

**ПРОГРАММНЫЕ МЕТОДЫ В ГЕОМЕТРИЧЕСКОМ  
МОДЕЛИРОВАНИИ ОБЪЕКТОВ ДЛЯ ЗАДАЧ  
МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

**Голубева Людмила Андреевна**

К.ф.-м.н., доцент, научный сотрудник лаборатории математических задач химии,  
Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН,  
630090, г. Новосибирск, проспект Академика Лаврентьева, 6,  
e-mail: golubeva@labchem.sccc.ru

**Аннотация.** В статье идет речь об анализе алгоритмических и технологических вопросов геометрического моделирования и применении этого представления в задачах математической физики. Приводится описание основных геометрических объектов и операции над ними. Описан принцип организации информационных интерфейсов на основе использования объектно-ориентированных средств программирования и текстовых форматов языка управления данными XML и реализация ее в пакетах прикладных программ для задач математической физики.

**Ключевые слова:** геометрическое моделирование, пакеты прикладных программ, математическое моделирование, представление геометрических объектов, XML

**Цитирование:** Голубева Л.А. Программные методы в геометрическом моделировании объектов для задач математического моделирования // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2018. № 3 (11). С. 108–114. DOI:10.25729/2413-0133-2018-3-12

**Введение.** Геометрическая проблематика имеет значительные отличия в различных приложениях, будь то средства визуализации объектов и сцен, или системы автоматизации проектирования (одна общепринятая русская аббревиатура - САПР и множество английских - CAD, CAE, CAM и т.д.), или пакеты прикладных программ (ППП) для математического моделирования сложных процессов или явлений. В современных CAD/CAM/CAE-системах [6] геометрическое моделирование объектов, компьютерное решение геометрических и графических задач занимают центральное место. При создании реального объекта в первую очередь формируется геометрия этого объекта, его составных частей, после этого решаются другие задачи и технологии. В качестве трехмерных геометрических моделей объектов проектирования используются объемные модели.

Для пакетов прикладных программ (ППП) математического моделирования физических процессов или явлений геометрическое моделирование должно обеспечивать следующие функции: дружественный пользовательский графический интерфейс для удобного задания сложных расчетных областей с контролем и диагностикой возможных ошибок, внутренний интерфейс с расчетными модулями [3-8, 11], в первую очередь реализующими алгоритмы построения сеток, согласование данных со средствами визуализации (например, на основе OpenGL – Open Graphics Library [9]) данных и результатов численного решения. Кроме того, геометрическая структура данных должна предусматривать “переходники” на некоторые распространенные форматы, принятые в САПР-овских системах или широко применяемых ППП.

**1. Структура геометрических данных.** В настоящее время распространенной технологией для управления, отображения и организации данных является расширяемый язык разметки (Extensible Markup Language, XML) [1, 10, 11-15]. Индивидуальные свойства XML обеспечивают универсальность его применения во всех приложениях:

- Во-первых, XML одинаково хорошо воспринимаем как для людей, так и для машин. XML определяет набор правил, которые делают его интерпретацию со стороны компьютера очень легкой. С другой стороны, XML-документ имеет иерархическую текстовую структуру, что делает его интуитивно понятным человеку.
- Во-вторых, XML - объектно-ориентированной, что делает его удобным для описания объектов реального мира и уменьшает время на проектирование и реализацию системы.
- В-третьих, XML определяет универсальный способ описания структурированных данных всевозможного назначения.

Следуя некоторым правилам, XML позволяет иерархически организовать данные, которыми различные компоненты будут обмениваться. Для этого XML использует теги, словарь и типы. Формат XML документа контролируется схемой, выступающей в роли шаблона. Само по себе иерархическое представление данных в XML формате мало, что дало бы нам, если не существовали бы готовые механизмы для работы с ними, такие как XML DOM Document и анализатор MS Parser. Объектная модель документа (Document Object Model, DOM) предоставляет средства для работы с XML-документами, с использованием некоторого кода, а также способы взаимодействия с этим кодом из прикладных приложений. DOM добавляется как слой между XML-анализатором и приложением, которому требуется информация из XML-документа. Анализатор считывает данные из XML-документа и строит DOM, который используется приложениям более высокого уровня, при этом элементы XML-документа описываются как узлы дерева.

