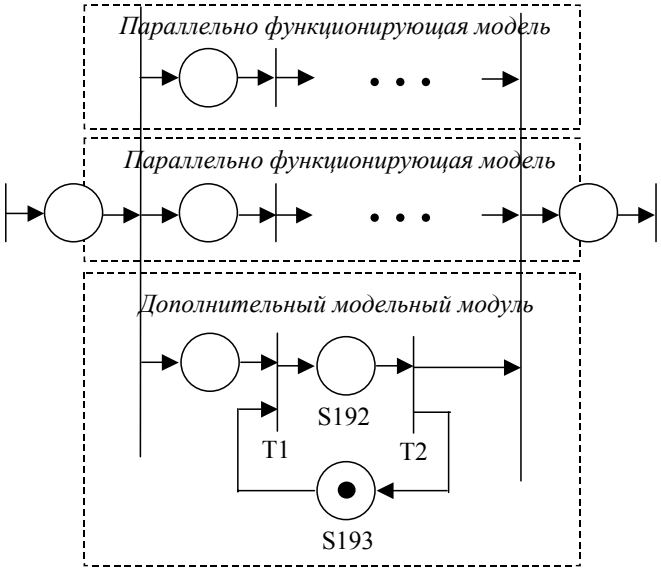

Рис.4. Е-сетевой граф модуля привязки модельного времени к реальному

Для решения задачи временного масштабирования предложено использовать значение разности реального времени предыдущего и текущего срабатываний модуля привязки модельного времени к реальному в функциях преобразования атрибутов фишек, характеризующих параметры имитируемых компонент сложной системы.

Неотъемлемой частью любой тренажерной системы является совокупность средств, обеспечивающих динамическое взаимодействие оператора и инструктора с имитационным процессом. В диссертационной работе интерфейс взаимодействия оператора и инструктора с имитационной моделью в ходе модельного эксперимента реализован в виде набора функций, используемых для ввода управляющих команд с консоли, а также обработки введенных команд. Функции обработки введенных команд оказывают влияние на параметрическую реконфигурацию Е-сетевой модели. Набор функций добавлен к базовому набору функций аппарата Е-сетевого моделирования и может быть использован пользователем-проектантом в процессе разработки Е-сетевых моделей.

Для отображения результатов динамического функционирования имитационной модели на терминальных системах оператора и инструктора, а также для сохранения и последующего восстановления состояния имитационной модели при остановке процесса тренинга разработан метод формирования мгновенного состояния динамически функционирующей имитационной модели. Суть метода заключается в разработке механизма динамического опроса текущего состояния

каждой из подсистем КА и формирования на основе полученных значений вектора выходных параметров Е-сетевой модели, полученной на основе синтеза имитационных моделей из базового набора. Также данный метод включает механизм трансформации значений внутренних параметров динамической имитационной модели в псевдореальную телеметрическую информацию.

Расширен базовый набор элементарных Е-сетей за счет введения синхронного перехода, обеспечивающего решение проблемы возникновения тупиковых ситуаций при изменении маршрута движения фишки в процессе функционально-параметрической реконфигурации, осуществляемой в реальном времени. Функция срабатывания синхронного перехода представлена в табличном виде, где строки таблицы определяют условия появления фишки на выходе перехода, а столбцы – факторы, определяющие данные условия (рис. 5).

	Факт срабатывания 1-го управляющего объекта	Факт срабатывания 2-го управляющего объекта	…	Факт срабатывания N-го управляющего объекта	1-е значение вектора выходных параметров 1-го управляющего объекта	…	M-е значение вектора выходных параметров 1-го управляющего объекта	…	1-е значение вектора выходных параметров N-го управляющего объекта	…	M-е значение вектора выходных параметров N-го управляющего объекта
Условие 1											
Условие 1											
Условие K											

Рис. 5. Табличное представление функции генерации фишки

В четвертой главе приведена структура КА, выбранного для целей исследования, а также обоснован выбор основных подсистем, требуемых для имитации функционирования КА. Используя SADT-технологию произведена декомпозиция подсистем КА на более простые подсистемы, совокупность Е-сетевых моделей которых составляют базовый набор модельных компонентов, требуемых для синтеза имитационной модели КА. В качестве примера можно привести верхний уровень IDEF-декомпозиции системы энергопитания (СЭП) КА (рис. 6).

