

УДК 519.68

С.А. Бутенков, А.Л. Жуков

ГРАНУЛИРОВАНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ДАННЫХ В ЗАДАЧАХ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Введение. Теория информационной грануляции возникла как алгебраическое направление, развивающее теорию нечетких множеств на одномерных носителях [1, 2]. В настоящее время развитие методов ТИГ требует перехода к многомерным задачам и разработке математического аппарата многомерной грануляции [3]. В ряде работ – [4-8] и других работах – рассматривались вопросы расширения гранулирующего подхода на случай двумерных данных и трехмерных данных в декартовых координатах с помощью покрытия декартовыми гранулами согласно [9]. На этом направлении достигнуты значительные успехи [10]. Тем не менее, необходимы более общие модели, позволяющие моделировать перцепции человека, проектирующего сложную систему [11], как механическую, так и алгоритмическую [12].

В работе предлагается подход, синтезирующий основные успехи алгебраического и геометрического подходов и позволяющий получить компактные (что важно для практики) и «прозрачные» геометрические модели гранулированных многомерных данных для использования в задачах интеллектуального проектирования.

1. Алгебраические модели декартовых гранул. В ряде наших работ была использована алгебраическая модель декартовой гранулы, позволяющая компактно кодировать геометрическую информацию в виде матриц специального вида, которые Ф. Клейн назвал «грассмановыми элементами» [13].

$$g(x_1, x_2, x_3, y_1, y_2, y_3) = \begin{pmatrix} x_1 & y_1 & 1 \\ x_2 & y_2 & 1 \\ x_3 & y_3 & 1 \end{pmatrix}. \quad (1)$$

На основе таких элементов (см. ниже) Ф. Клейн построил полную геометрическую теорию для плоскости и пространства [14].

Согласно [13], принципиальную роль для построения геометрии гранул (1) играет определитель (1), имеющий геометрический смысл суммы алгебраических площадей трех треугольников, построенных на опорных точках элемента (гранулы) по рис. 1, а.

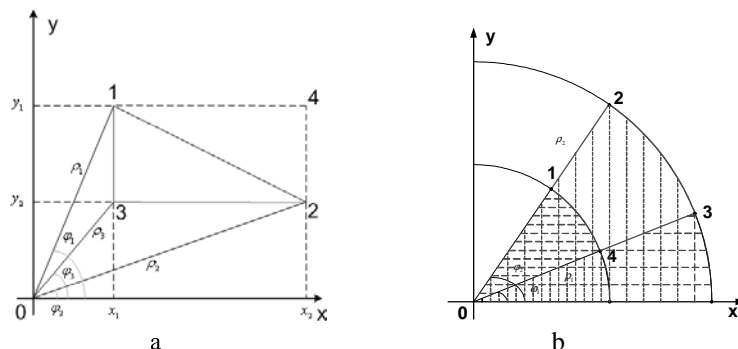


Рис. 1. Определение базового элемента для плоскости

Согласно [13], из модели (1) можно получать геометрическую информацию о базовом элементе (в дальнейшем будем называть его гранулой). Так, высота и ширина гранулы находятся с помощью миноров базового элемента:

Вся геометрическая информация о декартовой грануле содержится в компактном представлении (1). Для сравнения, в [15], в тех же целях, предлагалось использовать клеточные комплексы, что значительно увеличивает объем хранимых данных. Аналогичные алгебраические модели могут быть разработаны для пространства любой размерности (см. пример представления трехмерных данных в [14]).

2. Базовые модели гранул для различной размерности данных. Используя принцип инвариантного кодирования геометрической информации по [13], мы можем получить уравнения базовых элементов в различных ортогональных системах координат.

