

УДК 681.3

Э.И. Ватутин, канд. техн. наук, доцент, кафедра вычислительной техники, ЮЗГУ (e-mail: evatutin@rambler.ru)

В.С. Титов, д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой вычислительной техники, ЮЗГУ (e-mail: titov-kstu@rambler.ru)

СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМ ЛОГИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДОБРОВОЛЬНЫХ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

Приведены результаты анализа зависимостей, полученных в результате исследования пространства параметров (X_{\max}, W_{\max}, N) . Вычислительные эксперименты выполнены с использованием грид-системы VOINC в рамках проекта Gerasim@home. Получены типовые зависимости средневыборочных величин показателей качества от значений ограничений и среднего размера граф-схем алгоритмов. Сформулированы количественные рекомендации для разработчиков аппаратной части логических мультиконтроллеров. Показано, что построение разбиений при синтезе реальных систем логического управления осуществляется в области сильных ограничений, что накладывает определенные ограничения на методы синтеза разбиений.

Ключевые слова: система логического управления, проектирование логических мультиконтроллеров, разбиения, параллельный алгоритм, дискретная комбинаторная оптимизация, VOINC, Gerasim@home

Одним из перспективных подходов к синтезу многомодульных однородных систем логического управления (СЛУ) является их реализация в базе логических мультиконтроллеров (ЛМК) [1, 2], состоящих из коллектива параллельно работающих однотипных контроллеров, взаимодействующих между собой в процессе работы. При проектировании подобных систем возникает ряд задач дискретной оптимизации, одной из которых является задача отыскания субоптимального разбиения априорно известной граф-схемы параллельного алгоритма логического управления. Ввиду невозможности отыскания за приемлемое время оптимального решения применяются различные эвристические методы [1–4], существенно отличающиеся по ряду ключевых характеристик, к которым в первую очередь относятся трудоемкость реализации, асимптотическая временная и емкостная сложности, состав оптимизируемых частных показателей качества и интегральное качество получаемых решений.

Наилучшее качество решений, подтвержденное рядом вычислительных экспериментов с использованием априорно заданных выборок $\Lambda = \{G_1^0, G_2^0, \dots, G_K^0\}$ из K тестовых примеров G_k^0 , $k = \overline{1, K}$ (граф-схем $G = \langle A, V \rangle$ алгоритмов в данном случае, где A – множество вершин и V – множество дуг), демонстрируют методы С.И. Баранова и метод параллельно-последовательной декомпозиции [5–7]. Сильное влияние на тенденции изменения абсолютных значений показателей качества оказывают как численные значения технологических ограничений X_{\max} – на число сигналов логических

условий, принимаемых контроллером, Y_{\max} – на число сигналов микроопераций, выдаваемых контроллером, и W_{\max} – на емкость памяти микрокоманд контроллера, так и средний размер граф-схемы $N = |A|$, выражаемый числом вершин в ее составе.

Зависимости среднего значения выбранного показателя качества y от значения ограничения x , полученные в ходе экспериментов с изменением одной из координат пространства параметров [6], имеют качественно схожий вид, представленный на рис. 1.

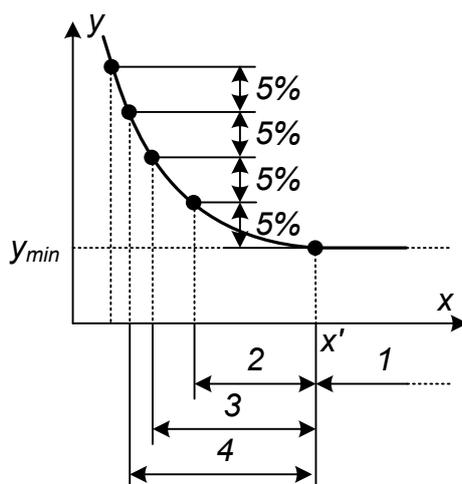


Рис. 1. Типичная зависимость показателя качества x от значения ограничения y (1 – область нечувствительности; 2, 3, 4 и т.д. – области соответственно не более чем 5%-, 10%-, 15%- и т.д. ухудшения значения критерия по отношению к значению y_{\min} в области нечувствительности)

Особой точкой на приведенном на рис. 1 графике является точка ограничения области нечувствительности с координатами (x', y_{\min}) , расположенная между областями 1 и 2: любое ослабление значения ограничения в диапазоне $x' \leq x$ не сказывается на значении показателя качества, принимающего свое теоретическое минимально возможное значение y_{\min} для заданных условий вычислительного эксперимента (метод синтеза разбиений, размер граф-схемы алгоритма, параметры генератора псевдослучайных граф-схем и т.д.). Усиление значения ограничения в области $x < x'$ приводит к монотонному возрастанию среднего значения показателя качества y .

