



OSTIS-2016

(Open Semantic Technologies for Intelligent Systems)

УДК 004.89

КАЧЕСТВЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ОГРАНИЧЕНИЙ

Зуенко А.А.

Институт информатики и математического моделирования КНЦ РАН,

г. Анапты, Россия,

zuenko@iimm.ru

В статье описан разработанный автором метод распространения ограничений, предназначенный для решения задач качественного моделирования технических систем. В отличие от аналогов, использующих для описания ограничений над конечными доменами структуры наподобие реляционных таблиц, предлагаемый метод опирается на применение оригинальных матрицеподобных структур, которые позволяют “сжато” представлять нечисловые зависимости между параметрами модели и эффективно их обрабатывать.

Ключевые слова: качественное моделирование, задача удовлетворения ограничений, ограничения с конечными доменами, матрицы ограничений.

Введение

На практике бывает трудно выявить точные соотношения между переменными в моделируемой системе, но все еще остается возможность установить некоторые качественные зависимости между ними [Братко, 2004]. Кроме того, даже при наличии строгой аналитической модели, для ее применения требуется знать значения всех параметров модели, измерение которых может быть сильно осложнено. В такой ситуации пользователь пытается заменить значения неизвестных параметров предполагаемыми значениями, надеясь, что они не слишком отличаются от истинных. Применение качественных моделей позволяет избежать необходимости выдвижения необоснованных предположений.

Качественная машинная модель позволяет решить задачу путем перебора всех возможных качественных вариантов поведения, которые соответствуют всем возможным сочетаниям значений параметров в модели.

При решении многих задач точные числовые данные не требуются. К типичным задачам, где качественное моделирование является более предпочтительным, относятся функциональные рассуждения, диагностика и проектирование на основе «исходных принципов», например законов физики. Заметим также, что с точки зрения конечного пользователя задача разработки качественных моделей является более простой по сравнению с созданием количественных моделей.

Функциональные рассуждения связаны с поиском ответов на вопросы, каким образом работает устройство или система. Причем, интерес представляет (качественный) механизм работы системы: если числовые значения параметров системы немного изменяются, обычно основной функциональный механизм остается тем же.

При решении диагностической задачи интерес представляют неисправности, которые вызвали наблюдаемое аномальное поведение системы.

Проблема структурного синтеза на основе использования «исходных принципов» состоит в следующем. Даны некоторые основные блоки. Требуется найти такую комбинацию этих блоков (структуру), которая позволяет реализовать заданную функцию.

Для использования качественных моделей требуются определенные методы проведения качественных рассуждений, изложению которых и посвящена настоящая статья.

Для решения обозначенного круга задач предлагается использовать разработанные автором методы распространения ограничений, основанные на матричном представлении ограничений в виде *C*- и *D*- систем [Зуенко, 2013], [Зуенко, 2014], [Зуенко и др., 2015]. Другими словами, перечисленные выше задачи предлагается решать в виде задач удовлетворения ограничений (Constraint Satisfaction Problem – CSP) [Ruttkay, 1998], [Bartak, 1999], [Рассел и др., 2006]. В отличие от предыдущих работ цикла в настоящей статье для

формализации ограничений используются не *D*-системы (матрицы дизъюнктов), а *C*-системы (матрицы конъюнктов), а также разработан оригинальный метод распространения ограничений для этого случая.

1. Пример формализации технической системы в виде матриц ограничений

В качестве примера выберем простую электрическую схему, состоящую из выключателей, ламп и источников питания (рисунок 1). Качественная модель, описывающая работу данной схемы, взята из [Братко, 2004]. В приведенной книге языком моделирования служит Prolog.

В настоящей работе представлена интерпретация данной модели в терминах матриц ограничений, а, именно, в виде набора *C*-систем, а возникающие задачи моделирования предлагается рассматривать как задачи удовлетворения ограничений.

Выключатели могут быть разомкнутыми или замкнутыми (т.е. выключенными или включенными), а лампы могут быть светящимися или темными, сгоревшими или исправными. Нас, как и в [Братко, 2004], интересует поиск ответов на вопросы, которые относятся к области прогнозирования состояний, диагностики или управления такими электрическими схемами.

