

ОПТИМИЗАЦИЯ МИКРОПРОГРАММНЫХ УСТРОЙСТВ УПРАВЛЕНИЯ ПРИ ВЕРТИКАЛИЗАЦИИ ГРАФ-СХЕМ АЛГОРИТМОВ

Струнилин В.Н.

Кафедра ЭВМ ДонГТУ
vstrun@cs.dgtu.donetsk.ua

Abstract

Strunilin V.N. The optimization of microprogram control units with vertical graph-schemes of algorithms. The method of optimization of the microprogram control unit based on vertical of graph - schemes of algorithm is offered. Thus the compatibility of all microoperations is achieved and the task of optimum coding of an operational part of the microcommand becomes simpler. The analytical evaluations of an offered method and method of coding of fields of compatible microoperations are reduced, the area of effective application of the offered method is defined.

В современных цифровых управляющих системах широко используются микропрограммные устройства управления (МУУ) на БИС с матричной структурой. Стоимость МУУ в значительной степени определяется стоимостью постоянных запоминающих устройств (ПЗУ), хранящих микропрограммы, и стоимостью матричных БИС (ПЛИМ, ПЛИС) в логической схеме. В работе [1] предлагается метод оптимизации ПЗУ, основанный на преобразовании исходной ГСА, при котором выполняется условие

$$C_{\max} = Y, \quad (1)$$

где C_{\max} - максимальный класс совместимости микроопераций.

В практике микропрограммирования принято называть "вертикальной" микропрограмму, каждая микрокоманда (МК) которой содержит не больше одной микрооперации (МО). По аналогии будем называть вертикальной ГСА Г (ВГСА) граф-схему алгоритма Г, в которой для каждой вершины $b_q \in D$ выполняется условие:

$$|Y(b_q)| < 1, \quad (2)$$

где $Y(b_q)$ - микрокоманда, записанная в вершине b_q , $|A|$ - число элементов в множестве A. Знак " $<$ " означает, что в ГСА могут быть операторные вершины с микрокомандами $Y_0 = 0$.

Микрооперации $y_n, y_m \in Y$ называются совместимыми, если $Y(y_n) \cap Y(y_m) = \emptyset$, где $Y(y_i) = \{Y_i | y_i \in Y_i\}$ ($i=n, \dots, m$). Максимальным классом совместимости C_{\max} называется максимальное по мощности множество попарно совместимых МО.

Очевидно, в ВГСА все МО являются совместимыми, то есть справедливо (1) и, поэтому, существует единственный вариант решения задачи оптимизации ПЗУ методом U, который и является оптимальным. При этом все МО $y_n \in Y$ объединяются в формате МК в одно поле разрядности $R \geq \text{int} [\log_2 (N+1)]$. Параметр R определяет разрядность операционной части управляющих слов, хранящихся в ПЗУ.

"Расщепив" вершины $b_q \in D$ на $n_q = |Y(b_q)|$ вершин $b_q^1, \dots, b_q^{n_q}$, для которых справедливо (2), произвольную ГСА Г можно преобразовать в ВГСА $V(\Gamma)$. При этом должно выполняться условие:

$$\bigcup_{i=1}^{n_q} Y(b_q^i) = Y(b_q) \quad (b_q \in D); \quad |Y(b_q^i)| = 1 \quad (i=1, n_q); \quad (3)$$

$$Y(b_q^i) \cap Y(b_q^j) = 0 \quad (i \neq j; i, j \in \{1, \dots, n_q\}).$$

Процесс преобразования $\Gamma \rightarrow V(\Gamma)$ будем называть вертикализацией ГСА Γ . Вертикализация ГСА Γ сводится к последовательному преобразованию операторных вершин $b_q \in D$, удовлетворяющему (3). При этом необходимо для всех вершин $b_q \in D$ выполнить следующую процедуру:

- 1) если $|Y(b_q)| < I$, то перейти к п. 7;
- 2) исключить из E дуги (b_i, b_q) и включить дуги (b_i, b_q^1) ;
- 3) включить в E дуги (b_q^i, b_q^{i+1}) , где $i=1, \dots, n_q-1$;
- 4) исключить из E дугу (b_i, b_q) и включить дугу $(b_q^{n_q}, b_n)$;
- 5) исключить из D вершину b_q и включить вершины b_q^i ($i=1, \dots, n_q$);
- 6) распределить МО $y_n \in Y(b_q)$ по вершинам b_q^i ($i=1, \dots, n_q$) согласно (3);

