В.Н. Касьянов, Е.В. Касьянова

СРЕДСТВА ПОДДЕРЖКИ ПРИМЕНЕНИЯ ГРАФОВ В ИНФОРМАТИКЕ И ПРОГРАММИРОВАНИИ[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 графы данных для повышения эффективности информационного поиска вообще), 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, [6]).

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 мо-

[1] Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты РФФИ № 09-07-0012, № 12-07-0091)

делей [7]. 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 многое другое.

Статья посвящена средствам поддержки применения графов в информатике и программировании, которые разрабатываются в Институте систем информатики им. А.П. Ершова СО РАН при частичной финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты РФФИ № 09-07-0012, № 12-07-0091). В ней 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 HIGRES и Visual Graph.

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 (см. ниже) призван если не решить, то значительно облегчить эту проблему.

В 1999 году в издательстве «Наука» вышел в свет толковый словарь по теории графов и её применении [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 дополненное 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 том, что теоретико-графовый лексикон в информатике постоянно развивается, и поэтому одновременно с завершением работ по подготовке второго словаря к изданию приступили к созданию на базе изданных словарей новой, расширяемой версии электронного словаря. Новый словарь [10], получивший название WikiGRAPP (см. рис. 1), интерактивен и поддерживает коллективную сетевую работу по его пополнению и развитию. Для его создания мы использовали систему MediaWiki [9] – написанное на препроцессоре гипертекста (PHP) свободно распространяемое программное обеспечение, предназначенное для создания гипертекстовых wiki-систем – таких веб-сайтов, структуру и содержимое которых пользователи могут сообща изменять с помощью инструментов, предоставляемых 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 [9].

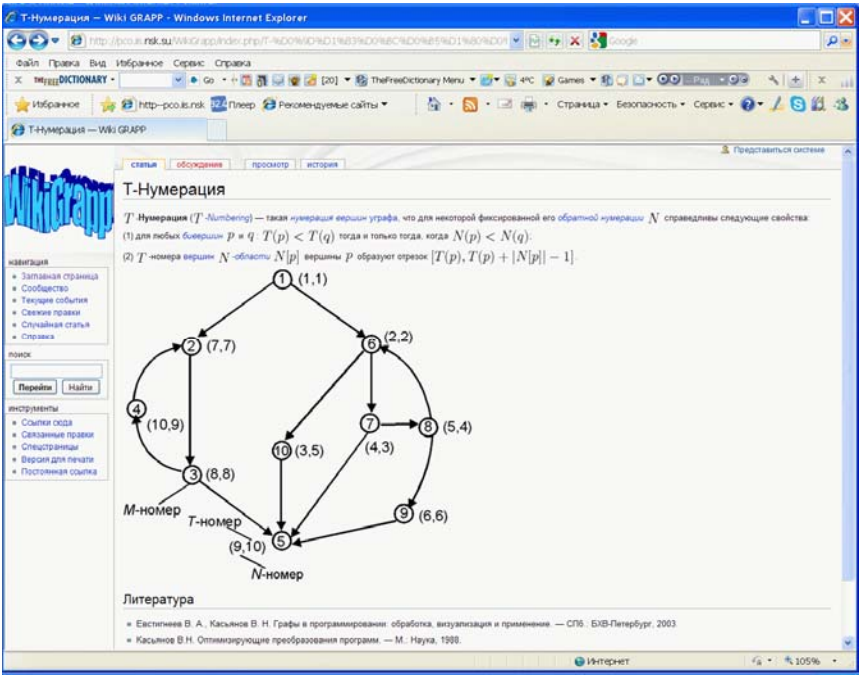

Рис. 1. Электронный словарь по теории графов WikiGRAPP

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

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 [6], 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 (см. рис. 2).