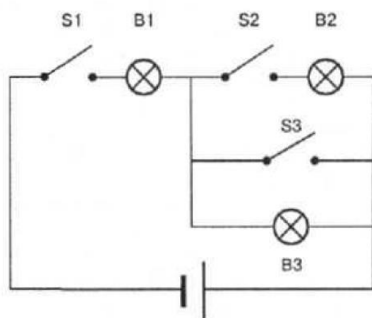


Рисунок 1 - Пример электрической схемы

Создание модели схемы сводится к заданию следующих ограничений:

1. Законы функционирования лампы.
2. Законы функционирования выключателя.
3. Закон Кирхгофа (в качественной формулировке): напряжение на выключателе + напряжение на лампе = напряжение источника питания.

Также неявно посредством общих атрибутов (переменных) должны учитываться физические соединения между компонентами.

В рассматриваемой качественной модели электрические токи и напряжения имеют лишь качественные значения "*pos*" (положительный), "*zero*" (нулевой) и "*neg*" (отрицательный).

Компоненты исследуемой электрической схемы делятся на два типа: выключатели и лампы. Качественное поведение этих компонентов

описывается с помощью типовых отношений. Для выключателя – это отношение $SWITCH(SP, V, C)$:

<i>SP</i>	<i>V</i>	<i>C</i>
{on, off}	{neg, zero, pos}	{neg, zero, pos}
1 [{on}	{zero}	*
2 [{off}	*	{zero}

(1)

Атрибуты *SP*, *V*, *C* – это положение выключателя, напряжение и ток, соответственно.

Например, из строки 2 следует, что на разомкнутом (*off*) выключателе ток является нулевым (*zero*), а напряжение может иметь любое значение.

Закон функционирования лампы может быть выражен в виде отношения $BULB(B, L, V, C)$:

<i>B</i>	<i>L</i>	<i>V</i>	<i>C</i>
{ok, blown}	{dark, light}	{neg, zero, pos}	{neg, zero, pos}
1 [{blown}	{dark}	*	{zero}
2 [{ok}	{light}	{pos}	{pos}
3 [{ok}	{light}	{neg}	{neg}
4 [*	{dark}	{zero}	{zero}

(2)

Атрибуты *B*, *L*, *V*, *C* – это признак исправности лампы, наличие/отсутствие свечения, напряжение на лампе и ток, соответственно.

Согласно строке 1, сгоревшая (*blown*) лампа остается темной (*dark*), через нее не проходит ток, а напряжение может иметь любое значение. Исправная (*ok*) лампа светится постоянно, за исключением того случая, когда и напряжение, и ток в лампе равны нулю. При этом предполагается, что любой ненулевой ток является достаточно большим для того, чтобы заставить лампу светиться.

Напряжение и ток могут одновременно либо равняться нулю, либо быть положительными, либо быть отрицательными. По сути, это качественная абстракция закона Ома, который формулируется следующим образом:

Напряжение = Сопротивление * Сила_тока.

Поскольку сопротивление лампы является положительным, то напряжение (*V*) и ток (*C*) должны иметь одинаковый знак и поэтому одно и то же качественное значение.

В числовых моделях электрических схем, помимо закона Ома, используются некоторые фундаментальные законы, такие как законы Кирхгофа. Законы Кирхгофа гласят: во-первых, сумма всех напряжений вдоль любого замкнутого контура в схеме равна 0, во-вторых, сумма всех токов в любом соединении в схеме равна 0. Чтобы применить эти законы в качественной модели, необходимо предусмотреть качественную версию операции арифметического суммирования. В настоящей работе вместо обычного арифметического суммирования $X + V = Z$ применяется сокращенный вариант в виде операции

качественного суммирования, которая реализована в форме следующего отношения $QSUM[X, Y, Z]$:

X	Y	Z
$\{neg, zero, pos\}$	$\{neg, zero, pos\}$	$\{neg, zero, pos\}$
1 $\{pos\}$	$\{pos\}$	$\{pos\}$
2 $\{pos\}$	$\{zero\}$	$\{pos\}$
3 $\{pos\}$	$\{neg\}$	$\{pos\}$
4 $\{pos\}$	$\{neg\}$	$\{zero\}$
5 $\{pos\}$	$\{neg\}$	$\{neg\}$
6 $\{zero\}$	$\{pos\}$	$\{pos\}$
7 $\{zero\}$	$\{zero\}$	$\{zero\}$
8 $\{zero\}$	$\{neg\}$	$\{neg\}$
9 $\{neg\}$	$\{pos\}$	$\{pos\}$
10 $\{neg\}$	$\{pos\}$	$\{zero\}$
11 $\{neg\}$	$\{pos\}$	$\{neg\}$
12 $\{neg\}$	$\{zero\}$	$\{neg\}$
13 $\{neg\}$	$\{neg\}$	$\{neg\}$

