



А.И. ИВАНЕШКИН

УДК 519.172.1

НОВЫЙ ПОДХОД К РАБОТЕ С НЕОРИЕНТИРОВАННЫМИ ДЕРЕВЬЯМИ

Аннотация. Разработан и практически реализован в созданном комплексе программных средств новый подход, обеспечивающий выполнение на неориентированных деревьях широкой, допускающей пополнение совокупности базовых операций. Подход не требует освоения и использования существующих видов формализованного представления деревьев (матрицы смежности, связности, инцидентности, расстояний, списков смежности и т.д.), стандартизированных языков описания, специализированных программ для построения и средств визуализации их структуры. В десятки (и сотни) раз снижая затраты технических ресурсов и времени при решении задач из различных областей знаний, подход делает работу максимально простой и эффективной, позволяет получать важные для практического применения характеристики, решать задачу изоморфности деревьев и генерировать два варианта представления матрицы смежности.

Ключевые слова: граф-дерево, неориентированное дерево, изоморфизм, комплекс программных средств.

ВЕДЕНИЕ

Теория графов-деревьев [1–4] как органический компонент общей теории графов и универсальное средство формализованного представления различных процессов, структур, объектов и т.д. остается в центре внимания исследователей. И хотя область практического применения этой теории как эффективного средства решения множества разнообразных задач постоянно расширяется, подход к работе с деревьями не изменился. В частности, для работы с N -вершинным ($2 < N$) деревом требуется обязательное использование одного из видов его формализованного представления (матрицы смежности, связности, инцидентности, расстояний, списка смежности и т.д. [1–4]). Более того, характеризуюсь N^2 сложностью практической реализации и значительной величиной интегральных затрат ресурсов, подход требует строгого порядка выполнения общепринятой совокупности весьма трудоемких этапов решения задачи и использования ряда средств (средства формализованного представления деревьев → стандартизированные языки описания структуры → программы для построения графов → средства визуализации графов → средства поиска характеристик).

Все это обуславливает актуальность решения комплекса общих для многих областей научно-прикладной деятельности задач, требующих постоянного, целенаправленного поиска новых подходов, методов, способов и средств работы с деревьями, простых в освоении и удобных в использовании, более эффективных в получении и наглядности представления результатов, а также минимизирующих общие затраты ресурсов и времени.

© А.И. Иванешкин, 2021

Одним из наиболее перспективных способов решения этих задач, по мнению автора, является создание нового подхода и его практическая реализация в виде комплекса программных средств, интегрирующих широкий спектр возможностей, начиная от построения дерева заданной структуры и выполнения над ней всевозможных операций до получения различных характеристик. Базируясь на визуально-ментальном уровне восприятия пользователем деталей процесса достижения цели, такой программный продукт должен «вести» его, избавлять от необходимости осваивать специализированные средства, разбираться в механизме получения результатов и «тупиковых» ситуациях.

Цель настоящей статьи — разработка нового подхода к работе с неориентированными графами-деревьями и его практическое воплощение в комплексе программных средств, обеспечивающих реализацию широкого набора базовых операций и возможность его малозатратного пополнения. Применение этих средств максимально упростит работу с деревьями и повысит ее эффективность, исключит необходимость освоения и использования ранее созданных видов формализованного представления графов (матрицы смежности, связности, инцидентности, расстояний, списков смежности и т.д.), стандартизированных языков описания, специализированных программ для построения и визуализации их структуры, а также позволит получать важные для практического применения характеристики, минимизировать затраты технических ресурсов и времени при решении задач из различных областей знаний.

ОПИСАНИЕ ПОДХОДА

Для эффективного решения совокупности указанных задач разработан новый подход практически воплощенный в созданном комплексе программных средств, общий вид интерфейса пользователя которого приведен на рис. 1. Указанные там операции обеспечивают работу с неориентированными деревьями, число вершин которых N не превышает значения 65536. Прежде чем описывать предназначение операций приведем используемые в дальнейшем определения:

— «рабочим» называется дерево, над которым выполняются операции создания и модификации структуры, оценки ее изоморфности, поиска характеристик и т.д.;

— воображаемые на поле экрана горизонтальная и вертикальная оси, на пересечениях которых визуальнo размещаются вершины дерева, называются X - и Y -уровнями с целочисленными значениями m ($0 \leq m \leq M - 1$) и n ($0 \leq n \leq N - 1$);