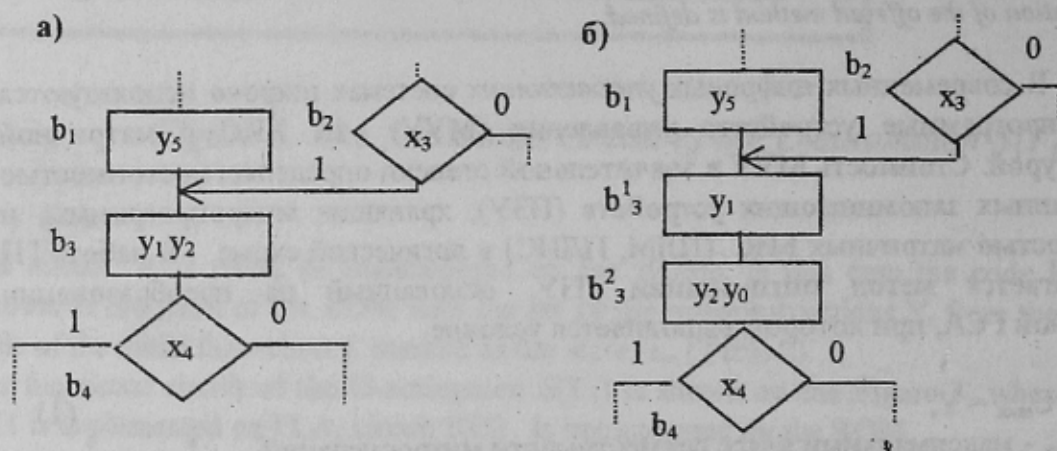


Рис. 1 - Фрагмент ГСА Γ до (а) и после (б) вертикализации

7) преобразование вершины b_q закончено.

Например, после применения этой процедуры к вершине b_2 ГСА Γ_1 (рис.1, а) получен фрагмент ВГСА $V(\Gamma_1)$ (рис.1, б). Отметим, что в вершину b_3^2 добавлен сигнал y_0 , назначение которого рассматривается несколько позже.

Предложенный метод имеет существенный недостаток - время t_1 выполнения алгоритма, представленного ГСА Γ , как правило, меньше, чем время t_2 выполнения алгоритма, представленного ГСА $V(\Gamma)$. Для уменьшения этого недостатка предлагается структура операционного устройства (рис.2), функционирующего следующим образом. Пусть по вырабатываемому генератором ГИ сигналу $СИ_1$ МУУ переходит в состояние, соответствующее вершине b_q^1 ВГСА. При этом в регистр микрокоманд (РМК) заносится МО $Y(b_q^1)$. По следующему сигналу $СИ_2$ в РМК заносится МО $Y(b_q^2)$ и т. д. При переходе МУУ в состояние, соответствующее вершине b_q^n одновременно с МО $Y(b_q^n)$ формируется сигнал y_0 . Этот сигнал запускает одновибратор (ОВ), вырабатывающий сигнал $СИ_2$, инициирующий выполнение операционным автоматом (ОА) МК и запрещает поступление импульсов $СИ_1$ на синхровход МУУ. После выполнения операционным автоматом МК $Y(b_q)$ обнуляется РМК и под действием $СИ_1$ МУУ переходит в следующее состояние. Схема функционирует аналогичным образом до перехода МУУ в состояние, соответствующее конечной вершине $V(\Gamma)$.

ГСА Γ содержит в среднем k МО, то при использовании ВГСА $V(\Gamma)$ на каждый цикл ОА в схеме (рис.2) приходится k циклов МУУ. Тогда параметры t_1 и t_2 определяются следующим образом:

$$t_1 = n(t_3 + t_4);$$

$$t_2 = n(t_3 + k t_4).$$

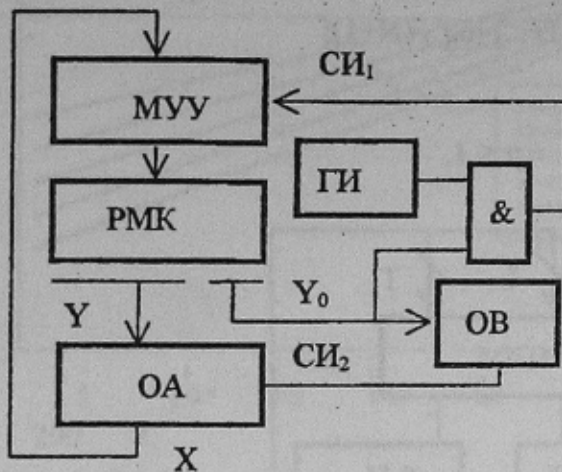


Рис. 2 - Структура операционного устройства

Как правило, $t_3 > t_4$, пусть $t_3 = m t_4$. Определим отношение времени t_1 к времени t_2 :

$$\eta = \frac{t_1}{t_2} = \frac{n(mt_4 + t_4)}{n(mt_4 + kt_4)} = \frac{m+1}{m+k} \quad (4)$$

Для ВГСА предлагается структура композиционного микропрограммного устройства управления (КМУУ) U2 [2] (рис.3), которая представляет собой композицию автоматов S_1 с "жесткой" логикой, реализованного на ПЛИМ и регистре памяти (РП), и S_2 с программируемой логикой, реализованного на двух блоках ПЗУ, счетчике-регистре адреса МК (РАМК-СТ), счетчике адреса МО (СЧАМО) и регистре МК (РМК). В ПЗУ₁ хранятся адреса первых МО y_n МК $Y_i(b_q^1)$. В ПЗУ₂ - МО y_n .

