

519.168:856.2

**ФРАГМЕНТАЦИЯ
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ НА
ОСНОВЕ ЛОГИКО-КОМБИНАТОРНОГО
ПОДХОДА В ЗАДАЧЕ CUT-GLUE
АППРОКСИМАЦИИ¹**

Ярахмедов О. Т.

Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Российская Федерация
orhashka@gmail.com

Разработан и предложен новый подход к подбору структуры разбиения матричных данных. Разработанный подход основан на логико-комбинаторных особенностях фрагментации. При построении сетки разбиения используется равновероятное распределение случайных величин. Данная особенность позволяет рассмотреть максимально возможное количество всевозможных решений и найти наиболее оптимальное. Подход рассмотрен как инструмент реализации начального этапа мультипликативно-аддитивного метода экспериментального построения математических моделей Cut-Glue аппроксимации. В процессе работы было спроектировано и реализовано программное средство на языке C#. Пример использования продемонстрирован на специально разработанном программном средстве. На тестовых примерах подробно рассмотрены этапы фрагментации данных при различных исходных параметрах.

Ключевые слова: оптимизация, аппроксимация, математическая модель, экспериментальные данные, комбинаторный алгоритм, фрагментация.

Введение. Для современных технических систем характерна существенная нелинейность составляющих их объектов [1–2]. В связи с этим при их моделировании возникают значительные трудности. Для построения математической модели (ММ) используется аппроксимационные подходы, ориентированные на фрагментирование массива экспериментальных данных (ЭД), т.к. фрагменты можно описать значительно менее сложными ММ. Наибольшей популярностью отличаются кусочная аппроксимация [3], сплайн-аппроксимация [4–5] и методы радиальных базисных функций [6]. Последняя работа ориентирована на кардинально новый подход к

519.168:856.2

**EXPERIMENTAL DATA
FRAGMENTATION BASED ON
LOGICAL-COMBINATORIAL APPROACH
IN THE "CUT-GLUE" APPROXIMATION
PROBLEM¹.**

Yarakhmedov O. G.

Don State Technical University, Rostov-on-Don,
Russian Federation

orhashka@gmail.com

A new approach to the selection of decomposition structure of matrix data has been developed and proposed. It is based on logical-combinatorial features of fragmentation. An equiprobable distribution of random variables is used when constructing a partition grid. This feature allows us to consider the maximum number of possible solutions and find the most optimal. The approach is considered as a tool for implementing the initial stage of multiplicative-additive method of experimental construction of "Cut-Glue" mathematical approximation models. In the process of work, a software tool was designed and implemented in C#. An example of use is demonstrated on a specially developed software tool. The test examples show in detail data fragmentation stages under different initial parameters.

Keywords: optimization, approximation, mathematical model, experimental data, combinatorial algorithm, fragmentation.

аппроксимации ЭД, получивший название «Cut-Glue аппроксимации» (CGA) [7–11]. Очевидным преимуществом данного метода перед другими является получение в качестве ММ единой и аналитической функции. Как инструмент анализа и обработки данных CGA показал себя очень эффективным и перспективным методом аппроксимации нелинейных зависимостей. Начальным этапом любого из этих методов является разбиение экспериментальных данных на фрагменты с наименее выраженной нелинейностью. Это резко повышает возможность точного описания каждого фрагмента в отдельности, и, при использовании метода CGA, точность совокупного описания всех ЭД. Поэтому задача эффективного фрагментирования данных чрезвычайно актуальна, т.к. является важным подготовительным этапом к любому методу, ориентированному на фрагментарную аппроксимацию, особенно на CGA.

В связи с этим в данной статье разработан и исследован один из возможных перспективных методов, хотя и количественно ограниченный, основанный на логико-комбинаторном подходе к фрагментации ЭД (ЛКФ).

Постановка задачи. Необходимо разработать алгоритм разбиения области ЭД на фрагменты (ФЭД) путем вариативного формирования всех (или части) возможных вариантов разбиения. Основным свойством алгоритма, основанного на ЛКФ, должна быть высокая вариабельность и разнообразие структур разбиения. На основе алгоритма ЛКФ необходимо спроектировать и разработать демонстрационное программное средство и протестировать его результативность.

