

**ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ  
РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ  
ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ НЕЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМ**

*В.П. Щербаков*

В статье рассматривается методика идентификации нелинейных объектов и систем с использованием технологии распределенных вычислений, которая позволяет существенно сократить время идентификации за счет проведения одновременных расчетов на вычислительных устройствах различного типа.

Ключевые слова: идентификация нелинейных систем, распределенные вычисления на OpenCL, продукт AcSocad.

Стремительное развитие и применение технологии распределенных вычислений для решения широкого круга инженерных и научных задач позволило существенно сократить время проведения требуемых математических расчетов за счет одновременного выполнения однотипных вычислительных операций на различных устройствах.

Важным преимуществом технологии распределенных вычислений является высокая скорость получения результата, позволяющая производить параллельные расчеты для разных наборов параметров одной математической модели в несколько десятков, сотен и даже тысяч раз быстрее, чем при последовательном проведении расчета.

Несмотря на это, у рассматриваемой технологии имеется и один существенный недостаток. Он состоит в том, что распределенные системы должны быть всегда загружены минимальным объемом вычислений, иначе их использование может увеличить время расчета в несколько раз по сравнению с обычным расчетом. В большинстве случаев это обусловлено низкой производительностью одного рабочего элемента распределенной системы, а также тем, что на передачу информации между системами затрачивается определенное количество времени.

Таким образом, применение технологии распределенных систем может быть оправдано только в том случае, если выполняется достаточно большой объем однотипных вычислений.

В связи с этим использование технологии не эффективно для большинства разработанных методов идентификации линейных и нелинейных систем, в которых вычисления выполняются последовательно на основе предыдущей информации малого объема без возможности распараллеливания.

Однако предложенный алгоритм идентификации при помощи моделирования, изложенный в [1], позволяет использовать технологию распределенных вычислений для идентификации нелинейных объектов и систем.

**Суть метода.** Параметрическая идентификация нелинейных систем согласно рассматриваемому алгоритму состоит в многократном повторении моделирования исследуемой системы по известной модели для разных наборов параметров элементов системы, которые определяются в соответствии с определенными правилами поиска минимального значения среднеквадратичного отклонения (СКО) получаемого выходного сигнала от известного реального сигнала системы.

Так как в алгоритме имеется возможность распараллелить моделирование системы для разных наборов параметров элементов системы, то целесообразно разработать универсальную подпрограмму моделирования и реализовать её на различных типах платформ.

**Реализация метода.** Часто программные средства, построенные по технологии распределенных систем, используют только на одном многопроцессорном компьютере, имеющим в своем составе ускорители и вычислители, такие как видеокарты и интегрированные процессоры, доступ к которым возможно осуществить, например, по технологии OpenCL.

Однако технология OpenCL имеет некоторые ограничения в зависимости от типа оборудования, поэтому для того, чтобы реализация на различных платформах различалась несущественно, необходимо принять некоторые положения.

Во-первых, подпрограмма моделирования должна собираться и компилироваться в режиме реального времени при помощи компилятора OpenCL или встроенного в программу идентификации компилятора. Так как в большинстве случаев OpenCL использует компилятор программ, которые написаны на языке Си, то следует придерживаться этого правила и также осуществлять программирование всех частей подпрограммы на языке Си для совместимости со всеми платформами.

Во-вторых, для достижения оптимального быстродействия все вычисления необходимо производить в одной функции. Это позволит исключить избыточную передачу и копирование переменных.

В-третьих, так как не на всех устройствах OpenCL имеется поддержка переменных с плавающей точкой двойной точности `double`, то следует использовать тип `float`. Кроме того, OpenCL не позволяет использовать указатели, поэтому все массивы необходимо определять статическими заранее в процедуре сборки исходного кода подпрограммы.

В-четвертых, в качестве входных параметров основной и единственной функции ядра `__kernel` на OpenCL следует задать массив неизвестных параметров элементов и массив выходных сигналов элементов системы.

В-пятых, в текст подпрограммы моделирования в режиме сборки заносятся все необходимые константы и переменные, наличие и объем которых достаточен для написания на языке Си подпрограммы моделирования по методу Кунге-Кутта 4 порядка.

Кроме технологии OpenCL возможно дополнительное использование нескольких потоков обычного приложения, позволяющих выполнять вычисления при помощи обычных ядер процессора CPU.

На основе приведенных выше особенностей реализаций подпрограммы моделирования необходимо в программе идентификации предусмотреть возможность распределения заданий по моделированию с определенным набором параметров элементов системы для выполнения расчетов на различных платформах с учетом их производительности.

В этом случае программа идентификации в соответствии с алгоритмом идентификации составляет наборы параметров, для которых требуется получить соответствующие выходные сигналы системы во временной области, распределяет их между платформами, запускает их выполнение, ожидает результаты и по полученным от платформ массивам выходных сигналов рассчитывает СКО и передает значение в алгоритм идентификации.