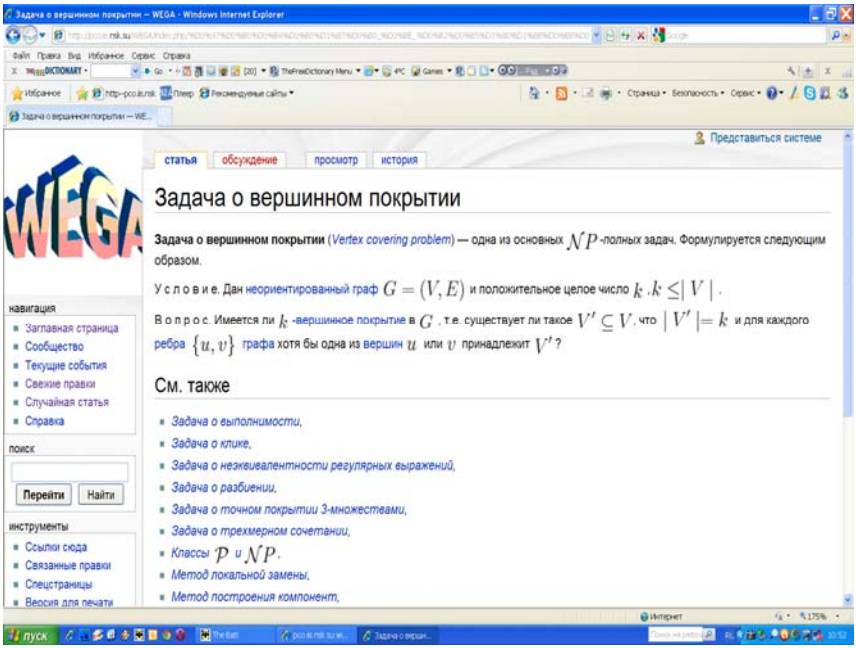

Рис. 2. Электронная энциклопедия WEGA

В отличие от Д. Кнута, при создании данной энциклопедии мы, как и в упомянутой 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, причём 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 представленных в ней графовых алгоритмов.

СИСТЕМЫ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ГРАФОВ

Визуализация информации — это процесс преобразования больших массивов 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 ключевым компонентом 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 [7].

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

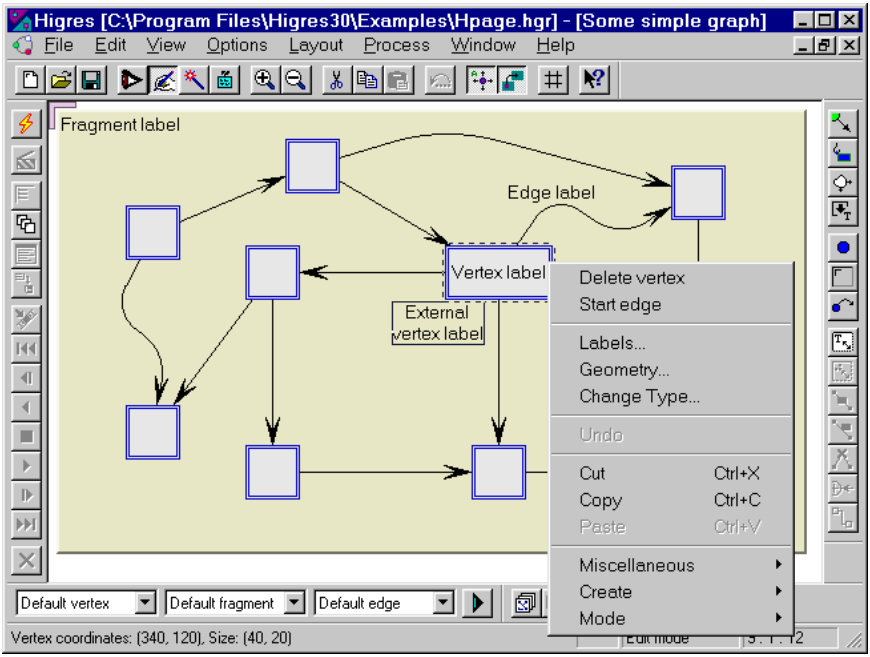

Рис. 3. Графовый редактор HIGRES

Разработаны эффективные методы и алгоритмы построения наглядных изображений иерархических графовых моделей на плоскости и их редактирования. Создан графовый редактор HIGRES (см. рис. 3) [8], 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.

