

Мартынова О. П., канд. техн. наук,
Данилина Г. В.,
Клименко И. А., канд. техн. наук

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМОАНАЛОГОВЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СТРУКТУР

Институт компьютерных технологий Национального авиационного университета

Дана сравнительная оценка временной и емкостной сложности системоаналоговых вычислительных структур по сравнению с алгоритмами решения задачи о кратчайшем пути на ЭВМ и мультипроцессорными вычислительными системами.

Постановка проблемы

В связи с интенсивным развитием компьютерных сетей и широким внедрением их в различные области науки и техники актуальна задача о кратчайшем пути для определения оптимального маршрута передачи данных в сети [1]. Задача о кратчайшем пути решается на различных средствах вычислительной техники: ЭВМ, мультипроцессорных вычислительных системах, параллельных вычислительных структурах и системоаналоговых вычислительных структурах, построенными на концепции системоаналогового моделирования [2]. Разработка принципиально новых средств вычислительной техники для решения задачи о кратчайшем пути в виде системоаналоговых вычислительных структур [3-6] ставит проблему оценки их эффективности по сравнению с известными средствами вычислительной техники.

Анализ последних исследований и публикаций [3-7] позволяет сделать вывод о том, что отсутствует комплексная оценка эффективности системоаналоговых вычислительных структур по временной и емкостной сложности параллельных алгоритмов решения задачи о кратчайшем пути.

Цель работы – оценка эффективности системоаналоговых вычислительных структур по временной и емкостной сложности их алгоритмов по сравнению с

алгоритмами решения задачи о кратчайшем пути, которые реализуются на известных средствах вычислительной техники.

В работах [8-10] описаны многопроцессорные системы типа *MIMD*, имеющие оценку временной сложности $O(\log_2^2 q)$ при емкостной сложности $O(q^3)$ и реализующие параллельные алгоритмы матричного умножения для нахождения кратчайших путей в графе с q вершинами. В этих многопроцессорных системах уменьшение временной сложности достигнуто за счет увеличения емкостной сложности, которая оценивается по наибольшему количеству процессоров, необходимых для моделирования. В системоаналоговых вычислительных структурах оценки временной и емкостной сложности имеют одинаковый порядок $O(L)$ и $O(q)$ [3-6], где L – количество элементов графа вдоль кратчайшего пути, q – количество вершин графа. Сбалансированность этих оценок позволяет получить положительный эффект либо по временной либо по емкостной сложности по сравнению с многопроцессорными системами, в которых реализуются параллельные алгоритмы с тесно связанными оценками временной и емкостной сложности. По сравнению с многопроцессорными системами [8-10] имеющими емкостную сложность порядка $O(q^3)$, системоаналоговые вычислительные структуры сни-

жают эту оценку до $O(q)$, при временной сложности такого же порядка величин. Например, реализация двумерной решетки размерности $q = 2^{10} \times 2^{10}$ на предложенной системоаналоговой вычислительной структуре требует 2^{20} (немного более 10^6) модулей. Эта оценка емкостной сложности находится в пределах реализуемости на современной микроэлектронной базе. Оценка емкостной сложности $q^3 = 2^{60}$ (более 10^{18}) вызывает сомнения в реализуемости двумерной решетки графа на многопроцессорной системе, использующей параллельные алгоритмы умножения для нахождения кратчайших путей в графе [8-10].

Выполним сравнение по временной и емкостной сложности алгоритмов решения задачи о кратчайшем пути на ЭВМ, мультипроцессорной системе (МПС) [8-10], параллельной вычислительной структуре (ПВС), реализующей временную аналогию [7], и системоаналоговой вычислительной структуре (САВС) [3-6], построенной на основе концепции системоаналогового моделирования. Оценки временной сложности алгоритмов зависят от количества ветвей L , а емкостной сложности от количества узлов q моделируемой сети.

