

УДК 519.7

О ВЫЧИСЛЕНИИ ЧАСТИЧНЫХ БУЛЕВЫХ ФУНКЦИЙ КЛЕТОЧНЫМИ СХЕМАМИ*)

Д. А. Жуков

Пусть D — некоторое подмножество множества всех n -мерных двоичных наборов, состоящее не менее чем из n^2 наборов. Для частичных булевых функций, определенных в D , построены клеточные схемы, площадь которых по порядку совпадает с размером D , а глубина по порядку равна $\log_2 |D|$. Показано, что для почти всех частичных функций площадь и глубина этих схем неуплучшаемы по порядку.

Введение

Клеточная схема [1, 5] — это прямоугольник на плоскости, составленный из клеточных элементов. *Длина* клеточной схемы измеряется по горизонтали, *ширина* — по вертикали. Клеточные элементы имеют вид единичных квадратов, которым приписаны булевы функции. Клеточный элемент называется *функциональным*, если он реализует нетождественную функцию, и *коммутационным*, если он реализует одну или две тождественные функции. В настоящей работе клеточные схемы строятся над каноническим базисом клеточных элементов из работ [1, 5], функциональные элементы которого реализуют функции $\&$, \vee , \neg . Кроме функциональных и коммутационных элементов в этом базисе имеется также *изолирующий* клеточный элемент без входов и выходов.

Цепью в клеточной схеме назовем всякую последовательность клеточных элементов, в которой выход каждого элемента, кроме последнего, соединен с одним из входов следующего элемента. Цепь из коммутационных элементов назовем *проводником*. Длиной цепи будем называть число содержащихся в ней функциональных элементов. Цепь наибольшей длины среди цепей, соединяющих входы схемы с выходами, будем называть

*) Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 02-01-00985), программы поддержки ведущих научных школ РФ (проект НШ-1807.2003.1), программы «Университеты России» (проект УР.04.03.007).

максимальной. Глубиной клеточной схемы назовем длину максимальной цепи в ней. Каждую клеточную схему S можно считать вложением некоторой схемы из функциональных элементов S' в прямоугольную решетку. Отметим, что определенная нами глубина схемы S совпадает с традиционной глубиной схемы S' . Площадь, длину, ширину и глубину клеточной схемы S будем обозначать символами $A(S)$, $l(S)$, $h(S)$ и $d(S)$ соответственно. Клеточную схему назовем *повторяющей*, если напротив каждого ее входа x на противоположной границе симметрично расположен выход y , на котором реализуется тождественная функция $y(x) = x$.

Пусть $D \subseteq \{0, 1\}^n$ — произвольное множество булевых наборов длины n . Через f_D будем обозначать сужение булевой функции f на D . Для частичной функции $f_D : D \mapsto \{0, 1\}$ обозначим через $D_{(0)}$ и $D_{(1)}$ множества ее нулей и единиц, т. е. $D_{(i)} = \{x \in D \mid f_D(x) = i\}$, $i = 0, 1$.

С. С. Кравцов в [1] описал метод построения для произвольной всюду определенной n -местной булевой функции реализующей ее клеточной схемы с площадью, по порядку равной 2^n и экспоненциальной по n глубиной. Им также было доказано, что для почти каждой всюду определенной n -местной булевой функции минимальная площадь реализующей ее клеточной схемы по порядку не меньше 2^n . В настоящей работе для всюду определенных и частичных булевых функций построены схемы, площадь и глубина которых одновременно оптимальны по порядку (для почти всех функций).

