

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ)

На правах рукописи

АНИСИМОВ МИХАИЛ МИХАЙЛОВИЧ

РАЗРАБОТКА ФОРМАЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ
РАССУЖДАЮЩИХ СЕТЕЙ ДЛЯ АНАЛИЗА
ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ СОБЫТИЙНЫХ ПРОЦЕССОВ

Специальность 05.13.17 – Теоретические основы информатики

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

МОСКВА, 2009

Работа выполнена на кафедре информатики
Московского физико-технического института (ГУ)

Научный руководитель: доктор физико-математических наук, профессор
Столяров Лев Николаевич
МФТИ

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук, профессор
Клименко Станислав Владимирович
МФТИ

кандидат физико-математических наук
Занин Виталий Витальевич
компания «ПрограмБанк»

Ведущая организация: Институт радиотехники и электроники РАН.

Защита диссертации состоится 1 декабря 2009 г.

в 15⁰⁰ на заседании диссертационного совета Д 212.156.04 Московского
физико-технического института по адресу: 141700, г. Долгопрудный,
Московская обл., Институтский пер., д. 9, Новый корпус, ауд. 204

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МФТИ (ГУ)

Автореферат разослан «___» октября 2009 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат технических наук, доцент

Л.П. Куклев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации. В диссертации рассматривается теория и практика анализа событийных моделей сложных систем. Событийная модель предполагает, что система состоит из элементарных объектов (сущностей). Взаимодействие объектов в таких моделях описывается их реакцией на внешние и внутренние события. Каждое событие φ_i связано с изменением какой-либо одной характеристики объекта. Взаимосвязь в таких моделях описывается событийной сетью, в которой пара событий, входящая в сеть $\langle \varphi_i, \varphi_j \rangle$ представляется функциональной зависимостью $\varphi_j = f(\varphi_i)$, где φ_i – событие «причина», φ_j – событие «следствие». Зависимость « f » в таких моделях имеет вид рассуждения: из Р следует S, где Р – утверждение «посылка», S – утверждение «следствие». Рассуждение записывается в виде: «Если произошло событие φ_i , то оно вызовет событие φ_j ». Оказалось, что многие процессы нейродинамики, техники, социологии, организационных систем могут быть выражены в терминах событийных рассуждающих сетей.

Особую популярность среди исследователей получили рассуждающие сети Ван-Хао (WN), получившие свое название по имени американского логика Ван-Хао. Такая популярность была вызвана очень простой и понятной формой рассуждения, характерной для самых различных предметных областей. Рассуждения строились для событий, которые имели только два значения $\varphi^+ = \uparrow$ (увеличение значения характеристики) и $\varphi^- = \downarrow$ (уменьшение значения характеристики). Причинно-следственные

зависимости задавались как корреляционные функции тоже двух видов: «+» корреляция, «-» корреляция.

Анализ событийных процессов, использующих сети Ван-Хао, практически всегда предшествовал построению числовых моделей и использовался для проверки их правильности.

В настоящее время использование инструментария WN широко распространено в «разговорном анализе» (talk-analysis) газетных и журнальных статей, телевизионных аналитических передач. «Разговорный анализ» на когнитивных картах и сетях Ван-Хао преподается в ведущих западных бизнес школах: London Business School, Wharton School, INSEAD. В России эта методика используется в Академии Народного Хозяйства, Московской Школе Управления Сколково. Исследования когнитивных карт и событийных сетей ведутся в ИПУ РАН, ИСЭМ СО РАН, НИИ МВС.

Для понимания дальнейшего изложения приводится пример фрагмента рассуждающей сети Ван-Хао, моделирующей событийные процессы в социально-экономической среде, при возникновении события, связанного с увеличением выплат по кредитам потребителем. Пример построен на основе материалов Вестника Банка России за 2008 год.

Сущности имеют следующие названия: «1»– расходы потребителя на выплату кредитов, «2»– предложение товаров и услуг, «3»– величина дефляции, «4»– уровень ставок кредитования, соответственно. Причинно-следственные зависимости между событиями задаются следующими утверждениями.

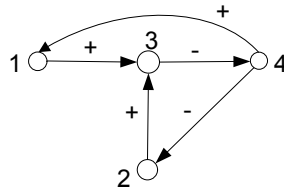
- 1) Если растут расходы потребителя на выплату кредитов ($1:=\uparrow$), то это ведет к дефляции ($3:=\uparrow$) (снижению индекса цен). Верно и обратное:

если наблюдается снижение расходов потребителя, то это приводит к исчезновению дефляции.

