

Методы и программные средства интеллектуализации пользовательского интерфейса в приложении к системам недоопределенных вычислений

Аннотация. В статье обсуждаются проблемы взаимодействия пользователя с системами, реализующими метод недоопределенных вычислений, относящийся к классу методов программирования в ограничениях. Предложены методы интеллектуализации пользовательского интерфейса систем недоопределенных вычислений на основе интерактивной визуализации некоторых элементов недоопределенных моделей и структурного представления недоопределенных моделей. Представлена программная реализация данных методов.

Ключевые слова: программирование в ограничениях, интервальные данные, недоопределенные модели, визуализация, кластеры, структурное представление.

Введение

По мере расширения сферы компьютеризации современного общества возрастает актуальность проблемы взаимодействия человека с компьютером, которая приобретает особую важность в связи с разработкой интеллектуальных систем для широкого класса практически значимых задач. Одним из основных путей решения данной проблемы является наделение пользовательских интерфейсов интеллектуальными возможностями, что активно востребовано в таких направлениях искусственного интеллекта (ИИ), как интеллектуальные диалоговые системы, интеллектуальные агенты и многоагентные системы, когнитивная графика и др.

Данная работа посвящена решению проблемы интеллектуализации пользовательских интерфейсов в контексте одного из ведущих в последние годы направлений в ИИ – методов и систем программирования в ограничениях (Constraint Programming) [1-3]. Сегодня методы программирования в ограничениях активно применяются для решения задач проектирования, планирования, поддержки разработок пользовательских интерфейсов и других задач, связанных, в том числе, с представлением и обработкой недоопределенных данных и знаний.

Как отмечается в работе [4], недоопределенность – это свойство данных и знаний, определяемое как частичное знание о сущности x , ограниченное информацией о том, что x принадлежит к некоторому конкретному множеству X . Уточнение знаний или данных, описывающих x , приводит к сокращению множества X , стягивающемуся в потенциале до одного элемента, отражающего полную информацию о x . В настоящей статье рассматриваются вопросы, связанные только с недоопределенными числовыми значениями, причем, множество X задается числовым интервалом, например: $x = [1.7, 5.9]$. Этот вид недоопределенности к настоящему времени наиболее проработан в теоретическом плане, а средства представления и обработки недоопределенных числовых значений реализованы в ряде программных продуктов [5-9].

Среди наиболее известных отечественных и зарубежных систем программирования в ограничениях, решающих задачи с недоопределенными данными, можно отметить UniCalc [5, 6], «Интегра» [7], Time-Ex [8], интервальную библиотеку для системы логического программирования ECLiPSe [9], ILOG Solver [10] и др. (Рис. 1).



Рис. 1. Системы программирования в ограничениях, решающие задачи с недоопределёнными данными, и области их применения.

Одним из наиболее эффективных методов программирования в ограничениях для решения задач в условиях недоопределенности является метод недоопределенных вычислений (Н-вычислений), основанный на аппарате недоопределенных моделей (Н-моделей) [11, 12].

Методы программирования в ограничениях основаны на описании модели объекта, с которым связана решаемая задача, как набора ограничений $R = \{R_1, R_2, \dots, R_k\}$ над переменными $x_1, x_2, \dots, x_n$ с областями значений соответственно $A_1, A_2, \dots, A_n$. Ограничения могут иметь вид уравнений, неравенств, логических выражений и т. п. Необходимо найти все наборы значений $\langle a_1, a_2, \dots, a_n \rangle, a_i \in A_i, i = 1, 2, \dots, n$, одновременно удовлетворяющие всем ограничениям из множества R . Эта задача известна как *задача удовлетворения ограничений* (Constraint Satisfaction Problem). Методы программирования в ограничениях обеспечивают автоматическое решение данной задачи. В частности, метод Н-вычислений обеспечивает нахождение многомерного параллелепипеда, в котором гарантированно лежат все решения системы ограничений. Если заданная система

не имеет действительных решений, то выдается сообщение о ее несовместности.

На Рис. 2 представлена обобщенная схема решения задачи с применением системы, реализующей метод Н-вычислений.

Поиск решения осуществляется в процессе диалога пользователя с системой. Пользователь описывает задачу в виде Н-модели, то есть определяет множество переменных, которые могут принимать недоопределенные значения (в данной статье рассматриваются числовые интервалы), и множество ограничений, связывающих эти переменные. Затем с помощью метода Н-вычислений находится решение задачи, которое во многих случаях является недоопределенным. Такое недоопределенное решение может либо удовлетворить практические потребности пользователя, либо стимулировать получение дополнительной информации для уточнения решения. При необходимости получения более точного решения, уточняется постановка задачи, т.е. в Н-модель вводится новая информация в виде ограничений и начальных приближений значений переменных, после чего следует поиск нового решения. В случае несо-