В работе [4] об оценках средней сложности А. В. Чашкин предложил новый эффективный метод синтеза схем из функциональных элементов для частичных функций. Им было доказано существование таких линейных хеш-операторов $\mathcal{L}_i : \{0, 1\}^n \mapsto \{0, 1\}^{m_i}$, $m_i = \lceil \log_2 |D_{(i)}| \rceil + 1$, $i = 0, 1$, что мощности множеств $D'_{(0)} = \{x \in D_{(0)} \mid \mathcal{L}_1(x) \in \mathcal{L}_1(D_{(1)})\}$ и $D'_{(1)} = \{x \in D_{(1)} \mid \mathcal{L}_0(x) \in \mathcal{L}_0(D'_{(0)})\}$ удовлетворяют неравенствам $|D'_{(i)}| \leq \frac{|D_{(i)}|}{2}$, $i = 0, 1$, и предложено представление частичной функции f_D через ее сужение $f_{D'}$:

$$f_D(x) = g_1(\mathcal{L}_1(x)) \cdot (g_0(\mathcal{L}_0(x)) \vee f_{D'}(x)), \quad (1)$$

где $D' = D'_{(0)} \cup D'_{(1)} \subset D$,

$$g_1(y) = \begin{cases} 1, & \text{если } y \in \mathcal{L}_1(D_{(1)}), \\ 0, & \text{если } y \notin \mathcal{L}_1(D_{(1)}), \end{cases} \quad g_0(z) = \begin{cases} 1, & \text{если } z \notin \mathcal{L}_0(D'_{(0)}), \\ 0, & \text{если } z \in \mathcal{L}_0(D'_{(0)}). \end{cases}$$

В настоящей работе этот подход применен к синтезу клеточных схем и доказана следующая теорема.

Теорема. Пусть $D \subseteq \{0, 1\}^n$ и $|D| = \Omega(n^2)$. Тогда для каждой частичной n -местной булевой функции f_D , определенной в D , можно построить такую клеточную схему \mathcal{S}_{f_D} , реализующую функцию f_D , что $A(\mathcal{S}_{f_D}) = \mathcal{O}(|D|)$ и $d(\mathcal{S}_{f_D}) = \mathcal{O}(\log |D|)$. Площадь и глубина схемы \mathcal{S}_{f_D} оптимальны по порядку для почти каждой функции f_D .

В доказательстве теоремы используется несколько вспомогательных фактов, к установлению которых мы и переходим.

§ 1. Вспомогательные утверждения

Лемма 1. Для каждого натурального числа $n \geq 2$ существует такая повторяющаяся клеточная схема $K_n = K_n(x_1, \dots, x_n)$, реализующая систему всех 2^n элементарных конъюнкций от переменных x_1, \dots, x_n , что

$$l(K_n) \leq 3 \cdot 2^n, \quad h(K_n) \leq 3n, \quad d(K_n) \leq 2n.$$

Доказательство. Построим схему K_n по индукции. Схема K_2 приведена на рис. 1. Она состоит из двух частей K'_2 и K''_2 . Подсхема K'_2 вычисляет отрицания \bar{x}_1, \bar{x}_2 переменных x_1, x_2 и передает их подсхеме K''_2 . Подсхема K''_2 вычисляет все четыре элементарные конъюнкции двух переменных. Очевидно, схема K_2 обладает заявленными в утверждении свойствами.

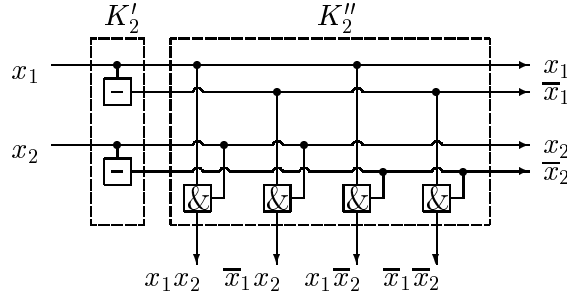


Рис. 1

Пусть по предположению индукции можно построить схему K_n , которая делится на две части K'_n и K''_n , первая из которых вычисляет отрицания входных переменных, а вторая находит все их элементарные конъюнкции k_1, \dots, k_{2^n} . Предположим также, что $l(K'_n) = 1$, $l(K''_n) \leq 3 \cdot 2^n - 1$, $h(K'_n) = h(K''_n) \leq 3n$ и $d(K_n) \leq 2n$.

