

На правах рукописи

УДК 519.688; 519.682.3

СИДОРОВ
Владимир Анатольевич

**МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ПРОГРАММИРОВАНИЯ В ОГРАНИЧЕНИЯХ
ДЛЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

05.13.11 – математическое и программное обеспечение вычислительных
машин, комплексов и компьютерных сетей

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискании ученой степени
кандидата физико-математических наук

Новосибирск 2007

Работа выполнена в Институте систем информатики
имени А.П. Ершова СО РАН

Научный руководитель: Телерман Виталий Васильевич,
кандидат технических наук

Официальные оппоненты: Лаврентьев Михаил Михайлович,
доктор физико–математических наук

Семенов Александр Леонидович,
кандидат физико–математических наук

Ведущая организация: Институт вычислительной математики
и математической геофизики СО РАН

Защита состоится 8 ноября 2007 г. в 15 ч. 30 мин. на заседании
диссертационного совета К003.032.01 в Институте систем информатики
имени А.П. Ершова Сибирского отделения РАН по адресу:
630090, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 6.

С диссертацией можно ознакомиться в читальном зале ИСИ СО РАН
(г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 6).

Автореферат разослан 28 сентября 2007 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета К003.032.01,
к.ф.–м.н.

 Мурзин Ф.А.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы

Метод удовлетворения (распространения) ограничений является одним из активно развивающихся подходов для решения нестандартных и сложных задач. Он относится к той области искусственного интеллекта, которая занимается решением комбинаторных задач, а также работой с неточными и неполными данными. Задача удовлетворения ограничений (*constraints satisfaction problem*, CSP) неформально описывается следующим образом.

- Решаемая задача состоит из набора переменных и ограничений.
- С каждой переменной связана собственная область определения (*множество допустимых значений*), которая может изменяться в процессе решения CSP.
- Ограничения связывают переменные и ограничивают множества их значений.
- Решением CSP является набор значений переменных такой, что для него удовлетворяются все ограничения.
- Целью решения CSP может быть как поиск одного решения (возможно, с заданными свойствами), так и поиск всех решений.

Задача удовлетворения ограничений была сформулирована в 1970-ых годах Хаффманом (Huffman) и Маквортом (Mackworth).

В начале 1980-ых годов А.С. Нариньяни был предложен *метод недоопределенных вычислений*. Данный метод может быть описан следующим образом.

- Модель (задача удовлетворения ограничений) состоит из конечного набора объектов и конечного набора ограничений.
- С каждым объектом модели связываются: недоопределенное значение (множество допустимых значений), функция присваивания и функция проверки корректности.
- Ограничения связывают объекты и вычисляют новые (недоопределенные) значения для своих аргументов.

- Модель представляет собой двудольный ориентированный граф, вершинами которого являются множество объектов и множество функциональных вершин (ограничений), а дугами – связи между объектами и ограничениями.
- Алгоритм вычислений имеет потоковый характер, выражающийся в том, что изменение объектных вершин графа активирует (вызывает к исполнению) функциональные вершины, для которых эти объектные вершины являются входными аргументами, а исполнение функциональных вершин, в свою очередь, может вызывать изменение результирующих объектных вершин.

Развитие метода недоопределенных вычислений в 1990-ых годах привело к созданию целого ряда разнообразных систем, таких как:

- семейство математических решателей UniCalc, ориентированных на решение численных задач;
- мультиагентные системы ТАО, позволяющих использовать понятие «время» в постановке задачи и моделировать поведение динамических систем;
- экспертные системы для работы с неточными данными;
- семейство систем НеМо (Немо-Тек, НеМо+), характерной чертой которых является расширяемость (возможность настроить систему на конкретную предметную область путем создания новых типов данных и ограничений).

В конце 1990-ых годов фирма Dassault Systemes – ведущий производитель инженерных систем автоматизации проектирования (САПР) верхнего уровня, в рамках развития своего флагманского продукта CATIA V5, столкнулась с потребностью в универсальном решателе задач удовлетворения ограничений. В этот момент основным направлением развития системы являлось повышение её интеллектуальности. Под понятием «интеллектуальность» подразумевался набор инструментов, повышающих уровень автоматизации процесса проектирования, в частности: контроль корректности модели изделия при ее модификации, автоматическое построение различных конфигураций изделия по

внешним параметрам, автоматическая корректировка модели при изменении пользователем ее параметров, нахождение оптимальных конфигураций и т.д. Основными требованиями, предъявляемыми к такому универсальному вычислителю, были:

- способность решать произвольные системы уравнений и неравенств;
- легкая интеграция в систему CATIA V5;
- возможность настраивать вычислитель для решения специализированных задач CATIA V5.