— маркировкой (активизацией, выбором, меткой) вершины графа является окрас зеленым цветом поля прямоугольника, обозначающего данную вершину, после размещения на нем указателя манипулятора «мышь» и нажатия его левой кнопки;

— маркированная вершина m -го и n -го X - и Y -уровней называется активной, а порожденная ею ветка, включающая вершины $m + i$ ($1 \leq i$) X -уровней и $n + j$ ($1 \leq j$) Y -уровней, — активной веткой, корнем которой является выбранная вершина. Уровни, занимаемые активной вершиной в структуре, называются активными X - и Y -уровнями;

— значением занимаемого вершиной X -уровня определяется ее ранг (статус, степень подчиненности) среди вершин ветки, которой она принадлежит. Чем меньше значение X -уровня, тем выше ранг, поэтому увеличение значения X -уровня вершины или сдвиг вправо по X -оси означает понижение ее ранга, и наоборот.

Для удобства построения комплекса программных средств и последующей на нем работы все множество реализуемых на деревьях операций разбито на три группы, которые на рис. 1 объединены общим заголовком «Базовые операции на графах-деревьях».

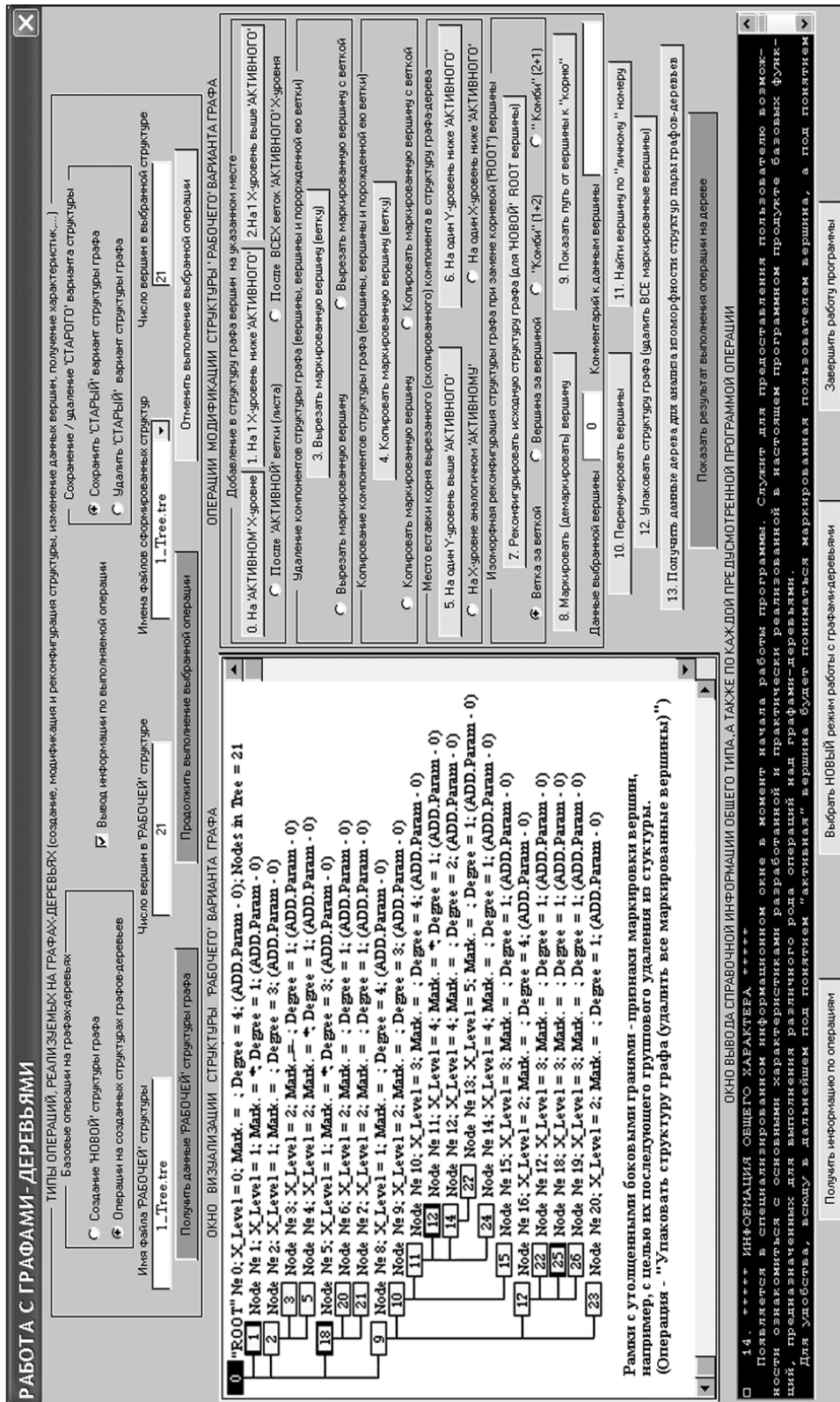


Рис. 1. Вид интерфейса пользователя созданного комплекса программных средств

Первая группа включает единственную операцию формирования нового дерева, исходное число вершин которого N_0 ($N_0 \leq 10$) задается пользователем.

Вторая группа содержит семь операций, связанных со всевозможными модификациями ранее созданных структур графов, маркировкой вершин и построением пути между парой вершин. Все операции этой группы требуют конкретизации вершин графа.

ОПЕРАЦИИ НА ГРАФЕ, ТРЕБУЮЩИЕ КОНКРЕТИЗАЦИИ ВЕРШИН

Рассмотрим следующие операции, приведенные на рис. 1:

- добавление в структуру графа вершин на указанном месте;
 - удаление компонентов структуры графа (вершины, вершины и порожденной ею ветки);
 - копирование компонентов структуры графа (вершины, вершины и порожденной ею ветки);
 - конкретизация места вставки корня вырезанного (скопированного) компонента в структуру графа-дерева;
 - изоморфная реконфигурация структуры графа при замене корневой (ROOT) вершины;
