



Литература

1. Гергель В.П. Теория и практика параллельных вычислений: учебное пособие. – М.: Интернет-Университет Информационных Технологий: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007. – 423 с.: ил.
2. Засов В.А., Ромкин М.В. Параллельные вычисления в задаче разделения сигналов в многомерных динамических системах //Труды VI международной конференции «Параллельные вычисления и задачи управления, РАСО-2012». – М.: Институт проблем управления РАН им. В.А. Трапезникова, 2012. – С. 96-102.

В.А. Засов, М.С. Мутагаров

МОДЕЛЬ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ВХОДНЫХ СИГНАЛОВ В МНОГОМЕРНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

(Самарский государственный университет путей сообщения)

Задачей идентификации входных сигналов является определение сигналов источников $s_n(k)$, недоступных для прямых измерений, по измеренным в доступных точках сигналам приемников, в которых сигналы представляют собой аддитивную смесь искаженных в процессе передачи сигналов источников.

Для решения этой широко распространенной на практике задачи в работе предлагается модель параллельного вычислительного устройства (ПВУ), реализующего нерекурсивный алгоритм разделения источников сигналов [1].

Разработку ПВУ будем производить на основе модели образования сигналов в физическом объекте, который представим в виде линейной многомерной динамической системы, имеющей N входов и M выходов. Входными сигналами модели являются сигналы $s_n(k)$, $n=1,2,\dots,N$, выходными сигналами $x_m(k)$, $m=1,2,\dots,M$. Входные сигналы – это сигналы, генерируемые различными источниками сигналов, а выходными сигналами этой системы могут являться сигналы различных приемных устройств, например, измерительных преобразователей и т.п. Положим, что каждый из M выходов такой многомерной системы связан со всеми N входами линейными каналами передачи сигналов.

Математическая модель образования сигналов описывается системой уравнений типа дискретной свертки (1), где m - ный наблюдаемый сигнал представляет собой аддитивную смесь искаженных каналами сигналов источников и шума [1], т.е.

$$x_m(k) = \sum_{n=1}^N \sum_{g=0}^{G-1} h_{mn}(g, \mathbf{I}) s_n(k-g) + y_m(k), \quad (1)$$

где $m=1,\dots,M$; $h_{mn}(g)$ - элемент $M \times N$ матрицы $\mathbf{h}(g)$ импульсных характеристик каналов, связывающих источники и приемники сигналов;



$\mathbf{y}(k) = [y_1(k), y_2(k), \dots, y_M(k)]^T$ – вектор шума. В дальнейшем положим, что импульсные характеристики $h_{mn}(g)$ конечны и представляются числом отсчетов G .

Алгоритм и структурная схема ПВУ [2] определяются применяемым в этих устройствах алгоритмом решения системы уравнений типа дискретной свертки с помощью обратной матрицы.

Для случая, когда в модели количество источников равно количеству приемников, т.е. $N=M$, и число отсчетов сигналов приемников равно числу отсчетов импульсных переходных характеристик каналов ($K=G$), в частотной области $\omega = \omega_0, \dots, \omega_{K-1}$ функция ПВУ может описываться K системами линейных алгебраических уравнений вида

$$\begin{pmatrix} \widehat{S}_1(\omega_k) \\ \dots \\ \widehat{S}_N(\omega_k) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} W_{11}(\omega_g, \mathbf{I}) & \dots & W_{1M}(\omega_g, \mathbf{I}) \\ \dots \\ W_{N1}(\omega_g, \mathbf{I}) & \dots & W_{NM}(\omega_g, \mathbf{I}) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_1(\omega_k, \mathbf{I}) \\ \dots \\ X_M(\omega_k, \mathbf{I}) \end{pmatrix}, \quad (2)$$

где $K=G$ и $k = 0, \dots, K-1$, $g=0, \dots, G-1$, а \mathbf{I} – вектор параметров, определяющий характеристики каналов. В более компактной форме записи систему (2) можно представить в виде

$$\widehat{\mathbf{S}}(\omega_k) = \mathbf{W}(\omega_g, \mathbf{I}) \cdot \mathbf{X}(\omega_k) = \mathbf{H}^{-1}(\omega_g, \mathbf{I}) \cdot \mathbf{X}(\omega_k),$$

где $\widehat{\mathbf{S}}(\omega_k) = [\widehat{S}_1(\omega_k), \dots, \widehat{S}_N(\omega_k)]$ – вычисленное некоторое приближение (образ) вектора источников сигналов для частоты ω_k , состоящий из фурье-образов сигналов источников; $\mathbf{X}(\omega_k) = [X_1(\omega_k), \dots, X_M(\omega_k)]$ – вектор приемников сигналов для частоты ω_k , состоящий из фурье-образов сигналов приемников; индекс $k = 0, \dots, K-1$.

