УДК 519.714

© 1998 г. Б. П. КУЗНЕЦОВ, канд. техн. наук,
А. А. ШАЛЫТО, канд. техн. наук
(НПО "АВРОРА", Санкт-Петербург)

МЕТОД НЕЗАВИСИМЫХ ФРАГМЕНТОВ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ЛИНЕАРИЗОВАННЫХ СТРУКТУРИРОВАННЫХ ГРАФ-СХЕМ АЛГОРИТМОВ, РЕАЛИЗУЮЩИХ СИСТЕМЫ БУЛЕВЫХ ФОРМУЛ

Предлагается эффективный по трудоемкости аналитический метод реализации систем булевых формул линеаризованными структурированными граф-схемами алгоритмов, число вершин в которых равно числу букв в операторах структур, по которым строятся эти граф-схемы. Это позволяет за счет упрощения оператора минимизировать изоморфную ему граф-схему, что до сих пор удавалось делать лишь при реализации одиночных булевых формул параллельно-последовательными контактными схемами. Излагается простой аналитический метод верификации таких граф-схем.

1. Введение

Известен [1, 2] формульный метод реализации булевых формул в базисе И, И… НЕ граф-схемами алгоритмов (в дальнейшем граф-схемами), в условных ве… нах которых осуществляется проверка значений одиночных входных переменны… ($j = 1, \ldots, n$), а в операторных вершинах – присваивание выходной перемен… значений 0 или 1. При использовании таких граф-схем не требуется операти… память для запоминания промежуточных результатов и они обеспечивают вы… быстродействие при вычислении булевых формул. Это, в частности, и опреде… применение граф-схем этого класса при трансляции булевых формул, наприм… таких языках программирования как СИ и Турбо Паскаль (вычисление по кор… схеме – частичное вычисление).

Указанный метод, однако, строит неструктурированные граф-схемы, что ог… чивает его использование, например, в программируемых логических контрол… различных типов (например, [3]), язык инструкций которых позволяет реализ… только структурированные граф-схемы. Более того эти граф-схемы должны … также и линеаризованными и поэтому при их построении допускается супер… ция только двух типов управляющих конструкций, являющихся блоками с о… входом и одним выходом – последовательное соединение (рис. 1) и неполный в… (рис. 2, 3).

Это приводит к необходимости дублирования вершин в неструктурирова… граф-схеме или даже структурированной граф-схеме, построенной с использова… управляющей конструкции "полный выбор" (рис. 4), с целью построения лине… зованной структурированной граф-схемы.

В [4] предложен метод структурирования граф-схемы, построенной формул… методом, за счет ее преобразования по всем путям в древовидную структурир… ную граф-схему. При этом показано, что число условных и операторных вер… такой граф-схеме равно суммарной длине всех путей в исходной граф-схеме. М… минимизации этого показателя и соответственно числа вершин в структурир… ных граф-схемах изложен в [5]. Получающиеся с помощью этих методов граф-с…

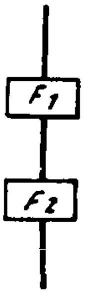

Рис. 1

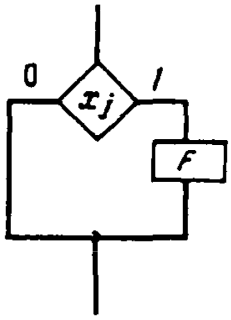

Рис. 2

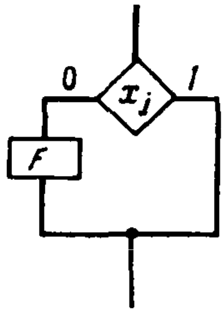

Рис. 3

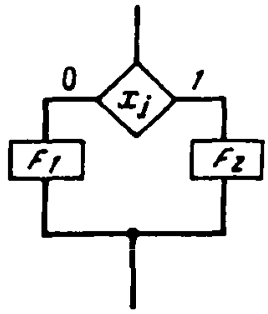

Рис. 4

обладают следующими недостатками – содержат большое число вершин (оценки приводятся в [4]); состоят из вложенных управляющих конструкций только одного типа – полный выбор.

Дальнейшее уменьшение числа вершин в структурированных граф-схемах обеспечивается за счет минимизации числа операторных вершин в них, что осуществляется "подъемом" некоторых из этих вершин вверх к началу граф-схемы. При этом отдельно подсчитывается число единичных и нулевых операторных вершин в структурированной граф-схеме. Из этой граф-схемы исключаются операторные вершины того типа, количество которых больше, и в начало граф-схемы вводится одна новая операторная вершина, тип которой совпадает с исключительными вершинами.

В оптимизированной таким образом структурированной граф-схеме используются все типы управляющих конструкций, рассмотренных выше, однако последовательное соединение блоков применяется здесь лишь в "зачаточном" состоянии.

При переходе от структурированной граф-схемы к линеаризованной граф-схеме этого типа принципиальное наличие в исходной структуре управляющих конструкций "полный выбор" приводит к необходимости ее преобразования за счет последовательного соединения блоков, каждый из которых соответствует одному "значащему" пути в заданной граф-схеме. (Путь, проходящий от начала граф-схемы к ее концу, называется значащим, если он проходит через операторную вершину, непосредственно подключенную к концу граф-схемы.) Указанное преобразование существенно увеличивает число вершин в граф-схеме.

При этом отметим, что построение линеаризованных граф-схем с неоднократной проверкой одних и тех же входных переменных в различных условных вершинах базируется на предположении о том, что за время прохождения граф-схемы от ее начала к концу, где выдаются значения выходных переменных, значения входных переменных не изменяются, что справедливо при реализации таких граф-схем в большинстве программируемых логических контроллерах, в которых опрос значений входных переменных в течение программного цикла выполняется однократно.