В полярной системе координат гранула 1,2,3,4 может быть определена с помощью площадей базовых секторов, подобно рис. 1, б. По аналогии с (1) введем базовый алгебраический элемент в полярной системе, заданный предельными значениями полярных радиусов ρ_1 и ρ_2 и полярных углов φ_1 и φ_2

$$g^{Polar}(\rho_1, \rho_2, \varphi_1, \varphi_2) = \begin{pmatrix} \rho_1 & \rho_2 & 0 \\ \varphi_1 \rho_2 & \varphi_1 \rho_1 & 1 \\ \varphi_2 \rho_2 & \varphi_2 \rho_1 & 1 \end{pmatrix}. \quad (2)$$

Модель (2) позволяет эффективно кодировать двумерную геометрическую информацию в случае необходимости работы с круговыми образами на плоскости [16]. Распространяя результаты предыдущего раздела на трехмерный случай, легко получить по аналогии с (2) уравнение базового элемента в цилиндрической системе координат, заданного предельными значениями полярных радиусов ρ_1 и ρ_2 , полярных углов φ_1 и φ_2 и высот z_1 и z_2 :

$$g^{Cyl}(\rho_1, \rho_2, \varphi_1, \varphi_2, z_1, z_2) = \begin{pmatrix} z_1 & z_2 & 0 & 0 \\ \rho_2 & \rho_2 & \rho_1 & 0 \\ \varphi_2 \rho_1 & \varphi_2 \rho_1 & \varphi_2 \rho_2 & 1 \\ \varphi_1 \rho_1 & \varphi_1 \rho_1 & \varphi_1 \rho_2 & 1 \end{pmatrix}. \quad (3)$$

Модель (3) может использоваться для нахождения отдельных геометрических характеристик криволинейной гранулы путем вычисления определителей ее различных миноров. Наиболее сложным случаем является случай, когда необходимо алгебраически описать гранулу, являющуюся частью усеченного конуса (рис. 2).

По аналогии с (3), уравнение базового элемента в конической системе координат, заданного предельными значениями полярных радиусов ρ_1 и ρ_2 , полярных углов φ_1 и φ_2 и высот z_1 и z_2 в виде:

$$g^{Cone}(\rho_1, \rho_2, \varphi_1, \varphi_2, z_1, z_2) = \begin{pmatrix} z_1^3 & z_2^3 & 0 & 0 \\ \frac{\rho_2}{z_2^2} & \frac{\rho_2}{z_2^2} & \frac{\rho_1}{z_1^2} & 0 \\ \varphi_2 \rho_1 & \varphi_2 \rho_1 & \varphi_2 \rho_2 & 1 \\ \varphi_1 \rho_1 & \varphi_1 \rho_1 & \varphi_1 \rho_2 & 1 \end{pmatrix}. \quad (4)$$

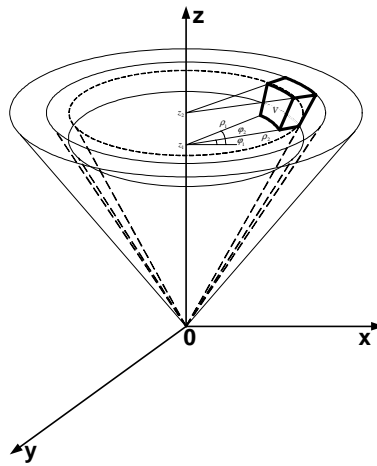


Рис. 2. Базовый элемент в конических координатах в пространстве

Практический пример, приводящий к необходимости использования моделей (3) и (4), описан в разделе 5.

3. Инкапсулирующие гранулы в ТИГ. Фундаментальным понятием ТИГ [2] является понятие *инкапсулирующей гранулы*. Для случая двух переменных, определив на плоскости проекции произвольной гранулы g , обозначаемые как

$pr_x g$ и $pr_y g$, можно определить *инкапсулирующую декартову гранулу* для произвольной гранулы g как $G_+ = pr_x g \times pr_y g$. Гранула G_+ является точной верхней гранью конечного множества всех гранул, содержащих g . Эти определения

можно распространить на случай произвольного числа переменных. Пусть $G_+^{\alpha_1}, \dots, G_+^{\alpha_n}$ – цилиндрические расширения G (1) в направлениях $\alpha_1, \dots, \alpha_n$ соответственно. Тогда пересечение $G_+^{\alpha_i}$ дает гранулу G_+ , которая инкапсулирует G (рис. 5). Это понятие инкапсулирующей гранулы подытоживает то, что *декартова инкапсулирующая гранула является специальным случаем*. В настоящей работе рассматривается более общий случай ортогональной системы координат.