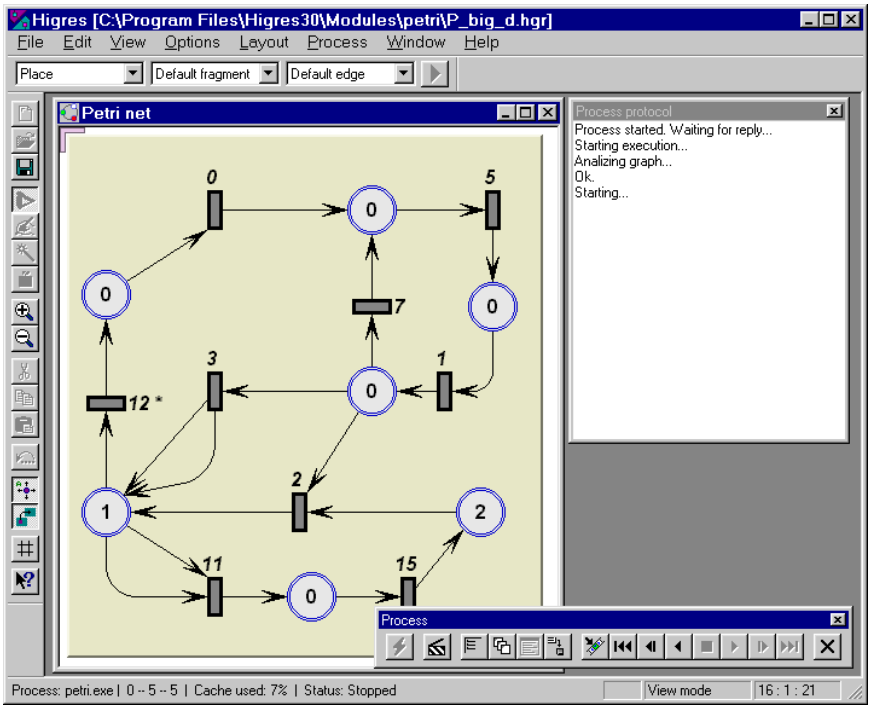

Рис. 4. Анимация функционирования сети Петри в системе HIGRES

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 специаль-

ное 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 (см. рис. 4).

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 (см. рис. 5) для визуализации атрибутированных иерархических графовых моделей большого размера, представленных на языке GraphML [4, 5, 11]. Система Visual Graph поддерживает интерактивное управление визуализацией графовых моделей и удобную навигацию по визуализируемым графовым моделям.

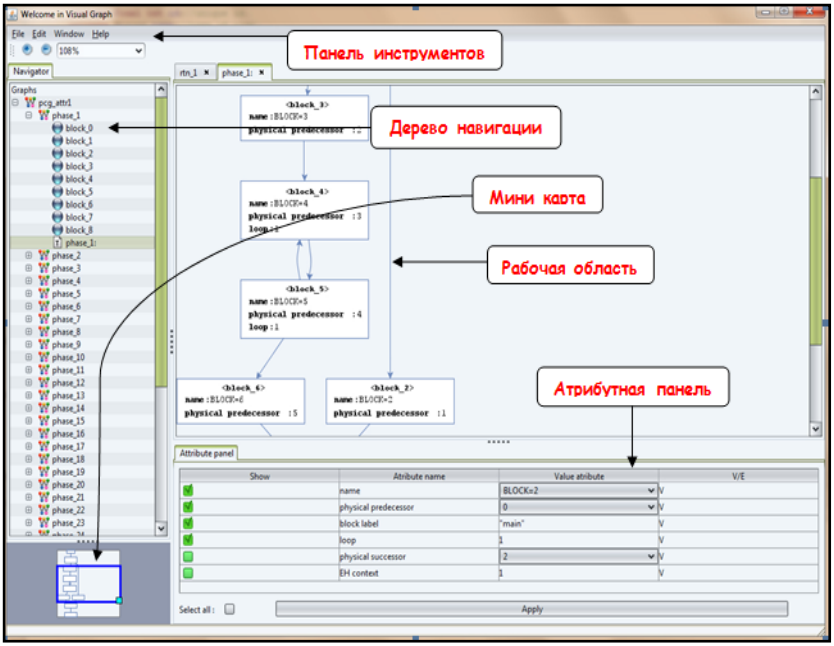

Рис. 5. Система Visual Graph

Благодарности

Авторы благодарны всем, кто принимает участие в выполнении проектов, рассмотренных в данном докладе, в первую очередь проф. В.А. Евстигнееву, И.А. Лисицыну, С.Н. Касьяновой, Э.В. Харитонову и И.Л. Мирзуитовой.

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

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. Язык представления графов GraphML: базовые средства // Информатика в науке и образовании. – Новосибирск, 2012. – С. 7–22.
5. Касьянов В. Н. Язык представления графов GraphML: дополнительные возможности // Информатика в науке и образовании. – Новосибирск, 2012. – С. 23–46
6. Касьянов В. Н., Евстигнеев В. А. Графы в программировании: обработка, визуализация и применение. – СПб.: БХВ-Петербург, 2003. – 1104 с.
7. Касьянов В. Н., Касьянова Е. В. Визуализация графов и графовых моделей. — Новосибирск: Сибирское Научное Издательство, 2010. – 123 с.
8. Система HIGRES. – http://pco.iis.nsk.su/higres/
9. Система MediaWiki. – http://www.mediawiki.org/wiki/MediaWiki/ru/
10. Система WikiGRAPP. – http://pco.iis.nsk.su/WikiGrapp/
11. Brandes U., Eiglsperger M., Lerner J. GraphML Primer. – http://graphml.graphdrawing.org/primer/graphml-primer.html#EXT