Из изложенного следует, что указанный подход к построению линеаризованных структурированных граф-схем является весьма трудоемким и недостаточно эффективным по сложности создаваемых граф-схем. Другим его существенным недостатком является то, что он не позволяет реализовывать системы булевых формул, используя их общие части, в случае, если они имеются.

Этого недостатка лишен весьма трудоемкий метод каскадов [6], базирующийся на разложениях Шеннона по отдельным переменным всех формул системы. При его использовании всегда может быть построена структурированная граф-схема. Преобразование ее в линеаризованную структурированную граф-схему, как и в предыдущем случае, осуществляется по "значащим" путям построенной граф-схемы. Кроме того, необходимо отметить, что порядок переменных, по которым выполняются разложения, определяет сложность получаемой граф-схемы. При этом оптимальный по этому критерию порядок может быть выбран только путем полного перебора.

Цель настоящей работы состоит в разработке малотрудоемкого аналитичес метода, позволяющего изоморфно переходить от оператора структуры, записыв мого по заданной системе булевых формул, к линеаризованной структурирован граф-схеме, число вершин в которой равно числу букв в операторе, и провод упрощение граф-схемы за счет минимизации оператора. При определенных усл ях метод позволяет строить по этому оператору структурированную граф-схе числом вершин меньшим, чем число букв в операторе.

2. Метод независимых фрагментов

Метод состоит из следующих этапов:

– каждая из N формул системы записывается в дизъюнктивной нормальной ме (ДНФ);

– каждая конъюнкция, входящая в i-ю формулу системы помечается симв выходной переменной Zi, где $i = 1, \ldots, N$;

– все выходные переменные $!Zi$ ($!$ – символ операции инверсии) и все помечен конъюнкции в ДНФ формул системы объединяются с помощью символов ¦ в опер структуры;

– в этом операторе минимизируется число букв за счет выноса влево за ск произвольной глубины одинаковых входных переменных Xj, входящих в ра конъюнкции, в случае, если такая возможность имеется;

– по минимизированному оператору структуры непосредственно и изомор строится линеаризованная структурированная граф-схема, используя следующи мены фрагментов этого оператора на управляющие конструкции в граф-схеме: ф мент $F1$ ¦ $F2$ заменяется на конструкцию (рис. 1); фрагмент XjF – на конструк (рис. 2); фрагмент $!XjF$ – на конструкцию (рис. 3);

– если в минимизированном сператоре структуры имеется фраг $!XjF1$¦$XjF2$, то с целью минимизации числа вершин вместо линеаризованной ст турированной граф-схемы может строиться структурированная граф-схема за замены этого фрагмента управляющей конструкцией (рис. 4). При этом в мин зированном операторе структуры указанный фрагмент должен быть взят в ква ные скобки, а символ ¦ заменен на символ $\vee$ – записан в виде $[!XjF1 \vee XjF2]$. делается для того, чтобы отличить фрагмент, реализованный с помощью конст ции (рис. 4), от исходного фрагмента, реализуемого последовательным соедине двух управляющих конструкций, представленных на рис. 3 и 2.

Предложенный метод строит по оператору структуры или минимизирован оператору структуры, состоящему из h букв, линеаризованную структурирова граф-схему, содержащую h вершин, или структурированную граф-схему, соде щую не более h вершин.

3. Использование инверсий булевых формул для минимизации граф-схем

Из изложенного в предыдущем разделе следует, что число букв в опера структуры определяется соотношением

$$h = N + \sum_{i=1}^{N}(hi + ki),$$

где hi и ki – число букв и конъюнкций в правой части ДНФ i-й формулы.

Из анализа этого соотношения следует, что минимизация величины h дл рехода к минимизированному оператору структуры для заданной системы бул формул ($N = \mathrm{const}$) может осуществляться за счет уменьшения величины (hi

в i-й формуле системы. Если эта величина уменьшается при переходе от ДНФ i-й формулы к ДНФ ее инверсии, то для сокращения числа букв в оператор структуры должны включаться члены, определяемые не ДНФ i-й формулой, а ДНФ ее инверсии.

Если эта величина при использовании инверсии не уменьшается, то в оператор структуры включаются члены, определяемые не ДНФ инверсии, а ДНФ самой формулы.

Для ДНФ i-й формулы, как и ранее, в оператор структуры вводятся переменная $!Zi$ и все конъюнкции, помеченные символом Zi, а для ДНФ ее инверсии в оператор структуры вводятся переменная Zi и все конъюнкции, помеченные символом $!Zi$. Таким образом и в том и в другом случае реализуется формула, эквивалентная Zi.

Минимизация оператора структуры и построение линеаризованной структурированной граф-схемы или структурированной граф-схемы по оператору структуры в этом случае выполняются так же, как это изложено в предыдущем разделе.

В заключение раздела отметим, что вопрос о построении для заданной системы булевых формул простейших по числу вершин граф-схем, рассматриваемых типов в общем случае остается открытым.

4. Верификация граф-схем

Верификация построенных с помощью предлагаемого метода граф-схем может выполняться двумя способами.

Первый из них является табличным и состоит:

– в построении по системе булевых формул первой таблицы истинности;

– заполнении второй таблицы истинности по результатам вычислений по граф-схеме;

– сравнении одноименных столбцов значений этих таблиц.

При совпадении этих столбцов можно утверждать, что граф-схема реализует заданную систему булевых формул. Этот подход целесообразно применять при сравнительно небольшом числе входных переменных.