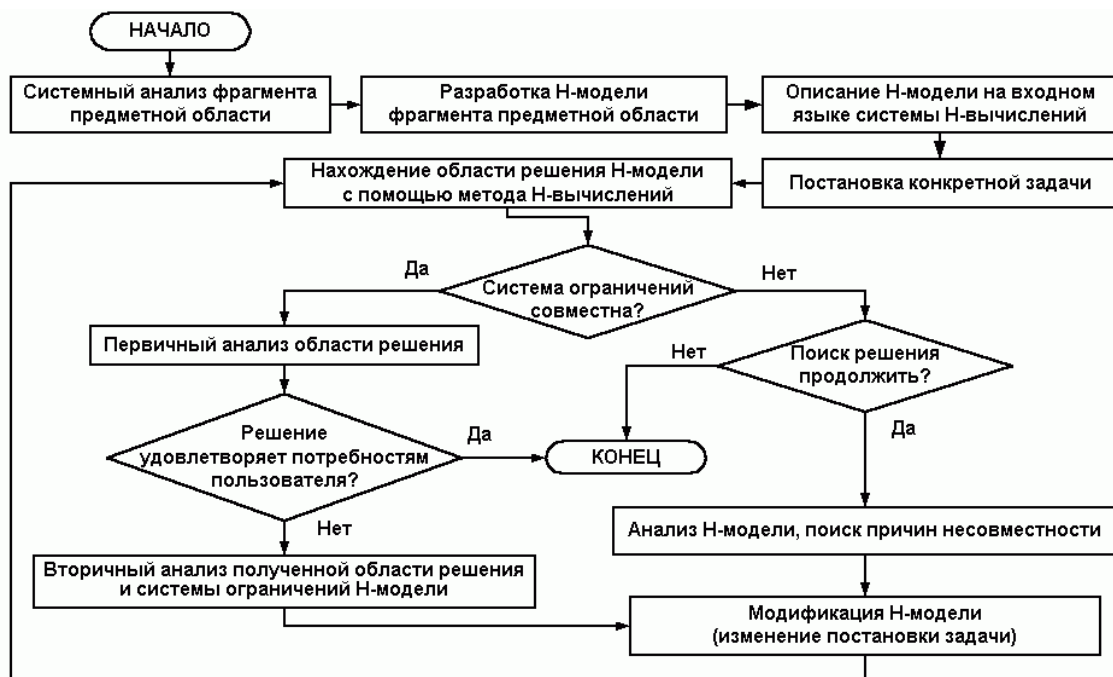


Рис. 2. Общая схема решения задачи с помощью системы Н-вычислений

вместности системы ограничений может потребоваться внести изменения в Н-модель с целью устранения причин несовместности.

Однако при решении задач с помощью данного метода перед пользователем встает ряд проблем, среди которых можно выделить следующие:

- недоопределенность значений переменных;
- наличие в Н-модели большого числа переменных и ограничений;
- необходимость вносить изменения в Н-модель в процессе решения задачи, воздействуя, таким образом, на ее область решения;
- наличие сложной внутренней структуры у моделируемых фрагментов действительности (экономика страны, региона, технический объект, календарный план проекта).

Решение этих проблем возможно путем интеллектуализации пользовательского интерфейса систем Н-вычислений. Как отмечается в работе [13] в контексте систем программирования в ограничениях под интеллектуализацией пользовательского интерфейса понимается создание таких средств пользовательского интерфейса, которые позволяют пользователю найти решение задачи в диалоге с системой, выполнив меньшее число шагов диалога за более короткое время.

Такие средства пользовательского интерфейса должны предоставлять следующие возможности:

- расширение возможностей управления процессом решения задачи, включая изменение набора ограничений в процессе поиска решения;
- возможность управления процессом решения задачи в графической форме;
- графическое представление недоопределенных значений переменных;
- возможность структурного представления Н-модели.

Проведенный анализ наиболее развитых современных систем Н-вычислений, таких, как решатель UniCalc, система недоопределенных электронных таблиц “Интегра”, система решения макроэкономических задач “Экономика”, система ресурсно-календарного планирования Time-Ex, показал, что одним из перспективных путей решения указанных проблем является развитие пользовательского интерфейса систем Н-вычислений за счет создания средств визуализации различных элементов Н-моделей. Следует отметить, что задача визуализации Н-моделей относится к области когнитивной компьютерной графики (ККГ) [14]. Графическое отображение элементов Н-моделей помимо иллюстративной функции, обеспечивающей визуальную адекват-

ность графического образа оригиналу, должно представлять в наглядной графической форме содержание решаемой проблемы и помогать исследователю в поиске ее решения. Однако существующие средства графического отображения Н-моделей современных систем Н-вычислений имеют ряд недостатков, наиболее существенных из которых являются следующие.

1. Ориентация наиболее развитых средств, обеспечивающих возможность сравнения решений, полученных на разных шагах расчета Н-модели, и интерактивность графического отображения, на узкие проблемные области (экономика, календарное планирование и др.).

2. Визуализация только одномерных массивов переменных.

3. Недостаточная информативность отображения одномерных массивов и функций от одного аргумента с большим разбросом значений (несколько порядков).

4. Невозможность визуализации функций более чем от одного аргумента.

5. Не решены проблемы визуализации массивов с большим числом переменных.

В контексте поставленных проблем актуальной также является разработка средств структурного представления Н-моделей. В ряде работ [15-17] предложены различные подходы к структурированию моделей в системах программирования в ограничениях. Основной целью предложенных в этих работах подходов является совершенствование алгоритмов распространения ограничений. Однако следует отметить, что структурное представление моделей также является весьма перспективным средством, облегчающим работу пользователей с моделями. В то же время, средства структурного представления Н-моделей, реализованные в ряде современных систем Н-вычислений, имеют ряд недостатков. Наиболее важные из них следующие.

1. Структурирование набора переменных при не структурированном наборе ограничений (система “Интегра”).

2. Ориентация структурного представления на узкий класс Н-моделей, содержащих фиксированный набор ограничений, моделирующих временные зависимости (система Time-Ex).

3. Отсутствие структурирования Н-моделей на уровне вычислительного ядра системы (системы “Интегра” и Time-Ex).

Таким образом, актуальной задачей является исследование и разработка методов и программных средств пользовательского интерфейса, повышающих степень автоматизации и расширяющих возможности взаимодействия пользователя с системами интервальных Н-вычислений. При создании таких средств преследуются две основные цели:

- обеспечение взаимодействия пользователя с системой в наглядной и компактной форме, в частности, прямого воздействия пользователя на область решения Н-модели;
- развитие метода Н-вычислений за счет повышения уровня языка описания задачи и введения дополнительных возможностей управления процессом решения.

Для решения указанных выше проблем автором разработаны методы интерактивного графического представления заданных в Н-моделях массивов числовых недоопределенных переменных (Н-переменных), функций с недоопределенными значениями, а также метод структурного представления Н-моделей.

1. Методы визуализации и графического редактирования недоопределенных моделей

Далее рассматриваются разработанные автором методы интерактивного графического представления заданных в Н-моделях одномерных, двумерных и трехмерных массивов числовых Н-переменных, а также пользовательских функций от одной и двух переменных. В Н-моделях могут быть определены массивы Н-переменных, имеющие одно и более измерений. С помощью массивов могут быть представлены такие объекты, как таблицы числовых данных, матрицы коэффициентов СЛАУ, векторы переменных систем уравнений, множества значений функций на заданных областях значений аргументов и т.д.