С помощью DOM-интерфейсов возможно получить информацию о документе, информацию об узлах и элементах, свойствах атрибутов; осуществить навигацию по дереву; добавить или удалить узел, обработать исключение и т.д. DOM-документ вместе с механизмом уведомления может быть применён не только для организации взаимодействия компонентов, но и для хранения данных, используемых приложением. Такой подход предоставляет единый механизм для обработки всех данных, задействованных в приложении.

Решение проблемы взаимодействия компонентов в многокомпонентных приложениях, удовлетворяющее требованиям быстродействия и модульности, использует специальный связующий компонент и предоставляет единый унифицированный механизм добавления и подключения новых компонентов к системе. При таком подходе требование о тщательном продумывании COM интерфейсов и их детальной спецификации может быть трансформировано в определение формата XML-документа и его схемы.

Геометрическая структура данных представляется библиотекой классов написанных на C++. Класс включает в себя описание объекта и методы работы с этим объектом [12].

**2. Примеры** описания классов геометрической структуры данных на основе использования XML представления:

Точка – определяется своей размерностью и ссылками на заранее определенные переменные.

```
<!--Point-->
<Point name='point3D'>
  <value x='x1' y='y1' z='z1' />
  <value x='x3' y='y2' z='z4' />
</Point>
<Point name='point 2D'>
  <value x='x2' y='y1' />
</Point>
```

Эллипс – определяется точкой центра и двумя полуосями.

```
<!--Ellipse-->
<Ellipse name='EllipseA'>
  <centerEllipse x='0' y='0' />
  <radiusVertex x='-1' y='0' />
  <radiusVertex x='1' y='0' />
</Ellipse>
```

Дуга окружности – определяется двумя точками (начало и конец дуги) и радиусом.

```
<!--ArcCircle-->
<ArcCircle name='circleA'>
  <beginPoint x='0.0' y='0.0' />
  <endPoint x='5.5' y='5.5' />
  <radius value='100' />
</Arc_circle>
```

Ломанная – определяется набором отрезков, которые в свою очередь задаются точкой начала и точкой конца.

```
<!--PolyLine-->
<PolyLine name='polLine_A'>
  <Line>
    <beginPoint x='0.1' y='0.2' z='0.3' />
    <endPoint x='1.1' y='1.2' z='2.3' />
  </Line>
  <Line>
    <beginPoint x='1.1' y='1.2278' z='2.43' />
    <endPoint x='5.0102' y='2.2278' z='4.43' />
  </Line>
</PolyLine>
```

Усеченный конус – определяется двумя центрами и двумя радиусами.

```
<!--TruncatedCone-->
<truncatedCone name='cone_A'>
  <bottomRadius value='4.5' />
  <bottomCenter x='1.01' y='3.01' z='6.01' />
  <topCenter x='2.01' y='4.01' z='5.01' />
</truncatedCcone>
```

Возможно и множественное представление геометрических объектов. Например, параллелепипед представляется опорной точкой и тремя смежными вершинами, но возможно и его задание по двум точкам (две противоположные вершины):

```
<!--Parallelepiped-->
<Parallelepiped name='paraA'>
  <basePoint x='0' y='0' z='0' />
  <vertex x1='1.51' y='0.01' z='0.51' />
  <vertex x='0.51' y='1.01' z='1.51' />
  <vertex x='0' y='0' z='2' />
</Parallelepiped>
<Parallelepiped name='paraB'>
  <firstPoint x='0.2' y='0.2' z='0.2' />
  <secondPoint x='2.3' y='1.7' z='3.3' />
</Parallelepiped>
```

Эллипсоид – определяется точкой центра и тремя векторами.

```
<!--Ellipsoid-->
<Ellipsoid name='ellipsoidA'>
  <center x='0.0' y='0.0' z='0.0' />
  <radiusVertex x='-1.0' y='0.0' z='0.0' />
  <radiusVertex x='1.03' y='0.03' z='0.03' />
  <radiusVertex x='0.03' y='0.03' z='1.03' />
</Ellipsoid>
```

Сфера – определяется точкой центра и радиусом.

```
<!--Sphere-->
<Sphere name='sphereA'>
  <center x='0.0' y='0.0' z='0.0' />
  <radius value='11.0' />
</Sphere>
```

Отметим, что центр сферы может также задаваться ссылкой на точку из списка POINT.