Фирма Dassault Systemes выбрала в качестве базового вычислителя для решения CSP систему HeMo+. На основе HeMo+ была разработана и реализована система NemoNext, которая в отличие от HeMo+ удовлетворяла всем требованиям Dassault Systemes по технологичности, настраиваемости, расширяемости и другим требованиям, предъявляемым к промышленным программным продуктам. В процессе интеграции системы NemoNext в CATIA V5 возник целый ряд задач, потребовавших разработки специализированных методов и алгоритмов.

Цель работы

Целью диссертационной работы является разработка методов и алгоритмов для решения задач, возникающих при интеграции системы программирования в ограничениях в систему автоматизации проектирования (САПР).

Для достижения поставленной цели в диссертации решены следующие задачи исследования.

1. Формально описана семантика типов данных и основных видов ограничений, используемых в задаче удовлетворения ограничений.
2. Разработан декларативный объектно-ориентированный язык описания модели для задачи удовлетворения ограничений.
3. Разработаны алгоритмы поиска решений, расширяющих класс задач, решаемых системой удовлетворения ограничений.
4. Создана концепция использования внешних модулей, реализующих различные специализированные функции или отношения (BlackBox), в

процессе решения задачи удовлетворения ограничений.

5. Разработаны специализированные алгоритмы для решения задач оптимизации, использующиеся при подключении внешних модулей к системе удовлетворения ограничений.
6. Разработана архитектура системы программирования в ограничениях NemoNext.
7. Осуществлена интеграция системы NemoNext в САПР CATIA V5.

Методы исследования

В диссертационном исследовании были использованы модели и методы искусственного интеллекта, теории множеств, компьютерной алгебры, функционального анализа, объектно-ориентированного проектирования и программирования.

Научная новизна

Основными теоретическими результатами работы, выносимыми на защиту и определяющими научную новизну работы, являются:

- декларативный объектно-ориентированный язык описания задачи удовлетворения ограничений;
- метод поиска решений задачи удовлетворения ограничений с гарантированной точностью и отбрасыванием близких решений;
- концепция использования внешних модулей, реализующих различные специализированные функции или отношения (BlackBox), в процессе решения задачи удовлетворения ограничений.

Практическая ценность

Предложенные алгоритмы и методы реализованы в системе программирования в ограничениях NemoNext. Система NemoNext используется в составе нескольких коммерческих компонентов системы автоматизации проектирования CATIA V5, которые поставляются клиентам Dassault Systemes.

Апробация работы

Основные выводы и научные результаты диссертационной работы докладывались на международных конференциях памяти академика

А.П. Ершова «Перспективы систем информатики» в 1996, 1999 и 2003 гг., национальных конференциях с международным участием "Искусственный интеллект" в 1996 и 1998 гг., на третьем сибирском конгрессе по прикладной и индустриальной математике, посвященном памяти С.Л. Соболева в 1998 г., на международной конференции «Interval Methods and Computer Aided Proofs in Science and Engineering» (INTERVAL'96) в 1996 г.

Автором по теме диссертации опубликовано 13 печатных работ.

Структура и объем работы

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав и списка литературы. Общий объем работы 152 страницы. Список литературы содержит 72 наименования. Работа включает 12 таблиц, 13 рисунков и графиков.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обосновывается актуальность темы исследований и формулируются задачи диссертационной работы.

В **первой главе** работы приведено формальное описание *метода недоопределенных вычислений*, используемого для решения задачи удовлетворения ограничений. На основе введенных понятий выполняется уточнение и конкретизация способов представления множества значений переменных, дано краткое описание их основных свойств, а также выполняется формальное описание семантики основных типов данных и видов ограничений.

Одним из основных понятий метода недоопределенных вычислений является *вид недоопределенности*. Вид недоопределенности $SD_k(D)$ - это способ представления множества значений переменной, обладающий следующими свойствами.

1. $SD_k(D) \subseteq 2^D$.
2. $\emptyset \in SD_k(D)$; $D \in SD_k(D)$; $\forall x \in D, \{x\} \in SD_k(D)$.
3. $x_1, x_2 \in SD_k(D) \Rightarrow x_1 \cap x_2 \in SD_k(D)$.