С понятием *инкапсулирующей гранулы* тесно связано фундаментальное понятие *аппроксимирующего графика отношения*. График подмножества плоского множества задается как

$$f^* = A_1^x \times A_1^y + \dots + A_n^x \times A_n^y = \sum_i A_i^x \times A_i^y, \quad i = 1, \dots, n,$$

где операция “+” означает дизъюнкцию в широком смысле слова. Отметим, что в настоящей работе речь идет о декартовых координатах (в отличие от лингвистических переменных).

4. Нечеткие модели инкапсулирующих гранул. Введенные выше модели гранул в ортогональных координатах допускают нечеткую интерпретацию в духе нечетких геометрических объектов, введенных А. Rosenfeld [18]. Параметры таких базовых элементов, покрывающих множества точек (или гранул) являются нечеткими значениями, определяющими выпуклые нечеткие множества, подобно тому, как в [18] это было введено для плоских геометрических объектов. Для случая инкапсуляции двух произвольных непересекающихся грасманновских гранул g^i и

g^j (1) можно записать *min-max* оценки параметров инкапсулирующей гранулы G_+ в виде:

$$G_+(g^i, g^j) = \begin{pmatrix} \min(x_1^i, x_1^j) & \min(y_1^i, y_1^j) & 1 \\ \max(x_2^i, x_2^j) & \max(y_2^i, y_2^j) & 1 \\ \max(x_3^i, x_3^j) & \min(y_3^i, y_3^j) & 1 \end{pmatrix}. \quad (5)$$

Исходя из (2) и (5), мы можем получить аналогичные выражения и для криволинейных гранул в полярных координатах:

$$G_+^{Polar}(g^i, g^j) = \begin{pmatrix} \min(\rho_1^i, \rho_1^j) & \max(\rho_2^i, \rho_2^j) & 0 \\ \min(\varphi_1^i, \varphi_1^j) \max(\rho_2^i, \rho_2^j) & \min(\varphi_1^i, \varphi_1^j) \min(\rho_1^i, \rho_1^j) & 1 \\ \max(\varphi_2^i, \varphi_2^j) \max(\rho_2^i, \rho_2^j) & \max(\varphi_2^i, \varphi_2^j) \min(\rho_1^i, \rho_1^j) & 1 \end{pmatrix}. \quad (6)$$

Для цилиндрической системы координат, используя (3) и (6), получаем уравнение инкапсулирующей гранулы в виде:

$$G_+^{Cyl}(g^i, g^j) = \begin{pmatrix} \min(z_1^i, z_1^j) & \max(z_2^i, z_2^j) & 0 & 0 \\ \max(\rho_2^i, \rho_2^j) & \min(\rho_1^i, \rho_1^j) & \min(\rho_1^i, \rho_1^j) & 0 \\ \min(\varphi_2^i, \varphi_2^j) \min(\rho_1^i, \rho_1^j) & \min(\varphi_1^i, \varphi_1^j) \min(\rho_1^i, \rho_1^j) & \min(\varphi_1^i, \varphi_1^j) \max(\rho_2^i, \rho_2^j) & 1 \\ \max(\varphi_2^i, \varphi_2^j) \min(\rho_2^i, \rho_2^j) & \max(\varphi_2^i, \varphi_2^j) \min(\rho_1^i, \rho_1^j) & \max(\varphi_2^i, \varphi_2^j) \max(\rho_2^i, \rho_2^j) & 1 \end{pmatrix}. \quad (7)$$

В конических координатах уравнение инкапсулирующей гранулы, полученное из (4) и (7), будет выглядеть так:

$$G_+^{Cone}(g^i, g^j) = \begin{pmatrix} \min(z_1^i, z_1^j)^3 & \max(z_2^i, z_2^j)^3 & 0 & 0 \\ \frac{\max(\rho_2^i, \rho_2^j)}{\max(z_2^i, z_2^j)^2} & \frac{\max(\rho_2^i, \rho_2^j)}{\max(z_2^i, z_2^j)^2} & \frac{\min(\rho_1^i, \rho_1^j)}{\min(z_1^i, z_1^j)^2} & 0 \\ \min(\varphi_1^i, \varphi_1^j) \min(\rho_1^i, \rho_1^j) & \min(\varphi_1^i, \varphi_1^j) \min(\rho_1^i, \rho_1^j) & \min(\varphi_1^i, \varphi_1^j) \max(\rho_2^i, \rho_2^j) & 1 \\ \max(\varphi_2^i, \varphi_2^j) \min(\rho_1^i, \rho_1^j) & \max(\varphi_2^i, \varphi_2^j) \min(\rho_1^i, \rho_1^j) & \max(\varphi_2^i, \varphi_2^j) \max(\rho_2^i, \rho_2^j) & 1 \end{pmatrix}. \quad (8)$$