Способ построения схемы K_{n+1} из частей схемы K_n указан на рис. 2. По построению имеем $l(K_{n+1}) = l(K'_{n+1}) + l(K''_{n+1}) = 1 + 2l(K''_n) \leq 3 \cdot 2^{n+1} - 1$, $h(K_{n+1}) = h(K_n) + 3 \leq 3n + 3$ и $d(K_{n+1}) = d(K_n) + 2 \leq 2n + 2$.

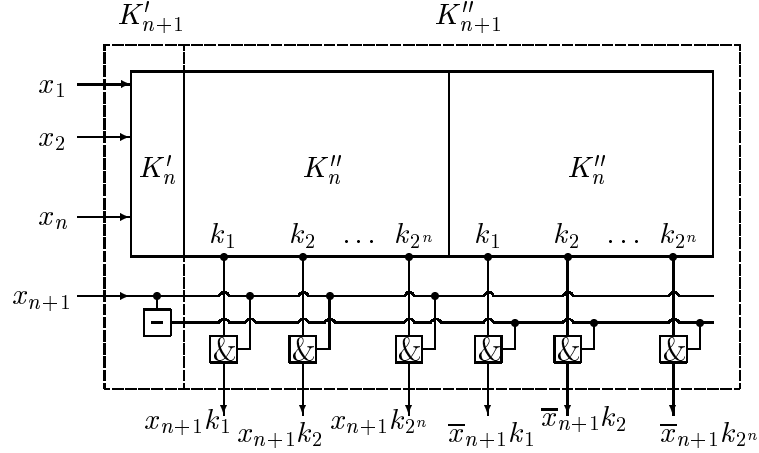


Рис. 2

Отметим, что те выходы схемы K_n , на которых реализуются всевозможные элементарные конъюнкции входов, расположены на ее нижней стороне, и расстояние между каждой парой ближайших выходов равно трем. Лемма 1 доказана.

Замечание. Н. А. Шкаликова в [5] доказала, что величина $\Omega(n2^n)$ является нижней оценкой для площади клеточной схемы, реализующей систему всех конъюнкций от n переменных. Таким образом, площадь схемы K_n из леммы 1 неумлучшаема по порядку.

Лемма 2. Существует такая повторяющаяся схема \mathcal{H}_n со входами z_1, z_2, \dots, z_{2^n} на вертикальной стороне и входами y_1, y_2, \dots, y_{2^n} на горизонтальной стороне, вычисляющая функцию $\bigvee_{1 \leq i, j \leq 2^n} z_i y_j$, что

$$l(\mathcal{H}_n) = h(\mathcal{H}_n) \leq 3 \cdot 2^n, \quad d(\mathcal{H}_n) \leq 2n + 1.$$

Доказательство. Схема \mathcal{H}_n является реализацией в клеточной модели конструкции, известной из теории синтеза интегральных схем как H -дерево [3]. Ее построение проведем индукцией по числу n . Схема \mathcal{H}_1 изображена на рис. 3, а. Она реализует функцию $z_1 y_1 \vee z_1 y_2 \vee z_2 y_1 \vee z_2 y_2$, является повторяющейся, и ее параметры, очевидно, удовлетворяют заявленным неравенствам.

Пусть построена схема \mathcal{H}_{n-1} с указанными свойствами. Тогда схему \mathcal{H}_n можно получить композицией четырех экземпляров схемы \mathcal{H}_{n-1} , как показано на рис. 3, b. Нетрудно убедиться, что она является повторяю-

щей, вычисляет функцию $\bigvee_{1 \leq i, j \leq 2^n} z_i y_j$ и имеет параметры:

$$l(\mathcal{H}_n) = h(\mathcal{H}_n) = 2l(\mathcal{H}_{n-1}) + 1, \quad d(\mathcal{H}_n) = d(\mathcal{H}_{n-1}) + 2.$$