Для практической реализации ПВУ их функцию, задаваемую выражением (2), целесообразно представить в виде более удобном для осуществления потоковой параллельной обработки во временной области.

Для этого элементы разделяющей матрицы $\mathbf{w}(g, \mathbf{I})$ при условии $K=G$ и определенном значении вектора $\mathbf{I} = I$ представим следующим образом:

$$w_{nm}(g, I) = \frac{1}{K} \sum_{k=0}^{K-1} W_{nm}(\omega_g, I) \cdot \exp\left(i \frac{2\pi k \omega_g}{K}\right).$$

Тогда решение системы (1) в виде удобном для осуществления потоковой параллельной обработки представляется следующим образом:

$$\begin{aligned} \widehat{s}_1(k) &= \sum_{m=1}^M \sum_{g=0}^{G-1} w_{1m}(g, I) x_m(k-g) \\ \dots \\ \widehat{s}_N(k) &= \sum_{m=1}^M \sum_{g=0}^{G-1} w_{Nm}(g, I) x_m(k-g) \end{aligned}, \quad (3)$$

где $\widehat{s}_1(k), \dots, \widehat{s}_N(k)$ – вычисленные сигналы, являющиеся некоторыми приближениями – образами – истинных сигналов $s_1(k), \dots, s_N(k)$, в точках их зарождения.



Частотный коэффициент передачи $W_{nm}(\omega_g, I)$, является элементом на пересечении n -ой строки и m -ого столбца спектральной матрицы $\mathbf{W}(\omega_g, \mathbf{I})$, обратной спектральной матрице $\mathbf{H}(\omega_g, \mathbf{I})$, т.е. $\mathbf{W}(\omega_g, \mathbf{I}) = \mathbf{H}^{-1}(\omega_g, \mathbf{I})$ при $M=N$ (или псевдообратной матрицы $\mathbf{W}(\omega_g, \mathbf{I}) = \mathbf{H}^+(\omega_g, \mathbf{I})$ при $M \neq N$).

$$\text{Матрица } \mathbf{H}(\omega_g, \mathbf{I}) = \begin{pmatrix} H_{11}(\omega_g, I) & \cdots & H_{1N}(\omega_g, I) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ H_{M1}(\omega_g, I) & \cdots & H_{MN}(\omega_g, I) \end{pmatrix} - \text{смешивающая матрица}$$

частотных коэффициентов передачи, элементами которой являются фурье-образы каналов. Структурная схема предлагаемого ПВУ, реализующая выражение (3), приведена на рисунке.

Функциональный процессор (ФП) в ПВУ выполняет собственно разделение сигналов приемников $x_n(k)$. Этот процессор реализует модель, обратную модели образования сигнала, частотный коэффициент передачи которой равен $\mathbf{W}(\omega, \mathbf{I})$ и является матричным эквивалентом (обобщением) частотного коэффициента передачи классического обратного фильтра. ФП имеет однородную структуру, состоящую из перестраиваемых фильтров (ПФ) и блоков суммирования (БС).

Настройка ПФ, число которых равно $N \times M$, осуществляется настроенным процессором (НП). Работа ПФ осуществляется параллельно во времени и независимо друг от друга, что обеспечивает высокие быстродействие и производительность предлагаемой модели ПВУ.