 - маркировка (демаркировка) вершин графа;
 - построение пути от маркируемой пользователем вершины к корню дерева.
- Приведем детальное описание указанных операций.

0. Операция добавить вершины «На ‘АКТИВНОМ’ X -уровне». Предназначена для включения в модифицируемую структуру графа-дерева q ($1 \leq q \leq 100$) новых вершин, место размещения которых указывает маркируемая пользователем вершина и значения X -уровней которых совпадают с X -уровнем последней. Добавляемым вершинам (для идентификации) присваиваются «личные» номера, начинающиеся натуральным числом, на единицу большим максимального, уже имеющегося в структуре дерева значения. Специфика размещения новых вершин зависит от статуса маркированной и определяется следующими особенностями:

1) указывающая место вставки вершина является листом и занимает m -й X -уровень и n -й Y -уровень. При этом выбор любой из радиокнопок («После ‘АКТИВНОЙ’ ветки (листа)» либо «После ВСЕХ веток ‘АКТИВНОГО’ X -уровня») для конкретизации места вставки в структуру дерева q добавляемых вершин дает одинаковый результат. Визуально все они будут размещены непосредственно под маркированной вершиной на m -м X -уровне и $(n+i)$ -х ($1 \leq i \leq q$) Y -уровнях и иметь общую с активной смежную вершину;

2) указывающая место вставки вершина занимает m -й X -уровень и n -й Y -уровень и является корнем порождаемой ею ветки. При выборе радиокнопки «После ‘АКТИВНОЙ’ ветки (листа)» все новые вершины визуальнo будут размещены на m -м X -уровне и $(n+i)$ -х ($1 \leq i \leq q$) Y -уровнях непосредственно под самой нижней вершиной активной ветки дерева. В случае выбора радиокнопки «После ВСЕХ веток ‘АКТИВНОГО’ X -уровня» визуальнo все вершины будут размещены непосредственно под самой нижней вершиной последней ветки дерева, корень которой расположен на активном m -м X -уровне. Порядок размещения вершин аналогичен описанному ранее.

В обоих случаях маркированная вершина и все q новых вершин будут иметь общую смежную.

Добавление в структуру вершин нулевого X -уровня маркировкой корня запрещено, так как дерево может иметь единственный корень.