- 2) Если возникает развитие дефляции ($3:=\uparrow$), то это позволяет Банку России прибегнуть к понижению ставок по кредитам ($4:=\downarrow$). Аналогично верно и обратное.
- 3) Если происходит снижение ставок по кредитам($4:=\downarrow$), то это снижает издержки потребителя ($1:=\downarrow$). Аналогично верно и обратное.
- 4) Если растет уровень ставок по кредитам ($4:=\uparrow$), то страдают предприятия. Происходит сокращение предложения товаров и услуг($2:=\downarrow$). Аналогично верно и обратное.
- 5) Если происходит сокращение предложения товаров и услуг($2:=\downarrow$), то это незамедлительно ведет к исчезновению дефляции ($3:=\downarrow$). Аналогично верно и обратное.

Пример когнитивной карты и сети Ван-Хао для вышеупомянутых рассуждений представлен на рис.1.

	1	2	3	4
1			+	
2			+	
3				-
4	+	-		



а) Когнитивная карта событий

б) Сеть Ван-Хао

Рис. 1 Различные представления сети Ван-Хао для записи рассуждений о причинно-следственных связях

Уже в 90-х годах прошлого века были отмечены недостатки формального аппарата WN для анализа событийного поведения систем. Они сформулированы в работах Э.А. Трахтенгерца (ИПУ РАН) и в основном сводятся к следующим ограничениям в содержательной и формальной

интерпретации поведения сетей.

- 1) Воздействие нескольких причин на одно и то же событие не имело формальной интерпретации. Такие сети WN считались недетерминированными и противоречивыми.
- 2) Сети с циклами также не имели формальной интерпретации.
- 3) Отсутствие истории состояний сети и ее влияния на событийные процессы не учитывалось. Считалось, что в момент возникновения внешнего возбуждения, сеть «мертва», то есть, в ней не происходит ни одного события, все процессы в сети закончились.

Эти три фундаментальных ограничения приводили к необоснованным содержательным выводам при попытках создания программных систем для автоматизации событийного анализа.

В этой связи возникает актуальная задача разработки формализованной модели для рассуждающей сети Ван-Хао с расширенной интерпретацией для создания основы программной реализации интеллектуальных систем для событийного анализа поведения объектов и методик управления процессами возбуждения, например, в области моделирования нештатных ситуаций в технических и организационных системах.

Цель и задачи работы. Целью диссертационной работы являются построение формализованной модели рассуждающей событийной сети Ван-Хао, позволяющей ввести расширенную интерпретацию и проводить анализ параллельно текущих и циклических процессов возбуждения в сети. Для этой цели в диссертации решены следующие задачи формализованного представления:

- недетерминированного и параллельного развития событий в сети, для чего выполнено отображение сети Ван-Хао в Joiner-сеть;

- циклических процессов в сети Ван-Хао, для чего разработан математический инструмент разложения сети на взаимодействующие между собой циклы и их развертки в древесные структуры протекающих параллельных цепочек событий;
- распространения возбуждения в сети, в зависимости от ее начального состояния (начальной ситуации). Для выполнения такого анализа поведение сети отображается в пространство состояний асинхронного автомата Малера.

Методы исследования. Проведенные теоретические и прикладные исследования базируются на использовании методов математической логики, теории автоматов и теории алгоритмов.

Научная новизна. В результате проведенных исследований, анализа и обобщения опыта по формализации сетей Ван-Хао получены следующие научные результаты:

- впервые разработаны методы проведения анализа с учетом существующих в сети ограничений цикличности и противоречивости;
- доказаны теоремы о представлении сети Ван-Хао в виде Joiner-сетей и процессорных сетей, которые доказывают корректность проведенной формализации;
- впервые осуществлено представление поведения сети в виде асинхронного автомата Малера, которое дало возможность изучать распространение возбуждения в сети, в зависимости от ее начального состояния;
- разработана новая модель пространства состояний автомата (ситуационного пространства) в виде алгебраических решеток, дающая наглядность отображения поведения автомата;

- создан способ парирования нештатных ситуаций введением специального тормозящего процесса в сеть Ван-Хао.

Достоверность. Достоверность научных положений, выводов и практических рекомендаций, полученных в диссертационной работе, подтверждена обоснованием разработанных методов и логических структур, а также результатами практического использования предложенных в диссертационной работе способов анализа, сравнением с существующими данными на эту тему.

Практическая ценность и реализация результатов. Разработанные в диссертации методы, алгоритмы по управлению асинхронными автоматами, построенными на основе сетей Ван-Хао, позволят создавать формализованные модели для различного рода сложных систем и вырабатывать способы управляющих воздействий на эти системы. Предложенный формализм предусматривает объединение рассуждений коллектива экспертов, позволяет выявлять противоречия в экспертных оценках, а также создает основу для программной реализации моделей.