С целью построения графиков зависимости оценок временной и емкостной сложности алгоритмов маршрутизации от сложности моделируемой сети введем логарифмический масштаб по осям абсцисс и ординат. Оценку временной сложности представим в виде $K_i \cdot \lg B$, где K_i - масштабный коэффициент, B - функция временной сложности.

$$B = \begin{cases} q, & \text{для ПВС и САВС,} \\ q^2, & \text{для алгоритма Дейкстры на ЭВМ,} \\ q^3, & \text{для алгоритма Флойда на ЭВМ.} \end{cases}$$

Масштабный коэффициент K_i зависит от быстродействия ЭВМ и тактовой частоты работы элементов ПВС и САВС. На рис. 1 изображен график изменения оценки временной сложности $K_i \cdot \lg B$ в зависимости от сложности моделируемой сети, оцениваемой величиной $\lg q$, где q - количество узлов моделируемой сети. В таблице, изображенной справа от графика временной сложности, дан ориентировочный расчет времени решения задачи маршрутизации на ЭВМ для двух случаев:

- быстродействие ЭВМ - 10^6 опер./с,
- быстродействие ЭВМ - 10^{10} опер./с.

Учитывая, что быстродействие САВС [3-6] выше, чем ПВС, построенных на основе временной аналогии [7], для сравнения с ЭВМ выбрана САВС с предельно возможной характеристикой оценки временной сложности $O(q)$, так как общее количество узлов q моделируемого графа всегда больше количества ветвей L вдоль кратчайшего пути. Таким образом, график $O(q)$ соответствует оценке временной сложности САВС, график $O(q^2)$ описывает характер изменения временной сложности алгоритма Дейкстры, $O(q^3)$ - алгоритма Флойда на ЭВМ. В таблице справа от графика $O(q)$ приведены ориентировочные данные по времени решения задачи маршрутизации на САВС для случаев использования элементов с тактовой частотой $f_{T1} = 500$ МГц и $f_{T2} = 50$ МГц. График временной сложности построен в диапазоне изменения аргумента $\lg q \in [2;6]$. Этот диапазон охватывает перспективные компьютерные сети с количеством узлов более 100.

