

Системы поддержки применения графов и графовых алгоритмов*

В.Н. КАСЬЯНОВ, С.Н. КАСЬЯНОВА

Институт систем информатики им. А.П. Ершова СО РАН

e-mail: kvn@iis.nsk.su

Современное состояние программирования нельзя представить себе без графов и графовых алгоритмов. Хорошо известно, что многие задачи программирования формулируются и решаются как задачи на графовых моделях. Широкая применимость графов связана с тем, что они являются естественным средством объяснения сложных ситуаций на интуитивном уровне. Эти преимущества представления сложных структур и процессов графами становятся более ощутимыми при наличии хороших средств их визуализации.

Доклад посвящен проекту создания средств поддержки применения графов и графовых алгоритмов, который выполняется в Институте систем информатики им. А.П. Ершова СО РАН при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. В нём рассматриваются работы по созданию электронного словаря по графам в информатике WikiGRAPP и электронной энциклопедии графовых алгоритмов WEGA, а также систем визуализации графов и графовых алгоритмов Higes и Visual Graph.

1. Введение

Современное состояние программирования нельзя представить себе без графов и графовых алгоритмов. Хорошо известно, что многие задачи повышения качества трансляции с точки зрения улучшения рабочих характеристик транслятора и повышения качества получаемых машинных программ формулируются и решаются как задачи на графах и графовых моделях. К ним относятся, в первую очередь, задачи, связанные с представлением программ в виде схем программ и синтаксических деревьев. Кроме того, необходимо указать на такие области применения граф-моделей, как эффективное использование ресурсов вычислительной системы (оптимизация использования регистров, уменьшение обменов между оперативной и внешней памятью и т.д.), организация больших массивов информации (деревья и, вообще, графы данных для повышения эффективности информационного поиска), увеличение степени параллелизма программы, повышение эффективности работы многопроцессорных и многомашинных систем (распределение загрузки процессоров, обмен сообщениями между процессами, синхронизация, конфигурация сетей связи между процессорами и т.д.). Решение этих и подобных задач привело к появлению множества граф-моделей, связанных как с программами и структурами данных, так и с вычислительными системами, в том числе параллельными (см., например, [4]).

*Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант РФФИ № 09-07-0012 и № 12-07-0091).

Широкая применимость графов связана с тем, что они являются естественным средством объяснения сложных ситуаций на интуитивном уровне. Эти преимущества представления сложных структур и процессов графами становятся более ощутимыми при наличии хороших средств их визуализации. Поэтому неслучайно в последнее время в мире растет интерес к методам и системам рисования и визуальной обработки графов и графовых моделей [5],[9],[10]. Многие программные системы, особенно те, которые используют информационные модели, включают элементы визуальной обработки графовых объектов. Среди них — системы и окружения программирования, инструменты CASE-технологии, системы автоматизации проектирования и многие другие.

Доклад посвящен проекту создания средств поддержки применения графов в информатике и программировании, который выполняется в Институте систем информатики им. А.П. Ершова СО РАН при частичной финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант РФФИ № 09-07-0012 и № 12-07-0091). В нем рассматриваются работы по созданию электронного словаря по графам в информатике WikiGRAPP и электронной энциклопедии графовых алгоритмов WEGA, а также систем визуализации графов и графовых алгоритмов.

2. Вики-словарь WikiGRAPP

Проблема терминологии, без сомнения, является одной из основных проблем в применении теоретико-графовых методов в программировании и информатике. Терминология в прикладной теории графов далеко не устоялась, при написании статей требуется терминологическая привязка к одной из существующих на русском языке монографий, что становится все более трудным делом из-за сокращения числа издающихся книг, в том числе переводных, и резкого сокращения их тиража. Созданный нами расширяемый электронный словарь по графам в информатике WikiGRAPP призван если не решить, то значительно облегчить эту проблему.

В 1999 году в издательстве “Наука” вышел в свет наш толковый словарь по теории графов и её применению [1], который охватывал основные связанные с графами термины из монографий, вышедших на русском языке. Это был первый словарь по графам в информатике, и он вызвал большой интерес среди читателей. Электронная версия словаря получила название GRAPP (GRaphs and their APPlications). Новое исправленное и пополненное издание словаря [2], работа над которым была завершена авторами в 2009 году, представляет собой расширение словаря 1999 года и включает в себя более 1000 новых терминов из статей, рефераты которых публиковались в РЖ “Математика” в разделе “Теория графов”, а также из томов ежегодных конференций “Graph-Theoretic Concepts in Computer Science” и книг серии “Graph Theory Notes of New York”.