Данное отношение можно рассматривать как некий тип отношения (типовое отношение), на основе которого в процессе подстановки вместо X , Y , Z конкретных атрибутов получается конкретное отношение. Подобным образом в логических исчислениях конкретизируется схема аксиомы, превращаясь в конкретную аксиому в ходе подстановки.

Строки этой матрицы представляют собой некоторые факты, например, в строке 1 утверждается, что сумма двух положительных чисел представляет собой положительное число. Строки 3, 4, 5, что сумма положительного и отрицательного чисел может представлять собой любое значение из множества $\{neg, zero, pos\}$.

Такая операция суммирования является недетерминированной (неопределенной). Из-за отсутствия точной информации, потерянной в процессе качественного абстрагирования, иногда невозможно определить, каковым фактически является результат суммирования. Такого рода недетерминированность является довольно типичной для качественных рассуждений.

Отношение $QSUM$ может быть задано и в более “компактной” форме:

X	Y	Z
$\{neg, zero, pos\}$	$\{neg, zero, pos\}$	$\{neg, zero, pos\}$
1 $\{zero\}$	$\{zero\}$	$\{zero\}$
2 $\{pos\}$	*	$\{pos\}$
3 $\{pos\}$	$\{neg\}$	*
4 *	$\{pos\}$	$\{pos\}$
5 *	$\{neg\}$	$\{neg\}$
6 $\{neg\}$	$\{pos\}$	*
7 $\{neg\}$	*	$\{neg\}$

После того как определены отдельные компоненты, задача определения всей схемы

становится несложной. Каждая конкретная схема может быть определена с помощью системы отношений, записанных в виде C-систем (и/или D-систем).

Например, для моделирования электрической схемы, приведенной на рисунок 1, нужно рассмотреть следующие отношения.

№ 1. Выключатель “S1” – $SWITCH[Sw1, VSw1, C1]$:

Sw1	VSw1	C1
$\{on, off\}$	$\{neg, zero, pos\}$	$\{neg, zero, pos\}$
1 $\{on\}$	$\{zero\}$	*
2 $\{off\}$	*	$\{zero\}$

№ 2. Лампа “B1” – $BULB[B1, L1, VB1, C1]$:

B1	L1	VB1	C1
$\{ok, blown\}$	$\{dark, light\}$	$\{neg, zero, pos\}$	$\{neg, zero, pos\}$
1 $\{blown\}$	$\{dark\}$	*	$\{zero\}$
2 $\{ok\}$	$\{light\}$	$\{pos\}$	$\{pos\}$
3 $\{ok\}$	$\{light\}$	$\{neg\}$	$\{neg\}$
4 *	$\{dark\}$	$\{zero\}$	$\{zero\}$

№ 3. Выключатель “S2” – $SWITCH[Sw2, VSw2, C2]$:

Sw2	VSw2	C2
$\{on, off\}$	$\{neg, zero, pos\}$	$\{neg, zero, pos\}$
1 $\{on\}$	$\{zero\}$	*
2 $\{off\}$	*	$\{zero\}$

№ 4. Лампа “B2” – $BULB[B2, L2, VB2, C2]$:

B2	L2	VB2	C2
$\{ok, blown\}$	$\{dark, light\}$	$\{neg, zero, pos\}$	$\{neg, zero, pos\}$
1 $\{blown\}$	$\{dark\}$	*	$\{zero\}$
2 $\{ok\}$	$\{light\}$	$\{pos\}$	$\{pos\}$
3 $\{ok\}$	$\{light\}$	$\{neg\}$	$\{neg\}$
4 *	$\{dark\}$	$\{zero\}$	$\{zero\}$

№ 5. Выключатель “S3” – $SWITCH[Sw3, V3, CSw3]$:

Sw3	V3	CSw3
$\{on, off\}$	$\{neg, zero, pos\}$	$\{neg, zero, pos\}$
1 $\{on\}$	$\{zero\}$	*
2 $\{off\}$	*	$\{zero\}$

№ 6. Лампа “B3” – $BULB[B3, L3, V3, CB3]$:

B3	L3	V3	CB3
{ok,blown}	{dark,light}	{neg,zero,pos}	{neg,zero,pos}

$$\begin{matrix}
 1 \begin{bmatrix} \{blown\} & \{dark\} & * & \{zero\} \end{bmatrix} \\
 2 \begin{bmatrix} \{ok\} & \{light\} & \{pos\} & \{pos\} \end{bmatrix} \\
 3 \begin{bmatrix} \{ok\} & \{light\} & \{neg\} & \{neg\} \end{bmatrix} \\
 4 \begin{bmatrix} * & \{dark\} & \{zero\} & \{zero\} \end{bmatrix}
 \end{matrix} \quad (10)$$

№ 7. Закон “Напряжения на выключателе S1 и лампе B1 складываются”:

VSw1	VB1	V1
{neg,zero,pos}	{neg,zero,pos}	{neg,zero,pos}

$$\begin{matrix}
 1 \begin{bmatrix} \{zero\} & \{zero\} & \{zero\} \end{bmatrix} \\
 2 \begin{bmatrix} \{pos\} & * & \{pos\} \end{bmatrix} \\
 3 \begin{bmatrix} \{pos\} & \{neg\} & * \end{bmatrix} \\
 4 \begin{bmatrix} * & \{pos\} & \{pos\} \end{bmatrix} \\
 5 \begin{bmatrix} * & \{neg\} & \{neg\} \end{bmatrix} \\
 6 \begin{bmatrix} \{neg\} & \{pos\} & * \end{bmatrix} \\
 7 \begin{bmatrix} \{neg\} & * & \{neg\} \end{bmatrix}
 \end{matrix} \quad (11)$$

№ 8. Закон “Напряжения на выключателе S2 и лампе B2 складываются”:

VSw 2	VB 2	V 3
{neg,zero,pos}	{neg,zero,pos}	{neg,zero,pos}

$$\begin{matrix}
 1 \begin{bmatrix} \{zero\} & \{zero\} & \{zero\} \end{bmatrix} \\
 2 \begin{bmatrix} \{pos\} & * & \{pos\} \end{bmatrix} \\
 3 \begin{bmatrix} \{pos\} & \{neg\} & * \end{bmatrix} \\
 4 \begin{bmatrix} * & \{pos\} & \{pos\} \end{bmatrix} \\
 5 \begin{bmatrix} * & \{neg\} & \{neg\} \end{bmatrix} \\
 6 \begin{bmatrix} \{neg\} & \{pos\} & * \end{bmatrix} \\
 7 \begin{bmatrix} \{neg\} & * & \{neg\} \end{bmatrix}
 \end{matrix} \quad (12)$$

№ 9. Закон “Напряжение в сети положительно”

V1	V3
{neg,zero,pos}	{neg,zero,pos}

$$\begin{matrix}
 1 \begin{bmatrix} \{pos\} & * \end{bmatrix} \\
 2 \begin{bmatrix} \{zero,neg\} & \{pos\} \end{bmatrix}
 \end{matrix} \quad (13)$$

№ 10. Закон “Токи на выключателе S3 и лампе B3 суммируются”

CSw3	CB3	C3
{neg,zero,pos}	{neg,zero,pos}	{neg,zero,pos}

$$\begin{matrix}
 1 \begin{bmatrix} \{zero\} & \{zero\} & \{zero\} \end{bmatrix} \\
 2 \begin{bmatrix} \{pos\} & * & \{pos\} \end{bmatrix} \\
 3 \begin{bmatrix} \{pos\} & \{neg\} & * \end{bmatrix} \\
 4 \begin{bmatrix} * & \{pos\} & \{pos\} \end{bmatrix} \\
 5 \begin{bmatrix} * & \{neg\} & \{neg\} \end{bmatrix} \\
 6 \begin{bmatrix} \{neg\} & \{pos\} & * \end{bmatrix} \\
 7 \begin{bmatrix} \{neg\} & * & \{neg\} \end{bmatrix}
 \end{matrix} \quad (14)$$

№ 11. Закон 5 “Сила тока всей электрической цепи”