Предложенный метод интерактивного графического отображения одномерных массивов Н-переменных предусматривает сопоставление каждому элементу x_i массива $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ строки изображения, в которой визуализируется Н-значение a_i данного элемента (Рис. 3).

Высота строки может настраиваться путем выбора одного из трех масштабов изображения:

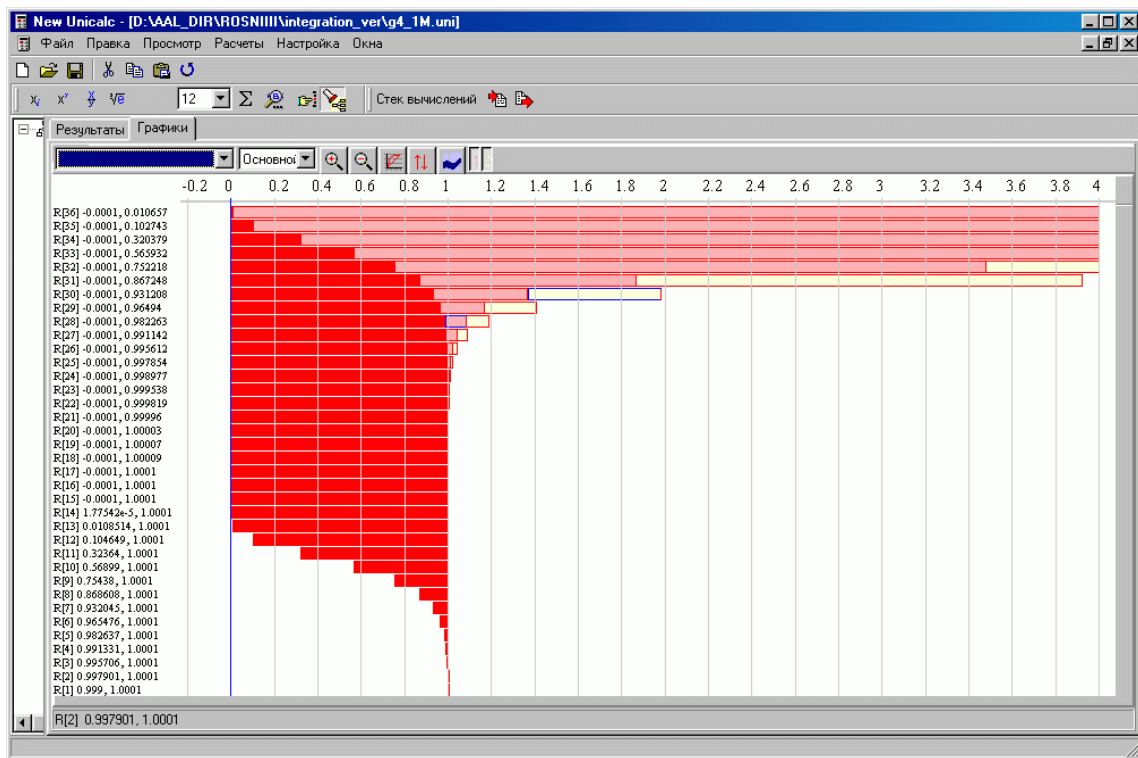


Рис. 3. Одномерный массив показан с использованием линейной шкалы

• *основного* – информация об элементе массива отображается в графической и текстовой форме, обеспечивается возможность ввода дополнительных ограничений вида $x_i \leq (\geq) C$, где C – некоторая константа, путем воздействия на графическое отображение элемента массива;

• *интерактивного* – используется только графическое отображение, но сохраняется возможность ввода ограничений на значения переменных;

• *графического* – графическое отображение выполняет только иллюстративную функцию.

Для любого масштаба автоматически определяется высота строки, обеспечивающая отображение наибольшего количества элементов массива при заданных ограничениях. Так, например, в основном масштабе высота строки h определяется по формуле

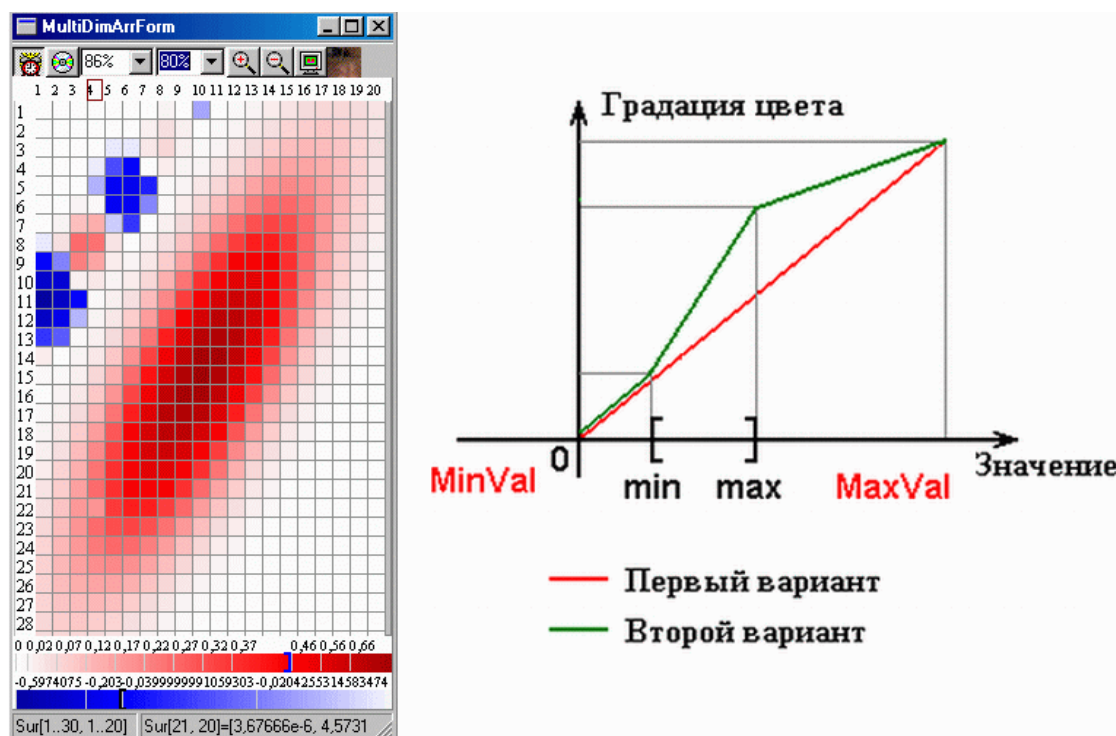
$$h = \max(h_{\min}, \min(\text{trunc}(\frac{H}{N}), h_{\max})),$$