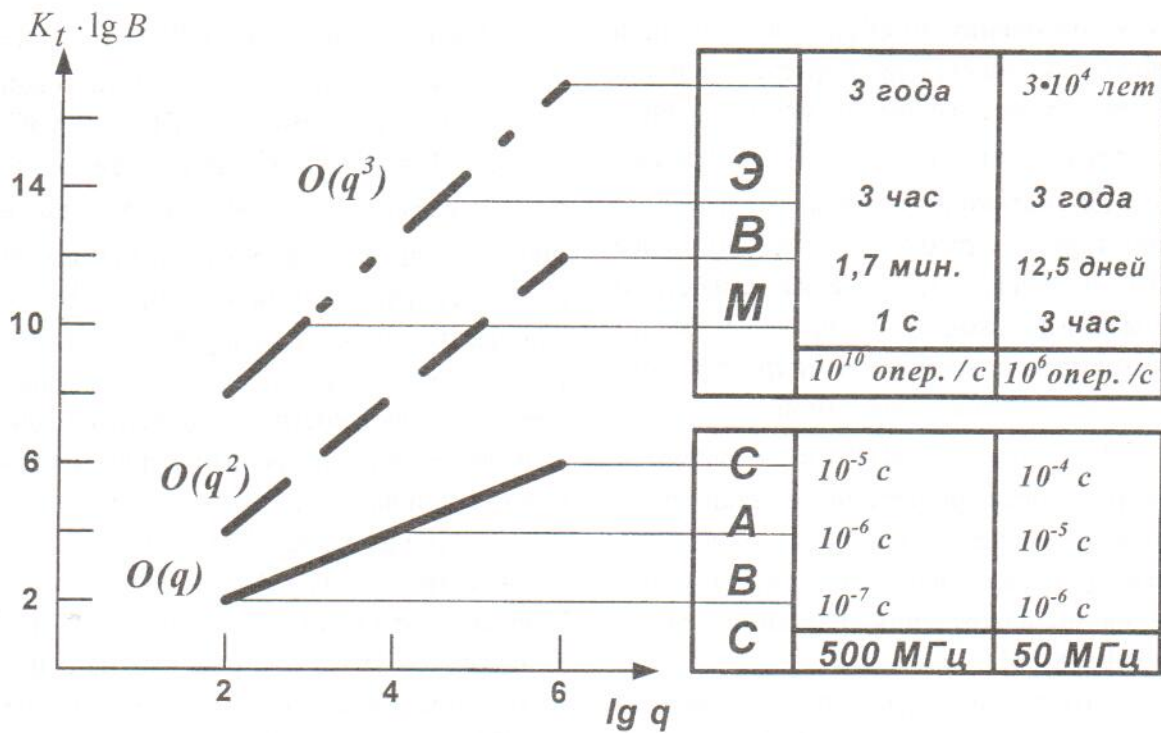


Рис. 1. График изменения оценки временной сложности

Перейдем к построению графика (рис. 2) зависимости оценок емкостной сложности вычислительных средств решения задачи маршрутизации от сложности компьютерной сети. Оценку емкостной сложности представим в виде $K_E \cdot \lg E$, где K_E – масштабный коэффициент, E – функция емкостной сложности:

$$E = \begin{cases} q, & \text{для ПВС и САВС,} \\ q^3, & \text{для МВС.} \end{cases}$$

Масштабный коэффициент K_E зависит от единицы измерения аппаратурных затрат. Если в качестве единицы измерения аппаратурных затрат принять количество модулей фрагментов графа, состоящих из пучка ветвей входящих в один узел сети, то расчет количества модулей фрагментов графа для САВС приведен в таблице справа от графика $O(q)$. Расчет аппаратурных затрат в тех же единицах для случая решения задачи маршрутизации на МВС приведен в таблице справа от графика $O(q^3)$, который описывает рост аппаратурных затрат на реали-

зацию мультипроцессорной системы в зависимости от количества узлов моделируемой сети в логарифмическом масштабе $\lg q$.

Данные таблицы показывают низкую эффективность применения мультипроцессорных систем для моделирования сложных компьютерных сетей, имеющих количество узлов более 100. Действительно, моделирование сетей в виде двумерной решетки с количеством узлов $q=10^3 \times 10^3$ требует для реализации мультипроцессорной системы количество микропроцессоров равно $q^3 = 10^{18}$. Такая оценка аппаратурных затрат вызывает сомнения о реализуемости мультипроцессорной системы даже с учетом перспективы развития средств микроэлектроники.

Учитывая, что в перспективном диапазоне изменения $\lg q \in [2;6]$, характеризующего сложность перспективных компьютерных сетей, реализуемость мультипроцессорной системы является проблемной, график временной сложности для мультипроцессорных вычислительных систем на рис. 1 не приведен.