Практическая ценность полученных результатов подтверждается их использованием в разработках по моделированию катастроф в электроэнергетике (ИСЭМ СО РАН), аналитических системах по построению социальных и макроэкономических моделей (ЗАО «ВТБ Капитал» и VTB Capital plc., London), а также в системах по организации защиты информации.

Работа поддержана грантами РФФИ 08-07-00200 и 08-07-00198.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались и представлялись на следующих международных конференциях: Информационные технологии в науке, социологии, экономике и

бизнесе (Москва, 2008, 2009), Современные достижения в науке и образовании (Израиль, Нетания, 2008), Моделирование и обработка информации (Москва, 2007, 2008, 2009), Информационные и математические технологии в науке и управлении (Иркутск, 2007, 2009).

Публикации. Основные результаты научных исследований по теме диссертации содержатся в 14 публикациях, в их числе 6 публикаций в ведущих научных журналах перечня ВАК.

Структура и объем диссертационной работы. Работа состоит из введения, пяти глав, заключения, содержит 101 страницу текста, 45 рис., 8 табл., список литературы из 48 названий.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении содержится цель диссертационной работы, краткое изложение истории развития диссертационного исследования и краткое содержание работы.

Первая глава диссертации содержит обзор формализованных сетевых моделей, в частности уделяется особое внимание сетям Ван-Хао, сетям Петри и Joiner-сетям, как обобщению большинства сетевых парадигм.

Описываются возможности применения Joiner-сетей для событийного моделирования в различных областях. Определяются основные задачи моделирования, дается их формальное определение и содержательная интерпретация. Рассмотрение формальных объектов событийных сетей сопровождается примерами.

Для правильного построения формализации необходимо дать строгие определения всем объектам исследования.

Определение. Сетью Ван-Хао (WN) называется граф $G(WN) \supseteq A \times A$, где $A = \{a_1, \dots, a_n\}$ - конечный алфавит сущностей, в которых происходят события $\{\varphi_{a_1}, \dots, \varphi_{a_n}\}$, \times - декартово произведение.

Каждое событие φ_{a_i} связано с изменением некоторой характеристики соответствующей сущности $a_i \in A$. Дуга графа $\langle a_i, a_j \rangle$ интерпретируется как утверждение о причинно-следственной связи между событиями φ_{a_i} и φ_{a_j} . Она может быть задана логическим утверждением вида (если $\varphi_{a_i} = a$, то $\varphi_{a_j} = b$). В сети Ван-Хао для каждой сущности x рассматривается пара утверждений о противоположных событиях. $\varphi_a = \{\uparrow, \downarrow\}$.

В сети WN причинно-следственные связи называются корреляциями. Корреляции существуют только двух типов, условно называемые положительной и отрицательной корреляциями. Такие корреляции для причинно-следственной связи $\varphi_{a_i} \rightarrow \varphi_{a_j}$ показаны в таблице 1.

Т а б л и ц а 1 Корреляции событий WN

Вид корреляции	События		
"+" корреляция	φ_{a_i}	↓	↑
	φ_{a_j}	↓	↑
"- " корреляция	φ_{a_i}	↓	↑
	φ_{a_j}	↑	↓

В процессе рассуждений каждый эксперт неформально исполняет функцию процессора, рассчитывающего некоторую функцию, поэтому можно сформулировать процессорное представление сети WN.

Каждую сущность сети $a_i \in A$ можно рассматривать как процессор

$C_i \in C$, генерирующий события. Запуск такого процессора (генератора) производится входным событием φ_{a_i} , на которое он отвечает выходным событием φ_{a_i} . В реальности процессоры различны по своей природе, собственно как и исходные сущности, которые генерируют изменения событий. Для задания получившейся сети можно сформулировать следующее определение.

Определение. Процессорной сетью (PN) называется сеть, где для всякой пары соседних процессоров $C_i C_j$ соответствующих соседним вершинам сети WN $a_i \in A, a_j \in A$ задается функция $\psi_{C_i C_j} : \varphi_{a_j} = \psi_{C_i C_j}(\varphi_{a_i})$, которая называется пусковой функцией и ставит в соответствие выходное событие входному событию.

Формально опишем логику распространения возбуждения по сети WN . Заметим, что событийная модель WN изначально такой логики не содержала, и передача возбуждения в сети трактовалась неоднозначно.

Такое описание удобно осуществить с помощью Joiner-сети.

Определение. Joiner-сетью (JN) называется направленный граф $JN = \langle \Phi, \Psi \subseteq (\Phi \times \Phi) \rangle$, где:

1) $\Phi = \{\varphi_1, \dots, \varphi_i, \dots, \varphi_n\}$ – множество позиций, каждое $\varphi_i \in \Phi$ совпадает с именем $I = \{1, 2, \dots, i, n\}$ в WN и интерпретируется как элементарная ячейка памяти для запоминания значений флаговой функции $\varphi_i := 1$ – «флаг поднят», то есть фиксируется акт возникновения события возбуждения в сущности, и $\varphi_i := 0$ – «флаг опущен», то есть фиксируется акт снятия события возбуждения в сущности.