В НП производится вычисление весовых коэффициентов $w_{nm}(g, I)$ ПФ по заданным или измеренным отсчетам импульсных переходных характеристик каналов. Алгоритм вычисления весов $w_{nm}(g, I)$ содержит следующие этапы:

- дискретное преобразование Фурье импульсных переходных характеристик каналов и получение смешивающей спектральной матрицы $\mathbf{H}(\omega, \mathbf{I})$;
- обращение спектральной матрицы $\mathbf{H}(\omega, \mathbf{I})$ и получение разделяющей спектральной матрицы $\mathbf{W}(\omega, \mathbf{I})$;
- обратное преобразование Фурье элементов разделяющей матрицы $\mathbf{W}(\omega, \mathbf{I})$ и получение весовых коэффициентов ПФ, задаваемых матрицей $\mathbf{w}(g, \mathbf{I})$

Следует заметить, что существует методы [2], позволяющие осуществлять идентификацию входных сигналов в условиях, когда частотные характеристики каналов неизвестны и только удовлетворяют определенным ограничениям.

Этим ограничениям должны удовлетворять свойства собственно модели образования сигналов, но некоторые из ограничений можно ввести искусственно. Например, ограничить энергетический спектр сигналов источников можно путем включения фильтров низкой частоты на входы ПВУ.

На практике возможны случаи нарушения введенных априори ограничений. Например, плохая обусловленность систем (2) или (3) может получиться, если из-за особенностей модели объекта источники или приёмники сигналов оказываются близко расположенными [3]. Это приводит к почти линейной зави-



симости строк (столбцов) определителя $\det \mathbf{H}$ матрицы частотных коэффициентов передачи и, как следствие, почти вырожденной смешивающей матрице. Подобный эффект особенно проявляется на низких частотах, на которых длины волн весьма велики и соизмеримы с расстояниями между измерительными датчиками (приёмниками сигналов).