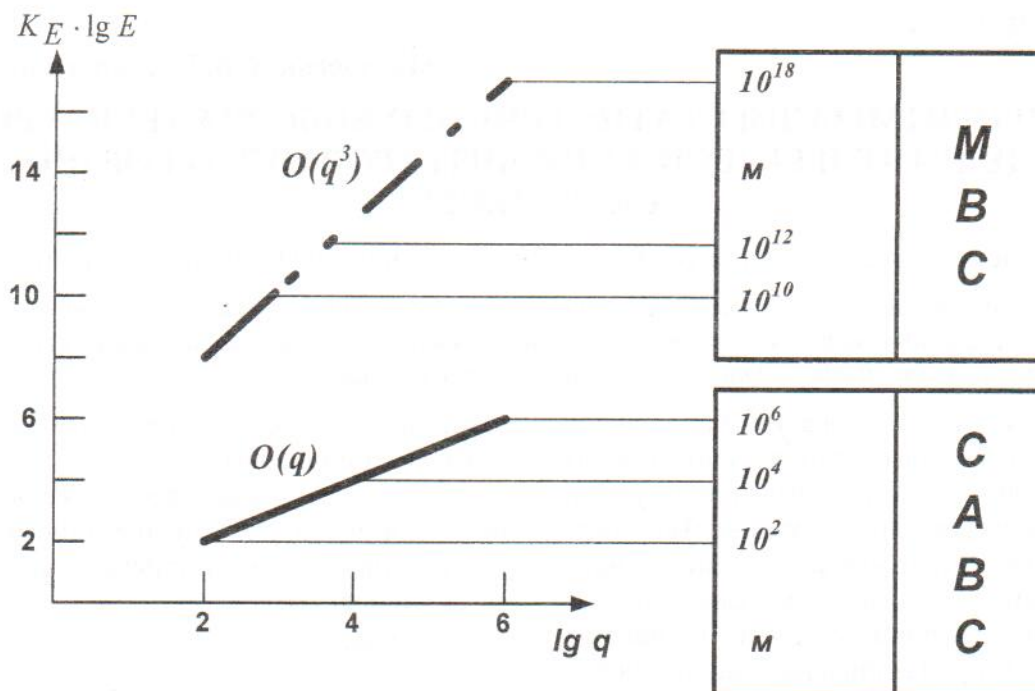


Рис. 2. Графік залежності оцінок ємкостної складності вичислительних засобів рішення задачі маршрутизації від складності комп'ютерної мережі

Вывод

Оценка эффективности алгоритма системноаналоговых вычислительных структур по сравнению с алгоритмами решения задачи о кратчайшем пути на ЭВМ и мультипроцессорными вычислительными системами показывает, что в перспективных компьютерных сетях с количеством узлов более 100 для решения задач маршрутизации в компьютерных сетях следует использовать системноаналоговые вычислительные структуры.

Перспективы дальнейших исследований связаны с уточнением оценок эффективности с учетом элементной базы реализации системноаналоговых вычислительных структур.

Список литературы

1. Вишнеvский В. М. Теоретические основы проектирования компьютерных сетей. – М.: Техносфера, 2003. – 512 с.
2. Баранов В. Л., Баранов Г. Л. Системноаналоговое и квазианалоговое моделирование // Электронное моделирование. – 1994. – № 4. – С. 9-16.
3. Жуков И. А., Мартинова О. П. Системноаналоговый метод багатошляхової маршрутизації на графах // Вісник Технологі-

чного університету Поділля. – Хмельницький, 2004, Т.2 (60), №2. – Ч.1. – С. 38-42.

4. Жуков И. А., Мартинова О. П. Системноаналоговое моделирование на графах параллельных маршрутов в сетях // Проблеми інформатизації та управління. – К.: НАУ, 2004. – Вип.10. – С. 40-45.

5. Жуков И. А., Мартинова О. П. Специализовані обчислювальні структури для багатошляхової маршрутизації в комп'ютерних мережах // Вісник Хмельницького національного університету. – Хмельницький, 2005, Т.2, № 4. – Ч.1. – С. 47-50.

6. Мартинова О. П. Параллельный алгоритм маршрутизации на графах и сетях // Проблеми інформатизації та управління. – К.: НАУ, 2005. – Вип.12. – С. 113-119.

7. Васильев В. В., Баранов В. Л. Моделирование задач оптимизации и дифференциальных игр. – К.: Наук. думка, 1985. – 296 с.

8. Иванов Е. А., Шевченко В. П. О параллельных вычислениях на графах // Кибернетика. – 1984. – № 3. – С. 89-94.

9. Doker E., Hassimi D., Sahnic: Parallel matrix and graph algorithms. – SIAM J. Comput. – 1981. – 10, № 4. – P. 657-675.

10. Dec N., Pang C., Lord R.E. Two parallel algorithms for shortest path problem // Proc. intern. conf. parallel process. – New York: ACM, 1980. – P. 244-253.