Существует достаточно много различных видов недоопределенности:

- одиночные значения: $Single(D) = \{\emptyset, D, \{x\} | x \in D\}$;

- интервал: $Interval(D) = \{\emptyset, [low, upp]_D\}$;
- ограниченное перечисление: $Enum_N(D) = \{\emptyset, D, X \mid X \subseteq D, (X) \leq N\}$;
- ограниченный мультиинтервал:
 $MultiInterval_N(D) = \{X \mid X = \cup X_i, X_i \in Interval(D), i \leq N\}$;
- структура: $Struct(D)$.

В работе представлен новый вид недоопределенности: $Mixed_N(D)$, объединяющий достоинства интервала и перечисления.

Вид недоопределенности связан с типом данных переменной. Библиотеки системы NemoNext содержат следующие типы данных.

Тип данных	Вид недоопределенности	Описание
interval int	<i>Interval</i>	Целое число, представленное в виде интервала.
enum int	<i>Enum_N</i> , <i>Mixed_N</i>	Целое число, представленное (в зависимости от версии библиотеки) либо в виде перечисления, либо в виде комбинации интервала и перечисления.
enum scale	<i>Enum_N</i>	Целое число, представленное в виде перечисления, область значений которого задается пользователем.
single real	<i>Single</i>	Одиночное вещественное число.
interval real	<i>Interval</i>	Число, представленное в виде интервала.
enum real	<i>Mixed_N</i>	Число, представленное в виде комбинации интервала и перечисления.
multiinterval real	<i>MultiInterval_N</i>	Вещественное число, представленное в виде множества непересекающихся интервалов.
interval positive	<i>Interval</i>	Положительное вещественное число.
interval angle	<i>Interval</i>	Вещественное число, значения которого определены в интервале $[-2\pi, 2\pi]$.
single bool	<i>Single</i>	Логическое значение.
single string	<i>Single</i>	Строка символов произвольной длины, ограниченных '\0'.
enum string	<i>Enum_N</i>	Перечисление строк.

record	<i>Struct</i>	Запись, состоящая из недоопределенных именованных слотов.
array	<i>Struct</i>	Статический массив недоопределенных объектов.
single set	<i>Single</i>	Множество
interval set	<i>Interval</i>	Недоопределенное множество.
pointer	<i>Struct</i>	Ссылка на объект.

Таблица 1. Типы данных системы NemoNext.

В Таблице 1 перечислены основные типы данных, указан связанный с ними вид недоопределенности и даны краткие пояснения. В первой главе работы дано подробное формальное описание перечисленных типов данных.

Другим базовым понятием задачи программирования в ограничениях является собственно ограничение. В системе NemoNext реализован достаточно большой набор различных видов ограничений (примерно 1000), семантика некоторых из них описана в конце первой главы. Полный список типов данных и ограничений системы NemoNext приводится в Приложении 1.

Во **второй главе** рассматривается строение системы NemoNext как с точки зрения архитектуры и внутреннего строения системы, так и с позиции пользователя и языка описания модели.

Система NemoNext изначально разрабатывалась как универсальный решатель задач удовлетворения ограничений, предназначенный для встраивания в сторонние программные продукты. Можно выделить три базовых принципа, в соответствии с которыми велась разработка системы.

1. *Универсальность* системы означает способность формулировать и решать с ее помощью максимально широкий класс задач. Сюда можно отнести следующие свойства:
 - расширяемость системы новыми типами данных и ограничениями;
 - единый универсальный алгоритм решения задачи;
 - использование концепции «недоопределенность» для работы с неточными и не полностью определенными данными.
2. *Производительность* системы определяется не только скоростью

вычислений, но и возможностью работать с большими (состоящими из десятков тысяч переменных и ограничений) задачами.

3. *Технологичность* и простота интеграции в сторонние системы определяется модульным строением системы и наличием развитого внешнего программного интерфейса (API). Модульность системы поддерживается объектно-ориентированным подходом, что повышает уровень описания задач и упрощает их формулировку. Ещё одним важным свойством, упрощающим процесс формулировки задачи является декларативность языка представления модели.

Архитектура системы разделяется на нескольких максимально независимых уровней.