C2	C3	C1
{neg,zero,pos}	{neg,zero,pos}	{neg,zero,pos}

$$\begin{matrix}
 1 \begin{bmatrix} \{zero\} & \{zero\} & \{zero\} \end{bmatrix} \\
 2 \begin{bmatrix} \{pos\} & * & \{pos\} \end{bmatrix} \\
 3 \begin{bmatrix} \{pos\} & \{neg\} & * \end{bmatrix} \\
 4 \begin{bmatrix} * & \{pos\} & \{pos\} \end{bmatrix} \\
 5 \begin{bmatrix} * & \{neg\} & \{neg\} \end{bmatrix} \\
 6 \begin{bmatrix} \{neg\} & \{pos\} & * \end{bmatrix} \\
 7 \begin{bmatrix} \{neg\} & * & \{neg\} \end{bmatrix}
 \end{matrix} \quad (15)$$

Процесс моделирования электрической схемы завершен. Теперь рассмотрим примеры задач, которые в работе предлагается ставить и решать в форме задач удовлетворения ограничений.

Вопросы прогностического типа

Какими будут наблюдаемые результаты некоторого "входного воздействия" на систему (изменения положений выключателей), если дано некоторое функциональное состояние системы (лампы — исправные или сгоревшие). Например, что произойдет, если будут включены (on) все выключатели, притом что все лампы исправны (ok)?

Вопросы диагностического типа

Если известны входные воздействия на систему и некоторые результаты наблюдений, то каково состояние функционирования системы (исправна она или неисправна, и в чем состоит неисправность?). Например, если лампа 1 светится, лампа 3 остается темной, а выключатель 3 выключен, то каковы состояния ламп?

Вопросы управленческого типа

Каким должно быть управляющее воздействие, позволяющее достичь желаемого результата? Например, какими должны быть положения выключателей, чтобы заставить светиться лампу 3, при условии, что все лампы исправны?

Далее описывается метод распространения ограничений, позволяющий получать ответы на подобные вопросы.

2. Организация вывода на ограничениях

Приведем утверждения, позволяющие реализовывать эквивалентные преобразования системы ограничений для случая, когда ограничения представлены в виде набора C-систем. Целью преобразований является приведение системы ограничений к более простому виду, где содержится меньшее количество C-систем, строк C-систем, столбцов (атрибутов) C-систем, значений в доменах атрибутов и т.п.

Утверждение 1 (V1). Если все строки (кортежи) C-системы пусты, то есть содержат хотя бы по одной пустой компоненте каждая, то C-система пуста (соответствующая задача CSP несовместна).

Утверждение 2 (У2). Если все компоненты некоторого атрибута (столбца *C*-системы) являются полными, то данный атрибут можно удалить из *C*-системы (удаляются все компоненты стоящие в соответствующем столбце), а пара “удаляемый атрибут – его домен” сохраняется в векторе частичного решения.

Утверждение 3 (У3). Если домен некоторого атрибута *C*-системы содержит значения, не встречающиеся в соответствующем столбце, то эти значения удаляются из данного домена.

Утверждение 4 (У4). Если строка *C*-системы содержит хотя бы одну пустую компоненту (строка пуста), то строка удаляется.

Утверждение 5 (У5). Если компонента некоторого атрибута содержит значение, не принадлежащее соответствующему домену, то это значение удаляется из компоненты.

Утверждение 6 (У6). Если одна строка *C*-системы полностью доминирует (покомпонентно содержит) другую строку, то доминируемая строка удаляется из *C*-системы.

Продemonстрируем поиск ответа на вопрос прогностического типа, который приводился ранее. Дано: $Sw1 - \{on\}$, $Sw2 - \{on\}$, $Sw3 - \{on\}$, $B1 - \{ok\}$, $B2 - \{ok\}$, $B3 - \{ok\}$. Требуется определить значения параметров $L1$, $L2$, $L3$.