КМУУ U2 функционирует следующим образом. Пусть автомат S_1 перешел в состояние, соответствующее вершине b_q ВГСА. При этом в РАМК-СТ заносится адрес МК $Y(b_q)$. Из ПЗУ₁ по данному адресу выбирается в СЧАМО адрес первой МО $y_n \in Y_i(b_q^1)$. Выбранная из ПЗУ₁ МО y_n записывается в РМК. СЧАМО увеличивается на единицу, адресуя следующую МО МК $Y(b_q^2)$. При переходе КМУУ в состояние, соответствующее вершине b_q^{nq} , одновременно с МО $Y(b_q^{nq})$ формируется сигнал y_0 , который запрещает увеличение СЧАМО и к РАМК-СТ прибавляет единицу, адресуя следующую МК. Если в РАМК-СТ содержится адрес выхода ОЛЦ, то вырабатывается сигнал y_1 , по которому автомат S_1 переходит в следующее состояние. Процесс продолжается аналогично до перехода КМУУ в конечное состояние.

Оценим целесообразность применения метода вертикализации по сравнению с методом кодирования полей совместимых МО, используемым в U1 при интерпретации ВГСА. Емкость ПЗУ U1 равна [1]:

$$Q_1^2 = k |D| \log_2(N+1) [$$

где k - среднее количество МО в МК;

$|D|$ - количество операторных вершин,

N - количество МО.

ПЗУ₁ для U2 содержит $|D|$ слов разрядности $\log_2 T$ [, а ПЗУ₂ - Tk слов разрядности $\log(N+2)$ [. Следовательно:

$$Q_2^2 = |D| \log_2 T; \quad Q_2^{2''} = Tk \log(N+2)[$$

где T - количество МК.

Очевидно, предложенная структура КМУУ U2 эффективнее U1, если

$$\beta = \frac{Q_2^2}{Q_2^1} = \frac{|D| \log_2 T [+ k T] \log_2 (N+2)}{k |D| \log_2 (N+1)} < 1.$$

$$\beta = \frac{\log T_2}{k \log_2 (N+1)} + p < 1,$$

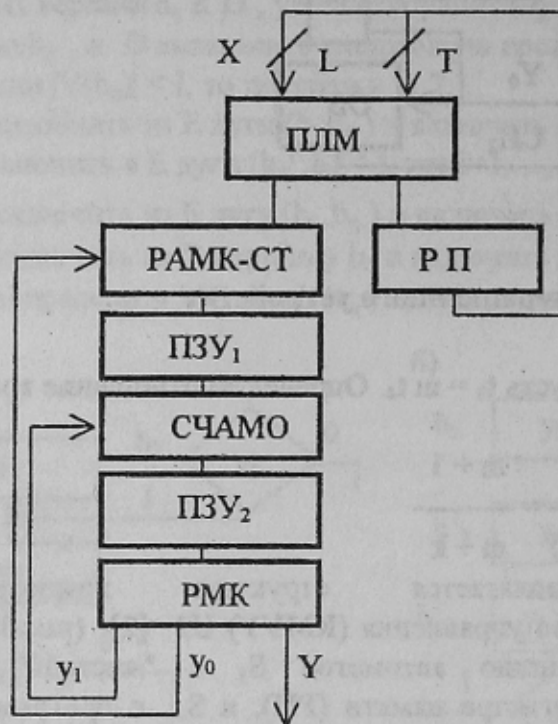


Рис. 3 - Структура КМУУ U2 ВГСА

где $p = T / |D|$.

Параметры k и p , представляют собой признаки ГСА, выделенные методом экспертных оценок. Выборочный метод исследования (объем выборки 60 ГСА) позволяет принять гипотезы о нормальном законе распределения этих признаков на 5% уровне значимости [3]. По критерию Пирсона [4] интервальные оценки математических ожиданий и оценки стандартных ошибок на 5% уровне значимости равны:

$2.87 < B_1 < 3.89 = k$ - среднее число микроопераций в одной МК.

$1.09 < B_2 < 1.13 = p$ - отношение числа операторных вершин к числу микрокоманд; $S_{B_1} = 2.01$; $S_{B_2} = 0.15$.