1. Операция добавить вершины «На 1 X -уровень ниже ‘АКТИВНОГО’». Предназначена для включения на указанном месте в состав структуры модифи-

цируемого дерева q ($1 \leq q$) новых вершин, значение X -уровней которых будет на единицу большим X -уровня выбранной пользователем вершины. Аналогично операции \emptyset добавляемым вершинам присваиваются личные номера, значения которых следуют непосредственно за уже учтенным в графе максимальным личным номером. При этом размещение вершин имеет следующие особенности:

а) маркированная вершина m -го X -уровня и n -го Y -уровня является листом. По причине, указанной в п. 1 операции \emptyset , результаты обоих вариантов выбора места вставки в структуру дерева q новых вершин (радиокнопок «После ‘АКТИВНОЙ’ ветки (листа)» и «После ВСЕХ веток ‘АКТИВНОГО’ X -уровня») будут идентичными. Визуально эти вершины расположатся непосредственно под отмеченной вершиной на $(m+1)$ -м X -уровне и $(n+i)$ -х ($1 \leq i \leq q$) Y -уровнях и получат активную вершину в качестве общей смежной;

б) выбранная вершина m -го X -уровня является корнем порождаемой ею ветки. При выборе радиокнопки «После ‘АКТИВНОЙ’ ветки (листа)» все q включаемые в структуру вершины будут размещены на $(m+1)$ -м X -уровне, а визуально на Y -уровне — непосредственно под самой нижней вершиной активной ветки дерева, порожденной маркированной вершиной. В результате выбора радиокнопки «После ВСЕХ веток ‘АКТИВНОГО’ X -уровня» все вершины будут размещены на $(m+1)$ -м X -уровне, а визуально на Y -уровне — непосредственно под самой нижней вершиной последней ветки дерева, корень которой занимает активный m -й X -уровень и имеет ту же смежную вершину $(m-1)$ -го X -уровня, что и маркированная.

В обоих описанных в п. б) случаях маркированная вершина получает статус «родителя» всех q добавляемых в структуру дерева вершин.

В данной операции запрещена маркировка корня в целях добавления в структуру дерева вершин первого X -уровня. Для того чтобы осуществить добавление таких вершин, необходимо воспользоваться операцией \emptyset , предварительно промаркировав соответствующую вершину первого X -уровня.

2. Операция добавить вершины «На 1 X -уровень выше ‘АКТИВНОГО’». Предназначена для включения в модифицируемую структуру дерева единственной вершины на один X -уровень выше X -уровня маркируемой вершины. Имеют место два случая:

— если маркируемая вершина является листом m -го X -уровня и n -го Y -уровня, то она переходит (опускается, сдвигается) на $(m+1)$ -й X -уровень и $(n+1)$ -й Y -уровень и, освобождая место для установки добавляемой в структуру вершины, получает статус ее потомка (дочки);

— если маркируемая вершина занимает m -й X -уровень и n -й Y -уровень и является корнем порождаемой ею ветки, то значения X - и Y -уровней всех вершин активной ветки одновременно увеличатся на единицу. При этом вся ветка визуальнo опустится и сдвинется вправо на один X - и Y -уровень, а добавляемая в структуру дерева вершина, заняв место маркированной, станет новым корнем ветки, ранее имевшей статус активной. Включение в структуру дерева нескольких (более одной) вершин описанным в операции способом не имеет корректной, практически полезной интерпретации, поэтому не было программно реализовано в составе комплекса.

3. Операция «Вырезать маркированную вершину (ветку)». Предназначена для удаления из структуры дерева:

— единственной вершины, если она является листом или корнем ветки. При вырезания листа результат выполнения операции не зависит от выбора радиокнопки («Вырезать маркированную вершину» либо «Вырезать маркированную вершину с веткой»), поэтому можно использовать любую из них. Удаление корня ветки

влечет уменьшение на единицу значений всех X -уровней порожденных им вершин и их переподчинение ближайшей выше по Y -уровню вершине графа. При этом на экране появится предупреждение о возможных последствиях и пользователь получит возможность выбора — продолжать либо отменять операцию;

— маркированного корня и всей ветки дерева им порожденной. Все особенности вырезаемого из структуры компонента и характеризующая его совокупность данных останутся неизменными. Это обеспечивает возможность включения данного компонента на очередном шаге в структуру графа на любом указанном пользователем месте и вставки (тиражирования) в структуру графа на различных местах.

Выбор корня дерева не разрешен по причине идентичности с операцией удаления из рабочего каталога файла данных всего модифицируемого дерева.