где $h_{\min}$ – минимальная высота строки, обусловленная необходимостью отображения текста, $h_{\max}$ – максимальная возможная высота строки, H – высота доступной области экрана, N – число элементов в массиве, trunc – функция выделения целой части действительного числа. Масштаб

шкалы значений переменных также может настраиваться. При этом цена деления линейной шкалы имеет вид $n \cdot 10^m$, где $n \in \{1, 2, 5\}$, $m_{\min} < m < m_{\max}$, $m_{\min}$ – порядок наименьшего, а $m_{\max}$ – наибольшего представимого в системе числа.

Для отображения массивов с большим разбросом значений элементов используется специальная шкала, значения которой вычисляются по формуле $a' = \text{sign}(a) \cdot \lg(|a| + 1)$. Возможность сравнения результатов, полученных на разных шагах вычисления N -модели, обеспечивается хранением в памяти системы для каждого массива x набора его состояний $S_x = (s_{x1}, s_{x2}, \dots, s_{xm})$. Значения переменной x_i , соответствующие разным состояниям, отображаются разными оттенками цвета, как показано на Рис. 3, где на фоне данных, скорректированных на двух предыдущих шагах вычислений, видны дополнительные ограничения, приведшие к сужению области решения.

Разработанный метод интерактивного графического отображения двумерных массивов N -переменных основан на том, что каждому элементу x_{ij} , $i = 1, 2, \dots, n$, $j = 1, 2, \dots, m$ массива N -переменных

Рис. 4. Отображение двухмерного массива N -переменных с настраиваемой шкалой цветов

$$X = \begin{matrix} & X_{11} & X_{21} & \dots & X_{n1} \\ X_{12} & X_{22} & \dots & X_{n2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ X_{1m} & X_{2m} & \dots & X_{nm} \end{matrix}$$

соответствует фрагмент изображения, цвет которого отображает интервальное N -значение элемента x_{ij} (Рис. 4).

Цвет может показывать среднее значение интервала $\bar{x}_{ij}$, вычисляемое по формуле

$$\bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}^{Up} - x_{ij}^{Lo}}{2}, \text{ или его ширину } l_{ij}, \text{ вычисляе-}$$

мую по формуле $l_{ij} = x_{ij}^{Up} - x_{ij}^{Lo}$, где x_{ij}^{Up} и x_{ij}^{Lo} – верхняя и нижняя границы интервала, соответственно. Шкала цветов, применяемая для представления числовых значений, может настраиваться таким образом, чтобы значения из выделенного интервала отображались с повышенной контрастностью. На Рис. 4 представлены два варианта настройки шкалы. При использовании первого варианта доступные градации цвета равномерно распределяются по всему интервалу $[MinVal, MaxVal]$, содержащему значения всех элементов массива. Второй вариант предусматривает использование большей части

доступных градаций цвета для отображения значений из выделенного пользователем интервала $[min, max]$.

Для совместного отображения элементов массива, имеющих большой разброс значений, распределение оттенков по числовому интервалу, содержащему значения элементов массива, может быть линейным или логарифмическим. Столбцы и строки двухмерного массива могут отображаться как одномерные массивы. При этом для двухмерного массива реализуется возможность ввода дополнительных ограничений на значения его элементов.

Метод интерактивного графического отображения *трехмерных массивов* N -переменных основан на представлении проекций массива на плоскости, параллельные плоскостям, в которых один из индексов массива неизменен. Проекциями трехмерного массива X размерностью $p \times m \times k$ элементов, являются двухмерные массивы размерностью $p \times m$, $m \times k$, $p \times k$ элементов. Элемент такого массива v_{ij} соответствует вектору массива X . Цвет элемента v_{ij} может отображать одну из следующих характеристик соответствующего вектора: наименьшее и наибольшее среднее значение интервала в данном векторе, наименьшее и наибольшее значе-

ние недоопределенности в данном векторе. Цвет, соответствующий отображаемому числовому значению, определяется аналогично тому, как это делается при отображении двумерных массивов N -переменных. Трехмерный массив также может быть представлен в виде набора его сечений по заданным пользователем плоскостям, которые визуализируются как двумерные массивы.

В N -модели могут присутствовать явно описанные *функциональные зависимости*. Значения таких функций могут быть недоопределенными. Предлагается следующий метод интерактивного графического отображения функции от одного аргумента. Значения функции $f(x)$ на заданном пользователем интервале значений аргументов $[x_{\min}, x_{\max}]$ отображаются в виде кривых, представляющих верхнюю и нижнюю границы N -значений функции. Кривые строятся на основе одномерного массива N -значений функции, определяемых по сле-

дующей формуле: $y_i = f(x_{\min} + \frac{x_{\max} - x_{\min}}{n - 1} \cdot i)$,

$i = 0, 1, \dots, n - 1$, где n – число элементов массива значений, по которым строится отображение функции. Метод характеризуется следующими основными возможностями.

1. Масштабирование изображения по двум координатным осям.
2. Применение специальных шкал, аналогичных применяемым при визуализации одномерных массивов.
3. Возможность ввода ограничений на значение функции вида $f(x) \leq (\geq) C$, где $x \in [x_{\min}, x_{\max}]$, C – некоторая константа.
4. Возможность сравнения значений, полученных на разных шагах вычислений N -модели.