Авторы словарей отдавали себе отчет в постоянно развивающемся теоретико-графовом лексиконе в информатике и поэтому одновременно с завершением работ по подготовке второго словаря к изданию инициировали работы по созданию на базе изданных словарей новой версии электронного словаря, которая была бы расширяемой. Новый словарь [8], получивший название WikiGRAPP, обладает интерактивностью и поддерживает коллективную сетевую работу по его пополнению и развитию. Для его создания мы использовали систему MediaWiki [7] — написанное на препроцессоре гипертекста (PHP) свободно распространяемое программное обеспечение, предназначенное для создания гипертекстовых “вики”-систем — таких веб-сайтов, структуру и содержимое которых пользователи могут сообща изменять с помощью инструментов, предоставля-

емых самими сайтами. И хотя MediaWiki изначально создавалась в качестве “движка” всем известной Википедии, она имеет гораздо более широкое применение в многочисленных и весьма разнообразных сайтах, включая сайт о самой системе MediaWiki [5].

К настоящему времени практически завершена работа по наполнению словаря Wiki-GRAPP до уровня, покрывающего печатные издания, и начата работа по исправлению обнаруженных опечаток и пополнению словаря.

3. Вики-энциклопедия WEGA

Теория графов из академической дисциплины все более превращается в средство, владение которым становится решающим для успешного применения компьютеров во многих прикладных областях. Несмотря на наличие обширной специальной литературы по решению задач на графах, широкое применение в практике программирования полученных математических результатов затруднено в силу отсутствия систематического их описания, ориентированного на программистов. Поэтому значительный класс практических задач, по существу сводящихся к простому выбору подходящего способа решения и к построению конкретных формулировок абстрактных алгоритмов, для многих программистов все еще остается полем для интеллектуальной деятельности по “переоткрытию” методов.

Выполнен цикл работ по изучению и систематизации алгоритмов обработки, визуализации и применения графовых моделей в программировании. Впервые издана книга [4], которая содержит систематическое и полное изложение фундаментальных основ современных компьютерных технологий, связанных с применением теории графов. Даны основные модели, методы и алгоритмы прикладной теории графов. Подробно описаны такие основные области приложения теории графов в программировании, как хранение и поиск информации, трансляция и оптимизация программ, анализ, преобразование и распараллеливание программ, параллельная и распределенная обработка информации.

Ведётся работа по созданию на базе этой книги вики-системы WEGA, являющейся расширяемой интерактивной электронной энциклопедией теоретико-графовых алгоритмов решения задач информатики и программирования.

В отличие от Д. Кнута, при создании данной энциклопедии мы, как и в изданной книге, ориентируемся на абстрактную модель современных ЭВМ (равнодоступная адресная машина — РАМ) и высокоуровневое описание алгоритмов в терминах специального языка высокого уровня — ВУ-язык. Этот язык является псевдоязыком (лексиконом) программирования и содержит в качестве базовых традиционные конструкции математики и языков программирования. Наряду с обычными для современных языков типами простых и составных данных он допускает такие более сложные структуры данных, как, например, деревья, графы и т.д. Для каждой базовой конструкции ВУ-языка фиксируется класс её допустимых реализаций на РАМ. Предполагается, что ВУ-язык позволяет наряду с базовыми использовать любые необходимые конструкции, если очевидны или заранее зафиксированы оценки их сложности, а также те реализации этих конструкций на РАМ, которые допускают такие оценки. Такой подход позволяет формулировать алгоритмы в естественной форме, допускающей прямой анализ их корректности и сложности, а также простой перенос алгоритмов на реальные языки программирования и ЭВМ с сохранением полученных оценок сложности. Подобный стиль описания алгоритмов является также базой для доказательного стиля программирования: он позволяет понять алгоритм на содержательном уровне, оценить пригодность

его для решения конкретной задачи и осуществить модификацию алгоритма, не снижая степень математической достоверности окончательного варианта программы.

Еще одной важной особенностью создаваемой энциклопедии является возможность анимационного исполнения представленных в ней графовых алгоритмов. На наш взгляд, анимация является удобным средством демонстрации работы любых алгоритмов, в том числе алгоритмов на графах. Она помогает человеку понять на конкретных примерах смысл и последовательность работы алгоритма, делая это гораздо нагляднее, чем любые текстовые описания, пояснения и отдельные рисунки. Поэтому предполагается, что создаваемая энциклопедия будет интерактивной и будет поддерживать полноценную динамическую визуализацию (анимацию) работы графовых алгоритмов, представленных в ней.

4. Системы визуализации графов

Визуализация информации — это процесс преобразования больших и сложных видов абстрактной информации в интуитивно понятную визуальную форму. Универсальным средством такого представления структурированной информации являются графы. Графы применяются для представления любой информации, которую можно промоделировать в виде объектов и связей между объектами. Поэтому визуализация графовых моделей является ключевой компонентой во многих приложениях в науке и технике, а методы визуализации графов представляют собой теоретическую основу методов визуализации абстрактной информации.