4. Операция «Копировать маркированную вершину (ветку)». Предназначена для создания копии компонента структуры (отдельной вершины или полноценной ветки, для которой маркированная вершина является корнем). Все данные и особенности топологической структуры копируемой вершины (ветки) запоминаются в специальном буфере и после их вставки в структуру рабочего графа-дерева должны соответствующим образом корректироваться.

Копирование всего дерева отключено до выяснения целесообразности такого действия.

5. Операция вставить компонент «На один Y -уровень выше «АКТИВНОГО»». Предназначена для включения удаленного или скопированного в предыдущей операции (либо в операции 3, либо в операции 4) компонента (вершины или ветки) в структуру дерева. Место этой вставки задается значениями m -го X -уровня и n -го Y -уровня, указанными в информационной строке параметров, находящейся справа от прямоугольника маркируемой вершины (см. рис. 1). Базовым элементом «привязки» к месту добавляемого в структуру компонента является либо корневая вершина включаемой ветки, либо висячая вершина.

В данной операции реализован единственный, имеющий разумное практическое обоснование вариант задания места размещения вставляемого в структуру дерева компонента, соответствующий радиокнопке «На X -уровне, аналогичном «АКТИВНОМУ»».

При выполнении этой операции весь включающий q ($1 \leq q$) вершин компонент визуально разместится непосредственно над маркированной вершиной, сохранив неизменной ранее существовавшую соподчиненность между всеми входящими в его структуру элементами. Корень компонента займет m -й X -уровень и n -й Y -уровень, а все (включая маркированную) вершины модифицируемого дерева, ранее занимавшие $(n+i)$ -е ($0 \leq i \leq N-1-n$) Y -уровни, визуально опустятся на q Y -уровней вниз, сохранив значения своих X -уровней.

В данной операции находящаяся в деактивированном состоянии радиокнопка «На один X -уровень ниже «АКТИВНОГО»» в принципе также допускает программную реализацию. Этого не было сделано по причине отсутствия у нее корректной интерпретации с реальным практическим воплощением.

6. Операция вставить компонент «На один Y -уровень ниже «АКТИВНОГО»». Аналогично операции 5 рассматриваемая операция предназначена для вставки компонента, ранее удаленного или скопированного с помощью операции «Копирование компонентов структуры графа», в структуру дерева на указанном месте. Положение места вставки определяется значениями m -го X -уровня и n -го Y -уровня, показанными на рис. 1 и 2 в информационных строках параметров вершин. Контрольным элементом «привязки» к месту вставки компонента является либо корневая вершина включаемой ветки, либо вершина-лист.

Данная операция предусматривает два варианта размещения на X -уровне вставляемого в структуру компонента:

1) при выборе радиокнопки «На X -уровне, аналогичном ‘АКТИВНОМУ’» вставляемый в структуру компонент (вершина или ветка) визуальнo разместится между n -м и бывшим $(n+1)$ -м Y -уровнями. Корень компонента займет m -й X -уровень, все потомки маркированной вершины станут его потомками, а маркированная вершина, сохранив прежнее месторасположение в модифицированной структуре графа, обретет статус листа, не имеющего потомков;

2) при выборе радиокнопки «На один X -уровень ниже ‘АКТИВНОГО’» весь вставляемый в структуру компонент будет визуальнo размещен непосредственно после маркированной вершины, при этом его корень сдвинется на один X -уровень вправо по отношению X -уровня активной вершины. Визуальнo это выглядит как подчинение маркированной вершине всех элементов вставляемого компонента, которые становятся ее потомками.

Отметим, что после вставки в структуру графа ранее скопированного компонента ряд личных номеров вершин будет продублирован. Во избежание путаницы вставляемые вершины получают новые личные номера, не имеющие аналогов в структуре. Все дополнительные параметры таких вершин сохраняются неизменными.

Возможность многократного повторения операции вставки ранее вырезанной (скопированной) вершины либо ветки в различных местах дерева сохраняется до момента активации очередной операции, отличной от операций 5 и 6. При переходе к иной операции данные упомянутого компонента, по какой-либо причине не размещенного в структуре графа, удаляются из памяти компьютера, тем самым исключается возможность их восстановления и последующей с ними работы.