2) ψ_i -пусковая функция для каждой сущности «i» является булевой и имеет вид $\Psi_i(\varphi_1, \dots, \varphi_j, \dots, \varphi_l) = \varphi_i$, где $\{\varphi_1, \dots, \varphi_j, \dots, \varphi_l\}$ – множество входных позиций, φ_i – выходная позиция. В частности, для сети WN пусковая функция имеет вид: $\Psi_i(\varphi_1 \vee \dots \varphi_j \vee \dots \varphi_l) = \varphi_i$, где \vee - элементарная логическая операция разделенное «или».

Сеть JN также можно определить как сеть, объединяющую элементарные Joiner-элементы. Пример графа Joiner-элемента показан на рис. 2.

Связывание Joiner-элемента в сеть происходит отождествлением (\equiv) выходного события φ_3 и входных событий других элементов ($\varphi_3 \equiv \varphi_4; \varphi_3 \equiv \varphi_5$).

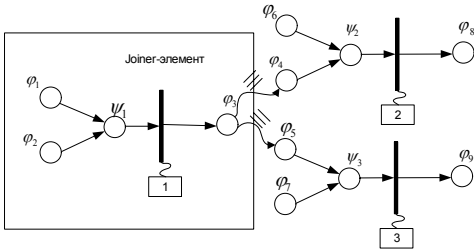


Рис.2 Связывание Joiner-элементов в Joiner-сеть

Передача возбуждения через элемент для сети WN подчиняется логическим уравнениям:

$$\psi(t+1) = (\varphi_1(t) \vee \varphi_2(t)) \& \overline{\varphi_3(t)}; \tag{1}$$

$$\varphi_1(t+1) := 0 \vee \varphi_2(t+1) := 0; \varphi_3(t+1) := 1; \tag{2}$$

$$\varphi_3(t+1) \equiv (\varphi_4(t+1); \varphi_5(t+1)); \tag{3}$$

Содержательная интерпретация уравнений заключается в следующем. Пусковая функция срабатывает ($\psi=1$) и возбуждается событие

φ_3 , если произошло хотя бы одно событие (либо φ_1 , либо φ_2 , но не оба вместе) и выходная позиция пуста ($\varphi_3=0$). Пустота выходной позиции означает, что выходное событие, порожденное переходом, было использовано в предыдущих тактах для запуска других переходов (см. уравнение (1)). Существенно, что все выходные события возникают одновременно (см. уравнения (2), (3)).

Сеть JN есть система логических уравнений для всех элементов, что позволяет разработать эффективную программу моделирования.

Во второй главе содержится логика исследования, которую удобно представить в виде последовательности преобразования одних формальных объектов в другие: КК–WN– (PN-JN) –ААМ, где КК– когнитивная карта, WN–сеть Ван-Хао, PN–процессорная сеть, JN–Joiner-сеть, ААМ–асинхронный автомат Малера. Подобный подход раскрывает ряд новых возможностей анализа, недоступных при использовании интуитивной интерпретации сетей Ван-Хао. В главе даны основные определения и теоремы. В заключение главы приводится постановка основной задачи диссертации.

Для доказательства корректности перехода от исходной сети WN к процессорной сети необходимо доказать следующую теорему.

Теорема. Представления сети в WN и PN видах эквивалентны по порождаемым цепочкам событий.

По этой теореме корреляция сети Ван-Хао меняется на соответствующую пусковую функцию:

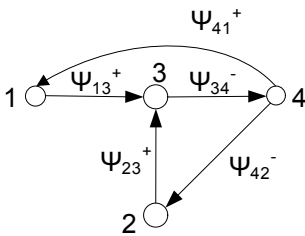
$$(a_i \xrightarrow{+} a_j) \Rightarrow (C_i \xrightarrow{\psi_{C_i C_j}^+} C_j); (a_i \xrightarrow{-} a_j) \Rightarrow (C_i \xrightarrow{\psi_{C_i C_j}^-} C_j),$$

где функции ψ^+ , ψ^- имеют вид, представленный в таблице 2.

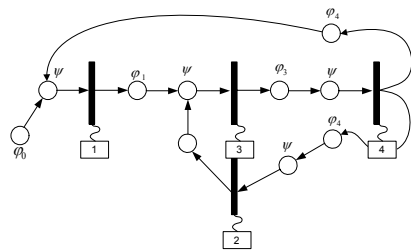
Т а б л и ц а 2 Пусковые функции PN

Вид пусковой ф.	События	
ψ^+	φ_{Ci}	0 1
	φ_{Cj}	0 1
ψ^-	φ_{Ci}	0 1
	φ_{Cj}	1 0

Отображение событийной сети в Joiner-сеть позволяет формализовать запись процесса распространения возбуждения. Таким образом, совокупность PN сети и JN сети дает расширенную сеть WN, которая раскрывает логику скрытых возможностей анализа процессов возбуждения. На рис.3 представлен пример PN-JN записи сети WN, изображенной на рис.1.



