

## ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ СИНТЕЗА МНОГОМЕРНЫХ ФИЛЬТРОВ

Нашутинский<sup>1</sup> Н.Н.

Московский энергетический институт (технический университет)  
105835, ГСП, Москва Е-250, ул. Красноказарменная, д.17  
Тел.: (095)-362 7463, E-mail: [nnnash@dol.ru](mailto:nnnash@dol.ru)

Предлагается комплекс программных средств для автоматизации синтеза двумерных цифровых фильтров. Основное внимание уделяется формированию рекурсивных фильтров: предусмотрены процедуры проверки устойчивости и обеспечения близкой к линейной фазовой характеристики. Указаны требования и обосновывается выбор инструментальной платформы для реализации комплекса. Описывается структура комплекса, функции отдельных модулей, а также их взаимодействие. Определяются направления для дальнейшего совершенствования комплекса.

По сравнению с традиционной аналоговой обработкой сигналов, цифровая (ЦОС) обладает рядом преимуществ:

- реализуемость сложных процедур;
- высокое качество фильтрации, её "повторяемость";
- возможность оперативного изменения алгоритма работы;
- экономическая эффективность при сходных характеристиках фильтров.

Для широкого круга задач (статические и динамические изображения, радиолокация, томография, связь, мультимедийные приложения, Internet) необходима фильтрация *многомерных* сигналов.

Использование *рекурсивных* фильтров позволяет решать возникающие задачи с меньшими аппаратными затратами [1,2]. Обеспечение устойчивости фильтра в многомерном случае весьма трудоёмко и осложняется практическим отсутствием эффективных аналитических методов для широкого класса фильтров. Необходимо создать средство для частичной автоматизации многомерных систем. Анализ исследований в этой области показал, что уже созданы или создаются программные средства [5–7], но на синтезируемые фильтры наложен ряд существенных ограничений.

Синтез *одномерных* и двумерных *нерекурсивных* цифровых фильтров может быть выполнен с помощью стандартных пакетов систем инженерных и научных расчетов, например, MATLAB [3,5,6]. Открытая архитектура пакета, наличие встроенных функций синтеза фильтров, мощных средств обработки матриц и визуализации полученных результатов, возможность создания графических интерфейсов пользователя, присутствие механизмов обмена данными с другими приложениями – вот лишь небольшая часть возможностей, позволивших при выборе ядра для создания комплекса остановиться на системе MATLAB.

Благодаря положенному в основу модульному принципу, процесс разработки комплекса был разделен на независимые этапы. Отладка модулей выполнялась по отдельности и в составе комплекса в целом. В дальнейшем модули могут быть изменены и добавлены, как для расширения выполняемых функций, так и для использования более эффективных алгоритмов или создания фильтров с иными свойствами. Применение модульного принципа, однако, привело к необходимости уделить повышенное внимание внутреннему протоколу обмена данными.

Созданные модули можно разбить на три основных группы: *аппроксимации*, *моделирования* и *реализации*. Присутствуют также и вспомогательные (служебные) модули. Основные функции последних заключаются в выполнении необходимых, но не связанных напрямую с синтезом действий: преобразования данных, вывод в графической форме, пользовательский интерфейс, и пр. Рассмотрим подробнее функции, выполняемые основными модулями.

### Модули аппроксимации (MAi)

Служат для аппроксимации характеристик искомой системы различными способами в частотной (пространственной) области и/или во временной с учётом заданных параметров и ограничений.

Параметры системы подготавливаются для модулей аппроксимации вспомогательными модулями ВЗ-А и ВЗ-С. Первый служит для ввода задания в аналитической форме (характеристики фильтра заданы функцией времени и/или пространственных координат), второй – для ввода требований в численной форме (указываются частоты среза, амплитудные и/или фазовые

---

<sup>1</sup> Работа выполнена в рамках гранта № Т00-3.1-1251 и программы № 208.04.04.042 Минобразования России.

характеристики по областям, либо в виде матриц АЧХ, ФЧХ, ГВЗ и пр.). Модули *ВПА* (ввода параметров аппроксимации) и *ВПП* (ввода параметров реализации) предназначены для выбора типа проектируемого фильтра, метода аппроксимации, способа реализации (микропроцессор, программа для ЭВМ, специализированная СБИС) и разрядности коэффициентов, а также указания представления дробных чисел для конкретной элементной базы. Параметры задаются в файлах или посредством интерфейса пользователя (*ИП*).

Открытость внутренней архитектуры комплекса позволяет добавлять модули, реализующие произвольные способы аппроксимации и ограничения, наложенные на проектируемый фильтр. При появлении новой модели процессора или при возникновении необходимости выдерживать соответствие с другими фильтрами (например, при работе нескольких фильтров в многоскоростных системах), необходимые процедуры могут быть добавлены в уже существующий комплекс. Эта же возможность позволяет проектировать адаптивные фильтры, задавая управляющий параметр в виде ограничения на этапе аппроксимации.