Сущность логико-комбинаторного подхода фрагментации экспериментальных данных в задаче Cut-Glue аппроксимации. Для разбиения массива ЭД на фрагменты все исследуемое пространство состояний исследуемого объекта представляется сеткой, построенной на покоординатных шагах варьирования входных переменных при эксперименте. Задаются ограничения на размеры фрагментов (максимальная и минимальная длина их сторон). Фрагменты генерируются случайно в заданных заранее границах. При генерации случайных чисел используется равновероятное распределение величин, что позволяет рассматривать все возможные варианты генерации фрагментов. Исследуемое пространство заполняется фрагментами последовательно сверху вниз. При этом пограничные значения выбираются таким образом, чтобы последний в ряду фрагмент генерировался согласно ограничениям длин сторон. На рис. 1 пошагово проиллюстрирован процесс заполнения фрагментами простой демонстрационной тестовой задачи размерностью 10×10 .

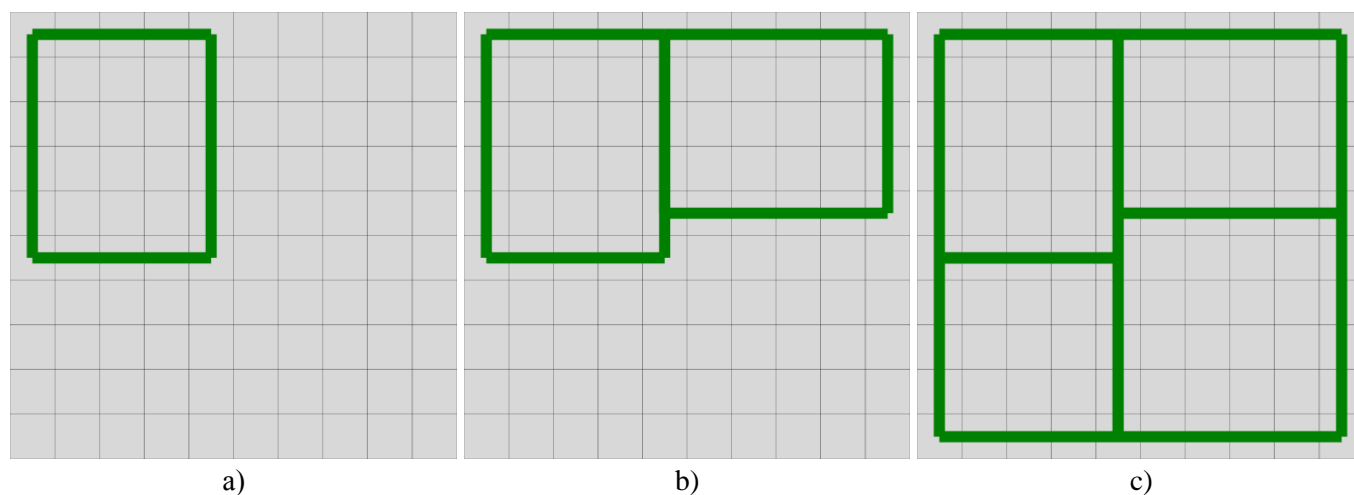


Рис. 1. Этапы работы программы: а — выделение первого фрагмента; б — промежуточный этап; с — полученный результат

На основе описанного подхода ЛКФ было спроектировано и разработано программное средство (ПС) «Experimental Data Fragmentation by Logical-Combinatorial Fragmentation Method» (EDF_LCFM). Данное ПС было разработано в среде Microsoft Visual Studio 2017 средствами языка программирования C#. Решение поставленных задач проведено на ПК с процессом AMD Phenom II P960 и 6Gb оперативной памяти.

Примеры вариантов фрагментации ЭД с использования «EDF_LCFM». В качестве демонстрационного примера были рассмотрены ЭД размерностью 40×40 с ограничением сторон в диапазоне [5; 10]. На рис. 2 (a, b, c) приведены примеры полученных разбиений.