а) процессорная сеть (PN)



б) Joiner-сеть (JN)

Рис. 3 Различные представления сети Ван-Хао для записи рассуждений о причинно-следственных связях

Для выделения параллельных процессов используется механизм их представления в виде регулярных выражений Клини. В частности, для сети на рис.3а запись регулярного выражения принимает вид: $O \bullet (1 \bullet 3 \bullet 4)^* \vee (4 \bullet 2 \bullet 3)^*$, где « \bullet »- конкатенация, « \vee »- объединение,

«*»– итерация (звезда Клини), «O»– событие-инициатор.

Для рассмотрения циклов исходную сеть целесообразно разворачивать в бесконечную сеть с начальным и повторяющимся фрагментом с помощью цепочечных, древовидных и ярусно-параллельных форм.

Ниже формулируется теорема, позволяющая проверять возможность построения цепочки между заданной парой переходов.

Теорема. Для произвольной Joiner-сети существует алгоритм проверки выводимости (построения цепочки) между заданной парой переходов $\langle S_0, S_k \rangle$, где S_0 является началом цепочки, а S_k – ее концом.

В третьей главе содержится исследование модели динамики распространения событий в сети Ван-Хао в виде цепочек переходов некоторого автомата. Детально рассматривается асинхронный автомат Малера, который дает возможность анализа параллельно протекающих процессов возбуждения событий и их взаимного влияния из произвольного начального состояния.

Введенная выше сеть (JN) позволяет достаточно просто описать процесс порождения параллельных потоков событий при возбуждении любой сущности, но совершенно не позволяет анализировать эти потоки, так как события происходят мгновенно и нигде не запоминаются. Возникает необходимость ввести понятие «исторической памяти» событий для исходной WN сети. Введение памяти обуславливает автоматную модель порождения. Идея такой модели заключается в том, что пусковые функции, которые генерирует Joiner-сеть, запускают переходы некоторого автомата, состояния которого и являются исторической памятью.

Теорема. Каждому переходу S с множеством входных и выходных позиций $P(p_1, \dots, p_n)$ сопоставляется автомат $A(\psi, \varphi, P)$, где $\psi(p_1, \dots, p_n) -$

пусковая функция, $\varphi(p_1, \dots, p_n)$ – флаговая функция. Пусковая функция ψ определяет условия запуска перехода и соответствующего ему подпроцесса.

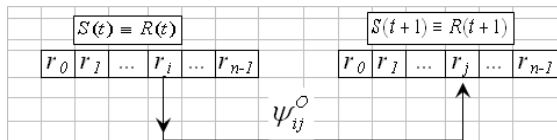
Поскольку для сети WN пусковые функции процессорной сети также являются булевскими, то функционирование элементарного автомата для JN удобно расширить на совокупность PN и JN. Таким расширением элементарного автомата является асинхронный автомат Малера. Введение такого объекта позволяет проводить удобный анализ поведения системы из любого начального состояния в пространстве состояний автомата.

Определение. Формально асинхронный автомат Малера для сети WN является объектом, определенным следующей совокупностью:

$AAM = \langle S, R, \psi, P, S_H, S_K \rangle$, где:

1. $S = \{S_0, S_1, \dots, S_{2^n-1}\}$ – множество состояний, причем $S_H \in S, S_K \in S$ – начальное и конечное состояние соответственно;
2. $R = \langle r_0, r_1, \dots, r_{n-1} \rangle$ – регистр состояния автомата, где $r_i = \{0,1\}$. Множество состояний S состоит из 2^n состояний регистра. Состояние регистра отображает все состояния, в которых может находиться сеть WN. Каждая ячейка r_i служит для записи значения события φ_i .
3. $\psi = \{\psi_{ij}^O\}$ – множество внешних функций, поступающих от процессорной сети, $O \in \{+, -\}$ – индексы корреляционных функций сети Ван-Хао;
4. P–правила работы (перехода из состояния в состояние) имеют вид: $S(t), \psi_{ij}^O \rightarrow S(t+1)$, $i, j \in R, O \in \{+, -\}$, где $S(t)$ – предыдущее состояние, $S(t+1)$ – последующее состояние. Интерпретация правила перехода ААМ задается графами перехода:

а) Применение одного правила к одному состоянию регистра



Внешняя функция меняет состояние ячейки r_j в соответствии с правилами, изображенными на рис. 4.