В качестве второго способа верификации ниже излагается аналитический метод восстановления системы булевых формул непосредственно по построенной структурированной граф-схеме. При совпадении этой системы с исходной можно утверждать, что структурированная граф-схема реализована корректно. Этот метод может применяться в том числе и для задач большой размерности.

Наличие последовательного соединения блоков не позволяет использовать в данном случае метод восстановления булевой формулы по граф-схеме, изложенный в [2], рассматривая последнюю от конца к началу и применяя для каждой условной вершины разложение Шеннона по одной переменной.

В данном случае это разложение, выполняемое в том числе и по нескольким входным переменным одновременно, используется для каждого последовательно соединенного блока, содержащего условные вершины, причем в каждой паре таких блоков первоначально выполняется анализ поведения блока, расположенного ближе к началу граф-схемы.

В заключение раздела отметим, что решение задачи верификации позволяет решить также задачу о функциональной эквивалентности различных граф-схем для задач рассматриваемого класса и, в том числе, задачу о корректности преобразований этих схем.

5. Примеры

Пример 1. Построить граф-схемы для булевой формулы $z = (x1 \vee x2)(x3 \vee x4)$ с помощью подходов, рассмотренных в настоящей работе.

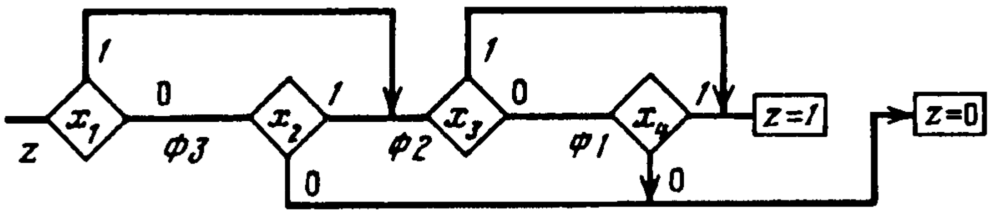

Рис. 5

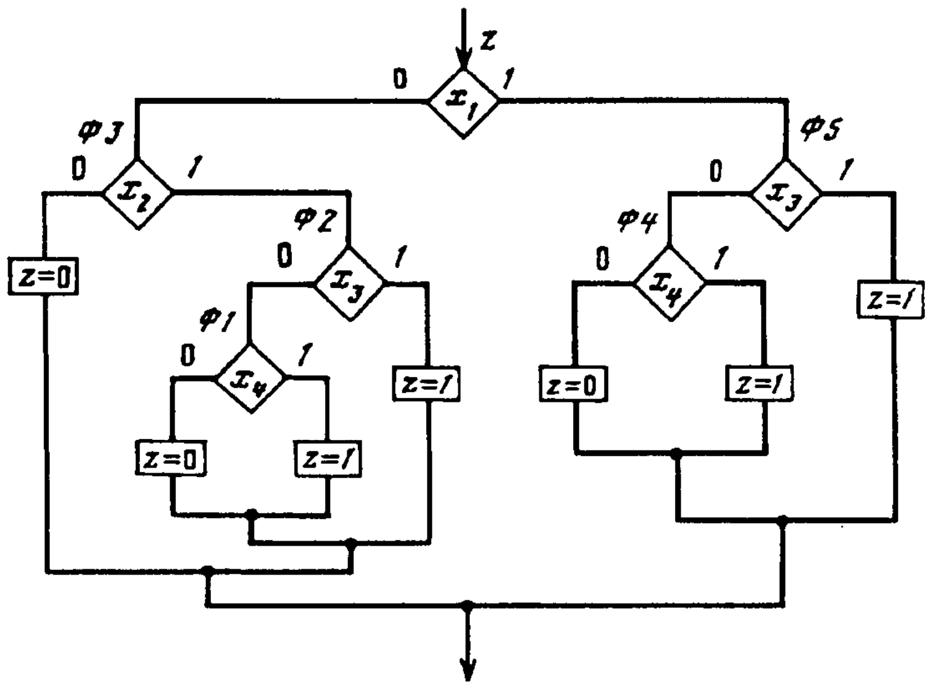

Рис. 6

На рис. 5 приведена неструктурированная граф-схема с шестью вершинами, строенная формульным методом.

Преобразуя эту граф-схему по всем путям в дерево, получим структурирован граф-схему с 12 вершинами (рис. 6).

Исключая в этой граф-схеме единичные операторные вершины и вводя нача ную операторную вершину с той же пометкой, получим новую структурирован граф-схему с девятью вершинами (рис. 7).

Выделим в этой граф-схеме "значащие" (в данном случае нулевые) пути, с мируем для каждого такого пути блок с одним входом и одним выходом и соеди эти блоки последовательно. В результате получим линеаризованную структури ванную граф-схему с 13 вершинами (рис. 8).

Переходя к использованию предлагаемого метода, построим ДНФ заданной ф мулы:

$$z = x1x3 \vee x1x4 \vee x2x3 \vee x2x4.$$

Оператор структуры в данном случае имеет вид:

$$!z \mid x1x3z \mid x1x4z \mid x2x3z \mid x2x4z.$$

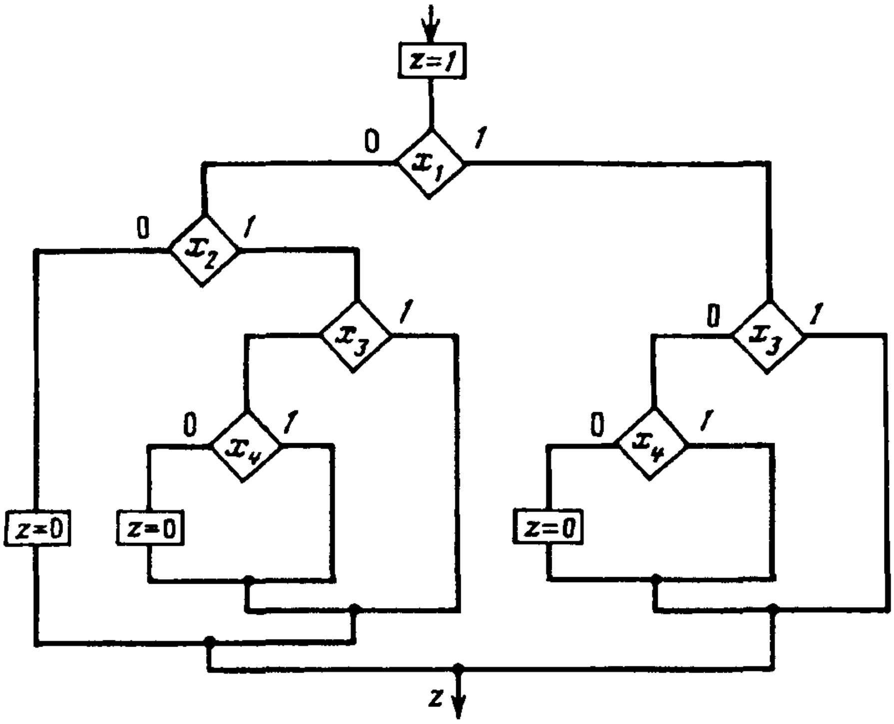

Рис. 7

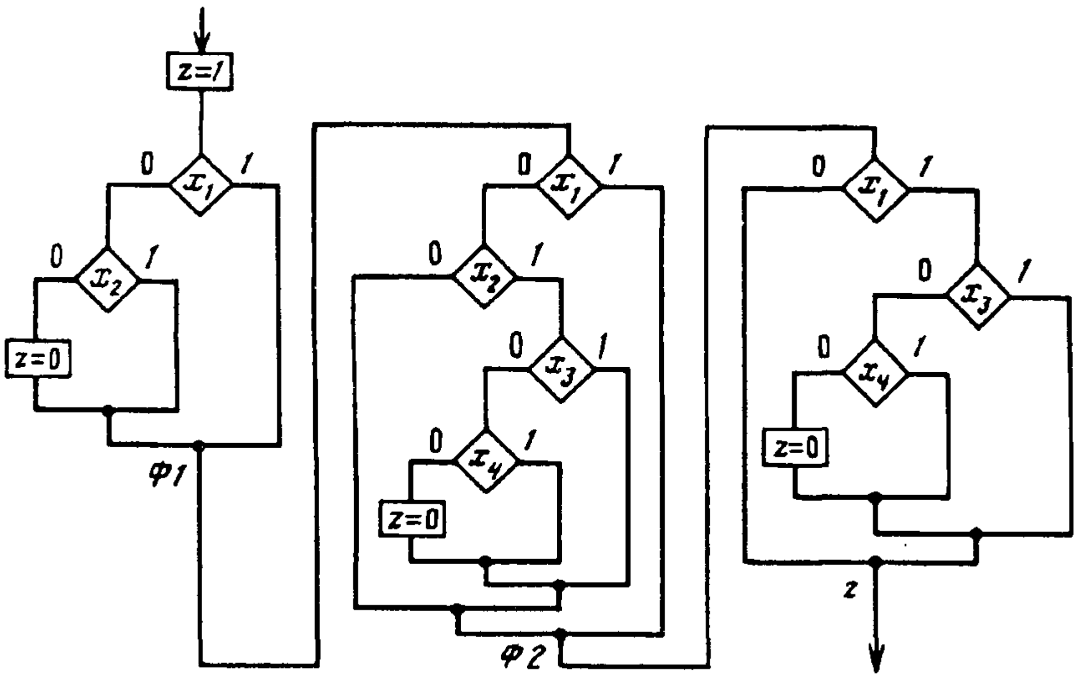

Рис. 8

Реализуя непосредственно этот оператор, содержащий 13 букв, можно построить линеаризованную структурированную граф-схему с 13 вершинами.

Минимизируя оператор структуры за счет выноса влево за скобки одинаковых входных переменных, получим оператор, содержащий 11 букв:

$$!z \mid x1(x3z \mid x4z) \mid x2(x3z \mid x4z).$$

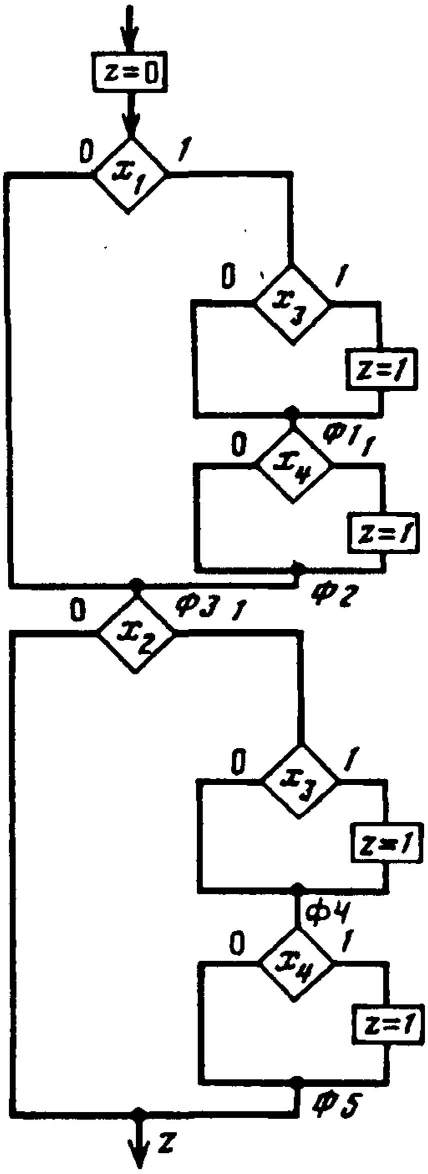

Рис. 9

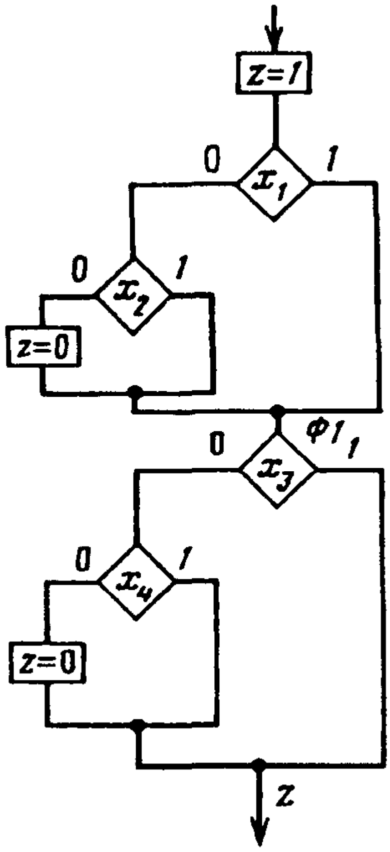

Рис. 10

Выполняя замену фрагментов этого оператора блоками (рис. 1, 2), получим л-неаризованную структурированную граф-схему с 11 вершинами (рис. 9).

Используем предлагаемый метод для инверсии формулы $!z = !((x1 \vee x2)(x3 \vee x4)) = !x1!x2 \vee !x3!x4$. При этом оператор структуры из семи букв имеет вид:

$$z \,\vdots\, !x1!x2!z \,\vdots\, !x3!x4!z$$

и не может быть проминимизирован в рамках излагаемого метода.

Выполняя замену фрагментов этого оператора блоками (рис. 1, 3), получим л-неаризованную структурированную граф-схему с 7 вершинами (рис. 10).

Таким образом предлагаемый метод позволил, весьма просто построить лине-ризованную структурированную граф-схему, которая содержит всего лишь на о-ну вершину больше по сравнению с линеаризованной неструктурированной гра-схемой (рис. 5), минимальной по числу вершин в классе бинарных граф-схем [2].

Выполним верификацию построенных граф-схем, первые две из которых ана-зируются от конца к началу, а остальные в обратном порядке.

Для граф-схемы (рис. 5):

$$\Phi1 = !x4\&0 \vee x4\&1 = x4;$$

$$\Phi 2 = !x3\&\Phi 1 \lor x3\&1 = x3 \lor x4;$$
$$\Phi 3 = !x2\&0 \lor x2\&\Phi 2 = x2(x3 \lor x4);$$
$$z = !x1\&\Phi 3 \lor x1\&\Phi 2 = (x1 \lor x2)(x3 \lor x4).$$

При этом отметим, что в данном случае восстановление формулы осуществляется по ее фрагментам, а не по подформулам [5].

Для структурированной граф-схемы (рис. 6):

$$\Phi 1 = !x4\&0 \lor x4\&1 = x4;$$
$$\Phi 2 = !x3\&\Phi 1 \lor x3\&1 = x3 \lor x4;$$
$$\Phi 3 = !x2\&0 \lor x2\&\Phi 2 = x2(x3 \lor x4);$$
$$\Phi 4 = !x4\&0 \lor x4\&1 = x4;$$
$$\Phi 5 = !x3\&\Phi 4 \lor x3\&1 = x3 \lor x4;$$
$$z = !x1\&\Phi 3 \lor x1\&\Phi 5 = (x1 \lor x2)(x3 \lor x4).$$

Для структурированной граф-схемы (рис. 7):

$$z = !x1\&!x2\&0 \lor !x1\&x2\&!x3\&!x4\&0 \lor !x1\&x2\&!x3\&x4\&1 \lor$$
$$\lor !x1\&x2\&x3\&1 \lor x1\&!x3\&!x4\&0 \lor x1\&!x3\&x4\&1 \lor x1\&x3\&1 =$$
$$= !x1x2!x3x4 \lor !x1x2x3 \lor x1!x3x4 \lor x1x3 = (x1 \lor x2)(x3 \lor x4).$$

Для линеаризованной структурированной граф-схемы (рис. 8):

$$\Phi 1 = !x1\&!x2\&0 \lor !x1\&x2\&1 \lor x1\&1 = x1 \lor x2;$$
$$\Phi 2 = !x1\&!x2\&\Phi 1 \lor !x1\&x2\&!x3\&!x4\&0 \lor !x1\&x2\&!x3\&x4\&\Phi 1 \lor$$
$$\lor !x1\&x2\&x3\&\Phi 1 \lor x1\&\Phi 1 = x1 \lor x2(x3 \lor x4);$$
$$z = !x1\&\Phi 2 \lor x1\&!x3\&!x4\&0 \lor x1\&!x3\&x4\&\Phi 2 \lor x1\&x3\&\Phi 2 =$$
$$= (x1 \lor x2)(x3 \lor x4).$$

Для линеаризованной структурированной граф-схемы (рис. 9):

$$\Phi 1 = !x3\&0 \lor x3\&1 = x3;$$
$$\Phi 2 = !x4\&\Phi 1 \lor x4\&1 = x3 \lor x4;$$
$$\Phi 3 = !x1\&0 \lor x1\&\Phi 2 = x1(x3 \lor x4);$$
$$\Phi 4 = !x3\&\Phi 3 \lor x3\&1 = x1x4 \lor x3;$$
$$\Phi 5 = !x4\&\Phi 4 \lor x4\&1 = x3 \lor x4;$$
$$z = !x2\&\Phi 3 \lor x2\&\Phi 5 = (x1 \lor x2)(x3 \lor x4).$$

Для линеаризованной структурированной граф-схемы (рис. 10):

$$\Phi 1 = !x1\&!x2\&0 \lor !x1\&x2\&1 \lor x1\&1 = x1 \lor x2;$$
$$z = !x3\&!x4\&0 \lor !x3\&x4\&\Phi 1 \lor x3\&\Phi 1 = (x1 \lor x2)(x3 \lor x4).$$

Из изложенного следует, что все приведенные граф-схемы функционально эквивалентны и корректно реализуют заданную булеву формулу.