Основной задачей комплекса является синтез рекурсивных фильтров, поэтому для случаев фильтрации изображений, необходимо применять методы, обеспечивающий фазовые характеристики близкие к линейным в полосе пропускания. Реализованы модули для аппроксимации известными методами [4].

Кроме передачи информации о полученном фильтре на модули моделирования, модули аппроксимации предоставляют необходимые данные модулю визуализации (*В*) для отображения в виде таблиц, графиков, а также передают их в *ИВП* (интерфейс внешних программ), если собственных средств комплекса недостаточно.

#### **Модули моделирования**

Модули этой группы необходимы для моделирования синтезированной функции и оценки характеристик фильтра, полученного на этапе аппроксимации. Модули фильтрации (*Ф*) и обработки сигналов (*ОС*) позволяют получить результаты фильтрации эталонных и произвольных тестовых сигналов (с учетом или без учёта действия шумов). Сигналы для анализа могут быть созданы вспомогательным модулем тестовых сигналов и шумов (*ГТС*) или получены извне. Возможна связь с модулями аппроксимации для работы в диалоговом режиме, что позволяет оперативно вносить изменения в параметры синтеза.

Модуль проверки устойчивости (*ПУ*) является важной частью модуля моделирования. Возможны случаи аппроксимации многомерных фильтров, удовлетворяющих заданным условиям, но в то же время, неустойчивых. Кроме того, численная реализация устойчивого фильтра, заданного в аналитической форме, может также оказаться неустойчивой. Алгоритмы модуля проверки устойчивости позволяют провести испытания фильтра в различных режимах работы.

С помощью вспомогательного модуля визуализации (*В*) можно выводить на один график результаты фильтрации различных сигналов одним фильтром (или одного сигнала разными фильтрами). Кроме того, этот модуль оборудован "измерительным" инструментарием для численной оценки характеристик фильтра.

Архитектура всех модулей позволяет передавать промежуточные данные в *MATLAB* для обработки. В дальнейшем могут быть добавлены модули преобразования промежуточных результатов в формат, пригодный для использования другими инженерными и математическими пакетами.

#### **Модули реализации (Мрi)**

Служат для реализации фильтра и его структуры в зависимости от вида результатов работы модулей аппроксимации и моделирования. Может быть выполнен расчёт параметров элементов, а также сравнение различных структур с учётом требований и возможностей программной (аппаратной) платформы.

Результаты создания комплекса были успешно использованы при проведении исследований в области синтеза двумерных рекурсивных фильтров с приближённо-линейной фазой [4]. В дальнейшем планируется расширение числа модулей и интеграция с другими пакетами и программами.

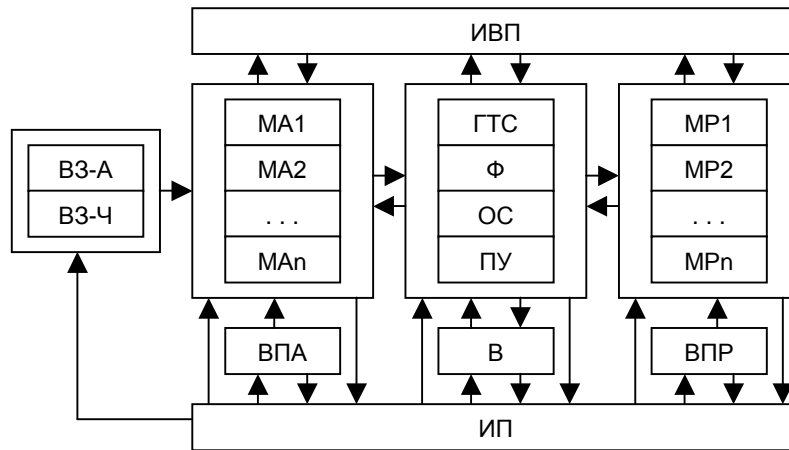


Рис.1. Общая структурная схема комплекса

### Литература

1. Даджион Д., Мерсеро Р. Цифровая обработка многомерных сигналов: Пер. с англ.–М.: Мир, 1988.– 488 с.
2. W.-S. Lu, A. Antoniou. Two-dimensional digital filters.– New-York, Marcel Dekker, Inc., 1992.– 398 с.
3. Потемкин В.Г. Система MATLAB. Справочное пособие.– М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 1998 – 350 с.
4. Нашутинский Н.Н. Синтез двумерных рекурсивных фильтров с приближенно линейной фазой. Раиоэлектроника, электротехника и энергетика // Шестая Междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов: Тез. докл. В 3-х т.– М.: Издательство МЭИ, 2000. Т.1.
5. H. Luo, W.-S. Lu, A. Antoniou, "An advanced software tool for the design of two-dimensional digital filters" // Proc. of ISCAS, 1992.– с. 1420-1423
6. L. Xu, M. Yamada, O. Saito, Development of nD control system toolbox for use with MATLAB // Proc. of the 1999 IEEE Intern. Conf. on Control Appl., USA, 1999
7. R. D'Andrea, Software for modeling, analysis, and control design for multidimensional systems // Proc. of the IEEE Intern. Symp. on Computer Aided Control System Design, USA, 1999