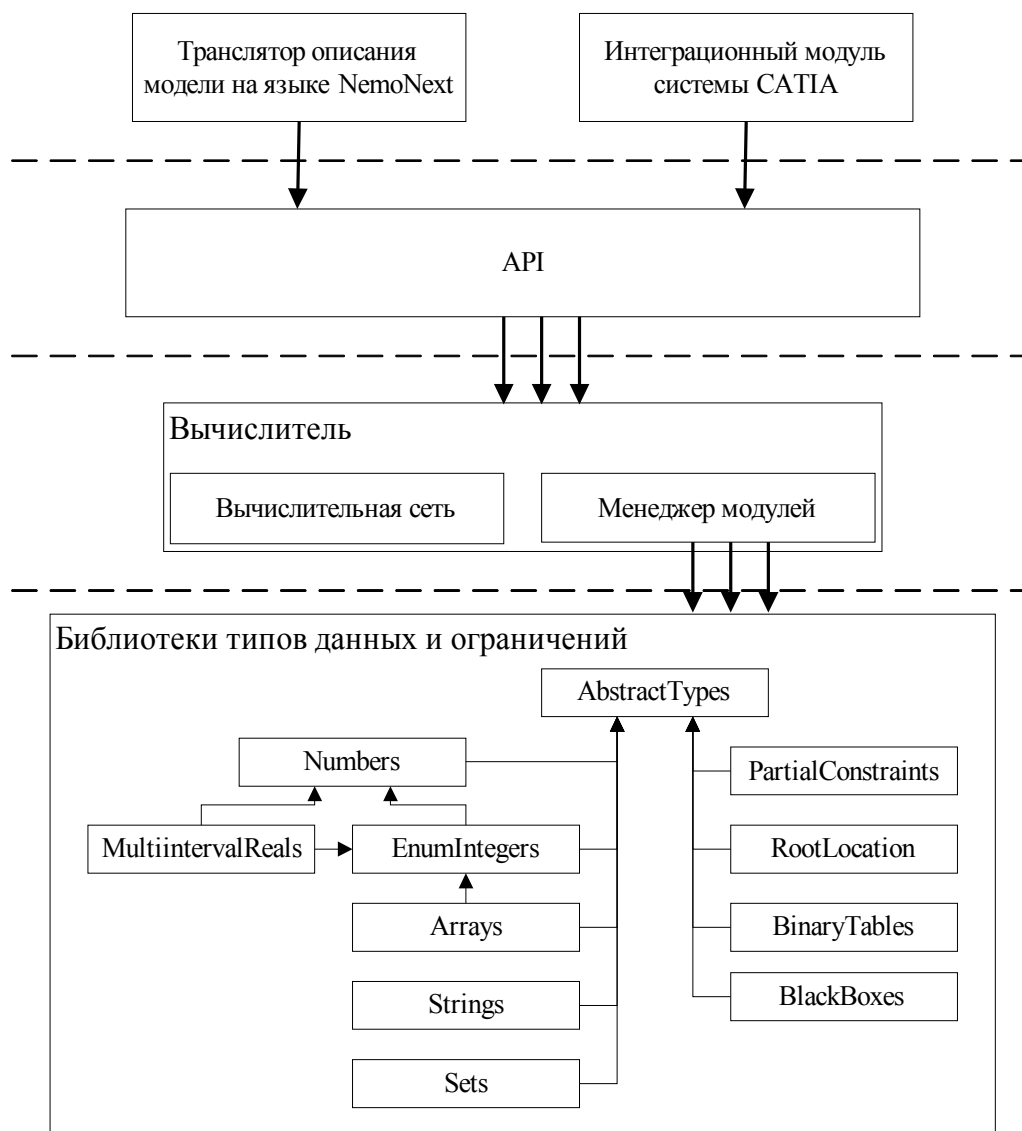


Рис.1. Архитектура системы NemoNext

На Рис.1 представлены четыре уровня архитектуры системы NemoNext. Самый нижний уровень составляют библиотеки типов данных и ограничений, которые загружаются динамически при построении конкретной модели.

Потоковый вычислитель состоит из менеджера загружаемых библиотек и универсального алгоритма решения задач удовлетворения ограничений. Кроме того, он предоставляет средства для создания вычислительной сети (внутреннего представления решаемой задачи), для запуска вычислений и для получения найденных решений.

Уровень API представляет собой описание и реализацию внешнего программного интерфейса системы.

Внешний (сервисный) уровень содержит набор утилит для тестирования и отладки системы, трансляторы с языка описания модели NemoNext, модули для интеграции с другими системами и т.д.