Процесс получения решения отображен в таблице 1. Рассмотрим строку 1, которая соответствует первому шагу. В список на обработку поступают *C*-системы (ограничения) с номерами 1-6, которые имеют в своих схемах атрибуты, чьи значения заданы в условии. В качестве текущего, то есть рассматриваемого на данном шаге, берется ограничение 1:

$$\begin{array}{ccc} Sw1 & VSw1 & C1 \\ \{on\} & \{neg, zero, pos\} & \{neg, zero, pos\} \\ 1[\{on\} & \{zero\} & * \\ 2[\{off\} & * & \{zero\} \end{array} \quad (16)$$

Заметим, что домен атрибута $Sw1$ конкретизирован с учетом условий задачи. К данной *C*-системе применяется сначала утверждение У5 и в строке 2 появляется пустая компонента, соответствующая атрибуту $Sw1$. Затем, используя У4, элиминируем вторую строку:

$$\begin{array}{ccc} Sw1 & VSw1 & C1 \\ \{on\} & \{neg, zero, pos\} & \{neg, zero, pos\} \\ 1[* & \{zero\} & * \end{array} \quad (17)$$

Теперь, согласно, У3 конкретизируем домен атрибута $VSw1$: $VSw1 - \{zero\}$. Затем строка 1 удаляется из *C*-системы, поскольку по У2 элиминируются все ее атрибуты.

В последнем столбце таблицы, жирным цветом показаны атрибуты, чьи значения удалось

конкретизировать на текущем шаге, а без выделения приводятся атрибуты, значения которых были уже известны до выполнения шага.

Теперь исключаем из списка ограничение 1 и добавляем в него ограничение 7, содержащее конкретизированный атрибут $VSw1$ (это видно из строки 2 таблицы). Остальные шаги выполняются по аналогии.

Процесс распространения ограничений оканчивается вычеркиванием всех атрибутов из всех *C*-систем. То есть в результате распространения ограничений нам удалось конкретизировать значения всех переменных рассматриваемой задачи CSP. На каждом шаге происходит усечение доменов одних атрибутов на основе известных доменов других атрибутов. В результате решается задача конкретизации значений целевых параметров.

Таблица 1 – Распространение ограничений

Шаг	Текущее ограничение	Список ограничений	Домены
1	1	1, 2, 3, 4, 5, 6	$Sw1 - \{on\}$, $VSw1 - \{zero\}$
2	3	2, 3, 4, 5, 6, 7	$Sw2 - \{on\}$, $VSw2 - \{zero\}$
3	5	2, 4, 5, 6, 7, 8	$Sw3 - \{on\}$, $V3 - \{zero\}$
4	9	2, 4, 6, 7, 8, 9	$V1 - \{pos\}$, $V3 - \{zero\}$
5	6	2, 4, 6, 7, 8	$B3 - \{ok\}$, $L3 - \{dark\}$, $V3 - \{zero\}$, $CB3 - \{zero\}$
6	7	2, 4, 7, 8, 10	$VSw1 - \{zero\}$, $VB1 - \{pos\}$, $V1 - \{pos\}$
7	2	2, 4, 8, 10	$B1 - \{ok\}$, $L1 - \{light\}$, $VB1 - \{pos\}$, $C1 - \{pos\}$
8	8	4, 8, 10, 11	$VSw2 - \{zero\}$, $VB2 - \{zero\}$, $V3 - \{zero\}$
9	4	4, 10, 11	$B2 - \{ok\}$, $L2 - \{dark\}$, $VB2 - \{zero\}$, $C2 - \{zero\}$
10	11	10, 11	$C2 - \{zero\}$, $C3 - \{pos\}$, $C1 - \{pos\}$
11	10	10	$CSw3 - \{pos\}$, $CB3 - \{zero\}$, $C3 - \{pos\}$

Итак, ответ: $L1 - \{light\}$, $L2 - \{dark\}$, $L3 - \{dark\}$. Если будут включены (*on*) все выключатели, притом что все лампы исправны (*ok*), то светиться будет только первая лампа.

Заключение

В работе рассмотрена возможность применения методов программирования в ограничениях для качественного моделирования технических систем. Представление ограничений в матричной форме, а именно в виде набора *C*-систем, позволяет “сжато” описывать множества кортежей, содержащихся в многоместных отношениях, с помощью которых часто выражаются ограничения (особенно в Prolog-системах). Помимо экономии памяти, использование предложенного подхода к обработке ограничений позволяет существенно ускорить традиционные алгоритмы-пропагаторы.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты № 14-07-00205-а «Информационная технология моделирования гибких недоопределенных динамических систем на основе логико-аналитических методов», № 14-07-00256-а «Алгебраический подход к параллельной обработке данных и знаний на основе алгебры кортежей»).