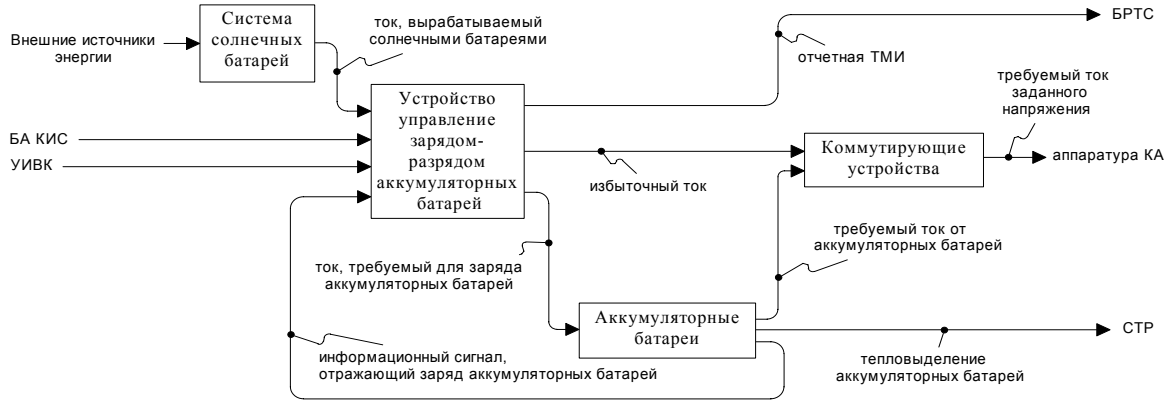

Рисунок 6. Основные внешние и внутренние связи аппаратуры СЭП

Входными сигналами на рисунке 6 являются: световая энергия солнца (внешние источники энергии), команды управления с НКУ (БА КИС), требуемое суммарное энергопотребление подсистем КА (УИВК). Далее данная IDEF-диаграмма декомпозируется до выбранного пользователем-проектантом уровня абстракции и разрабатываются Е-сетевые модели, описывающие функционирование отдельных блоков, представленных на IDEF-диаграмме.

На рисунке 7 представлен Е-сетевой граф имитационной модели устройства управления разрядом- зарядом аккумуляторных батарей.