## SOFTWARE PACKAGE FOR MULTIDIMENSIONAL FILTER DESIGN

Nachoutinski<sup>2</sup> N.

Moscow Power Engineering Institute  
105835, GSP, Moscow E-250, 17 Krasnokazarmennaya st.  
Tel: +7 (095) 362 7463, e-mail: [nnnash@dol.ru](mailto:nnnash@dol.ru)

Digital Signal Processing (DSP) has a number of advantages comparing to traditional analogue signal processing. Wide class of problems implies the use of a *multidimensional (MD)* filter. *Recursive* filters allow us to reduce hardware cost [1, 2]. Due to the lack of effective analytical methods it is difficult to ensure stability of MD filter. Thus a tool for MD synthesis is needed. Existing programs [5–7] are few in number and impose strict limitations on filters. MATLAB [3, 5, 6] was chosen as a core of the package. Structure utilizes modular principle. There are three main groups: *approximation*, *modeling* and *implementation*. There are also *auxiliary* modules.

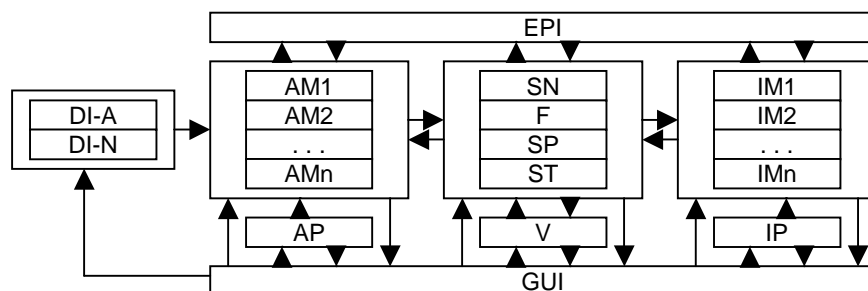
**Approximation modules (AMi)** use frequency/time domain methods to satisfy given parameters and constraints. Input data is prepared in auxiliary modules *DI-A* and *DI-N*. *AP* and *IP* modules are used to select approximation and implementation parameters. All data is presented in text files or chosen via graphical user interface (*GUI*).

Package is targeted at recursive filter design. For image processing such filters are to have nearly linear phase property. Package includes methods to ensure this [4].

**Modeling modules** are used to test and estimate the characteristics of approximated system. They include filtering (*F*) and signal processing (*SP*) modules and signal and noise (*SN*) generator. Feedback into approximation modules for interactive design is possible. Stability test (*ST*) module implements procedures for various conditions and modes. *EPI* is external programs interface. Data can be visualized in *V* module with “measuring” tools.

**Implementation modules (IMi)** are intended to convert results from previous modules into filter structure with element parameter estimation and system comparison.

Created package was used in design of approximately linear phase two-dimensional filters [4]. Future work will include extending the number of modules and algorithms.



## References

1. D. Dudgeon, R. Mersereau. Multidimensional digital signal processing. Prentice Hall, 1984.
2. W.-S. Lu, A. Antoniou. Two-dimensional digital filters.– N.-Y., Marcel Dekker, 1992.
3. Potemkin V.G. MATLAB system. Moscow, DIALOG-MEPHI, 1998
4. N.N. Nachoutinski. Synthesis of 2-D recursive with approximately linear phase. 6<sup>th</sup> International conference on Radioelectronics, Electrical engineering and Automation for students and PhD students, v.1, MPEI, Moscow, 2000.
5. H. Luo, W.-S. Lu, A. Antoniou, "An advanced software tool for the design of two-dimensional digital filters" // Proc. of ISCAS, 1992.– c. 1420-1423
6. L. Xu, M. Yamada, O. Saito, "Development of nD control system toolbox for use with MATLAB" // Proc. of IEEE ICCA, 1999
7. R. D'Andrea, "Software for modeling, analysis, and control design for multidimensional systems" // Proc. of IEEE ISCAS, 1999

<sup>2</sup> The work was done under the support of the grant # T00-3.1-1251 and of the program # 208.04.04.042 of MINOBRA-ZOVANIE of Russian Federation.