Библиографический список

- [Братко, 2004] Братко, И. Алгоритмы искусственного интеллекта на языке PROLOG. 3-е изд. / И. Братко // пер. с англ. — М.: Изд. дом «Вильямс», 2004. — 640 с.
- [Зуенко, 2013] Зуенко, А.А. Матрицеподобные вычисления в задачах удовлетворения ограничений / А.А. Зуенко // Шестая Всероссийская конференция по проблемам управления, 30 сентября – 5 октября 2013 г., г. Геленджик, с. Дивноморское: материалы конференции в 4 т. — Ростов-на-Дону: Изд-во Южного федерального университета, 2013. — Т.1. — С.30-34.
- [Зуенко, 2014] Зуенко, А.А. Вывод на ограничениях с применением матричного представления конечных предикатов / А.А. Зуенко // Искусственный интеллект и принятие решений, 2014. — Вып. 3. — С.21-31.
- [Зуенко и др., 2015] Зуенко, А.А. Эвристический метод удовлетворения ограничений на основе их матричного представления / А.А. Зуенко, А.А. Очинская // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем = Open Semantic Technologies for Intelligent Systems (OSTIS-2015): материалы Пятой междунар. научн.-техн. конф. (Минск, 19-21 февраля 2015 г.) — Минск: БГУИР, 2015. — С. 297-302.
- [Рассел и др., 2006] Рассел, С. Искусственный интеллект: современный подход. 2-е изд. / С. Рассел, П. Норвиг // пер. с англ.; ред. К.А. Птицына. — М.: Изд. дом «Вильямс», 2006. — 1408 с.
- [Bartak, 1999] Bartak R. Constraint Programming: In Pursuit of the Holy Grail // Proceedings of the Week of Doctoral Students (WDS99), Part IV. — Prague: MatFyzPress, 1999. P. 555–564.
- [Ruttkey, 1998] Ruttkey Zs. Constraint satisfaction a survey // CWI Quarterly. 1998. V. 11. P. 163–214.

QUALITATIVE MODELING OF TECHNICAL SYSTEMS BASED ON THE CONSTRAINT PROPAGATION METHODS

Zuenko A.A.

Institute for Informatics and Mathematical Modelling, Kola Science Centre of RAS, Apatity, Russia

zuenko@iimm.ru

The constraint propagation technique developed by the author is presented in the article. The technique is developed for tasks of qualitative modeling of technical systems. Despite of prototypes that use such structures as relational tables for constraints representation over finite domains, the proposed technique relies on using of original matrix-like structures allowing represent qualitative regularities between parameters of the model in compressed form and speed up their processing.

Introduction

Many tasks don't require accurate numeric data for its solution. Typical tasks where qualitative modeling is more preferable include such tasks as functional reasoning, diagnostics, structural synthesis.

For solution of tasks mentioned above the author developed constraint propagation techniques, based on matrix representation of constraints in the form of *C*-systems and *D*-systems. The tasks mentioned above are proposed to solve as constraint satisfaction problems. Despite of earlier publications of the author in the article *C*-systems are used to formalize constraints instead of *D*-systems. An original constraints propagation technique is developed for this case as well.

Main Part

The affirmations that allow realize equivalent transformations of constraint system are presented in the article. The purpose of the transformations is to reduce of constraint system to the form that contains less number of *C*-systems, rows of *C*-systems, columns (attributes) of *C*-systems, members of attribute domains and etc.

Simple electric circuit that contains of switchers, bulbs and power is chosen for illustration of the inference. A qualitative model of the electric circuit is constructed in the form of constraints system. A forecasting task is solved on the model as well.

The solving is presented in the special table. Domains of attributes are reduced on each step basing on the known domains of other attributes. As a result of such reduction the values of required parameters are inferred.

Conclusion

The matrix representation of constraints in the form of the set of *C*-systems allow compressively write a set of *n*-tuples of *n*-ary relations. Such relations are used for representation of constraints (as in Prolog-systems). Besides the space economy the suggested technique for constraints handling gives opportunity to significantly accelerate typical algorithms-propagators.

The authors would like to thank the Russian Foundation for Basic Research (grants 14-07-00205-a, 14-07-00256-a).