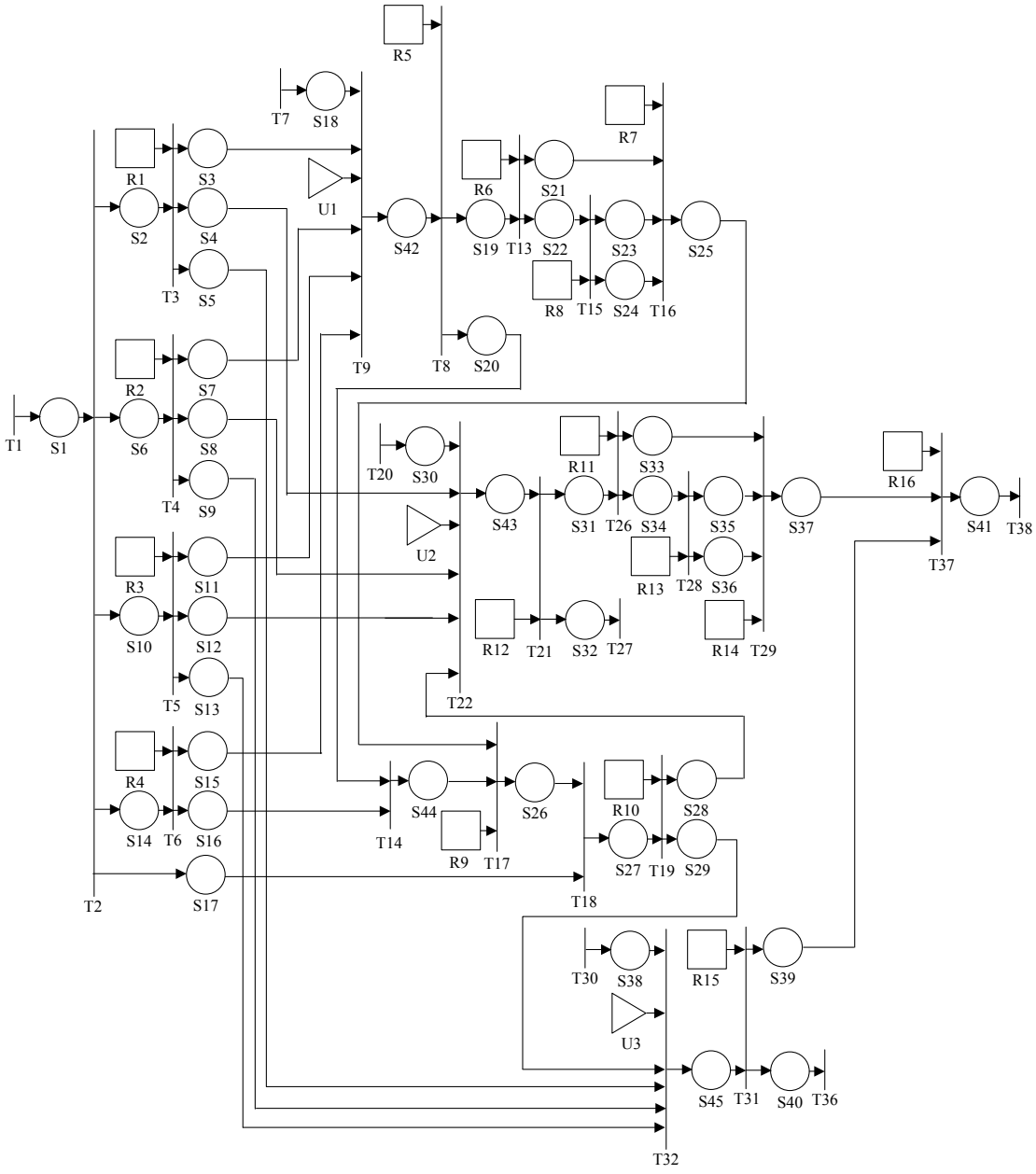

Рис.7. Е-сетевой граф модели блока управления зарядом-разрядом АБ

На основе Е-сетевых моделей, составляющих базовый набор модельных компонентов, построен имитатор динамики функционирования подсистем КА, который в свою очередь является основным компонентом системы тренинга операторов ЦУП КА. В диссертационной работе приведены результаты апробации системы тренинга в трех режимах функционирования: при отсутствии воздействий

оператора и инструктора; при отсутствии воздействия только инструктора; при взаимодействии оператора, инструктора и имитационной модели, а также наличии внешних факторов.

Результаты апробации подтверждают основные теоретические положения данной диссертационной работы и доказывают обоснованность выбора аппарата Е-сетевого моделирования в качестве формализма, обеспечивающего возможность решения задач построения тренажерных комплексов.

Заключение содержит перечень основных научных и практических результатов, полученных в диссертационной работе.

Основные результаты и выводы.

Обобщая результаты проделанной работы можно сделать следующие выводы:

1. Разработана новая методология модельного представления процесса имитации динамики функционирования подсистем КА, позволяющая создавать базовый набор имитационных моделей выбранной предметной области и на основе полученного набора синтезировать имитационную модель, генерирующую информационный поток, адекватно отражающий процессы функционирования заданной совокупности подсистем КА.