Пример 2. Построить линеаризованную структурированную граф-схему для системы булевых формул $z1 = x1 \lor x2 \lor x3$; $z2 = x1x3$.

Используя метод каскадов, получим следующие соотношения:

$$z1 = !x1\&!x2\&!x3\&0 \lor !x1\&!x2\&x3\&1 \lor !x1\&x2\&1 \lor x1\&1;$$
$$z2 = !x1\&0 \lor x1\&!x3\&0 \lor x1\&x3\&1.$$

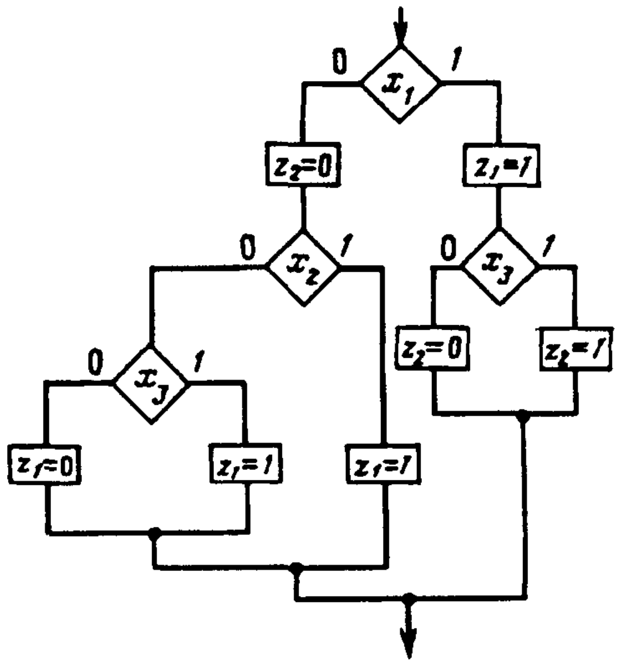

Рис. 11

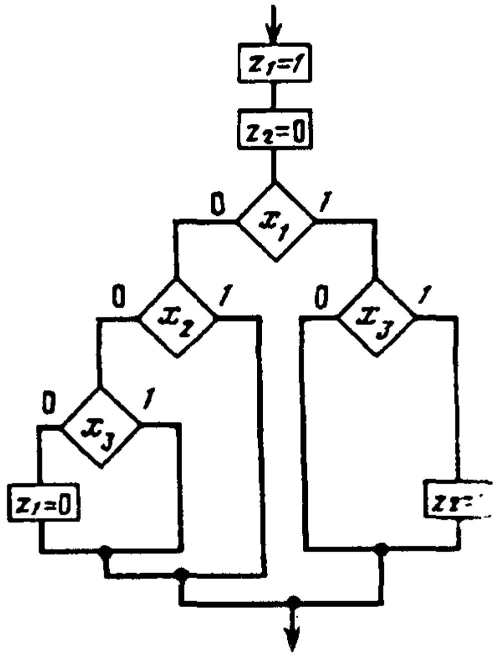

Рис. 12

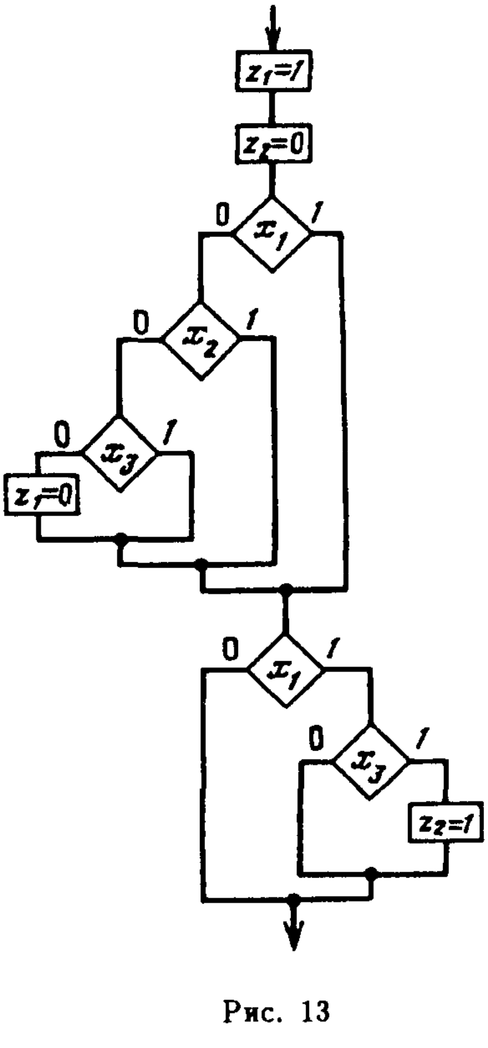

Рис. 13

По этим соотношениям строится структурированная граф-схема с 11 вершинами (рис. 11).