Метод интерактивного графического отображения недоопределенной функции от двух аргументов является развитием метода визуализации двумерных массивов N -переменных. Графический образ недоопределенной функции от двух переменных строится на основе двумерного массива ее значений на заданной области значений аргументов. Значение функции в некоторой точке отображается цветом соответствующей точки изображения. Цветовое отображение N -значений функции осуществляется полностью аналогично отображению значений элементов двумерных массивов. Преду-

сматривается возможность визуализации сечений координатного пространства плоскостями, перпендикулярными осям аргументов, как функций от одной переменной.

Наиболее существенным отличием предложенных методов от методов визуализации числовых данных, применяемых в коммерческих математических пакетах, например MatLab (The MathWorks, Inc.), MathCad (MathSoft, Inc.) и др., является то, что данные методы позволяют учитывать ряд принципиальных особенностей N -моделей, а именно:

- интервальная недоопределенность значений переменных N -модели;
- возможность уточнения N -модели путем наложения ограничений на значения ее переменных;
- необходимость сравнения различных решений задачи, полученных на данной N -модели.

По сравнению с графическими средствами таких коммерческих систем N -вычислений, как UniCalc, “Интегра”, продукты компании ILOG [10] и др., новыми являются следующие возможности:

- возможность ввода ограничений на значения переменных непосредственно на графическом отображении при визуализации одномерных массивов N -переменных;
- визуализация двумерных и трехмерных массивов N -переменных;
- интерактивное отображение функций от одного аргумента и отображение функций от двух аргументов.

2. Структурные недоопределенные модели

Другим направлением решения задачи интеллектуализации взаимодействия пользователя с системами N -вычислений является структурирование N -моделей. N -модели реальных объектов, часто бывают сложными и громоздкими. При наличии несовместности в N -модели большого размера поиск противоречий в ней оказывается затруднен. Это обстоятельство приводит к необходимости структуризации N -модели. Как показано в работе [12], N -модель, которая образуется из множества переменных и ограничений на них, каждое из которых может

быть либо элементарным, либо само является моделью (подмоделью) с элементарными ограничениями над ее локальными переменными, можно структурировать. При этом для структурированной Н-модели сохраняются те же свойства процесса Н-вычислений, которые выполняются для неструктурированных Н-моделей.

Автором разработан метод структурного представления Н-моделей, названный *кластерными структурными моделями* (КСМ). Основным структурным элементом КСМ является модуль, содержащий в себе переменные и ограничения, составляющие Н-модель некоторого фрагмента предметной области. Переменные из разных модулей могут быть связаны отношением равенства. Таким образом, подмодели из разных модулей образуют единую Н-модель. Специальный модуль, называемый *конфигуратором*, содержит описание этих отношений. Группа модулей, связанных с помощью конфигулятора, называется *кластером*. Кроме того, кластером является любой набор кластеров, связанных с помощью конфигулятора более высокого уровня. КСМ представляет собой сеть, узлами которой являются модули и кластеры.

На Рис. 5 основные элементы КСМ показаны на примере фрагмента Н-модели экономики г. Москвы, разработанной в Российском НИИ искусственного интеллекта. В модели отражены две сферы экономики – банковская деятельность и промышленное производство.

Н-модель экономики в целом представлена кластером Economy. В него входят кластеры Industry и Banking, содержащие Н-модели промышленности и банковской сферы, соответственно. При этом

кластер Banking состоит только из одного одноименного модуля. Объем банковских операций с кредитами и депозитами связан с суммарным объемом промышленного производства, поэтому Н-модели двух кластеров связаны отношением равенства между Н-переменными Industry.Total_Volume и Banking.Volume, представляющими данные параметры. Кластер Industry включает в себя связанные модули Production и Increase.

Н-модель модуля Production содержит ограничения и переменные, определяющие объем производства в различных отраслях промышленности поквартально. При этом объем производства во втором – четвертом кварталах определяется через известный объем производства в первом