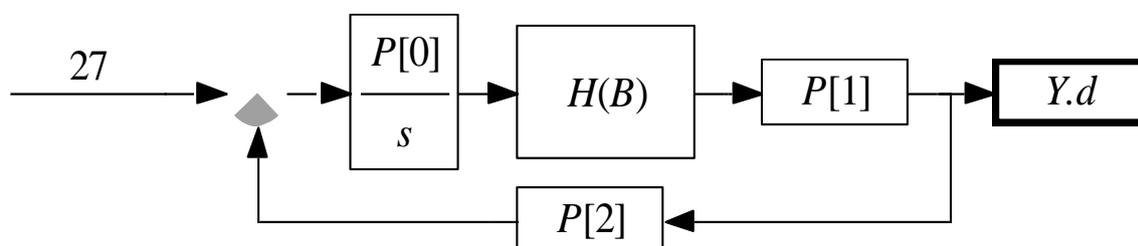
Несмотря на то, что с точки зрения сокращения объема передачи информации между платформой и системой платформе следует самостоятельно рассчитывать СКО и возвращать уже готовую величину для набора параметров, опытным путем установлено, что такой подход неэффективен и является весьма затратным по времени, так как это существенно нагружает и без того медленный рабочий элемент платформы.

Таким образом, программа идентификации занимается сборкой программы на языке Си, в которую программным путем помещается модель исследуемой системы и алгоритм ее моделирования. Далее эта программа отправляется в соответствующие платформы на компиляцию и после успешного запуска на платформе в функцию ядра передаются массивы входных данных, содержащие наборы параметров и в асинхронном режиме ожидается заполнение выходных массивов с временными последовательности выходного сигнала для заданных параметров.

**Программа идентификации.** Приведенная выше методика идентификации с применением технологии распределенных систем реализована в программном комплексе Acsocad, в состав которого входят средства синтеза SintACS, идентификации во временной области ItACS и частотной области IfACS, а также средство моделирования SimACS со встроенным алгоритмом идентификации методом моделирования.

Для идентификации нелинейных нестационарных систем в SimACS достаточно построить при помощи блоков структурную схему исследуемой системы, подключить к выходу модели компаратор с известным выходным сигналом или даже несколько компараторов для нескольких моделей на одном листе, задать в качестве параметров звеньев в символьном виде определяемые значения параметров, перейти на вкладку идентификации, задать число неизвестных параметров и их минимальные, максимальные и начальные значения. После этого следует запустить идентификацию.

**Примеры идентификации.** Для того, чтобы убедиться в высокой скорости расчетов с применением технологии распределенных вычислений, на компьютере с процессором Intel(R) Core(TM) i5-4690, видеокартой NVIDIA GeForce GTX 750 (активная) и видеокартой Intel(R) HD Graphics 4600 (пассивная) в программе Acsocad проводится эксперимент с нелинейной системой с тремя неизвестными параметрами, а  $H(B)$  является полиномом 12 степени. Структурная схема модели представлена на рис.



Структурная схема нелинейной системы в общем виде

Для начала произведены расчеты для 10000 различных наборов неизвестных параметров системы, по окончании которых получены результаты. При использовании одного ядра процессора вычисления завершились через 24 секунды, для двух ядер – за 13 секунд, для трех – за 9 секунд и для четырех – за 7,6 секунды. Использование Intel OpenCL позволило получить результаты за 2,8 секунды, а применение NVIDIA CUDA – за 2,3 секунды.

Однако алгоритм идентификации предполагает одновременный расчет небольшого числа набора параметров, поэтому следует провести процесс идентификации с поиском оптимального СКО согласно алгоритму из [1].

За основу идентификации взят первоначальный расчет 1000 наборов параметров, затем использован геометрический метод, после которого в работу включаются 3 проводника для поиска минимального СКО. В результате рассчитано 43000 наборов, позволивших определить значение искомого параметра с относительной погрешностью 0,13%.

При использовании как одного, так и четырех ядер процессора вычисления завершились приблизительно одинаково через 90 секунд, а расчеты с применением NVIDIA CUDA заняли свыше 100 секунд. Однако вычисления с использованием Intel OpenCL успешно выполнены за 10 секунд.

**Заключение.** Применение технологии распределенных вычислений для идентификации нелинейных систем позволяет сократить время идентификации не менее чем в 9 раз, причем наиболее эффективные результаты показала платформа Intel(R) HD Graphics 4600.

#### Библиографический список

1. Щербаков, В.П. Метод идентификации моделированием для получения частотной характеристики объектов и систем / В.П. Щербаков // Механика и процессы управления. Т. 2. – Материалы XXXXI Всероссийского симпозиума. – М.: РАН, 2011. – С. 238–245.

[К содержанию](#)