Логические операции над примитивами включают в себя объединение и пересечение объектов.

```
<!--Operations with primitives-->
<!--(A*B) + C>
<Union>
  <Intersection>
    <figure name='SphereA' />
    <figure name='ConeA' />
  </Intersection>
  <figure name='ParaA' />
</Union>
```

При помощи XML описываются геометрические объекты, алгебраические и сеточные структуры данных, результаты численного решения. Реализация этого представления выполнена для задач математической физики на различных этапах решения задач, а именно для БСМ (Базовой системы моделирования), которая в настоящее время активно развивается и используется.

Содержимое входного XML-файла и структурируется с помощью библиотеки TINY на языке C++ и обрабатывается анализатором, в результате чего формируется DOM-документ, который обеспечивает взаимодействие с графическими и вычислительными приложениями. Его реализация осуществляется с помощью библиотеки классов, написанных на языке C++ и включающих описание необходимых операций с геометрическими объектами. В качестве примеров можно назвать сдвиг, поворот, масштабирование и тиражирование каких-то компонентов расчетной области, определение положения точки относительно фигуры, построение уравнений для линий, поверхностей и нахождение их пересечений, и т.д., здесь можно перечислять множество задач аналитической и начертательной геометрии.

**Заключение.** Наличие допустимого множественного представления данных и гибкой системы управления обеспечивает поэтапное проектирование, реализацию систем геометрического моделирования, с применимостью предлагаемой технологии для широкого класса задач математического моделирования. В настоящее время данная технология используется для задач математической физики [2, 3].

Система функционального моделирования (*SFM*) – модуль, позволяющий задавать необходимые функциональные данные о задаче [2], со ссылками на соответствующие геометрические объекты. Формируемые входные данные в описанном выше XML-файле обрабатываются анализатором Parser, использующим библиотеку Tiny и преобразуются в один из допустимых видов выходных данных (*OutData<sub>k</sub>*). При необходимости конвертации из одного формата данных в другой используется модуль *Convert*. Выходные данные с помощью управляющей подсистемы (*Control*) передаются соответствующим вычислительным приложениям (*App<sub>k</sub>*), с организацией интерфейса для системы функционального моделирования *SFM*, анализа получаемых результатов и возможного взаимодействия с САПР системами.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Голубева Л.А. Использование XML-данных для моделирования химических кинетик // Труды XI международной конференции “Информационные и математические технологии в научных исследованиях” Часть II. Иркутск: ИСЭМ СО РАН. 2006. С. 100–107
2. Голубева Л.А., Ильин В.П., Козырев А.Н. О программных технологиях в геометрических аспектах математического моделирования // Вестник НГУ. Серия Информационные технологии. 2012. Том 10. Выпуск 2.
3. Ильин В.П. Методы и технологии конечных элементов. Новосибирск. Издательство ИВМиМГ СО РАН. 2007. 371 с.
4. Ильин В.П. О программных компонентах математического моделирования // Вестник ЮУрГУ. Серия «Вычислительная математика и информатика». Т. 4. № 3. 2015. С. 85–94.

5. Кочан И. T-FLEX PLM: к замене иностранных САД-систем готов! // САПР и Графика. июль 2017
  6. Ксенофонтов П. T-FLEX VR - инновационные технологии проектирования // САПР и Графика. январь 2018. Предприятие: Компания «Топ Системы»
  7. Препарата Ф., Шеймос М. Вычислительная геометрия. Введение. Мир. 1989.
  8. Тарасов И. Open GL. Режим доступа: <http://opengl.org.ru>.
  9. Ушаков Д. Геометрические ядра в мире и в России. LEDAS Ltd. (April 3, 2012)
  10. Хантер Д., Рафтер Дж., Фаусетт Дж., Эрик ван дер Влиет, и др. XML. Базовый курс. Киев. изд. Диалектика-Вильямс. 2009.
  11. Фокс А., Пратт М. Вычислительная геометрия. М. Мир. 1982.
  12. Bessmeltsev M., Nechaeva O. Geometry processing and visualization in scientific application using GeomBox package. Novosibirsk. 2009. Available at: <http://aitricks.com/geombox/about.htm>
  13. Golovanov Nikolay. Geometric Modeling: The mathematics of shapes. CreateSpace Independent Publishing Platform. 2014. ISBN 978-1497473195.
  14. Kenneth Wong. A New Geometric Kernel from Russia. Peerless Media, LLC (May 14, 2014). Available at: [http://www.digitaleng.news/virtual\\_desktop/2014/05/a-new-geometric-kernel-from-russia/](http://www.digitaleng.news/virtual_desktop/2014/05/a-new-geometric-kernel-from-russia/)
  15. <http://www.w3.org>
- 