Наиболее удобным средством для описания возможностей системы, является язык описания модели NemoNext, который обладает следующими свойствами.

- Язык поддерживает все возможности системы.
- Язык является декларативным и используется для формулировки решаемой задачи, а не алгоритма решения.
- Язык является объектно-ориентированным, что позволяет создавать новые типы данных (классы) с помощью механизма наследования, инкапсулировать характерные ограничения внутри классов и переопределять методы классов.
- Язык поддерживает механизм обобщенных типов данных и отношений. Существуют группы типов данных, отличающиеся друг от друга одним или несколькими параметрами. Такие типы данных можно создавать с помощью отдельной сущности «обобщенный тип данных» и набора параметров. Характерным примером такой конструкции является массив, где параметрами являются тип элемента массива и число, задающее размер массива.
- Язык содержит развитый препроцессор, используемый для упрощения

создания больших моделей.

- Язык поддерживает все параметры вычислителя, влияющие на процесс вычислений.

Формальное описание языка NemoNext приводится в Приложении 2.

В третьей главе описываются особенности интеграции системы программирования в ограничений NemoNext в САПР CATIA V5. Показывается роль, которую выполняет система NemoNext в составе CATIA V5 и формулируются дополнительные задачи, которые должна решать система программирования в ограничениях.

Ключевыми проблемами, возникающими при интеграции системы NemoNext в систему CATIA V5, являются следующие.

1. Использование табличных ограничений для поддержки переменных, множество допустимых значений которых задано в виде перечисления.
2. Организация поиска различных видов решений с помощью специализированных ограничений, в том числе:
 - поиск решения с указанной точностью;
 - поиск решения, ближайшего к заданному значению;
 - поиск нескольких (или всех) отдельных решений.
3. Использование внешних функций и параметров САПР CATIA V5 в модели, решаемой системой NemoNext, которые не могут быть реализованы в рамках последней. Для решения данной проблемы разработана специальная технология — механизм BlackBox-ограничений.

Вторая часть главы посвящена методам поиска точечного решения. Со стороны САПР от системы программирования в ограничениях требуется найти несколько видов точечных решений:

- решение с заданной точностью;
- решение, ближайшее к заданному значению переменных;
- несколько (или все) различные решения;
- частичное решение.

Для решения соответствующих задач система NemoNext предоставляет

следующие средства.

- Различные варианты метода хронологического перебора с откатами.
- Методы решения задачи оптимизации.
- Методы иерархического удовлетворения ограничений.

Также предложен оригинальный алгоритм хронологического перебора с откатами для поиска точечного решения с гарантированной точностью и отбрасыванием близких решений. В Приложении 3 приведены результаты тестирования данного алгоритма.

В **четвертой главе** описывается технология, позволяющая использовать внешние функциональные модули в модели системы программирования в ограничениях — *механизм BlackBox-ограничений*. Такой функциональный модуль назван *BlackBox-процедурой*, а отношение, которое данный модуль реализует – черным ящиком или *BlackBox*. В случае, когда BlackBox является функцией, мы будем говорить о *BlackBox-функции*. Соответствующее ограничение системы программирования в ограничениях будем называть *BlackBox-ограничением*.

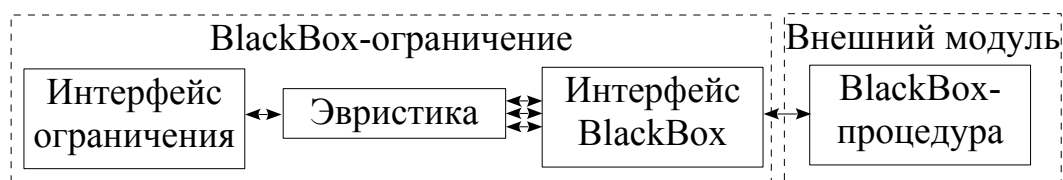


Рис. 2. Взаимодействие ограничения с BlackBox-процедурой

На Рис.2. представлена общая схема работы BlackBox-ограничения.

Основную проблему, возникающую при работе BlackBox-ограничения, можно сформулировать следующим образом:

Требуется найти интервальную оценку значений аргументов BlackBox-ограничения с учетом заданных начальных значений этих аргументов.

