

O. V. Shesterneva, T. V. Maltseva

ABOUT CHOICE OF PARAMETRIC MODEL IN NONPARAMETRIC IDENTIFICATION TASK

In the paper the authors consider a task of creation of a control object transfer function in accordance with a mathematical model of closed linear dynamic system for a regulator parameters tuning. Structure synthesis of a closed loop model is carried out with nonparametric modeling methods.

Keywords: regulator tuning, structure synthesis, transfer function, Nadaraya–Watson estimation, bandwidth (smoothing parameter).

© Шестернева О. В., Мальцева Т. В., 2010

УДК 510.9872

П. В. Густов, Е. С. Ильин, В. А. Терсков

ОЦЕНКА ОПТИМАЛЬНОГО БЫСТРОДЕЙСТВИЯ ЭЛЕМЕНТОВ УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНЫМИ ТЕХНИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ

Исследуется зависимость производительности многопроцессорных вычислительных комплексов от быстродействия процессоров, разработан алгоритм оценки эффективного быстродействия процессоров.

Ключевые слова: многопроцессорные системы, оптимизация, генетический алгоритм, нейросеть.

Аппаратная реализация функций упрощает процесс программирования, дает возможность более эффективно распараллеливать сложные алгоритмы, реализуемые на многопроцессорных вычислительных комплексах (МВК), обеспечивает более естественное распределение частей алгоритмов между параллельно работающими процессорами [1]. Следовательно, для повышения производительности МВК необходимо включить в их структуру спецпроцессоры, ориентированные на реализацию одной или нескольких независимых функций. При этом снижается интенсивность обращения процессоров к шине и, следовательно, средняя длина очереди, значения которых зависят от быстродействия процессоров.

К аппаратным методам вычисления элементарных функций предъявляются следующие требования:

- получение заданной точности вычисления функций на всем диапазоне изменения аргумента;
- обеспечение высокой скорости вычисления значения функций;
- использование малого объема дополнительного оборудования, необходимого для реализации метода (объема памяти для хранения программ, микропрограмм, констант и пр.);
- метод должен быть универсальным (применимость для вычисления заданного набора функций, независимость функциональной схемы от изменения требований точности);
- должна учитываться структурная реализация АЛУ (использование принципа микропрограммирования, БИС-технологии и т. п.).

При определении эффективного быстродействия спецпроцессоров учитываются следующие условия функционирования МВК:

– при увеличении быстродействия процессора он чаще обращается к шине, что увеличивает среднюю длину очереди, а следовательно, и время ожидания в очереди другими процессорами, что приводит к уменьшению производительности МВК;

– при уменьшении быстродействия процессора средняя длина очереди уменьшается, но увеличивается и время решения задачи, что также приводит к уменьшению производительности МВК.

В [2] показано, что производительность МВК зависит от количества спецпроцессоров и их быстродействия нелинейно. Это означает, что с ростом быстродействия процессоров производительность МВК сначала повышается, а затем перестает расти из-за конфликтов при обращении к памяти. Поэтому при проектировании оптимальных МВК нельзя ориентироваться на максимальное быстродействие спецпроцессоров, а надо выбирать его так, чтобы обеспечить максимальную производительность всего МВК в целом. Для формальной постановки задачи это означает, что величины относительных времен выполнения операций процессорами i -го типа (T_{0i}) не могут быть постоянными, а должны также быть включены в число переменных оптимизации. Более того, они становятся «главными» переменными, определяющими параметры системы (v_i, μ_i), т. е. эти параметры становятся функциями от $T_{0i} - v_i(T_{0i}), \mu_i(T_{0i})$. Это приводит к значительному усложнению оптимизационной задачи, превращая ее в двухуровневую иерархическую задачу:

$$\begin{aligned} & (\Pi^*(T_{01}, \dots, T_{0i}, \dots, T_{0N}), \\ & C^*(T_{01}, \dots, T_{0i}, \dots, T_{0N})) \rightarrow \text{extr}, \end{aligned}$$

где Π^* и C^* – решение задачи выбора оптимальной структуры МВК при

$$v_i = v_i(T_{01}, \dots, T_{0i}, \dots, T_{0N}), \mu_i = \mu_i(T_{01}, \dots, T_{0i}, \dots, T_{0N}).$$

Переменные задачи верхнего уровня иерархии могут быть непрерывными (задача оптимального проектирования структуры) или дискретными (задача выбора эффективного варианта структуры).