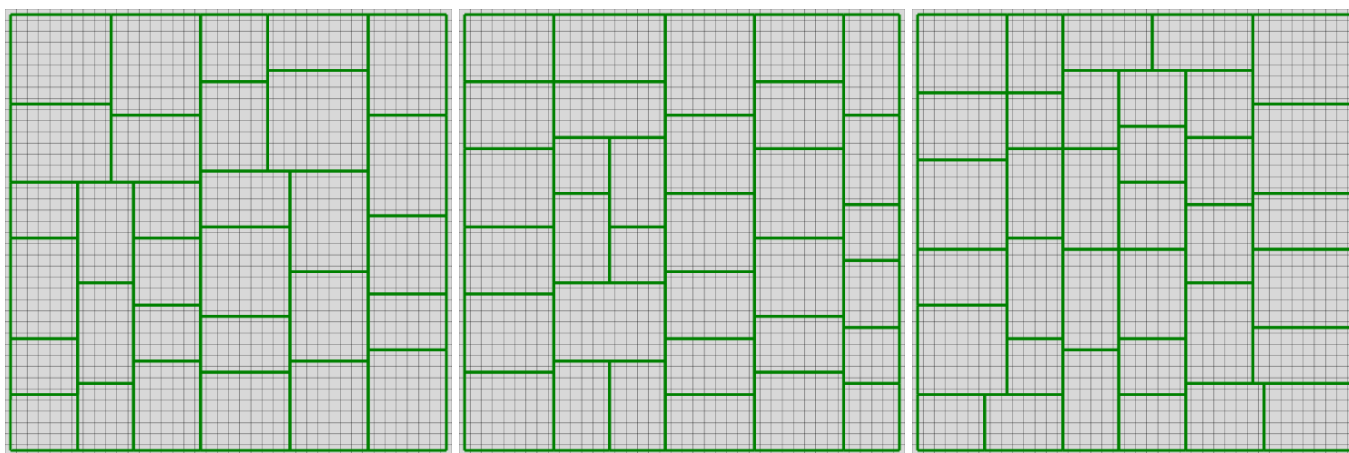


Рис. 2. Примеры полученных разбиений в результате работы EDF_LCFM

На рис. 3а приведен пример полученных разбиений для ЭД неравностороннего формата ЭД размерностью 70×40 с ограничениями генерируемых сторон в диапазоне [5; 10]. На рис. 3б приведен пример полученного разбиения для ЭД большой размерности ЭД (150×150) с ограничениями генерируемых сторон в диапазоне [5; 10].