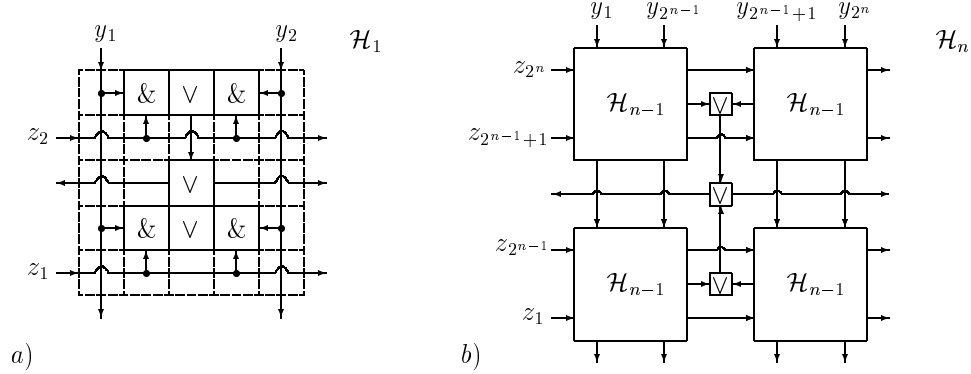


Рис. 3

Отсюда следует, что $l(\mathcal{H}_n) = 2^{n-1}l(\mathcal{H}_1) + 2^{n-1} - 1 < 3 \cdot 2^n$ и $d(\mathcal{H}_n) = d(\mathcal{H}_1) + 2(n-1) = 2n + 1$. Отметим, что по построению при каждом i расстояние между соседними входами z_i и z_{i+1} равно трем. Входы y_i и y_{i+1} лежат на расстоянии 2 при четном i и на расстоянии 4 при нечетном i . Лемма 2 доказана.

Лемма 3. Для всякой всюду определенной n -местной булевой функции f существует реализующая ее клеточная схема $\tilde{\mathcal{S}}_f$ с параметрами

$$l(\tilde{\mathcal{S}}_f), h(\tilde{\mathcal{S}}_f) \leq 3 \cdot 2^{n/2} + o(2^{n/2}), \quad d(\tilde{\mathcal{S}}_f) \leq 2n + 1.$$

Площадь и глубина схемы $\tilde{\mathcal{S}}_f$ неулучшаемы по порядку для почти всех булевых функций f .

Доказательство. Вначале предположим, что число n четно. Тогда функцию f можно реализовать схемой $\tilde{\mathcal{S}}_f$, представленной на рис. 4. Она состоит из трех частей \mathcal{A} , \mathcal{B} и \mathcal{C} . Подсхемы \mathcal{A} и \mathcal{B} вычисляют системы всех элементарных конъюнкций переменных $x_1, \dots, x_{n/2}$ и $x_{n/2+1}, \dots, x_n$. Положим $\mathcal{A} = K_{n/2}(x_1, \dots, x_{n/2})$, где $K_{n/2}$ — схема из леммы 1. Подсхема \mathcal{B} является зеркальным отражением схемы $K_{n/2}(x_{n/2+1}, \dots, x_n)$, развернутой на угол $\frac{\pi}{2}$ против часовой стрелки.

Если на входы y_j , $1 \leq j \leq 2^{n/2}$ схемы $\mathcal{H}_{n/2}$ подать все элементарные конъюнкции вида $x_1^{\sigma_1} \dots x_{n/2}^{\sigma_{n/2}}$, а на входы z_i , $1 \leq i \leq 2^{n/2}$ — все элементарные конъюнкции вида $x_{n/2+1}^{\sigma_{n/2+1}} \dots x_n^{\sigma_n}$, то на выходах ее функциональных элементов $\&$ будет вычислено множество всех элементарных