Однако, как уже было замечено выше, зависимости параметров потоков v_i и μ_i от величин T_{0i} носят довольно сложный характер. В результате этого, с увеличением числа компонентов системы зависимости будут все усложняться, задача станет громоздкой и может перестать быть решаемой. Чтобы свести задачу к допустимому уровню сложности, был предложен следующий подход: предположить параметры T_{0i} известными и зафиксированными. Разумнее всего было бы взять эти параметры из реальной, уже работающей системы, решить для этих T_{0i} задачу выбора оптимальной структуры МВК, а уже затем для выбранной структуры подобрать T_{0i} . Таким образом, задача разбивается на две. Первая – это задача выбора оптимальной структуры МВК при фиксированных T_{0i} :

$$\begin{aligned} (\Pi_b(m_i, n_j), C_b(m_i, n_j)) \rightarrow \text{extr}, \\ m_i^- \leq m_i \leq m_i^+, \quad i = 1, \dots, N, \\ n_j^- \leq n_j \leq n_j^+, \quad j = 1, \dots, n, \end{aligned}$$

а вторая – это задача выбора оптимальной структуры МВК при выбранных параметрах m_i, n_j, n и N .

$$(\Pi^*(T_{01}, \dots, T_{0i}, T_{0N}), C^*(T_{01}, \dots, T_{0i}, T_{0N})) \rightarrow \text{extr}.$$

Кажущееся громоздким такое разделение способно, тем не менее, помочь справиться с комбинаторным взрывом, возникшим при введении нового уровня оптимизации.

Однако данный подход имеет несколько существенных недостатков. Оба этапа предложенного подхода сами по себе являются сложными задачами оптимизации. Кроме того, нет никакой гарантии, что полученная на первом этапе работы оптимальная структура МВК при фиксированных параметрах быстродействия процессоров и шин будет оптимальна и после настройки параметров быстродействия.

Таким образом, более перспективным представляется подход, при котором происходит одновременный выбор и оптимальной структуры МВК, и оптимального быстродействия процессоров и шин. Реализация такого подхода возможна только при наличии такой процедуры, которая способна одновременно учитывать все аспекты нашей оптимизационной задачи, а именно: переменные задачи выражены в различных шкалах измерения (целочисленные и вещественные переменные), оптимизация производится по нескольким экстремальным критериям одновременно, априорные сведения о свойствах целевых функционалов отсутствуют (оптимизация производится только по измерениям функционалов в фиксированных точках). Метод оптимизации должен учитывать условия, накладываемые на критерии. Это означает, что при выборе эффективной конфигурации МВК возникает не-

обходимость решения задачи многокритериальной условной оптимизации с алгоритмически заданными функциями разношкальных переменных высокой размерности.

В качестве приемлемого средства решения такой задачи может выступать генетический алгоритм [3].

Проверка работоспособности системы поддержки принятия решений (СППР) проводилась на задачах выбора эффективного быстродействия процессоров МВК ПС-2000 и «Эльбрус-2».

Телеметрический вычислительный комплекс центра управления космическими полетами (ЦУП) использовал с 1986 г. и вплоть до 1997 г. систему предварительной обработки телеметрической информации на базе ПС-2000, связанную в единый комплекс с центральной системой обработки на базе многопроцессорного вычислительного комплекса «Эльбрус-2». Высокий параллелизм обработки информации в ПС-2000 позволил реализовать новые алгоритмы обработки телеметрической информации. ПС-2000 можно представить как МВК со следующими характеристиками: количество шин n от 1 до 4, количество однотипных процессоров 8, 16, 32 или 64, их быстродействие $T_{0i} = 0,32$ мкс, скорость обработки запроса в памяти $\tau_i = 0,96$ мкс. Однако технически мы можем увеличивать время выполнения операций процессорами, тем самым незначительно снижать общее быстродействие системы, но если при этом мы сможем разрешить конфликты, возникающие при одновременном обращении процессоров к памяти, то сумеем избежать простоя запросов в очередях и увеличить относительную производительность системы. Подбирая быстродействие сразу для всех процессоров, мы имеем до 8 типов процессоров, отличающихся быстродействием. Количество процессоров каждого типа будет неизменным и равняется 8.