2. Предложен новый метод имитации взаимодействия непрерывных процессов в системах с распределенными параметрами, заключающийся в расширении базового набора функций над атрибутами фишек, принадлежащих позиции-очереди, и разработке на основе полученного набора функций математического аппарата имитации взаимодействия нескольких процессов, принадлежащих одной, либо группе взаимодействующих подсистем.

3. Предложены новые принципы взаимодействия динамически функционирующей имитационной модели с внешней средой, обеспечивающие динамическое воздействие пользователя на имитационный процесс и обеспечивающие адекватную реакцию модели на внешние факторы.

4. Предложен метод привязки модельного времени к реальному с заложенным принципом масштабирования, на основе которого разработан алгоритм преобразования физических величин, функционально зависимых от реального времени, позволяющий осуществить имитацию функционирования сложной системы в замедленном времени, а также в режиме ускорения.

5. Показана необходимость расширения базового набора типов элементарных Е-сетей за счет введения синхронного перехода, позволяющего решить проблему возникновения тупиковых ситуаций при изменении маршрута движения фишки в процессе функционально-параметрической реконфигурации, осуществляемой в реальном времени.

6. Предложен метод формирования вектора мгновенного состояния динамически функционирующей имитационной модели, на основе которого

разработан механизм трансформации значений внутренних параметров динамической имитационной модели в псевдореальную телеметрическую информацию.

7. Разработана библиотека E-сетевых компонент, на основе синтеза которых построен программный имитатор, обеспечивающий генерацию информационного потока, соответствующего реальной телеметрической информации динамически функционирующего КА. Полученный программный имитатор адекватно принципам функционирования реального КА реагирует на заданный набор имитируемых внешних воздействий и в совокупности с модулем взаимодействия оператора и инструктора образует тренажерный комплекс обучения операторов ЦУП КА.

Основные положения отражены в следующих работах:

1. Цапко С.Г., Барковский А.Н., Цапко Г.П. Моделирование динамических процессов в многоконтурных системах управления. /МНТК «Технологии и системы сбора, обработки и представления информации». – Рязань, 1995. – стр. 46-47

2. Цапко С.Г., Барковский А.Н., Цапко Г.П. Исследование систем стабилизации с параметрической обратной связью методом E-сетевого моделирования. /МНТК «Технологии и системы сбора, обработки и представления информации». – Рязань, 1995. – стр. 47

3. Цапко С.Г., Барковский А.Н. Моделирование подсистем космического аппарата с помощью E-сетей / МНТК «XXII гагаринские чтения». – Москва, 1996. - стр. 60-61

4. Цапко С.Г. Обеспечение достижимости при E-сетевом моделировании сложных систем /«3-я НТК студентов, аспирантов и молодых ученых». – Томск, 1997. – стр. 93-94

5. Цапко С.Г., Цапко Г.П.. E-сетевой метод имитации логики функционирования сложных управляемых систем. /Международная научно-техническая конференция и выставка "Спутниковые системы связи и навигации". – Красноярск, 1997. – стр. 24

6. Tsapko G.P., Dmitrieva E.A., Barcovsky A.N., Tsapko S.G. The Object-Oriented Approach at Devolopment The Simulating Models of Complex System /Korea-Russia International Symposium on Science and Technology Poster Session ME : Mechatronics/Electronic Engineering. – Korea: University of Ulsan Republic of Korea, 1997. – page 58

7. Barcovsky A.N., Danilenko D.N., Tsapko S. G. E-nets Tool for the Riliability Problems /Korea-Russia International Symposium on Science and Technology Poster Session ME : Mechatronics/Electronic Engineering. – Korea: University of Ulsan Republic of Korea, 1997. – page 60

8. Tsapko S.G. The E-Network Method of Imitation of Complex Dynamically Reconfigured System Functioning /Korea-Russia International Symposium on Science and