7. Операция «Реконфигурировать исходную структуру графа (для ‘НОВОЙ’ ROOT вершины)». Предназначена для изоморфного преобразования структуры дерева в случае, когда пользователь желает заменить имеющуюся корневую вершину другой, не изменяя все информационные характеристики вершин.

В настоящее время в комплексе реализованы четыре варианта реконфигурации структуры графа: «Ветка за веткой», «Вершина за вершиной», «Комби [1+2]» и «Комби [2+1]». Эти варианты отличаются местами расположения отдельных вершин и веток в формируемых с их помощью изоморфных структурах графов.

Независимо от используемых вариантов реконфигурации, порядка их применения и количества реализаций каждого, замена выбранного последним корня первоначальным приведет к структуре дерева, которая, даже будучи визуальнo отличной от исходной, сохранит неизменными свойства всех входящих в ее состав элементов. Этот факт не сложно проверить с помощью операции 13, подтверждая корректность программной реализации данной операции и позволяя трактовать последнюю как средство генерации структур деревьев, изоморфных исходному варианту.

Применив к рабочему дереву различные варианты реконфигурации (в том числе отличные от четырех упомянутых ранее) и собрав воедино имеющие общий корень структуры, все конечное множество получаемых изоморфных аналогов можно будет разбить на классы, использование которых повышает эффективность реализации операции 13, решающей задачу изоморфности деревьев.

8. Операция «Маркировать (демаркировать) вершину». Предназначена для визуального выделения вершин дерева для каких-либо целей, например, для их последующего удаления из структуры. Размещение стрелки манипулятора на поле прямоугольника нужной вершины и нажатие его левой клавиши изменяет цвет поля на зеленый. Маркировка осуществляется нажатием кнопки «Показать результат выполнения операции на дереве», после чего рамка поля выделяемой вершины становится красной. Операция маркирует только одну вершину, а при-

менение указанных действий к уже отмеченной вершине отменяет выделение, делая стороны ее прямоугольника черными. Маркировка корня исключена.

9. Операция «Показать путь от вершины к ‘корню’». Предназначена для построения и последующей визуализации пути, ведущего от указанной вершины графа к вершине, имеющей статус корня в текущий момент времени, либо в обратном направлении. Для улучшения визуального восприятия сформированного на графе пути стороны всех прямоугольников, обозначающих входящие в его состав вершины, выделяются синим цветом. Личные номера вершин пути и порядок их следования приводятся в информационном окне в нижней части экрана с заголовком «Вид пути, сформированного от указанной вершины к корню дерева».

Третья группа операций предназначена для получения ряда характеристик дерева, не требующих конкретизации вершины.

ОПЕРАЦИИ ПОЛУЧЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ДЕРЕВА, НЕ ТРЕБУЮЩИЕ КОНКРЕТИЗАЦИИ ВЕРШИНЫ

Операции обеспечивают:

- перенумерацию вершин;
- поиск вершины по личному номеру;
- упаковку структуры графа (удаление всех маркированных вершин);
- получение данных дерева для анализа изоморфности пары структур графов-деревьев.

Далее приведено описание операций этой группы.

10. Операция «Перенумеровать вершины». Предназначена для присвоения вершинам новых личных номеров. По сути указанное действие является перенумерацией вершин, способствующей лучшему пониманию ситуации. Новая нумерация осуществляется в порядке визуального их следования в вертикальной Y -плоскости экрана (сверху вниз). При этом все особенности топологической структуры дерева и характеристики входящих в его состав компонентов остаются неизменными. Для удобства программной реализации и констатации особого значения корневой вершины нумерация вершин в структуре графа начинается с нуля.

11. Операция «Найти вершину по «личному» номеру». Предназначена для поиска в структуре графа вершины с указанным личным номером и обеспечивает:

- поиск вершины, личный номер которой задается в активизируемом поле редактора, расположенного внизу и справа от поля вывода структуры рабочего дерева;
- вывод на экран части структуры графа, содержащей указанную вершину, если последняя находилась вне поля видимости;
- окрас зеленым цветом поля прямоугольника найденной вершины;
- вывод сообщения об отсутствии в структуре графа вершины с указанным личным номером.