Выполнен цикл исследований в области визуализации графов и графовых моделей, в котором наряду с более традиционными вопросами качества и эффективности при автоматическом размещении графов на плоскости большое внимание было уделено вопросам визуализации больших графов, интерактивности и навигации, характерным для большинства современных приложений, использующих визуализацию структурированной информации [5].

Предложена и исследована модель иерархических графов, ориентированная на моделирование сложно организованных систем и охватывающая классы составных и кластерных графов, традиционно используемых для представления информационных моделей, обладающих иерархической структурой [3],[11].

Разработаны эффективные методы и алгоритмы построения наглядных изображений иерархических графовых моделей на плоскости и их редактирования, и создан графовый редактор HIGRES [6], поддерживающий многооконную работу с иерархическими графами. Важным его отличием от других графовых редакторов является способность HIGRES сохранять во внутреннем представлении и визуализировать не только сам граф, но и его семантику, представленную в виде системы типов атрибутированных вершин, фрагментов и дуг графа и библиотеки алгоритмов обработки — так называемых внешних модулей. При этом пользователь может корректировать и доопределять семантику графовой модели с помощью введения новых типов и внешних модулей, а также управлять методами её визуализации. Такой подход обеспечивает, с одной стороны, универсальность системы HIGRES, с другой — возможность её специализации.

Несомненным достоинством системы HIGRES является также то, что она является не только редактором иерархических графовых моделей, но и платформой для исполнения и анимации алгоритмов работы с иерархическими графами. Пользователь с помощью системы может выбрать нужный ему алгоритм из расширяемой библиотеки

внешних модулей (в частности алгоритм автоматического размещения графа на плоскости) и запустить его. Система передает текущий граф обрабатывающему модулю и открывает специальное окно, предоставляющее пользователю интерфейс для управления работой модуля. Пользователь может регулировать параметры обработки, прерывать ее на любом шаге, просматривать промежуточные результаты в любую сторону в форме анимации либо в покадровом режиме. Анимация алгоритмов, поддерживаемая системой HIGRES, может быть использована для их тестирования и отладки, для образовательных целей, а также для изучения итеративных процессов, возникающих, например, в некоторых методах рисования графов.

Создана также экспериментальная версия универсальной расширяемой системы Visual Graph для визуализации атрибутированных иерархических графовых моделей большого размера, представленных на языке GraphML. Система Visual Graph поддерживает интерактивное управление визуализацией графовых моделей и удобную навигацию по визуализируемым графовым моделям.

5. Благодарности

Авторы благодарны всем своим коллегам, которые принимают участие в выполнении работ, рассмотренных в данном докладе, в первую очередь проф. В. А. Евстигнееву и доц. Е. В. Касьяновой.

Список литературы

- [1] Евстигнеев В. А., Касьянов В. Н. Толковый словарь по теории графов в информатике и программировании. — Новосибирск: Наука, 1999. — 288 с.
- [2] Евстигнеев В. А., Касьянов В. Н. Словарь по графам в информатике. — Новосибирск: Сибирское Научное Издательство, 2009. — 300 с.
- [3] Касьянов В. Н. Иерархические графы и графовые модели: вопросы визуальной обработки // Проблемы систем информатики и программирования. — Новосибирск: ИСИ СО РАН, 1999. — С. 7–32.
- [4] Касьянов В. Н., Евстигнеев В. А. Графы в программировании: обработка, визуализация и применение. — СПб.: БХВ-Петербург, 2003. — 1104 с.
- [5] Касьянов В. Н., Касьянова Е. В. Визуализация графов и графовых моделей. — Новосибирск: Сибирское Научное Издательство, 2010. — 123 с.
- [6] Система HIGRES. — <http://pco.iis.nsk.su/higres/>
- [7] Система MediaWiki. — <http://www.mediawiki.org/wiki/MediaWiki/ru/>
- [8] Система WikiGRAPP. — <http://pco.iis.nsk.su/WikiGrapp/>
- [9] Di Battista G., Eades P., Tamassia R., Tollis I.G. Graph Drawing: Algorithms for Visualization of Graphs. — Prentice Hall, 1999. — 397 p.
- [10] Drawing Graphs. Methods and Models.— Berlin: Springer, 2001. — 312 p. — (Lect. Notes Comput. Sci.; 2025).
- [11] Kasyanov V.N. Kasyanova E. V. Information visualization based on graph models // Enterprise Information Systems. — 2013. — Vol. 7, N 2. — pp. 187-197.