В случае, когда известно количество типов процессоров, количество процессоров каждого типа и количество шин, отпадает необходимость выбора оптимальной структуры МВК. Решая данную задачу, достаточно определить оптимальное быстродействие для всех типов процессоров. Это позволит значительно сократить поисковое пространство. Решение в генетическом алгоритме содержало информацию лишь о быстродействии процессоров. Решение кодировалось в виде бинарной хромосомы фиксированной длины 40 бит. Даже при небольшом количестве циклов работы генетического алгоритма удалось получить такой вариант набора параметров для МВК, который превосходил изначальный, предложенный разработчиками ПС-2000, по относительной производительности более чем в 2 раза и не уступал при этом по показателю стоимости.

В таблице представлены быстродействия процессоров всех типов, а также рассчитанная стоимость и производительность. В первой строке находятся данные по модели МВК ПС-2000. Во второй и третьей строке представлены данные по двум моделям МВК, предложенным СППР в качестве наиболее предпочтительных решений.

Для проверки работоспособности СППР решалась также и задача выбора оптимального быстродействия спецпроцессоров для различных вариантов структуры МВК «Эльбрус-2». Как и в случае выбора оптимального быстродействия спецпроцессоров, для многопроцессорной системы ПС-2000 было известно количество типов процессоров, количество процессоров каждого типа и количество шин. То есть, решая данную задачу, СППР достаточно определить оптимальное быстродействие для каждого типа процессоров. Решение кодировалось в виде бинарной хромосомы фиксированной длины 15 бит. Модифицированный генетический алгоритм работал с оптимальным набором параметров, найденных ранее.

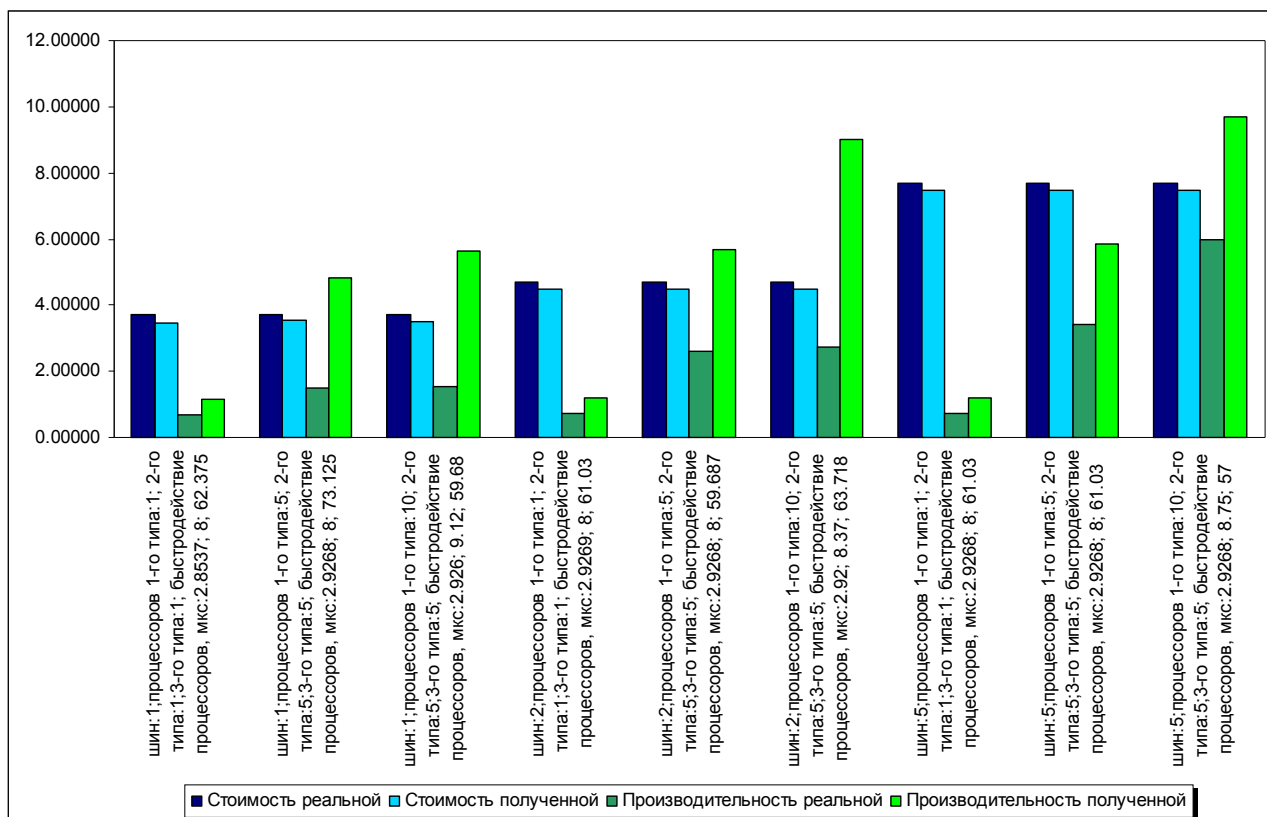
Результаты расчетов оптимального быстродействия для МВК «Эльбрус-2» различных конфигураций представлены на рисунке. Для всех вариантов МВК быстродействие шин 1,2 мкс и три типа процессоров. Для реальной МВК «Эльбрус-2» быстродействие процессоров различных типов равно, соответственно, 0,66, 8 и 57 мкс. На рисунке приведены параметры, однозначно определяющие структуру МВК: количе-