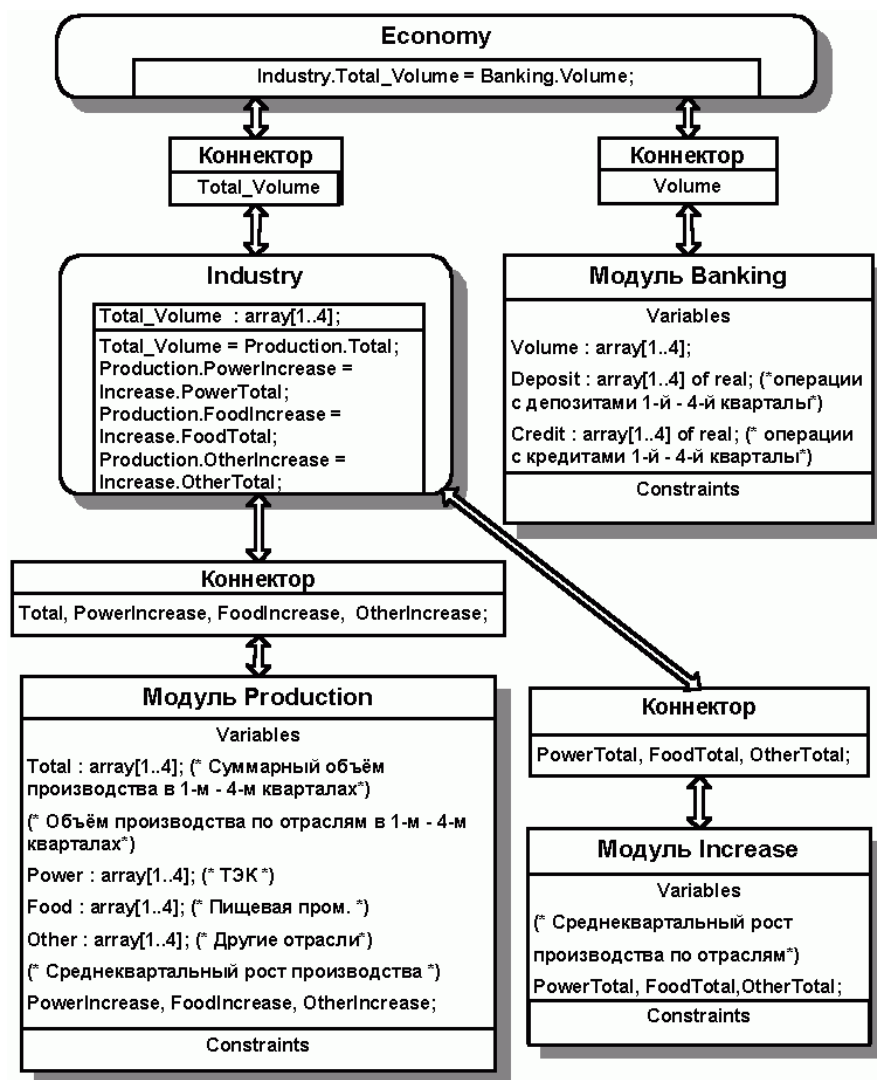


Рис. 5. Фрагмент КСМ экономики г. Москвы

квартале и показатели среднеквартального роста производства. Переменные и ограничения, определяющие показатели среднеквартального роста производства, сгруппированы в модуле Increase. Данный модуль связан с модулем Industry через внешние переменные PowerTotal, FoodTotal, OtherTotal, представляющие обобщенные показатели роста производства в топливно-энергетическом комплексе, пищевой промышленности и других отраслях, соответственно. Особенностью предложенного метода является то, что КСМ предоставляет удобную возможность для реализации автоматизированного изменения набора ограничений Н-модели при возникновении определенных событий в процессе вычислений. Например, обнаружение несовместности системы ограничений или получение определенного значения для некоторой переменной. В КСМ выделяется *зона активности* – подмножество кластеров, ограничения которых используются при выполнении текущего этапа вычислений. В кластеры включаются императивные элементы управления, представляющие собой условные операторы, автоматически активирующие или деактивирующие данный кластер при возникновении некоторых событий в процессе вычислений.

Достоинством данного подхода является то, что он может быть применен для широкого круга предметных областей. Метод структурирования, реализованный в настоящее время в системе календарного планирования Time-Ex, ориентирован исключительно на эту проблемную область [18]. КСМ позволяют обеспечить возможность представления структуры объектов моделирования, повысить наглядность представления Н-моделей с большим количеством ограничений и переменных. Благодаря кластерной структуре операции модификации Н-модели могут выполняться не над отдельными ограничениями, а над блоками произвольного размера и сложности – кластерами.

3. Графическая подсистема для систем недоопределенных вычислений

Предложенные методы интерактивной визуализации массивов Н-переменных и недоопределенных функций были реализованы в графической подсистеме iG для программных систем, реализующих Н-вычисления. Графиче-

ская подсистема была разработана с использованием инструментальной среды Borland Delphi-7 (Borland Software Corporation). Данная графическая подсистема обеспечивает реализацию следующих основных функций:

- графическое отображение одномерных и двумерных массивов Н-переменных;
- графическое отображение функций с недоопределенными значениями от одной переменной;
- обеспечение возможности введения и изменения дополнительных ограничений на значения элементов массивов и на значения отображаемой функции путем взаимодействия с их графическим отображением;
- обеспечение возможности сравнения значений элементов одномерных массивов, а также значений функции, полученных в результате выполнения последовательности шагов вычисления Н-модели.

Графическая подсистема включена в состав интеллектуального решателя UniCalc, разработанного в Российском НИИ искусственного интеллекта. Подсистема в составе решателя UniCalc может работать под управлением операционных систем Microsoft Windows версий 95, 98, Millenium Edition, 2000, XP.

Рассмотрим пример использования решателя UniCalc и графической подсистемы при решении задачи из области управления проектами. Необходимо минимизировать стоимость выполнения проекта. Стоимость выражена целевой функцией от 25 переменных. Переменные связаны 26 ограничениями. В данном примере для нахождения минимума целевой функции метод Н-вычислений используется в сочетании с эвристикой случайного поиска. Подробно данный метод решения задачи описан в работе [19]. Перечислим основные шаги решения задачи.

Описание задачи в виде Н-модели на входном языке решателя UniCalc (Рис. 6).

Нахождение области решения для данной Н-модели. Область решения представляется интервалами значений переменных и содержит в себе все точки, удовлетворяющие системе ограничений данной Н-модели. Для данного набора ограничений эта область относительно широка.