За счет выноса некоторых операторных вершин вверх может быть построена структурированная граф-схема с 8 вершинами (рис. 12).

Линеаризуя эту граф-схему по "значащим" путям, получим линеаризованную структурированную граф-схему с 9 вершинами (рис. 13).

Используя предлагаемый метод для "прямых" формул, построим оператор структуры, содержащий 11 букв:

$$!z1 \mathrel{¦} !z2 \mathrel{¦} x1z1 \mathrel{¦} x2z1 \mathrel{¦} x3z1 \mathrel{¦} x1x3z2.$$

Непосредственно по этому оператору может быть построена линеаризованная структурированная граф-схема с 11 вершинами.

Минимизация оператора структуры выносом входной переменной $x3$ за скобки влево позволяет сократить только одну букву:

$$!z1 \mathrel{¦} !z2 \mathrel{¦} x1z1 \mathrel{¦} x2z1 \mathrel{¦} x3\,(z1 \mathrel{¦} x1z2),$$

что обеспечивает построение линеаризованной структурированной граф-схемы с 10 вершинами.

Обращая внимание на тот факт, что для первой формулы системы величина $h1 + k1$ минимальна для ДНФ инверсии, а для второй формулы величина $h2 + k2$ минимальна для ДНФ формулы, построим оператор структуры в результате объединения оператора структуры, построенного по ДНФ инверсии первой формулы, и оператора структуры, построенного по ДНФ второй формулы:

$$z1 \mathrel{¦} !z2 \mathrel{¦} !x1!x2!x3!z1 \mathrel{¦} x1x3z2.$$

Этому оператору, содержащему 9 букв, соответствует линеаризованная структурированная граф-схема с 9 вершинами (рис. 13), а оператору

$$z1 \mathrel{¦} !z2 \mathrel{¦} [!x1!x2!x3!z1 \vee x1x3z2]$$

– структурированная граф-схема с 8 вершинами (рис. 12). Полученные граф-схемы совпадают с построенными выше на базе метода каскадов.

Таким образом в отличие от предыдущего примера предлагаемый метод не позволяет упростить реализацию граф-схем, построенных известными методами, но позволяет получить эти граф-схемы существенно менее трудоемко.

Пример 3. Построить линеаризованную структурированную граф-схему для системы булевых формул $z1 = x1x2 \vee x3$; $z2 = (!x1 \vee x2)x3$.

Используем первоначально метод каскадов:

$$z1 = !x1\&!x3\&0 \vee !x1\&x3\&1 \vee x1\&!x2\&!x3\&0 \vee x1\&!x2\&x3\&1 \vee x1\&x2\&1;$$
$$z2 = !x1\&!x3\&0 \vee !x1\&x3\&1 \vee x1\&!x2\&0 \vee x1\&x2\&!x3\&0 \vee x1\&x2\&x3\&1.$$

Исходя из этих соотношений, может быть построена структурированная граф-схема с 15 вершинами. Выполняя оптимизацию этой граф-схемы за счет подъема вверх операторных вершин $z1 = 1$ и $z2 = 0$, можно получить структурированную граф-схему с 11 вершинами. Верификацию этой граф-схемы целесообразно производить восстановлением таблицы истинности, так как число входных переменных в данном случае невелико. По минимизированной структурированной граф-схеме, содержащей четыре "значащих" пути, может быть построена линеаризованная структурированная граф-схема, содержащая четыре соединенных последовательно блока, общее число вершин в которой равно 16. Таким образом после весьма трудоемких преобразований, базируясь на методе каскадов, может быть построена граф-схема рассматриваемого класса со сравнительно большим числом вершин.

Линеаризованную структурированную граф-схему с 13 вершинами можно построить предлагаемым методом, если ее реализовать непосредственно по оператору структуры, содержашему 13 букв:

$$!z1 \mathrel{¦} !z2 \mathrel{¦} x1x2z1 \mathrel{¦} x3z1 \mathrel{¦} !x1x3z2 \mathrel{¦} x2x3z2.$$

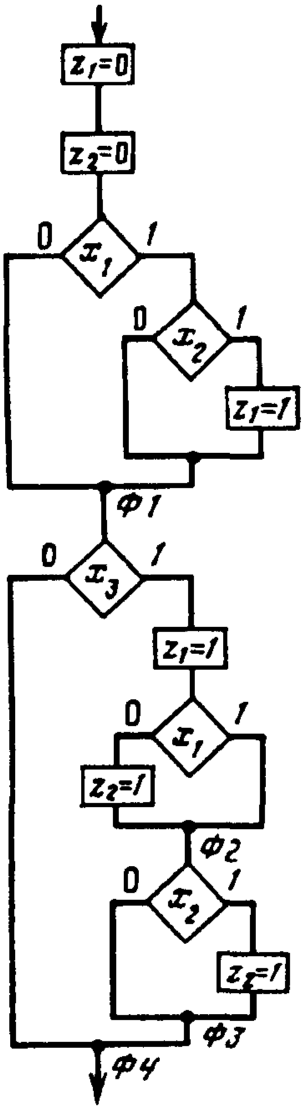

Рис. 14

Если построение выполнить по минимизированному оператору структуры, держащему 12 букв:

$$!z1 \mid !z2 \mid !x1x3z2 \mid x1x2z1 \mid x3(z1 \mid x2z2),$$

то можно получить линеаризованную структурированную граф-схему с 12 вер нами.

Если построение выполнить по другому минимизированному оператору стр туры, также содержащему 12 букв:

$$!z1 \mid !z2 \mid [!x1x3z2 \vee x1x2z1] \mid x3\,(z1 \mid x2z2),$$

то получим структурированную граф-схему с 11 вершинами.