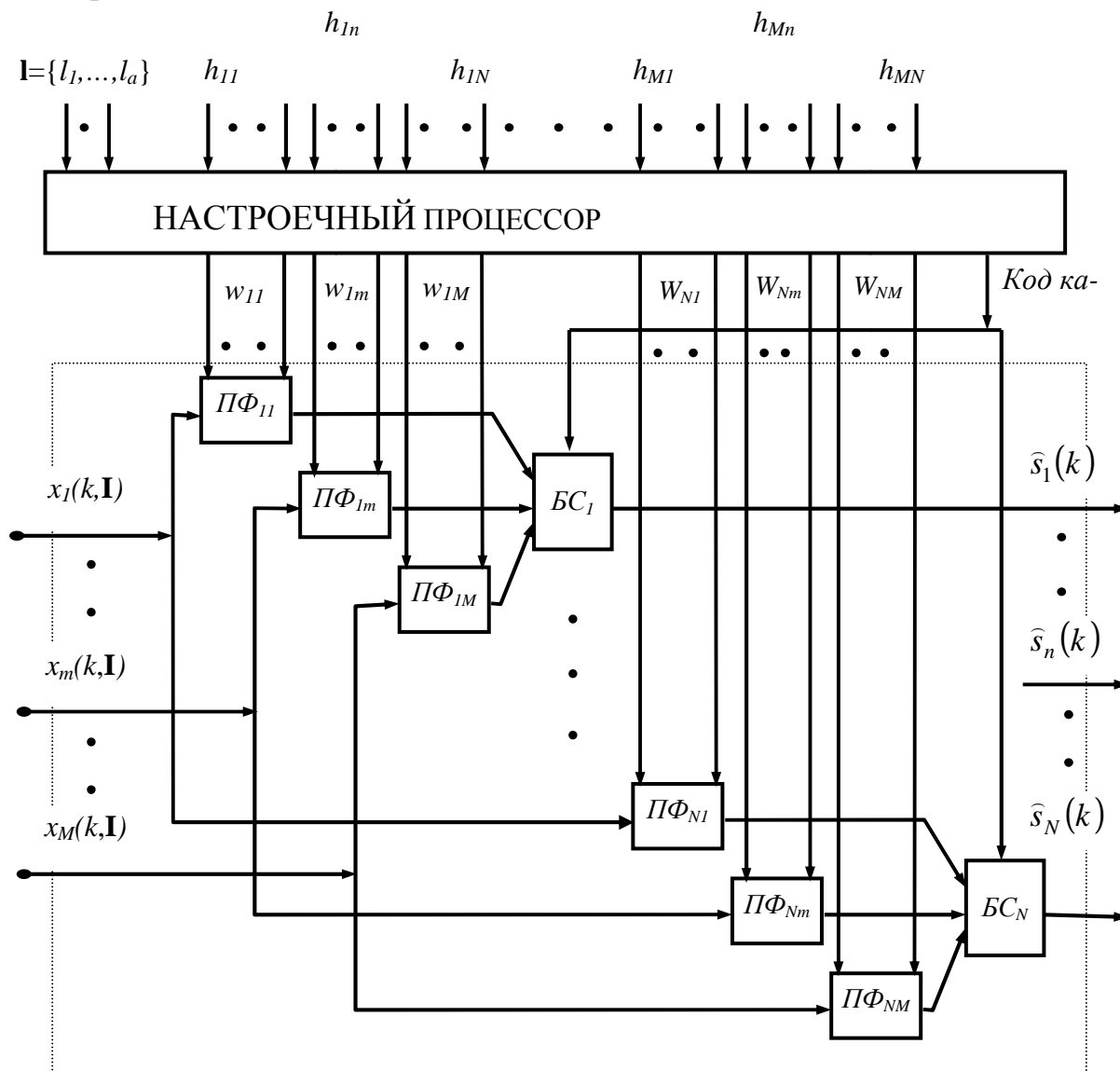


Рисунок 1 - Структурная схема ПВУ для идентификации входных сигнала в многомерных системах

Поэтому в условиях априорной неопределенности свойств физического объекта требуется осуществлять анализ, контроль и, в случае необходимости, обеспечивать устойчивость работы ПВУ. Для реализации этих функций в состав настроечного процессора вводятся программные модули анализа, контроля и регуляризации решения[1,3].



Литература

1. Засов В.А., Ромкин М.В. Параллельные вычисления в задаче разделения сигналов в многомерных динамических системах //Труды VI международной конференции «Параллельные вычисления и задачи управления, РАСО-2012». – М.: Институт проблем управления РАН им. В.А. Трапезникова, 2012. – С. 96-102.
2. Cichocki A., Amari S. Adaptive blind signal and image processing: Learning algorithms and applications. - Wiley, 2002.- 555p.
3. Засов В.А, Никоноров Е.Н., Тарабардин М.А. Идентификация входных сигналов в задачах контроля и диагностики динамических объектов //Четвертая международная конференция по проблемам управления (МКПУ-IV): Сб. трудов. – М.: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН. – 2009. - С. 1478-1486.

Д.Н. Карягин, Д.И. Кузнецов

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ И НОВОЕ КОНСТРУКТИВНОЕ РЕШЕНИЕ ДЕЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПОТОКОВ

(Казанский национальный исследовательский технический университет им.А.Н.Туполева – КАИ)

Современные информационные технологии высокопроизводительных вычислений зачастую основаны на параллельных вычислениях. При небольших объемах входного информационного трафика распараллеливание, и, в частности, деление входного сигнала, не вызывает особых затруднений. Но современные потоки настолько велики, что могут передаваться только с помощью СВЧ технологий. Объем информации постоянно возрастает, что вынуждает использовать все более высокочастотные устройства. При этом, если просто разделить входной сигнал на 2 части с помощью низкочастотного тройника, то возникнет несогласованность входных и выходных СВЧ сопротивлений и, как следствие, отражения СВЧ волн, препятствующие нормальной работе системы. При стандартном 50-омном сопротивлении СВЧ тракта коэффициент отражения Γ от входа такого делителя:

$$\Gamma = (Z_{\text{н}} - Z_{\text{г}}) / (Z_{\text{н}} + Z_{\text{г}}) = (25 - 50) / (25 + 50) = -0,333... (!)$$

где общее сопротивление нагрузки $Z_{\text{н}} = 50 // 50 = 25 \Omega$; то есть отражается $0,333^2 = 0,11 = 11\%$ мощности, что недопустимо много (дело не столько в том, что сигнал сильно ослабляется, но, главное, отраженный сигнал, многократно перетраживаясь в коммутационной системе, вызывает многочисленные непредсказуемые помехи и сбои в работе информационно-вычислительного оборудования). Следовательно, задача согласованного деления и реализации эффективного и доступного СВЧ делителя является особенно *актуальной* для параллельных вычислений. Кроме того, зачастую информация поступает и через спутни-