Исследование поведения области решения Н-модели при наложении дополнительных ог-

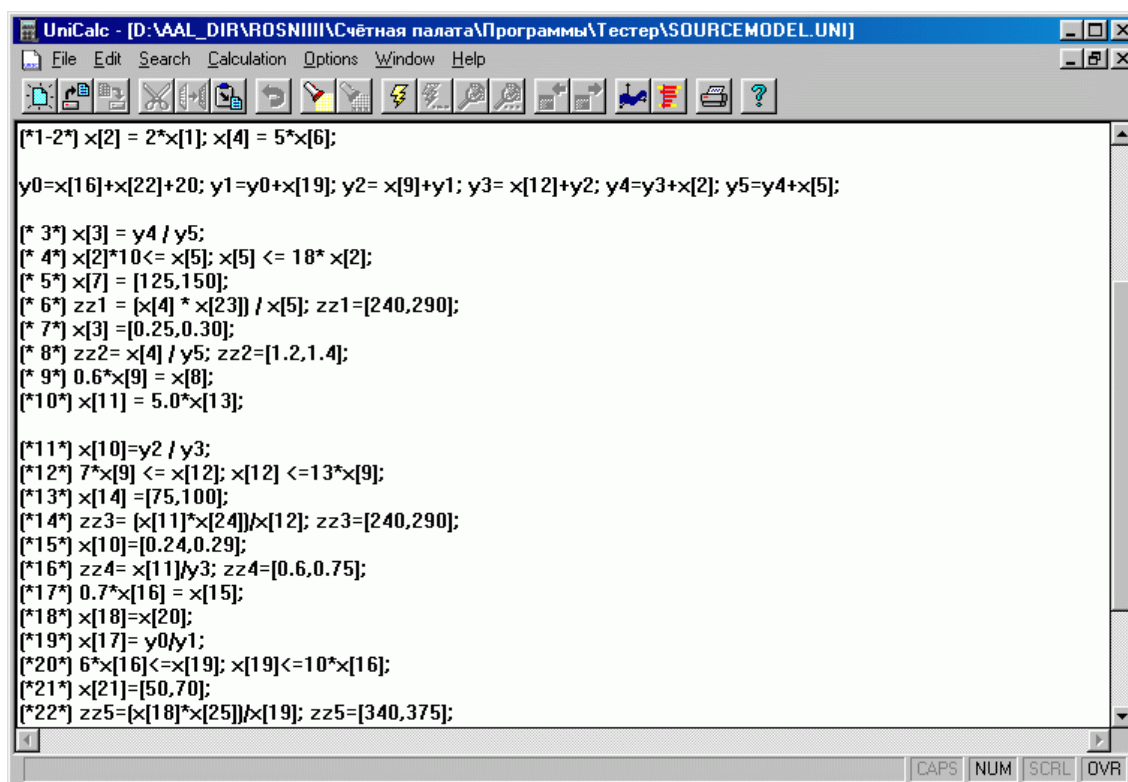


Рис. 6. Н-модель стоимости проекта в окне решателя UniCalc

раничений вида $x \leq (\geq) C$ на значения переменных и сужение области решения. При исследовании области решения Н-модели для отображения получаемых решений и ввода ограничений используется графическая подсистема (Рис. 7).

Определение оптимального значения целевой функции в суженной области значений переменных методом случайного поиска.

Для данной задачи таким способом была найдена точка со значением целевой функции 1560.4. Для исходной области решения неопределенное значение целевой функции равнялось [1258, 2899.5].

4. Перспективы

Одним из перспективных направлений развития предложенных методов визуализации элементов Н-моделей и структурного представления Н-моделей является их интеграция на основе концепции так называемых *активных графических объектов* (АГО) [20]. Данная концепция, в свою очередь, основана на *технологии активных объектов* (ТАО) [21, 22], развиваемой с середины 90-х годов в Российском

НИИ искусственного интеллекта и ЗАО «ИнтеллиТек». В рамках концепции АГО визуальное представление любого рода и вида является совокупностью АГО, существующих во времени, взаимодействующих между собой и с внешней средой (пользователь, другие программы и пр.). Каждый АГО соответствует некоторому элементу отображаемой информации, например, переменной, заданию календарного плана, модулю или кластеру КСМ и т.п., и содержит в себе средства для создания интерактивного графического образа этого элемента. Для построения графических образов в АГО могут быть реализованы методы визуализации, предложенные в данной работе.

Заключение

В работе поставлена задача разработки методов и программных средств интеллектуализации пользовательского интерфейса, повышающих степень автоматизации и расширяющих возможности взаимодействия пользователя с системами, реализующими метод Н-вычислений, относящийся к классу методов программирования в ограничениях.

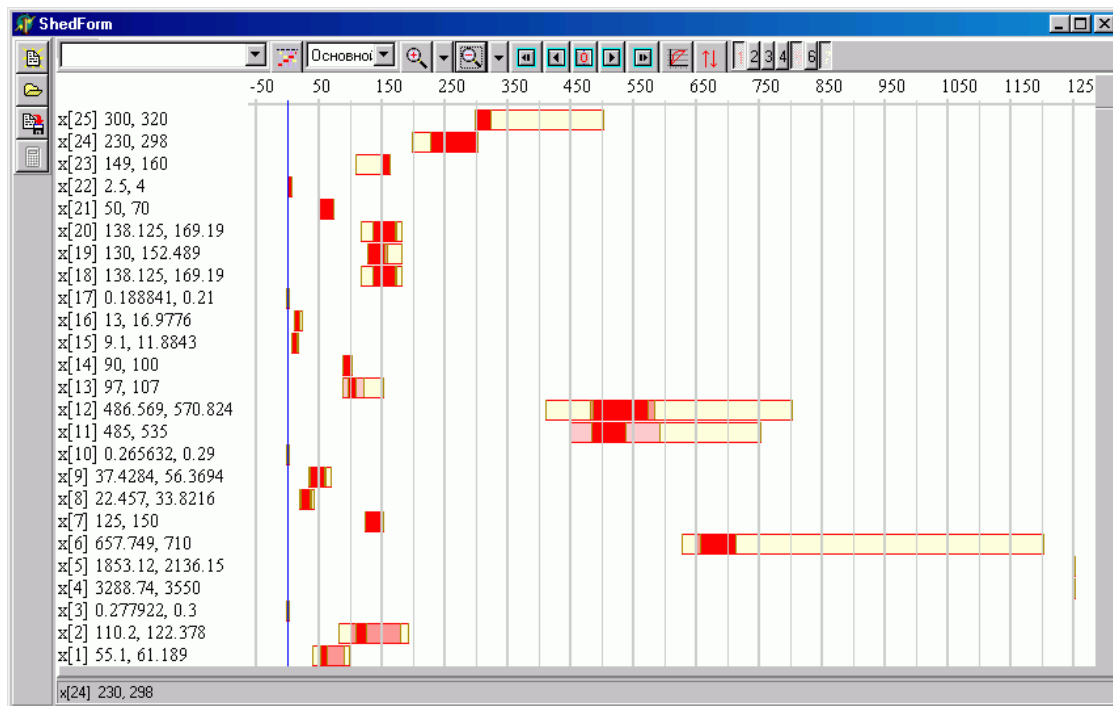


Рис. 7. Суженная область значений переменных в сравнении с исходной областью значений и промежуточными шагами решения задачи

Для решения этой задачи автором были разработаны методы интерактивного графического представления некоторых элементов Н-моделей, а также метод структурного представления Н-моделей. На основе разработанных методов была реализована графическая подсистема для систем Н-вычислений, обеспечивающая как визуализацию массивов Н-переменных и функциональных зависимостей, заданных в Н-моделях, так и возможность непосредственного воздействия на процесс решения задачи путем ввода в Н-модель ограничений в графической форме. Графическая подсистема интегрирована в состав оболочки недоопределенного решателя UniCalc, разработанного в Российском НИИ искусственного интеллекта.