конъюнкций вида $x_1^{\sigma_1} \dots x_n^{\sigma_n}$. Если конъюнкция $x_1^{\sigma_1} \dots x_n^{\sigma_n}$ не входит в совершенную дизъюнктивную нормальную форму (СДНФ) функции f , то реализующий ее функциональный элемент $\&$ схемы $\mathcal{H}_{n/2}$ заменим на изолирующий элемент. Полученную схему обозначим через \mathcal{C} . Она вычисляет дизъюнкцию тех и только тех конъюнкций, которые входят в СДНФ функции f . Значит, вся схема $\tilde{\mathcal{S}}_f$ реализует функцию f . Отметим, что, в отличие от схемы \mathcal{B} , схема \mathcal{A} не касается схемы \mathcal{C} ; ее выходы соединяются со входами схемы \mathcal{C} проводниками единичной высоты.

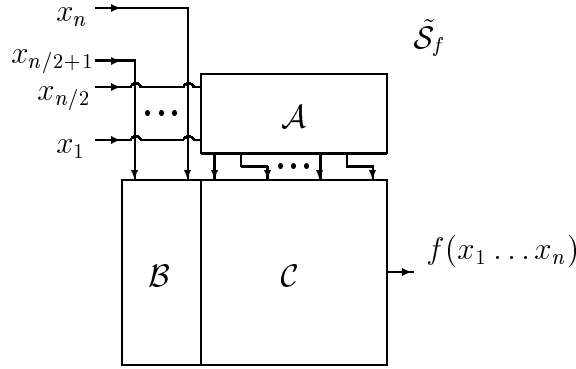


Рис. 4

Оценим параметры схемы $\tilde{\mathcal{S}}_f$. Из лемм 1 и 2 получаем

$$\begin{aligned} l(\tilde{\mathcal{S}}_f) &= l(\mathcal{B}) + l(\mathcal{C}) \leq 3 \cdot 2^{n/2} + o(2^{n/2}), \\ h(\tilde{\mathcal{S}}_f) &= \frac{n}{2} + h(\mathcal{A}) + 1 + h(\mathcal{C}) \leq 3 \cdot 2^{n/2} + o(2^{n/2}), \\ d(\tilde{\mathcal{S}}_f) &= \max(d(\mathcal{A}), d(\mathcal{B})) + d(\mathcal{C}) \leq 2n + 1. \end{aligned}$$

В случае нечетного n положим $\mathcal{A} = K_{\lfloor n/2 \rfloor}(x_1, \dots, x_{\lfloor n/2 \rfloor})$, $\mathcal{B} = K_{\lfloor n/2 \rfloor}(x_{\lfloor n/2 \rfloor+1}, \dots, x_n)$, в качестве \mathcal{C} возьмем левую половину схемы $\mathcal{H}_{\lfloor n/2 \rfloor}$. Все неравенства при этом останутся в силе. Нижняя оценка глубины очевидна, нижняя оценка площади следует из теоремы С. С. Кравцова [1]. Лемма 3 доказана.

Лемма 4. Пусть частичная n -местная булева функция f равна 1 на m наборах. Тогда существует клеточная схема $\hat{\mathcal{S}}_f$, реализующая функцию f , с параметрами $l(\hat{\mathcal{S}}_f) = \mathcal{O}(n + \log m)$, $h(\hat{\mathcal{S}}_f) = \mathcal{O}(m \log n)$, $d(\hat{\mathcal{S}}_f) \leq 2 \log_2 n + \log_2 m$.

Доказательство. Пусть функция f равна единице на наборах $\tilde{\sigma}_1, \dots, \tilde{\sigma}_m$. Схема $\hat{\mathcal{S}}_f$ легко строится на основе СДНФ функции f из повторяющихся подсхем $\mathcal{K}_{\tilde{\sigma}_1}, \dots, \mathcal{K}_{\tilde{\sigma}_m}$, реализующих входящие в нее элементарные

конъюнкции (рис. 5, а). Остается очевидным образом вычислить дизъюнкцию m величин. Лемма 4 доказана.