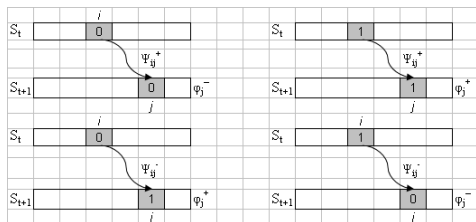
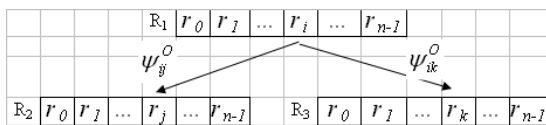


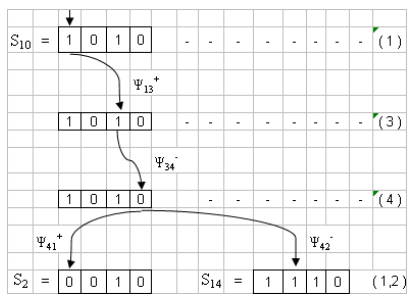
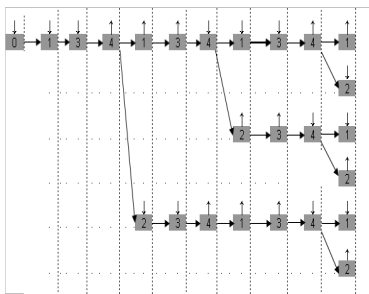
Рис. 4 Правила работы ААМ для сетей WN

б) Параллельное применение нескольких правил к одному состоянию регистра.

Если имеется пара правил P вида: $S_i(t), \psi_{ij}^O \rightarrow S_j(t+1)$ и $S_i(t), \psi_{ik}^O \rightarrow S_k(t+1)$, то к регистру состояний одновременно применяются два правила, таким образом, возникает два параллельных процесса.



Рассмотрим работу автомата Малера, соответствующего исходной WN на рис. 1. Пример разворачивания сети WN в виде дерева цепочек событий представлен на рис. 5а. На рис. 5б представлен фрагмент работы ААМ при возбуждении сущности «1». В регистре состояний асинхронного автомата история произошедших событий запоминается ровно на один такт.



а) Древовидное разложение сети б) Фрагмент разворачивания ААМ

Рис. 5 Процессы в сети WN и ААМ

Для отображения состояний автомата удобно ввести понятие ситуационного пространства.

Определение. Пространство размерности n , состоящее из элементов вида $R = \langle r_0, r_0, \dots, r_{n-1} \rangle$, называется пространством ситуаций ААМ или ситуационным пространством.

Расстоянием между элементами R_i и R_j в ситуационном пространстве является расстояние Хемминга $H(R_i, R_j) = \sum_{s=0}^{n-1} |r_i^{(s)} - r_j^{(s)}|$.

Определение. Ситуационной сетью (SN) называется граф переходов ААМ. Вершинами SN являются состояния ААМ.

На рис. 6 изображена процессорная и ситуационная сеть. Возбуждение в виде пусковых функций из процессорной сети PN отображается в ситуационной сети SN. Приведен пример разворачивания ситуаций при возбуждении события в сущности «1» и начальной ситуации $S_{10}=1010$. Заметим, что переход в ситуацию S_2 и S_{14} из S_{10} при функциях ψ_{41}^+ и ψ_{42}^- выполняется обязательно, но в какой последовательности, – это зависит от реального запаздывания реакции конкретного процессора.

давать возможность автомату остановиться, то есть попасть в состояние S_k , при этом в S_k (множестве S_k) должны привести все возможные параллельные потоки событий. Исходя из этого, задачу управления можно сформулировать следующим образом.

а) Задача разметки сети WN процессорными функциями ψ , обеспечивающей в сущности сети j заданное событие φ_j , при возбуждении сущности i событием φ_i .

Теорема. Для всякой сети Ван-Хао, заданной графом $G(WN)$, можно построить разметку сети WN процессорными функциями ψ , обеспечивающей в сущности сети j заданное событие φ_j , при возбуждении сущности i событием φ_i , если вершины i и j достижимы при разворачивании регулярного выражения, соответствующего графу $G(WN)$.

б) Задача построения управляющего элемента, способного остановить сеть в заданной связанной области в ситуационном пространстве.

Введем в событийную сеть специальный тормозящий элемент.

Определение. Тормозящим элементом называется логический Joiner-элемент вида, представленного на рис. 8.