Вычислительные эксперименты последней серии [7, 8], выполненные в рамках проекта добровольных распределенных вычислений Gerasim@Home [9] на платформе BOINC [10, 11], имели своей целью исследование срезов пространства параметров (X_{\max}, N) и (W_{\max}, N) . В ходе анализа полученных результатов было показано, что типовые зависимости абсо-

лутных значений показателей качества на полученных двумерных картах имеют схожий вид (рис. 2).

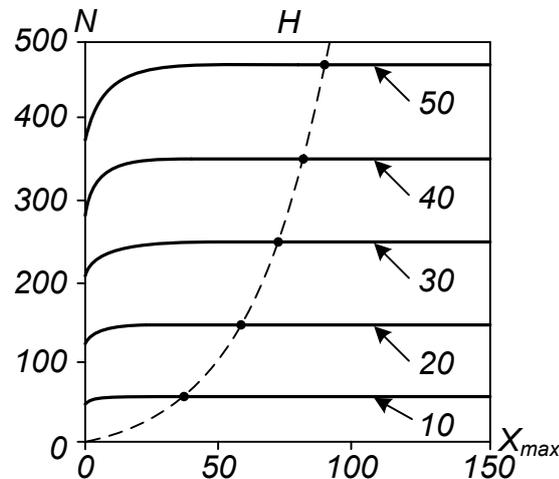


Рис. 2. Пример типовой зависимости абсолютного значения показателя качества (в данном примере, среднего числа блоков H в разбиениях, полученных методом С.И. Баранова) от координат области в составе пространства параметров. Пунктирной линией обозначена граница области нечувствительности

На приведенных двумерных картах также можно выделить две области, располагающиеся слева и справа от пунктирной линии. Область, располагающуюся справа, является областью нечувствительности, в ней для каждого конкретного значения N имеется точка X'_{max} , правее которой изменение численного значения технологического ограничения не оказывает влияния на качество разбиения.

Положение данной точки зависит прежде всего от среднего числа вершин N в граф-схемах алгоритмов выборки Λ , что позволяет экспериментальным путем получить приведенные ниже (рис. 3) графики зависимости положения точки загиба x' от N для различных показателей качества. (Положение точки загиба также зависит от объема выборки граф-схем алгоритмов K в вычислительном эксперименте: с ростом K положение точки x' смещается в область ослабления ограничения, имея конечный предел $\lim_{K \rightarrow \infty} x'$).

С учетом того, что объем выборки K линейно влияет на время вычислительных экспериментов, для приведенных ниже рекомендаций условно полагаем, что $x' \Big|_{K=5000} \approx \lim_{K \rightarrow \infty} x'$ с точностью в пределах нескольких процентов, что было проверено в ограниченной области пространства параметров при $K = 50\,000$. Для приведенных на рис. 3 зависимостей это означает потенциально-возможное незначительное смещение приведенных кривых вверх с увеличением предельных значений технологических ограничений).