12. Операция «Упаковать структуру графа (удалить ВСЕ маркированные вершины)». Предназначена для одновременного удаления из структуры всех вершин, выделенных рамками красного цвета. Ветки, порожденные удаляемыми корневыми вершинами, не удаляются. Вершины (или ветки), которые в результате проведения операции упаковки лишаются связей, «подтягиваются» влево и вверх к ближайшим (смежным удаленным) вершинам, визуально располагающимся на два Y - и X -уровня выше. Переподчинясь таким образом, вершины обеспечивают корректное сохранение связности финальной структуры дерева и всех ранее имевшихся у нее топологических свойств.

13. Операция «Получить данные дерева для анализа изоморфности структур пары графов-деревьев». Относится к группе «Операции на созданных структурах графов». Предназначена для констатации фактов последовательного выбора пары (1_Tree.tre и 2_Tree.tre) структур неориентированных деревь-

ев, считывания и преобразования совокупностей их основных параметров для последующего использования в разработанном и программно реализованном новом методе оценки изоморфности. Основой метода является операция 7 изоморфной реконфигурации, которая активизируется выбором кнопки «Показать результат выполнения операции на графе» и применяется только к одной из двух ранее выбранных структур (точнее, к 2_Tree.tre), трактуемой как «тестируемая».

Результаты анализа выводятся на экран. Так, при установлении факта изоморфности структур появляется сообщение: «Предложенные для исследования структуры деревьев изоморфны! Это было доказано, когда для изоморфной реконфигурации структуры 2_Tree.tre (режим «Ветка за веткой») в качестве нового корня была взята вершина, занимающая Y -уровень № *». А в случае отсутствия изоморфности структур выводится сообщение: «Исследованные структуры деревьев неизоморфны! Структура эталонного 1_Tree.tre неизоморфна ни одной структуре, полученной в результате применения к тестируемому дереву 2_Tree.tre операции изоморфного преобразования!».

Операция «Показать результат выполнения операции на дереве». Завершает все режимы работы комплекса, программно реализует используемые в выполняемых операциях методы, способы, подходы, алгоритмы, условия и т.д. и выводит на экран финальный результат их применения.

Разработанные программные средства создают для задействованных в работе деревьев два варианта представления матриц смежности (МС) $M = \{m_{i,j}\}_{i,j=0}^{N-1}$, показанные на рис. 2. Эти матрицы генерируются в конце выполнения функций, связанных с модификацией структур деревьев и только по желанию пользователя. При этом содержащиеся в них данные сохраняются в отдельных файлах.

Рассмотрим эти варианты представления матриц.

Стандартная (классическая) МС $M = \{m_{i,j}\}$ — наиболее ресурсоемкий вариант, требующий для работы постоянного наличия в памяти ПК N^2 значений UINT-типа данных (441 число) (см. рис. 2, а). Здесь приняты обозначения: 0, если между вершинами i и j связи не существует, и 1, если между вершинами i и j имеется односторонняя связь вида $(i \rightarrow j)$.

Усеченная МС $M = \{m_{i,j}\}$ (см. рис. 2, б) — более экономный вариант представления, чем в случае стандартной МС. Такая матрица использует $\frac{N(N-1)}{2}$

наддиагональных значений UINT-типа данных (210 чисел). Требуется дополнительных средств преобразования, увеличивающих затраты времени и ресурсов ПК. Здесь приняты обозначения: 0, если между вершинами i и j связи не существует, и 3, если между вершинами i и j имеется двусторонняя связь вида $(i \leftrightarrow j)$.

Главным преимуществом созданных похода и интегрированной пользовательской среды является то, что, в отличие от существующих средств, для выполнения над деревьями с $N \leq 65536$ вершинами всех описанных ранее операций (номенклатура которых допускает расширение) требуется всего $4N$ char-типа значений при необходимости указания значений личных номеров вершин. Если такой необходимости нет, то требуется $2N$ значений. Модификация комплекса позволит работать с произвольного вида деревьями число вершин которых может достигать любого из $N_1 = 65536 \times 256^k$ ($k = 1, 2, 3, 4, \dots$) значений и создавать иные виды формализованного представления их структур.