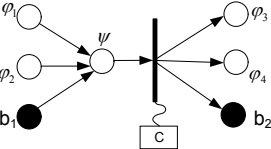


Рис. 8 Joiner-элемент тормозящей сети

Формальная логика поведения тормозящего Joiner-элемента задается следующими уравнениями:

$$\psi(t+1) = (\varphi_1(t) \vee \varphi_2(t)) \& \bar{b}_1(t) \& \bar{b}_2(t) \& \overline{\varphi_3(t)} \& \overline{\varphi_4(t)}; \quad (4)$$

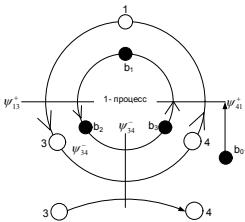
$$\varphi_1(t+1) := 0; \varphi_2(t+1) := 0; \varphi_3(t+1) := 1; \varphi_4(t+1) := 1; \quad (5)$$

$$b_1(t+1) := 0; b_2(t+1) := 0; \quad (6)$$

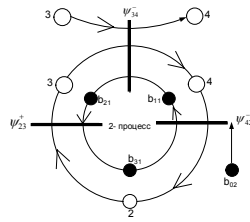
Входное тормозное событие (позиция b_1), возникающее в одноименной сущности, запрещает срабатывание пусковой функции ψ (уравнение (4)) для обычных событий в позициях φ_1 и φ_2 (уравнения (5)) и пропускает тормозящее событие в выходную тормозящую позицию b_2 для целей торможения других пусковых функций (уравнения (6)).

Определение. Совокупность тормозящих элементов (b_1, \dots, b_n), влияющих на остановку пусковых функций Joiner-сети и объединенных друг с другом с помощью правил отождествления, назовем тормозящей сетью (BN-Brake Network) $BN=(b_1, \dots, b_n)$ из n сущностей.

На рис. 9 показаны две тормозящие сети, встроенные в два циклических процесса сети PN (см. рис. 6а). Тормозящие воздействия возникают тогда, когда ситуационная сеть попадает в специально выделенные состояния ААМ. Управление событийной сетью в этом случае заключается в том, чтобы направить потоки событий в класс «хороших» ситуаций, либо «защитить» систему от попадания в «плохие» ситуации введением специальных тормозящих сетей.



а) остановка 1-ого процесса



б) остановка 2-ого процесса

Рис. 9 Взаимодействие тормозящих сетей с событийной и ситуационной сетями

при установке «защиты» от попадания системы в «плохую» ситуацию.

Построим тормозящую сеть, защищающую от попадания в $S_5=0101$ для ААМ, представленного на рис. 6б. Пусть в ААМ возбуждается событие «1» в ситуации $S_n = S_{10}$ (см. рис. 6б), и сеть тормозится, когда ситуационная сеть попадает в состояние $S_1=0001$ (близкое к плохому, по расстоянию Хемминга). В этом случае циклический процесс «1» (рис. 9а) останавливается в S_1 , а циклический процесс «2» остановится в S_5 (очень плохой ситуации) либо $S_{14}=1110$ (близкой к хорошей).

На рис. 9б также приведен пример «защиты». При этом «срабатывание» защиты 2-ого процесса осуществляется при попадании в ситуацию $S_{14}=1110$, близкую к «хорошей» $S_{10}=1010$ (см. рис. 7б)

В пятой главе приведены примеры событийного анализа фрагментов конкретных систем из технической, социальной и экономической области. На базе этих примеров построены формализованные событийные модели.

Пример 1. Пропозиционная сеть для экспертных систем.

В примере построена сеть, связывающая экспертные правила в систему асинхронного управления парированием угроз рабочему процессу в некотором объекте, например, Интернет-атаки на базу данных некоторой организации.

Пример 2. Событийная рассуждающая модель для динамики цен в Российской экономике.

Пример содержит фрагмент модели динамики цен. Пример демонстрирует правила работы с циклами и существование параллельных цепочек событий. Пример составлен совместно с экспертами ЗАО «ВТБ Капитал».

Пример 3. Событийная рассуждающая модель для описания картины мира человека, находящегося в депрессии.

Пример описывает модель мира человека, находящегося в депрессии.

Пример 4. Событийная рассуждающая модель для анализа энергетических катастроф.

Пример описывает энергетическую катастрофу, аналогичную событиям, произошедшим 25 мая 2005 года в Москве. Пример составлен совместно с экспертами ИСЭМ СО РАН.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

В заключении диссертационной работы сформулированы следующие основные результаты:

1. Осуществлена и исследована формализация модели широкоизвестных сетей Ван-Хао.
2. Доказаны теоремы о преобразовании исходной сети в последовательность формальных объектов: $WN-(PN-JN)$, где WN –сеть Ван-Хао, PN –процессорная сеть, JN –Joiner-сеть, обеспечивающие корректность формализации.
3. Введено понятие «исторической памяти» и представление работы сети с помощью асинхронного автомата Малера, что позволило изучать развитие возбуждения в сети из произвольного состояния.
4. Исследована задача достижимости и выводимости конечных цепочек событий.
5. Предложен новый метод построения траекторий работы автомата Малера в ситуационном пространстве с помощью алгебраических решеток.