Линеаризованные структурированные граф-схемы с 11 вершинами в данном чае можно построить по двум различным минимизированным операторам стру ры, содержащим по 11 букв:

$$!z1 \mid !z2 \mid x2\,(x1z1 \mid x3z2) \mid x3\,(z1 \mid !x1z2);$$

$$!z1 \mid !z2 \mid x1x2z1 \mid x3\,(z1 \mid !x1z2 \mid x2z2).$$

Граф-схема, построенная по второму оператору, приведена на рис. 14.

Выполним верификацию этой граф-схемы, используя аналитический метод:

$$\Phi 1: \begin{cases} \Phi 11 = !x1\&0 \vee x1\&!x2\&0 \vee x1\&x2\&1 = x1x2; \\ \Phi 21 = !x1\&0 \vee x1\&!x2\&0 \vee x1\&x2\&0 = 0; \end{cases}$$

$$\Phi 2: \begin{cases} \Phi 12 = !x1\&1 \vee x1\&1 = 1; \\ \Phi 22 = !x1\&1 \vee x1\&\Phi 21 = !x1; \end{cases}$$

$$\Phi 3: \begin{cases} \Phi 13 = !x2\&\Phi 12 \vee x2\&\Phi 12 = 1; \\ \Phi 23 = !x2\&\Phi 22 \vee x2\&1 = !x1 \vee x2; \end{cases}$$

$$\Phi 4: \begin{cases} z1 = !x3\&\Phi 11 \vee x3\&\Phi 13 = x1x2 \vee x3; \\ z2 = !x3\&\Phi 21 \vee x3\&\Phi 23 = (!x1 \vee x2)x3. \end{cases}$$

6. Заключение

Изложенный метод в некотором смысле аналогичен широко используемому на практике методу построения параллельно-последовательной схемы по булевой формуле в базисе И, ИЛИ, НЕ, при использовании которого минимизируя заданную формулу, удается минимизировать изоморфную ей схему. При этом по булевой формуле из h букв может быть построена схема из h контактов и наоборот. Таким образом в этом случае булева формула описывает не только функционирование, но и структуру схемы. Отметим, что для мостиковой контактной схемы булева формула описывает ее функционирование, но не описывает ее структуру.

Принципиальные отличия этих методов состоят в том, что, во-первых, оператор структуры, изоморфно описывая структуру граф-схемы, не описывает ее функционирование, во-вторых, предлагаемый метод, в отличие от сравниваемого, применим непосредственно не только к одной формуле, но и к системе формул, а в-третьих, при использовании оператора структуры выделение общих частей различных формул в системе (факторизация [7]) не требует введения дополнительных (промежуточных) переменных.

Из изложенного следует, что предлагаемый метод является эффективным по трудоемкости аналитическим средством для реализации систем булевых формул линеаризованными структурированными бинарными графами, число вершин в которых равно числу букв в операторах структуры, по которым строятся эти графы. Это позволяет за счет упрощения оператора структуры минимизировать изоморфную граф-схему, что до сих пор удавалось делать лишь при реализации одиночной булевой формулы параллельно-последовательной контактной схемой. При определенных условиях метод позволяет строить также структурированную граф-схему с числом вершин меньшим числа букв в операторе структуры, по которому граф-схема построена.

В дополнение к изложенному методу синтеза структурированных граф-схем в настоящей работе предложен также и достаточно простой аналитический метод их верификации.

Подход назван [11] методом независимых фрагментов, так как для граф-схемы, построенной этим методом, результаты вычислений по ней не зависят от порядка расположения блоков, соединенных последовательно, что отличает этот метод от многих других процедурных подходов, известных в программировании [8–10].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Кузнецов О. П.* О программной реализации логических функций и автоматов // АиТ. 1977. № 7. С. 118–127. № 9. С. 136–144.

2. *Кузнецов Б. П., Шалыто А. А.* Реализация булевых формул линейными бинарны графами. 1. Синтез и анализ // Изв. РАН. Техн. кибернетика. 1994. № 5 С. 132–142.
3. Autolog 32. Руководство пользователя. FF – Electroniika Fredriksson Ky.
4. *Кузнецов Б. П., Шалыто А. А.* Структурный подход к программной реализаци булевых формул // Автоматика и вычислительиая техника. 1985. № 5. С. 84–8
5. *Артюхов В. Л., Кузнецов Б. П., Шалыто А. А.* Настраиваемые логические устро ства для судовых управляющих систем. Л.: Ин-т повышения квалификации ру водящих работников и специалистов судостроительной промышленности, 1986.
6. *Поваров Г. Н.* О логическом ситезе электронных вычислительных и управляющ схем // Логические исследования. М.: Изд-во АН СССР. 1959. С. 39–52.
7. *Баранов С. И.* Синтез микропрограммных автоматов (граф-схемы и автоматы Л.: Энергия, 1979.
8. *Ершов А. П.* Введение в теоретическое программирование. М.: Наука, 1977.
9. *Ивани А., Смелянский Р. Л.* Элементы теоретического программирования. М Изд-во ГУ, 1985.
10. *Лингер Р., Миллс Х., Уитт С.* Теория и практика структурного программиро ния. М.: Мир, 1982.
11. *Кузнецов Б. П.* Структурирование бинарных программ // Вопросы судостроен Сер. Судовая автоматика. 1983. № 29. С. 27–35.

Поступила в редакцию 30.01.95

Российская академия наук

Автоматика и телемеханика

Журнал основан в 1936 году
Выходит 12 раз в год

9
СЕНТЯБРЬ
1998

·Наука·Москва

НАУЧНО
ТЕХНИЧЕСКАЯ
БИБЛИОТЕКА
ЦНИИ. ЯВРОР.