Значения β приведены на рис. 4, из которого следует, что эффективность предложенного метода тем выше, чем больше МО содержит ГСА (чем больше N), чем больше МО содержится в среднем в МК ГСА (чем больше K) и чем больше отношение числа операторных вершин к числу микрокоманд. Исследования, проведенные над ГСА реальной сложности, показали, что в среднем $\beta = 0.48$.

Отношение времени интерпретации ГСА к времени интерпретации вертикальных ГСА $\eta(m)$ приведена на рис. 5.

Из графика зависимости $\eta(m)$ следует, что чем больше быстродействие МУУ по отношению к быстродействию ОА (чем больше m) и чем меньше МО в среднем содержит каждая МК ГСА Γ (чем меньше k), тем меньше увеличение времени выполнения алгоритма за счет вертикализации ГСА.

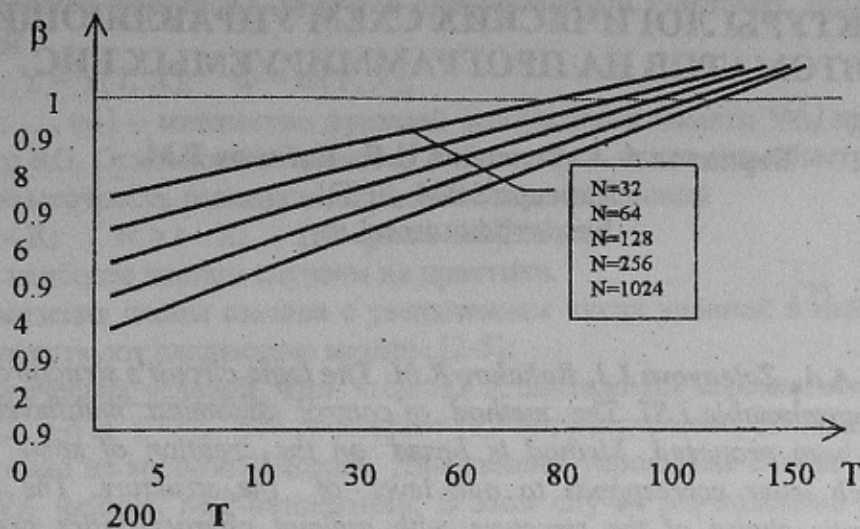


Рис. 4 - Эффективность метода вертикализации ГСА

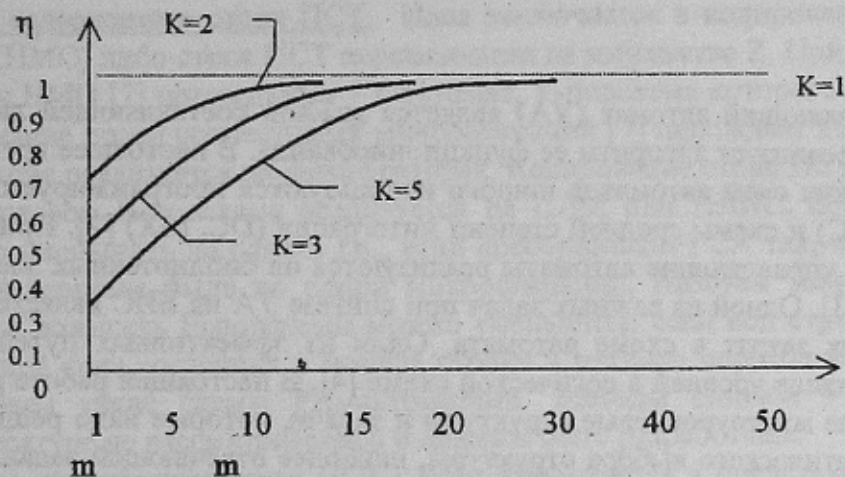


Рис. 5 - График отношения времени интерпретации ГСА Г к времени интерпретации ВГСА V(T)

Проведенные исследования показали, что предложенные методы вертикализации ГСА и организации ОА позволяют в большинстве случаев уменьшить емкость ПЗУ при незначительном увеличении времени выполнения алгоритма.

Литература

1. Баркалов А.А., Джалиащвили З.О., Струнилин В.Н. Минимизация емкости ПЗУ микропрограммного устройства управления при вертикализации граф-схемы алгоритма // Известия вузов СССР. Приборостроение. - 1987, №1. - С.23-27.
2. Баркалов А.А., Саломатин В.А., Струнилин В.Н., Мартыненко А.В. Минимизация микропрограммных устройств управления при интерпретации вертикальных граф-схем алгоритмов / Деп. в Информприборе 18.10.1988г., №4394. - 5с.
3. Смирнов Н.В., Душин-Варковский И.В. Курс теории вероятностей и математической статистики. - М.: Физматгиз, 1965. - 267с.
4. Хартман К. и др. Планирование эксперимента в исследовании технологических экспериментов. - М.: Мир, 1977. - 243с.