Проведенные исследования созданной реализации графической подсистемы показали, что реализованные в ней методы обеспечивают решение проблем расширения возможностей управления процессом решения задач на недоопределенных моделях и обеспечения прямого воздействия пользователя на область решения модели. Описанные выше методы и программные средства интерактивного графического отображения массивов недоопределенных пе-

ременных и функций с недоопределенными значениями дают возможность пользователям-специалистам в предметной области, не имеющим специальной подготовки, использовать системы недоопределенных вычислений для решения прикладных задач.

Разработанные методы и графическая подсистема iG могут применяться для решения задач из области управления проектами, проектирования, инженерных расчетов и др.

В целом описанные методы интеллектуализации пользовательского интерфейса в перспективе могут использоваться и для других классов систем, реализующих представление и обработку не полностью определенных данных и знаний.

Литература

1. Montanari U. Networks of Constraints: Fundamental Properties and Applications to Picture Processing // Inform. Sci. – V.7, 1974. – P. 95 – 132.
2. Bartak R. Constraint Programming: In Pursuit of the Holy Grail // <http://ktiml.mff.cuni.cz/~bartak/downloads/WDS99.pdf>
3. Ушаков Д.М., Телерман В.В. Системы программирования в ограничениях (обзор) // Системная информатика: Сб. науч. тр. – Новосибирск: Наука, 2000. Вып.

- 7: Проблемы теории и методологии создания параллельных и распределенных систем. С. 275-310.
4. Нариньяни А.С. НЕ-факторы 2004 // 9-я Национальная конференция по искусственному интеллекту КИИ – 2004. Труды конференции. В 3-х т. Т. 1. – М.: Физматлит, 2004. С. 420-432.
5. Babichev A.B., Kadyrova O.B., Kashevarova T.P., Leshchenko A.S., Semenov A.L. UniCalc, A Novel Approach to Solving Systems of Algebraic Equations // Numerical Analysis with Automatic Result Verifications: Proc. / Intern. Conf., Lafayette, Louisiana, USA, February-March, 1993. – Interval Computations. – 1993. – No. 2. – P. 29-47.
6. Загоруйко Ю.А., Кошечев В.О., Мамонтов П.Г., Парамзин Д.Ю. Новый подход к разработке решателя UniCalc // 8-я Национальная конференция по искусственному интеллекту КИИ-2002. Труды конференции. В 2-х т. Т.2. – М.: Физматлит, 2002. С. 720-728.
7. Нариньяни А.С., Корниенко В.В., Прейс С.В., Швецов И.Е. ФинПлан: новая технология финансово-экономического планирования в условиях неполноты информации // Информационные технологии. – 1998. №11. С. 10-16.
8. Нариньяни А.С., Седреева Г.О., Седреев С.В., Фролов С.А. Time-EX|Windows – Новое поколение технологии календарного планирования. // Проблемы представления и обработки не полностью определенных знаний / Российский Научно-исследовательский институт искусственного интеллекта. – Москва-Новосибирск. 1996. – С.101-116.
9. Петров Е.С. Интервальная библиотека: опыт интеграции логического программирования и неопределенных моделей // Программирование. – 1998. №4, С. 40-49.
10. <http://www.ilog.com/products/>
11. Нариньяни А.С. Неопределенность в системе представления и обработки знаний // Изв. АН СССР. Техническая кибернетика. – 1986. № 5. С. 3-28.
12. Телерман В.В., Ушаков Д.М. Неопределенные модели: формализация подхода и перспективы развития. // Проблемы представления и обработки не полностью определенных знаний / Под ред. И.Е. Швецова. – Москва – Новосибирск: РосНИИ Искусственного Интеллекта, 1996. С. 7-30.
13. Рыбина. Г.В., Липатов А.А. Методы и программные средства интеллектуализации пользовательского интерфейса на примере систем неопределенных вычислений // Научная сессия МИФИ-2007. Сб. науч. тр. В 17 томах. Т.3. – М.: МИФИ, 2007. С. 79-81.
14. Зенкин А.А. Когнитивная компьютерная графика / Под ред. Д.А. Поспелова – М.: Наука, 1991. – 192 с.
15. Clancy D., Kuipers B. Model Decomposition and Simulation // <http://citeseer.ist.psu.edu/clancy94model.html>
16. Simon H. Partitioning of Unstructured Problems for Parallel Processing. <http://citeseer.ist.psu.edu/simon94partitioning.html>
17. Bailey-Kellog C., Zhao F. Influence-Based Model Decomposition // <http://citeseer.ist.psu.edu/bailey-kellogg99influencebased.html>
18. Гофман И.Д., Инишев Д.А., Шурбаков А.В. Структурные модели планов в интеллектуальной системе управления проектами Time-Ex // 9-я Национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2004. Труды конференции. В 3-х т. Т.2. – М.: Физматлит, 2004. С. 809-815.
19. Нехорошкин Н.И., Липатов А.А. Эвристический метод локализации решений неопределенной системы ограничений // Проблемы управления и моделирования в сложных системах. Труды X Международной конференции. – Самара: Самарский научный центр РАН, 2008.
20. Шурбаков А. В., Липатов А. А. Активные графические объекты – новый подход к созданию систем визуализации моделей // Научная сессия МИФИ-2005. Сб. науч. тр. В 15 томах. Т.3. – М.: МИФИ, 2005. С. 174-175
21. Швецов И.Е., Нестеренко Т.В., Старовит С.А., Титова М.В. Технология активных объектов: от концепции к реализации // Проблемы представления и обработки не полностью определенных знаний / Под ред. И.Е. Швецова. – Москва – Новосибирск: РосНИИ искусственного интеллекта, 1996.
22. Когель Д.М., Лавров А.А., Липатов А.А. Технология активных объектов – новая реализация // 11-я национальная конференция по искусственному интеллекту КИИ-2008. Труды конференции. В 3-х т. Т. 2. – М.: ЛЕНАНД, 2008. С. 356-363.

Липатов Алексей Андреевич. Ведущий специалист ЗАО «ИнтеллиТек (Интеллектуальные технологии)». В 1999 году окончил Московский государственный инженерно-физический институт (Технический университет). Кандидат технических наук. Имеет 20 печатных работ. Область научных интересов: программирование в ограничениях, неопределённые модели, графическое отображение данных.