**UDK 519.632**

**PROGRAM METHODS IN GEOMETRICAL MODELING OF  
OBJECTS FOR PROBLEMS OF MATHEMATICAL MODELING**

**Lyudmila A. Golubeva**

Ph.D., associate professor, researcher of the Laboratory of Mathematical Problems  
in Chemistry, Institute of Computational Mathematics and Mathematical  
Geophysics of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences,  
prospect Akademika Lavrentjeva, 6, Novosibirsk 630090,  
e-mail: [golubeva@labchem.sccc.ru](mailto:golubeva@labchem.sccc.ru)

**Abstract.** The article deals with the analysis of algorithmic and technological issues of geometric modeling in solving multi-dimensional initial-boundary problems. The paper describes the basic geometric objects of the computational domain and operations on them. A principle of organization of information interfaces using object-oriented programming tools and text formats, language data management XML are proposed.

**Keywords:** geometric modeling, application software packages, mathematical modeling, representation of geometric objects, XML.

**References**

1. Golubeva L.A. Ispol'zovaniye XML-dannykh dlya modelirovaniya khimicheskikh kinetik [Using XML data to model chemical kinetics] // Proceedings of the 11th International

- Conference "Information and Mathematical Technologies in Scientific Research" Part II. Irkutsk: ISEM SB RAS. 2006. Pp. 100–107. (in Russian)
2. Golubeva L.A., Il'in V.P., Kozyrev A.N. O programmnykh tekhnologiyakh v geometricheskikh aspektakh matematicheskogo modelirovaniya [About software technologies in geometric aspects of mathematical modeling] // Bulletin of NSU. Series Information technology. 2012. Volume 10. Issue 2 (in Russian)
  3. Il'in V.P. Metody i tekhnologii konechnykh elementov [Methods and technologies of finite elements]. Novosibirsk. Publishing house of ICM & MG SB RAS. 2007. 371 p. (in Russian).
  4. Il'in V.P. O programmnykh komponentakh matematicheskogo modelirovaniya [On the software components of mathematical modeling] // Bulletin of SUSU. Series "Computational mathematics and Software Engineering". Vol. 4. No 3. 2015. Pp. 85–94. (in Russian)
  5. Kochan I. T-FLEX PLM: k zamene inostrannykh CAD-sistem gotov! [T-FLEX PLM: ready to replace foreign CAD systems!] // CAD and Graphics. July 2017. (in Russian)
  6. Ksenophontov P. T-FLEX VR - innovatsionnyye tekhnologii proyektirovaniya [T-FLEX VR - innovative design technologies] // CAD and Graphics. January 2018. (in Russian)
  7. Preparation F., Sheimos M. Vychislitel'naya geometriya. Vvedeniye. [Computational geometry. Introduction]. The World. 1989.
  8. Tarasov I. Open GL. Available at: <http://opengl.org.ru>. (in Russian)
  9. Ushakov D. Geometricheskiye yadra v mire i v Rossii [Geometric nuclei in the world and in Russia]. LEDAS Ltd. (April 3, 2012). (in Russian)
  10. Hunter D., Raffter J., Fawett J., Eric van der Vlist, et al. XML. Bazovyy kurs [XML. Basic course]. Kyiv. ed. Dialectic-Williams. 2009. (in Russian)
  11. Fox A., Pratt M. Vychislitel'naya geometriya [Computational geometry]. Moscow. Mir. 1982. (in Russian)
  12. Bessmeltsev M., Nechaeva O. Geometry processing and visualization in scientific application using GeomBox package. Novosibirsk. 2009. Available at: // <http://aitricks.com/geombox/about.htm>
  13. Golovanov Nikolay. Geometric Modeling: The mathematics of shapes. CreateSpace Independent Publishing Platform. 2014. ISBN 978-1497473195.
  14. Kenneth Wong. A New Geometric Kernel from Russia. Peerless Media, LLC (May 14, 2014). Available at: [http://www.digitaleng.news/virtual\\_desktop/2014/05/a-new-geometric-kernel-from-russia/](http://www.digitaleng.news/virtual_desktop/2014/05/a-new-geometric-kernel-from-russia/)
  15. <http://www.w3.org>