Отметим, что рассматриваются только числовые типы аргументов и интервальное представление их множеств допустимых значений. В случае, если BlackBox является функцией, данная задача может быть разложена на следующие подзадачи:

- Поиск минимума и максимума BlackBox-функции (чтобы построить

интервальную оценку значения аргумента BlackBox-ограничения, соответствующего результату BlackBox-функции).

- Поиск минимума и максимума всех обратных функций к BlackBox-функции (чтобы построить интервальные значения аргументов BlackBox-ограничения, соответствующих входным аргументам BlackBox-функции).

Для решения этих подзадач выделяется отдельная сущность – *Эвристика*.

Очевидно, что для различных типов BlackBox мы должны использовать различные Эвристики.

Имя эвристики	Тип BlackBox-отношения	Используемые методы
Simple	Интервальное отношение.	
InputOutput	Интервальная функция.	Интервальная бисекция.
Grid	Произвольное отношение.	Линейная интерполяция в узлах решетки.
1D Gold	Одномерная функция.	Метод «золотого сечения». Метод хорд.
1D Gradient	Одномерная функция.	Метод градиентного спуска. Метод хорд.
1D Quadratic	Одномерная функция.	Метод квадратичной интерполяции. Метод хорд.
1D Spline	Одномерная функция.	Интерполяция сплайном.
Simplex	Многомерная функция.	Метод деформируемого многогранника.
Gradient	Многомерная функция.	Метод градиентного спуска. Метод координатного спуска.
Bilinear	Многомерная функция.	Интерполяция билинейной функцией.

Таблица 2. Эвристики.

В Таблице 2 перечислены реализованные Эвристики, указан вид BlackBox-отношения, для которого данные Эвристики применяются и перечислены используемые численные методы.

Для решения поставленной задачи используются хорошо известные численные методы для решения одно- и многомерных задач оптимизации. Но, в

нашем случае, существует ряд специфических факторов, которые приводят к значительной модификации применяемых методов.

- Большое время вычисления одного вызова BlackBox-процедуры (иногда измеряемое секундами). По этой причине требуется минимизировать количество вызовов BlackBox-процедуры и это количество является основным критерием скорости метода.
- Природа BlackBox в общем случае не известна. Поэтому не гарантируется ни дифференцируемость, ни непрерывность BlackBox-функции.
- Область определения BlackBox-функции не известна. Поэтому каждый из указанных методов должен корректно обрабатывать выход из области определения функции.
- Алгоритмы поиска работают в ограниченной области, задаваемой начальными интервальными значениями аргументов BlackBox-ограничения.
- В процессе решения задачи ищется не интервальное, а точечное решение.
- Система программирования в ограничениях ищет решение, ближайшее к заданной точке.

Все указанные в Таблице 2 методы были значительно модифицированы с тем, чтобы они учитывали перечисленные выше факторы. Примеры использования вышеописанной технологии приведены в Приложении 4.

В **заключении** сформулированы основные результаты, полученные в ходе диссертационной работы, описан личный вклад автора в проделанную работу.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Разработан объектно-ориентированный язык, декларативно описывающий задачу удовлетворения ограничений, и реализован транслятор языка.
2. Разработана концепция использования внешних функциональных модулей (механизм BlackBox-ограничений) в модели системы программирования в ограничениях.

3. Разработаны методы поиска решений для задачи удовлетворения ограничений. В том числе, поиск решений с заданной точностью, поиск решения, ближайшего к заданному, поиск нескольких или всех различных решений, поиск частичного решения.
4. Разработана архитектура и выполнена реализация системы программирования в ограничениях NemoNext.
5. Выполнена интеграция системы NemoNext в САПР CATIA V5. Сформулированы возникающие при этом проблемы.

ЛИЧНЫЙ ВКЛАД АВТОРА

В рамках разработки системы программирования в ограничениях автор диссертации выполнил следующие работы.

- Разработка языка описания модели NemoNext и реализация его транслятора.
- Разработка и реализация алгоритма поиска решений с гарантированной точностью и отбрасыванием близких решений.
- Разработка механизма BlackBox-ограничений и соответствующих алгоритмов подключения внешних модулей. Реализация библиотеки BlackBox-ограничений для системы NemoNext.
- Формализация числовых типов данных и ограничений и реализация библиотек числовых типов данных для системы NemoNext.