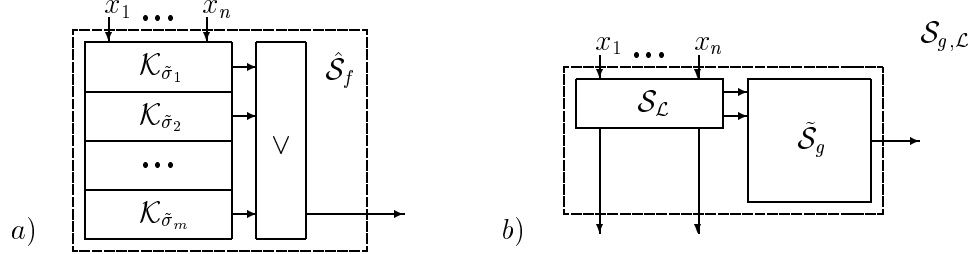


Рис. 5

Лемма 5. Для любого линейного оператора $\mathcal{L} : \{0, 1\}^n \mapsto \{0, 1\}^m$ и любой функции $g : \{0, 1\}^m \mapsto \{0, 1\}$ существует повторяющаяся схема $\mathcal{S}_{g,\mathcal{L}}$ с параметрами $l(\mathcal{S}_{g,\mathcal{L}}) = \mathcal{O}(n + \sqrt{2^m})$, $h(\mathcal{S}_{g,\mathcal{L}}) = \mathcal{O}(m \log n + \sqrt{2^m})$, $d(\mathcal{S}_{g,\mathcal{L}}) \leq \lceil \log_2 n \rceil + 2m + 1$, которая вычисляет композицию $g \circ \mathcal{L}$.

Доказательство. Нетрудно построить такую повторяющуюся схему $\mathcal{S}_{\mathcal{L}}$, вычисляющую линейный оператор \mathcal{L} , что $l(\mathcal{S}_{\mathcal{L}}) = \mathcal{O}(n)$, $h(\mathcal{S}_{\mathcal{L}}) = \mathcal{O}(m \log n)$ и $d(\mathcal{S}_{\mathcal{L}}) = \lceil \log_2 n \rceil$. Тогда искомую схему $\mathcal{S}_{g,\mathcal{L}}$ можно получить, соединяя схему $\mathcal{S}_{\mathcal{L}}$ со схемой $\tilde{\mathcal{S}}_g$ (рис. 5, б). Из леммы 3 следует, что $l(\mathcal{S}_{g,\mathcal{L}}) \leq l(\mathcal{S}_{\mathcal{L}}) + l(\tilde{\mathcal{S}}_g) = \mathcal{O}(n + \sqrt{2^m})$, $h(\mathcal{S}_{g,\mathcal{L}}) \leq \max(h(\mathcal{S}_{\mathcal{L}}), h(\tilde{\mathcal{S}}_g)) = \mathcal{O}(m \log n + \sqrt{2^m})$ и $d(\mathcal{S}_{g,\mathcal{L}}) \leq d(\mathcal{S}_{\mathcal{L}}) + d(\tilde{\mathcal{S}}_g) \leq \lceil \log_2 n \rceil + 2m + 1$. Лемма 5 доказана.

§ 2. Доказательство теоремы

Соотношение (1) перепишем в виде

$$f_D(x) = v(x) \vee u(x) f_{D'}(x), \quad (2)$$

где $u(x) = g_1(\mathcal{L}_1(x))$ и $v(x) = u(x) \cdot g_0(\mathcal{L}_0(x))$. Нетрудно убедиться, что существует такая повторяющаяся схема $\mathcal{S}_{u,v}$, реализующая функции u и v из представления (2), что

$$l(\mathcal{S}_{u,v}) = \mathcal{O}(n + \sqrt{|D|}), \quad h(\mathcal{S}_{u,v}) = \mathcal{O}(\log |D| \cdot \log n + \sqrt{|D|}),$$

$$d(\mathcal{S}_{u,v}) \leq \lceil \log_2 n \rceil + 2 \log_2 |D| + 4.$$

Способ ее построения из подсхем $\mathcal{S}_{g_0,\mathcal{L}_0}$ и $\mathcal{S}_{g_1,\mathcal{L}_1}$ указан на рис. 6, а. Здесь мы учли, что $m_0, m_1 \leq \lceil \log_2 |D| \rceil + 1$ и воспользовались леммой 5.