Введенные выше модели (5-8) для инкапсулирующих гранул в различных ортогональных системах координат позволяют находить параметры нечетких геометрических моделей ортогональных гранул, покрывающих множества точек многомерных данных. *Min-max* оценки (5-8) могут использоваться для построения систем покрытий n -мерных отношений [9] и их аппроксимации нечетким графиком [2]. На следующих этапах на инкапсулирующих гранулах G_+ строятся нечеткие отношения, введенные в [14] и в настоящей работе, используемые для решения задач интеллектуального проектирования в трехмерном пространстве.

5. Гранулирование в трехмерном проектировании. Проектирование представляет собой иерархическую человеко-машинную процедуру. Первичное размещение элементов задается конструктором. Он же определяет, какие элементы нельзя смещать и параметры каких элементов не могут изменяться. Остальные элементы могут выбираться из заданной базы и размещаться с учетом заданного типа симметрии (попарно симметрично относительно заданной оси, один элемент симметрично относительно заданной оси и т.п.). Этап первичной компоновки является наиболее субъективным и во многом определяет все основные качества будущей конструкции.

На втором этапе конструирования происходит уточнение размещения выбранных элементов конструкции. На этом этапе целью проектирования является обеспечение прочности, массы и других технических показателей конструкции.

На основе введенных мер и алгоритма проектирования был разработан стенд для отработки задач трехмерной компоновки подводных телеуправляемых аппаратов [17] (рис. 3).

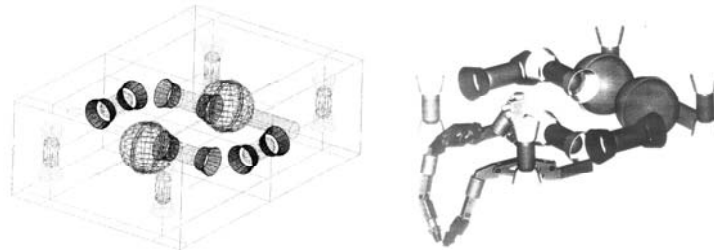


Рис. 3. Примеры автоматизированной компоновки ПТА с использованием гранулированных представлений трехмерных элементов

Исследование качества проектирования подтвердило корректность введенного подхода и возможность дальнейшего улучшения качества проектирования [7].

Заключение. Новые модели пространственных гранул, предложенные в работе, позволяют унифицировать алгоритмы поиска оптимальных покрытий заданных геометрических объектов дизайна декартовыми гранулами, а также минимизировать объем данных, необходимых для описания и обработки многомерной информации проектирования [5].

Предложенные унифицированные алгебро-геометрические модели могут быть широко использованы при построении интеллектуальных систем высокоуровневого дизайна, «прозрачных» для пользователя или систем типа «стеклянного ящика» [19] в противовес гранулированным моделям типа «черного ящика» [6]. В результате, они полностью реализуют все преимущества информационной грануляции, заявленные в [1, 2], применительно к задачам конструирования трехмерных объектов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Zadeh L.* Fuzzy sets and Information Granularity. In “Advances in Fuzzy Set Theory and Applications”, M. Gupta, R. Ragade, and R. Yager, Eds. Amsterdam, The Netherlands: North-Holland, 1979, pp. 3-18.
2. *Zadeh L.* Toward a theory of fuzzy information granulation and its centrality in human reasoning and fuzzy logic. *Fuzzy Sets Syst.*, vol. 90, pp. 111-127, 1997.
3. *Клайн М.* Математика. Поиск истины. – М.: Мир, 1988. – 295 с.
4. *Baldwin J., Martin T., and Shanahan L.* Fuzzy logic methods in vision recognition. // *Fuzzy Logic: Applications and Future Directions Workshop*, London, UK, 300-316, 1997.
5. *Suh N.P.* The Principles of Design, New York : Oxford University Press, 1990.
6. *Batyrshin I., Panova A.* On Granular Description of Dependences // *Proc. Of 9th Zittay Colloquium* (Zittay, Germany, 2001). – 2001, p. 1-8.
7. *Butenkov S.* Granular Computing in Image Processing and Understanding. In *Proc. IASTED International Conf. On AI and Applications “AIA 2004”*, Innsbruck, Austria, February 10-14, 2004, pp. 622-630.
8. *Butenkov S., Krivsha V., Al Dhouyani S.* Granular Computing in Computer Image Perception: basic issues and Glass Box models. In *Proc. IASTED Conf. In Artificial Intelligence and applications “AIA 2006”*, Innsbruck, Austria, February 16-18 2006, pp. 811-816.