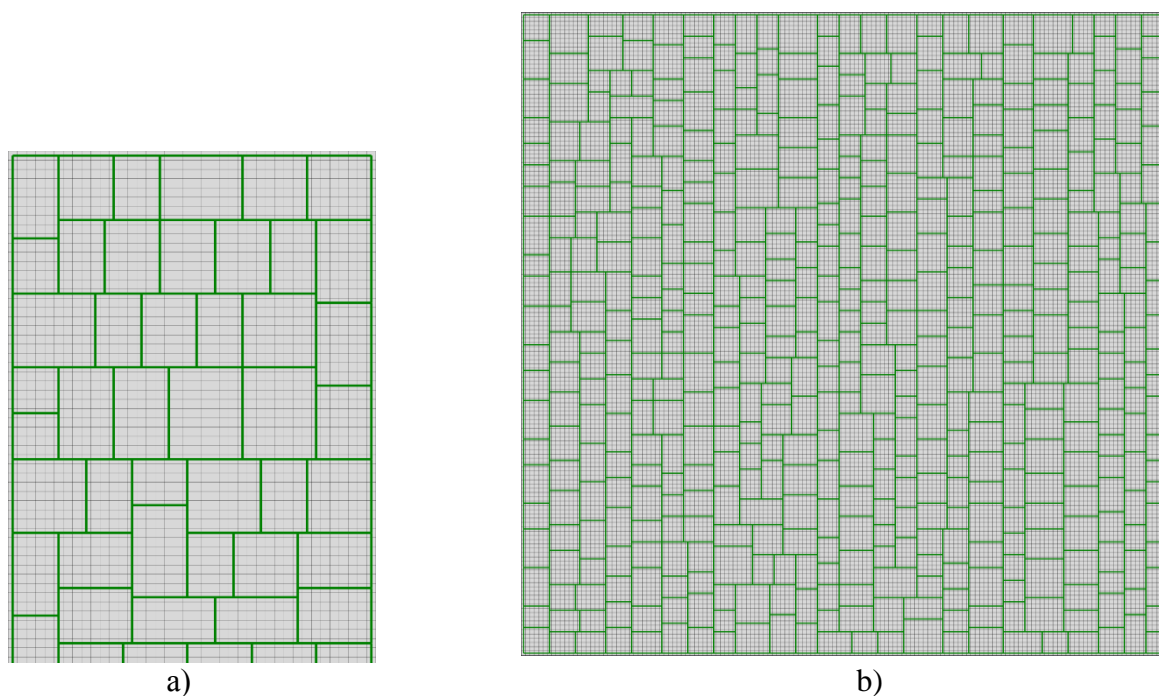


Рис. 3. Примеры полученных разбиений:
а — разбиение ЭД размерностью 70×40 ; б — разбиение ЭД размерностью 150×150

Очевидно, что разработанный алгоритм показывает высокую эффективность при решении задачи фрагментации, несмотря на различные значения настроечных параметров и формата ЭД. Разработанное ПС позволяет наглядно демонстрировать все особенности процесса ЛКФ.

Для оценки вариативности получаемых разбиений были проведены дополнительные эксперименты. В качестве задачи рассматривался полигон размером 40×60 . Стороны фрагментов генерировались в диапазоне $[5; 10]$. Выборка результатов делалась из 1000 экспериментов. В качестве оценки принималось количество полученных в результате фрагментов. На рис. 4 представлена диаграмма полученных результатов в процентах.

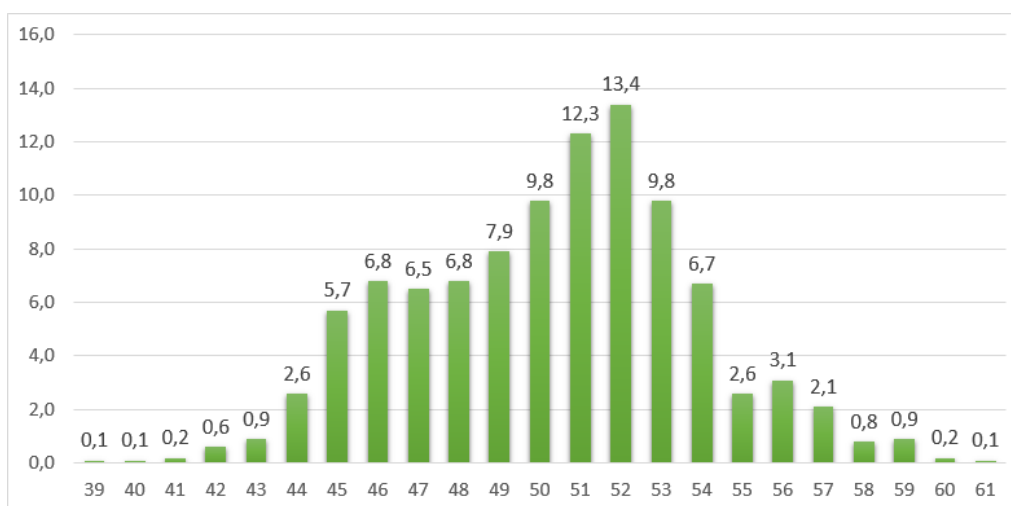


Рис. 4. Диаграмма вариативности разбиения по количеству полученных фрагментов

Из диаграммы на рис. 4 видно, что алгоритм показывает высокую степень вариативности. Получен достаточно широкий диапазон полученных размеров разбиений в проведенных экспериментах. Для детального анализа необходимо провести более серьезные статистические исследования. Время, затрачиваемое на получение разбиения, варьируется от 0,0004519 сек. до 0,0178953 сек., и по проведенным 1000 экспериментам, в среднем, занимает 0,00062672 сек.