ство шин и количество процессоров каждого типа. Также представлены значения производительности и стоимости как для вариантов МВК с реальными значениями быстродействия спецпроцессоров, так и для лучших вариантов МВК, полученных в результате настройки быстродействия спецпроцессоров. В последнем столбце указаны оптимальные значения быстродействия спецпроцессоров для МВК с соответствующими структурами.

Обучив искусственную нейронную сеть [4] примерам оптимального быстродействия многопроцессорных систем различных конфигураций, подавая на вход нейросети характеристики архитектуры МВК, на выход – стоимость и производительность МВК, получаем модель, позволяющую с требуемой точностью определить быстродействие многопроцессорных вычислительных комплексов для выбранной архитектуры. После проведения этапов по упрощению обученной нейронной сети получаем возможность извлечь правила функционирования нейросети, которые в дальнейшем используются экспертами для оценки оптимального быстродействия элементов МВК.

Данные по ПС-2000 и решениям, полученным СППР

Стоимость	Производительность	T_{01}	T_{02}	T_{03}	T_{04}	T_{05}	T_{06}	T_{07}	T_{08}
12,2358	1,64394	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32
15,045	4,69568	5,86	2,91	9,33	1,63	0,64	0,45	9,33	5,21
11,1412	3,65461	1,15	0,51	8,309	2,31	1,29	0,72	2,31	1,15



Данные по МВК «Эльбрус-2» и решениям, полученным СППР

Таким образом, показано, что реализация разработанных алгоритмов и методов в виде единой программной системы позволяет генерировать многопроцессорные системы оптимальной структуры и с эффективным быстродействием специализированных процессоров. Апробация созданной системы поддержки принятия решений проводилась на моделях реальных, хорошо зарекомендовавших себя многопроцессорных систем.

Было показано, что использование СППР для выбора эффективного быстродействия процессоров многопроцессорной вычислительной системы позволяет не только значительно облегчить и ускорить процесс разработки МВК, а значит сократить затраты на него, но и получить такие варианты многопроцессорных вычислительных комплексов, которые по некоторым

параметрам превосходят МВК, разрабатываемые экспертами.

Библиографические ссылки

1. Kuhl J., Reddy S. Fault-Tolerance Considerations in Large, Multiple-Processor Systems // Computer. 1986. March. P. 56–67.
2. Лебедев В. А., Терсков В. А. Моделирование и оптимизация многопроцессорных систем оперативного управления. М. : МАКС Пресс, 2002.
3. Goldberg D. E. Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning. Reading : Addison-Wesley, 1989.
4. Интеллектуальная система анализа данных на основе нейронных сетей / ВНИИЦ ; Ильин Е. С., Семенкин Е. С. М., 2004. № ГР 50200400996.

P. V. Gustov, E. S. Iluin, V. A. Terskov

EVALUATION OF OPTIMUM EXECUTION SPEED OF COMPLEX TECHNICAL SYSTEMS CONTROL ELEMENTS

In the article the authors investigate dependence of multiprocessor systems productivity on processors execution speed and develop algorithm for estimation of effective execution speed of processors.

Keywords: multiprocessor systems, optimization, genetic algorithm, neural network.

© Густов П. В., Ильин Е. С., Терсков В. А., 2010