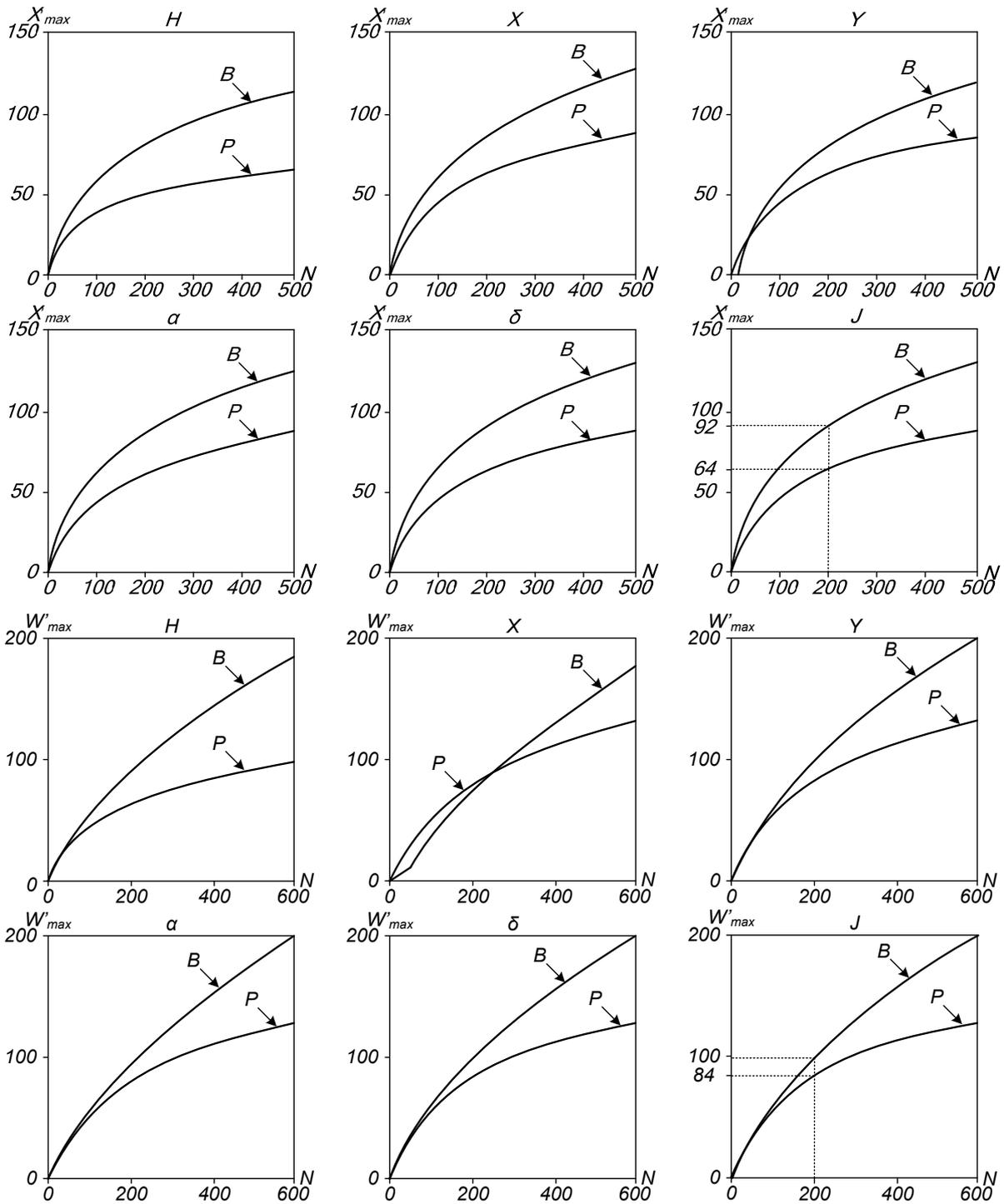


Рис. 3. Зависимости пороговых значений ограничений X'_{max} и W'_{max} от среднего числа вершин в граф-схемах алгоритмов N (B – метод С.И. Баранова, P – параллельно-последовательный метод)

Полученные зависимости интересны с первую очередь тем, что с их помощью можно сформулировать рекомендации для разработчиков аппаратной части ЛМК. Например, для ЛМК, ориентированного на реализацию произвольных граф-схем алгоритмов управления из $N = 200$ вершин с исполь-

зованием параллельно-последовательного метода, в составе контроллеров требуется не более $X'_{\max} = 64$ выводов для приема сигналов логических условий и не более $W'_{\max} = 84$ ячеек памяти исходя из графиков для интегрального показателя качества J (для метода С.И. Баранова указанные значения составляют соответственно $X'_{\max} = 92$ и $W'_{\max} = 98$). А, зная значения технологических ограничений, можно определить рекомендуемое число контроллеров в составе ЛМК. Для выбранного значения $N = 200$ оно составляет 26. При усилении ограничений, например, из-за производственных ограничений, указанное рекомендуемое значение может возрасти, но не более чем до 37.