Кроме того, автор внес большой вклад в разработку ядра системы NemoNext, библиотеки поиска точных решений, библиотеки абстрактных типов данных, библиотеки строковых типов данных, модуля интеграции с системой CATIA V5.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. **Телерман В.В., Сидоров В.А., Ушаков Д.М.** Интервальные и мультиинтервальные расширения в недоопределенных моделях // Вычислительные технологии, №1. — Т. 2. — 1997. — С. 62–70.
2. **Загорулько Г.Б., Сидоров В.А., Телерман В.В. и др.** НеМо+: Объектно-ориентированная среда программирования в ограничениях на основе недоопределенных моделей // КИИ'98. Шестая национальная конференция с международным участием. Сборник научных трудов в трех томах. Том I. — Пушино, 1998. — С. 524–530.
3. **Загорулько Г.Б., Сидоров В.А., Телерман В.В. и др.** Обстановка для программирования в ограничениях на основе недоопределенных моделей НеМо+ (язык, архитектура, интерфейс). // Научно-техн. отчет N 7 / Российский НИИ искусственного интеллекта, Институт систем информатики им. А. П. Ершова СО РАН. — Москва, Новосибирск, 1998. — 107 с.
4. **Загорулько Г.Б., Сидоров В.А., Тарасевич В.В.** Решение задач потокораспределения в сетях средствами системы НеМо+ // КИИ'98. Шестая национальная конференция с международным участием. Сборник научных трудов в трех томах. Том I. — Пушино, 1998. — С. 312–318.
5. **Кузнецов А.А., Сидоров В.А., Телерман В.В., Ушаков Д.М.,** Технология решения задач в объектно-ориентированной среде НеМо+ // V Национальная конференция с международным участием "Искусственный интеллект - 96" (сборник трудов), Казань, 1996. — Т.3. — С. 408–414.
6. **Сидоров В.А.** Программирование в ограничениях с черными ящиками. — Новосибирск, 2003. — 39 с. — (Препр. / ЗАО Ледас; N2).
7. **Lipski S., Sidorov V., Telerman V., Ushakov D.** Database Processing in Constraint Programming Paradigm Based on Subdefinite Models // Joint Bulletin of NCC&IIS, 12 (1999), NCC Publiher. Novosibirsk, 1999.
8. **Lipski S., Sidorov V., Telerman V., Ushakov D.** Merging Constraint Programming Paradigm with Database Processing. Третий сибирский

- конгресс по прикладной и индустриальной математике, посвященный памяти С. Л. Соболева (1908-1989): Тез. докл., часть V. — Новосибирск: Институт математики СО РАН, 1998. — С. 54.
9. **Sidorov V., Telerman V.** Industrial Application of External Black-Box Functions in Constraint Programming Solver. // Perspectives of System Informatics: Proc./ Ed. by M.Broy, A.Zamulin. — Berlin a.o.: Springer-Verlag, 2003. — P. 415–422. — (Lect. Notes Comput. Sci.; 2890).
 10. **Sidorov V., Telerman V., Ushakov D.** Constraint Programming Techniques for Solving Problem on Graph // Perspectives of System Informatics: Proc. / Ed. by D.Bjørner, M.Broy, A.Zamulin. — Berlin a.o.: Springer-Verlag, 1999. — P. 420–429. — (Lect. Notes Comput. Sci.; 1755).
 11. **Telerman V., Sidorov V., Ushakov D.** Problem Solving in the Object-Oriented Technological Environment NeMo+, // Perspectives of System Informatics: Proc., Lecture Notes in Computer Science 1181. — Berlin a.o.: Springer-Verlag, 1996. — P. 91–100.
 12. **Telerman V.V., Sidorov V.A., Ushakov D.M.** Interval and Multiinterval Extensions in Subdefinite Models // In: International Conf. on Interval Methods and Computer Aided Proofs in Science and Engineering (INTERVAL'96), Wurzburg, Germany, Sept. 30-Oct. 2, 1996. — P. 131–132.
 13. **Telerman V., Ushakov D., Sidorov V.** Object-Oriented Constraint Programming Environment NeMo+ and its Applications // ICTAI'97, Newport Beach, CA, USA, 1997.



Сидоров В.А.

Сидоров В.А.

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ПРОГРАММИРОВАНИЯ В ОГРАНИЧЕНИЯХ
ДЛЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Автореферат

Подписано в печать 28.09.2007г.

Объем 1,0 уч.-изд. л.

Формат бумаги 60×90 1/16

Тираж 100 экз.

Отпечатано на ризографе "AL Group"
630090, г. Новосибирск, пр. акад. Лаврентьева, 6
Заказ № 748