6. Разработан инструментарий для парирования неблагоприятного развития процессов в виде специальных WN сетей с тормозящими элементами JN сети.
7. Рассмотрен ряд примеров событийного анализа реальных социальных, технических и организационных систем.

Практическая ценность разработанных в диссертации теоретических положений, моделей и методов подтверждена их использованием в разработках по моделированию катастроф в электроэнергетике (ИСЭМ СО РАН), аналитических системах для построения социальных и макроэкономических моделей (ЗАО «ВТБ Капитал», Москва и VTB Capital plc., London), а также системах по организации защиты информации.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. *М.М. Анисимов* Расширение сетей Ван-Хао для анализа «сложных» процессов/ Современные технологии. Системный анализ. Моделирование, ИрГУПС.-2009.- №3(23). - С. 239-245.
2. *М.М. Анисимов* Рассуждающие сети Ван-Хао. Анализ и практическое применение.// Вестник компьютерных и информационных технологий, М.-2009.- №7(61). - С. 22-27.
3. *М.М. Анисимов, А.С. Липовецкий, К.В. Новик, Л.Н. Столяров* Алгебраические решетки для анализа энергетической безопасности при рейдерской атаке на объект энергетики// Информационные технологии в науке, социологии, экономике и бизнесе. Приложение к журналу «Открытое образование». XXXIV международная конференция. IT+SE'08. / МГАПИ.-М., 2008. –С.128-129.
4. *М.М. Анисимов, Л.Н. Столяров* Создание искусственной аномалии

- в рассуждающей сети Ван-Хао при рейдерских атаках // Информационные технологии в науке, социологии, экономике и бизнесе. Приложение к журналу «Открытое образование». XXXIV международная конференция. IT+SE'08. / МГАПИ.-М., 2008. –С.129-130.
5. *М.М. Анисимов* Применение сетевых моделей для мониторинга кризисов валютных рынков развивающихся стран.// Моделирование процессов обработки информации. Сб. научных трудов. / Моск. физ-тех. ин-т. -М., 2007. — С.92-93.
 6. *М.М. Анисимов* Искусственная аномалия-рейдер (Black Swan) в рассуждающей сети Ван-Хао // Современные достижения в науке и образовании: Сб. трудов II международная научная конференция. / г. Нетания (Израиль).– Хмельницкий: ХНУ, 2008– 233с., С. 103.
 7. *М.М. Анисимов, Л.Н. Столяров* Онтология Фреге. Применение алгебраических решеток для анализа данных // Современные достижения в науке и образовании: Сб. трудов II международная научная конференция. / г. Нетания (Израиль).– Хмельницкий: ХНУ, 2008– 233с., С. 103.
 8. *М.М. Анисимов.* Аномалия в сетевой модели Ван-Хао финансового сектора США.// Моделирование и обработка информации. Сб. научных трудов. / Моск. физ-тех. ин-т. -М., 2008. — С.160-161.
 9. *М.М. Анисимов, Л.Н. Столяров.* Как организовать искусственную аномалию в рассуждающей сети // Моделирование и обработка информации. Сб. научных трудов. / Моск. физ-тех. ин-т. -М., 2008. — С.160-161.

10. *М.М. Анисимов*. Применение сетевых моделей для мониторинга кризисов валютных рынков развивающихся стран. //Труды XII Байкальской Всероссийской конференции «Информационные и математические технологии в науке и управлении». / ИСЭМ СО РАН. - Иркутск, 2007. - Часть 3 – С. 158-151.
11. *М.М. Анисимов* Интерпретации рассуждающих сетей Ван-Хао // Информационные технологии в науке, социологии, экономике и бизнесе. Приложение к журналу «Открытое образование». XXXVI международная конференция. IT+SE'09. / МГАПИ.-М., 2009. –С. 147-150.
12. *М.М. Анисимов* Асинхронный автомат Малера как способ интерпретации обобщенных сетей Ван-Хао// Моделирование и обработка информации. Сб. научных трудов. / Моск. физ-тех. ин-т. - М., 2009. — С. 116-117.
13. *М.М. Анисимов, Л.Н. Столяров* Анализ экономических процессов с применением событийных, ситуационных и тормозящих сетей// Вестник компьютерных и информационных технологий, М.- 2009.- №11(65). - С. 22-29.
14. *М.М. Анисимов* Управление событийными сетями//Труды XIV Байкальской Всероссийской конференции «Информационные и математические технологии в науке и управлении». / ИСЭМ СО РАН. - Иркутск, 2009. - Часть 3 – С. 238-240.