Предельные значения ограничений, полученные для ЛМК с различным числом контроллеров, приведены в таблице.

Таблица. Средний размер граф-схем алгоритмов и значения предельных технологических ограничений в зависимости от числа модулей в составе мультиконтроллера для метода параллельно-последовательной декомпозиции

Число контроллеров (H) в составе мультиконтроллера без учета избыточности	Число вершин (N) реализуемой граф-схемы алгоритма, не более (при условии $X_{\max} \geq X'_{\max}$ и $W_{\max} \geq W'_{\max}$)	Предельные ограничения	
		X'_{\max}	W'_{\max}
$3 \times 3 = 9$	50	30	34
$4 \times 4 = 16$	110	49	61
$5 \times 5 = 25$	200	64	84
$6 \times 6 = 36$	312	76	105
$7 \times 7 = 49$	450	86	120

Предельные ограничения на число принимаемых сигналов логических условий являются значительными (в отличие от предельных ограничений на емкость памяти микропрограмм), что вынуждает экономить дорожки, используемые для приема контроллером сигналов логических условий, заставляя переходить в область сильных ограничений, в которой метод параллельно-последовательной декомпозиции выглядит предпочтительнее [6–8].

Еще одной особенностью полученных кривых является зависимость расположения точки ограничения области нечувствительности от метода синтеза разбиения. Из полученных экспериментальных данных следует, что для параллельно-последовательного метода ширина области нечувствительности больше, чем для метода С.И. Баранова, что является неоспоримым преимуществом, т.к. для большего диапазона значений ограничений метод не демонстрирует ухудшения качества разбиений.

Авторы статьи выражают благодарность всем добровольцам, принявшим участие в выполненных в рамках проекта Gerasim@Home расчетах и обсуждении деталей адаптации расчетного модуля под BOINC грид, а также лично Валяеву Сергею Юрьевичу (SerVal) за предоставление технической возможности использования проекта Gerasim@Home для организации распределенных вычислений и ряд ценных советов и замечаний.

Список литературы

1. Организация и синтез микропрограммных мультимикроконтроллеров / Зотов И.В., Колосков В.А., Титов В.С. и др. Курск: изд-во Курск, 1999. 368 с.
2. Архитектура параллельных логических мультимикроконтроллеров / Емельянов С.Г., Зотов И.В., Титов В.С. М: Высшая школа, 2009. 233 с.
3. Комбинаторно-логические задачи синтеза разбиений параллельных алгоритмов логического управления при проектировании логических мультимикроконтроллеров / Э.И. Ватутин, И.В. Зотов, В.С. Титов и др. Курск: изд-во КурскГТУ, 2010. 200 с.
4. Ватутин Э.И. Проектирование логических мультимикроконтроллеров. Синтез разбиений параллельных граф-схем алгоритмов. Saarbrücken: Lambert Academic Publishing, 2011. 292 с.
5. Ватутин Э.И., Волобуев С.В., Зотов И.В. Комплексная сравнительная оценка методов выбора разбиений при проектировании логических мультимикроконтроллеров // Идентификация систем и задачи управления (SICPRO'08). М.: ИПУ РАН, 2008. С. 1917–1940.
6. Ватутин Э.И., Волобуев С.В., Зотов И.В. Комплексный сравнительный анализ качества разбиений при синтезе логических мультимикроконтроллеров в условиях присутствия технологических ограничений // Параллельные вычисления и задачи управления (РАСО'08). М.: ИПУ РАН, 2008. С. 643–685.
7. Ватутин Э.И., Титов В.С. Сравнение методов синтеза разбиений параллельных алгоритмов логического управления с использованием двухпараметрических диаграмм // Оптико-электронные приборы и устройства в системах распознавания образов, обработки изображений и символьной информации (Расознавание – 2012). Курск: изд-во КурскГТУ, 2012. С. 138–140.
8. Ватутин Э.И., Титов В.С. Сравнение методов синтеза разбиений граф-схем параллельных алгоритмов с использованием двумерных диаграмм // Известия Юго-Западного государственного университета, 2012. № 3. С. 12–16.
9. <http://gerasim.boinc.ru>
10. <http://boinc.berkeley.edu>
11. <http://ru.wikipedia.org/wiki/BOINC>