Применив свойства (1) и (2) несколько раз к сужению $f_{D'}$ и области $D' \subset D$, получим последовательность вложенных областей $D_w \subset \dots \subset D_1 \subset D_0 = D$, где $|D_i| \leq \frac{1}{2} |D_{i-1}| \leq \frac{1}{2^i} |D|$, и разложение

$$f_D = v_1 \vee u_1 v_2 \vee \dots \vee u_1 u_2 \dots u_{w-1} v_w \vee u_1 u_2 \dots u_{w-1} u_w f_{D_w}. \quad (3)$$

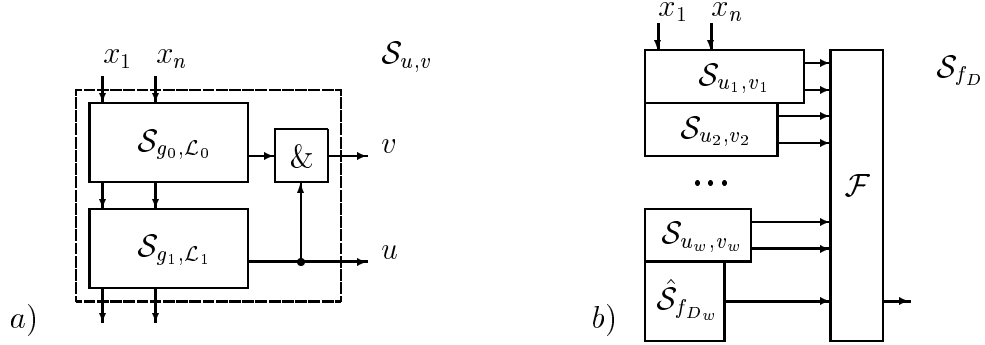


Рис. 6

Искомая схема \mathcal{S}_{f_D} для функции f_D строится на основе разложения (3) как композиция повторяющихся схем \mathcal{S}_{u_i, v_i} , $1 \leq i \leq w$, и схемы $\hat{\mathcal{S}}_{f_{D_w}}$ из леммы 4 (рис. 6, b). Приведенный на рисунке блок \mathcal{F} является композицией префиксной схемы, вычисляющей величины $u_1, u_1 u_2, \dots, u_1 u_2 \dots u_w$, и схемы, вычисляющей с наименьшей глубиной дизъюнкцию их конъюнкций с величинами v_1, \dots, v_w по формуле (3). Ввиду очевидности конструкции блока \mathcal{F} подробнее останавливаться на нем не будем, отметив, что $l(\mathcal{F}) = \mathcal{O}(\log w)$, $h(\mathcal{F}) \leq \sum_i h(\mathcal{S}_{u_i, v_i})$ и $d(\mathcal{F}) = \mathcal{O}(\log w)$.

Нетрудно убедиться, что схема \mathcal{S}_{f_D} вычисляет функцию f_D . Оценим ее параметры. Заметим, что сужение f_{D_w} функции f_D на множество $D_w \subset D$ принимает единичное значение не более чем на $|D_w| \leq |D|/2^w$ наборах. С учетом леммы 4 получаем