9. *Zadeh L.* From Computing with Numbers to Computing with Words – From Manipulation of Measurements to Manipulation of Perceptions. *IEEE Trans. // Circuits and Systems – Fundamental Theory and Applications*, vol. 45, №1, 1999, pp. 105-119.
10. *Бутенков С.А., Кривоша В.В., Бутенков Д.С.* Гранулированные вычисления в системах интеллектуального анализа пространственных данных // В сб. трудов Международной конференции "ИАИ-2005", Киев, 17-20 мая 2005. – С. 79-85.
11. *Walker E.* Perspectives on Fuzzy Systems in Computer Vision // *Proc. of the Annual Conference of the North American Fuzzy Information Processing Society [NAFIPS '98]*, August, 1998, pp. 296-300.
12. *Бутенков С.А.* Грануляция и инкапсуляция в системах эффективной обработки многомерной информации // *Искусственный интеллект, научно-теоретический журнал Национальной академии наук Украины*, №4, 2005. – С. 106-115.
13. *F. Klein.* *Elementarmathematik vom Hoheren Standpunkte Aus Erster Band.* Verlag von Julius Springer, Berlin, 1924.
14. *Бутенков С.А.* Семантическая сегментация в системах эффективной обработки многомерной информации // *Искусственный интеллект*, научно-теоретический журнал Национальной академии наук Украины, №6, 2006. – С. 124-131.
15. *Erwig M., Schneider M.* Vague Regions. 5th Int. Symp. on Advances in Spatial Databases (SSD), LNCS 1262, 298-320, 1997.
16. *Ullah S.* F-granular design information based Information axiom. In *Proc. of ICAD 2002*, Cambridge MA, June 2002, pp. 1202-1209.
17. *Бутенков С.А., Холоднов А.А., Ястребов В.С., Каркищенко А.Н.* Применение гранулированных вычислений в задачах САПР машиностроения // *Известия ТРТУ*. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, №3, 2004. – С. 66-73.
18. *Rosenfeld A.* Fuzzy plane geometry: Triangles. *Pattern Recognition Letters*, 15(12): 1261-1264, 1994.
19. *Бутенков С.А., Аль-Доуяни С.Х.С.* Применение нейронных сетей в задачах гранулированной обработки многомерной информации // В сб. трудов Всероссийской научной конференции "Нечеткие системы и мягкие вычисления" НСМВ-2006, Тверь, 20-22 сентября 2006. – С. 216-230.

УДК 658.5

Л.А. Кашуба, А.Д. Жаргалова

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ В САД/САМ

Введение. Последовательность проектирования технологии механической обработки можно представить последовательностью задач, выстроенных вдоль потока развития информации от исходных данных для проектирования к результату – информации, необходимой и достаточной для подготовки к исполнению производственного процесса.

Процесс проектирования многовариантен и имеет итерационный характер с обратными связями разной глубины. Современные САД-системы поддерживают этапы технического предложения, эскизного и рабочего проектов с полным комплектом конструкторской документации, содержащей информацию о номинальной (абстрактной) геометрии проектируемых изделий. САМ-системы связаны с разработкой программного обеспечения для станков с ЧПУ, рабочих технологий обработки деталей и сборки сборочных единиц, что позволяют создать полный комплект рабочих технологических документов.