Technology Poster Session ME : Mechatronics/Electronic Engineering. – Korea: University of Ulsan Republic of Korea, 1997. – page 59

9. Цапко С.Г. Метод Е-сетевого моделирования логики функционирования подсистем космического аппарата. /Международная конференция "Информационные средства и технологии". – Москва, 1997. – стр.15

10. Tsapko S.G. E-net method of object-oriented modeling complex dynamically changing system structure /Abstract of the second Russian-Korean international symposium on science and technology Poster Session ME : Mechatronics/Electronic Engineering. – Tomsk, 1998. – page 263

11. Цапко С.Г. Методология построения имитационных моделей динамики функционирования сложных реконфигурируемых систем с позиций объектно-ориентированного подхода в реальном масштабе времени /Международная конференция по проблемам управления. – Москва, 1999. – стр. 270-271

12. Барковский А.Н., Цапко С.Г. Об условиях достижимости в Е-сетях. /Межвузовский научно-технический сборник «Кибернетика и ВУЗ». – Томск, 1999. – стр. 75-82

13. Цапко Г.П., Цапко С.Г. Метод модельного представления адаптивных динамически реконфигурируемых систем в задачах создания тренажеров и имитации функционирования космического аппарата. /Научно-технический сборник «Трансфертные технологии в информатике» под редакцией Погребного В.К. – Томск, 1999. – стр.28-30

14. Цапко С.Г. Об одном расширении сетей Петри. /Научно-технический сборник «Трансфертные технологии в информатике» под редакцией Погребного В.К. – Томск, 1999. – стр.102-103

15. Цапко С.Г. Применение SADT-технологии и сетевых методов статистического моделирования в тренажеростроении. /II-ая Международная научно-техническая конференция «Новые технологии управления движением технических объектов». – Новочеркасск, 1999. – стр. 23-25

16. Цапко С.Г. Математическая модель имитации динамики функционирования сложных технических систем в реальном времени. /II-ая Международная научно-техническая конференция «Новые технологии управления движением технических объектов». – Новочеркасск, 1999. – стр. 25-26

17. Цапко С.Г. Применение сетей Петри для имитации функционирования сложных систем с заложенным принципом резервирования. /Международная научно-техническая конференция «Теория и практика имитационного моделирования и создания тренажеров». – Пенза, 1999. – стр. 111-113

18. Цапко С.Г. Программный имитатор динамики функционирования сложной технической системы в режиме реального времени. /Международная научно-

техническая конференция «Теория и практика имитационного моделирования и создания тренажеров». – Пенза, 1999. – стр. 113-115

19. Tsapko S.G.. Operational use of the vehicle of E-net simulation for imitation of dynamics of operation of subsystems of a space vehicle in real time. /Korea-Russia International Symposium on Science and Technology Poster Session ME : Mechatronics/Electronic Engineering. – Tomsk, 2001. – page …

20. Цапко С.Г. Е-сети с приоритетами. /IV-ая Всероссийская научно-техническая конференция «Новые информационные технологии. Разработка и аспекты применения». – Таганрог, 2001. – стр. 23-25

21. Цапко С.Г. Минимизация Е-сетевого графа модельного представления динамических реконфигурационных систем. /НТК студентов, молодых ученых и специалистов «Новые информационные технологии в научных исследованиях и в образовании». – Рязань, 2002. – стр. 4-5

22. Цапко С.Г. Объектно-ориентированный подход к модельному представлению блочной структуры космического аппарата. /Международная НПК студентов, аспирантов и молодых ученых «Современные техника и технологии». – Томск, 2002. – стр.170-172

Подписано в печать 29.10.03 г. Формат 84×60/16.
Бумага офсетная. Тираж 90 экз. Печать RISO.
Заказ № 718
Усл. печ. л. 1,16. Уч. изд. л. 1,05

Издательство ТПУ
634050, г. Томск, пр. Ленина, 30