$$\begin{aligned} l(\mathcal{S}_{f_D}) &= \max \left(\max_{1 \leq i \leq w} l(\mathcal{S}_{u_i, v_i}), l(\hat{\mathcal{S}}_{f_{D_w}}) \right) + l(\mathcal{F}) = \mathcal{O}(n + \sqrt{|D|} + \log w), \\ h(\mathcal{S}_{f_D}) &= \sum_{i=1}^w h(\mathcal{S}_{u_i, v_i}) + h(\hat{\mathcal{S}}_{f_{D_w}}) = \sum_{i=0}^w \mathcal{O}(\sqrt{|D_i|}) + \mathcal{O}(|D_w| \log n) = \\ &= \mathcal{O} \left(\sum_{i=0}^w \sqrt{\frac{|D|}{2^i}} + |D_w| \log n \right) = \mathcal{O}(\sqrt{|D|} + |D_w| \log n), \\ d(\mathcal{S}_{f_D}) &= \max \left(\max_{1 \leq i \leq w} d(\mathcal{S}_{u_i, v_i}), d(\hat{\mathcal{S}}_{f_{D_w}}) \right) + d(\mathcal{F}) = \mathcal{O}(\log n + \log |D| + \log w). \end{aligned}$$

Выберем параметр w таким, что $|D_w| \leq \sqrt{|D|}/\log_2 n$, т. е. положим $w = \lceil \log_2 \sqrt{|D|} \log_2 n \rceil$. Тогда из предыдущих оценок вытекает, что

$$l(\mathcal{S}_{f_D}) = \mathcal{O}(n + \sqrt{|D|}), \quad h(\mathcal{S}_{f_D}) = \mathcal{O}(\log n + \sqrt{|D|}),$$

$$d(\mathcal{S}_{f_D}) = \mathcal{O}(\log n + \log |D|).$$

Отсюда следует, что $A(\mathcal{S}_{f_D}) = l(\mathcal{S}_{f_D}) \times h(\mathcal{S}_{f_D}) = \mathcal{O}(|D| + n\sqrt{|D|})$. При условии $|D| = \Omega(n^2)$ получаем $A(\mathcal{S}_{f_D}) = \mathcal{O}(|D|)$ и $d(\mathcal{S}_{f_D}) = \mathcal{O}(\log |D|)$. Верхняя оценка доказана.

Нетрудно убедиться в справедливости нижней оценки площади, утверждающей, что площадь реализации почти каждой n -местной частичной булевой функции f_D по порядку не меньше $|D|$. Действительно, существует ровно $2^{|D|}$ различных функций $f_D : D \mapsto \{0, 1\}$, определенных на наборах из D . С другой стороны, число схем площади не более A не превышает числа различных мозаик из базисных клеточных элементов, которое в силу конечности базиса не превышает числа c^A , где c — некоторая постоянная. Следовательно, если каждую функцию f_D можно реализовать схемой площади A , то должно выполняться неравенство $c^A \geq 2^{|D|}$, откуда $A = \Omega(|D|)$. Нижняя оценка глубины следует из общих теорем О. Б. Лупанова [2] и мощностных соображений. Теорема доказана.

Автор выражает глубокую признательность профессору А. В. Чашкину за внимание к работе.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Кравцов С. С.** О реализации функций алгебры логики в одном классе схем из функциональных и коммутационных элементов // Проблемы кибернетики. Вып. 19. М.: Наука, 1967. С. 285–293.
2. **Лупанов О. Б.** О синтезе некоторых управляющих систем // Проблемы кибернетики. Вып. 10. М.: Физматгиз, 1963. С. 63–97.
3. **Ульман Дж. Д.** Вычислительные аспекты СБИС. М.: Радио и связь, 1990.
4. **Чашкин А. В.** Об одном методе вычисления частичных булевых функций // Математические вопросы кибернетики. Вып. 12 М.: Физматлит, 2003. С. 231–246.
5. **Шкаликова Н. А.** О реализации булевых функций схемами из клеточных элементов // Математические вопросы кибернетики. Вып. 2. М.: Наука, 1989. С. 177–197.

Адрес автора:

МГТУ им. Н. Э. Баумана,
2-я Бауманская ул., д. 5,
105005 Москва,
Россия.
e-mail: oldbug@mail.ru

Статья поступила
6 февраля 2004 г.