Стоит отметить некоторые особенности алгоритма ЛКФ. В процессе выполнения учитываются необходимые условия фрагментации в рамках метода «Cut-Glue» [12]. Принимая во внимание, что представленный алгоритм является примитивным, но при этом показывает высокую эффективность в рамках рассмотренной задачи, принято решение продолжить его дальнейшую модификацию и изучение в целях повышения его эффективности и гибкости, а также для оценки границ применимости в рамках поставленной задачи.

Заключение. Разработанный автором подход ЛКФ показал приемлемые качественные и количественные результаты при решении задач различной сложности. Проверка проводилась на задачах с разбиением от 10 до 150. Во всех испытаниях алгоритм не допустил ошибок при фрагментации. Результаты его испытаний показали целесообразность продолжения исследований в выбранном направлении. Можно сделать вывод, что разработанный программный инструмент отвечает всем необходимым условиям и позволяет найти требуемое разбиение.

Необходимо отметить, что алгоритм требует некоторые дополнительные механизмы для улучшения работоспособности.

Библиографический список

1. Boeing, G. Visual Analysis of Nonlinear Dynamical Systems: Chaos, Fractals, Self-Similarity and the Limits of Prediction. / G. Boeing // 2016. Systems. 4 (4): 37.

2. Пантелеев, А. В. Нелинейные системы управления: описания, анализ и синтез / А. В. Пантелеев // Москва : Вузовская книга, 2008. — 312 с.
3. Лоран, П.-Ж. Аппроксимация и оптимизация: Пер. с англ. / П.-Ж. Лоран. — Москва : Мир — 1975. — 496 с.
4. De Boor, C. A practical guide to splines / C. De Boor // — 1978. Springer.
5. Ciesielski, Z. Spline bases in function spaces / Z. Ciesielski, J. Musielak // Approximation theory, Reidel. — 1975. — Pp. 49–54.
6. Buhmann, Martin D. Radial Basis Functions: Theory and Implementations / D. Buhmann, Martin // Cambridge University Press, — 2003. — 272 p.
7. Neydorf, R. “Cut-Glue” Approximation In Problems On Static And Dynamic Mathematical Model Development / R. Neydorf // Proceedings of the ASME 2014 International Mechanical Engineering Congress and Exposition. November 14-20, 2014, Montreal, Quebec, Canada.
8. Нейдорф, Р. А. Аппроксимационное построение математических моделей по точечным экспериментальным данным методом «cut-gluе» / Р. А. Нейдорф // Вестник Донского гос. техн. ун-та. — 2014. — Т14, № 1 (76). — С. 45–58.
9. Identification of Traction and Power Characteristics of Air-Screw Propulsors in Mathematical Description of Airship, / R. Neydorf, Y. Sigida // SAE 2014 Aerospace Systems and Technology Week, September 23 – 25 2014 – Cincinnati, OH, USA// SAE Technical Paper 2014-01-2134, — 2014.
10. Neydorf, R., Bivariate “Cut-Glue” Approximation of Strongly Nonlinear Mathematical Models Based on Experimental Data / R. Neydorf // SAE Int. J. Aerosp.8(1). — 2015. — Pp 47-54.
11. Neydorf, R. and Neydorf, A. Technology of Cut-Glue Approximation Method for Modeling Strongly Nonlinear Multivariable Objects. Theoretical Bases and Prospects of Practical Application / R. Neydorf, A. Neydorf // SAE Technical Paper 2016-01-2035, — 2016.
12. Neydorf, R. Structural-parametric optimization of the experimental data decomposition into approximated fragments / R. Neydorf, O. Iarakhmedov // MATEC Web Conf. XIII International Scientific-Technical Conference “Dynamic of Technical Systems” (DTS-2017). — 2017. — Volume 132. — 6 P.