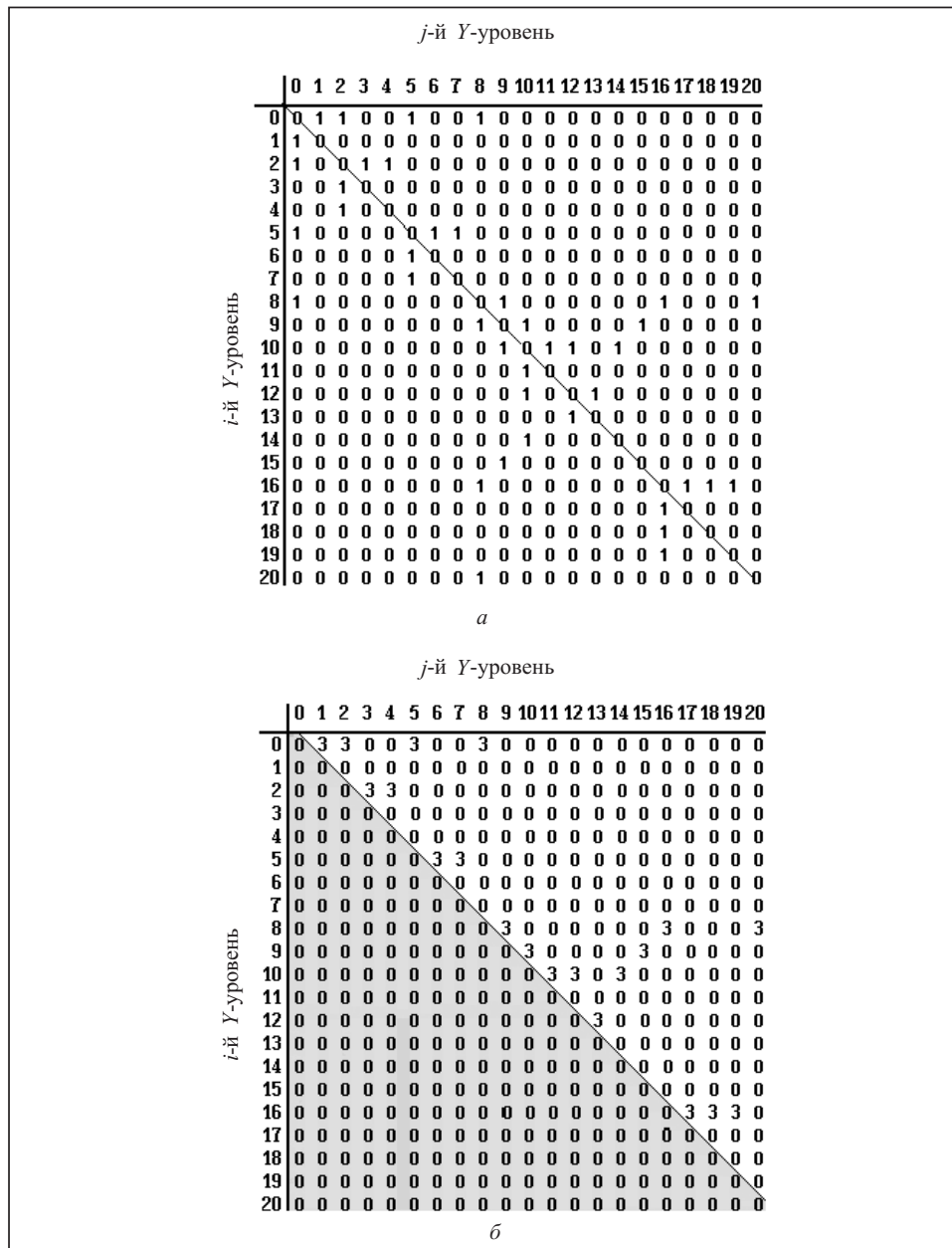


Рис. 2. Формализованное представление структуры дерева матрицами смежности: стандартной (а) и усеченной (б)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработаны новый подход и реализующие его программные средства, интегрирующие широкий набор базовых операций, предназначенных для работы с неориентированными деревьями. Применение этих средств исключает необходимость использования любых существующих способов формализованного представления деревьев, не требует получения и постоянного хранения избыточных массивов данных, знания специализированных языков описания графов, программ построения и визуализации их структуры и др. Многократно снижая затраты на решение задач из различных областей знаний, средства позволяют создавать два варианта представления используемой в различных

приложениях матриц смежности и получают ряд важных для практического применения характеристик деревьев.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ахо А., Хопкрофт Дж., Ульман Дж. Построение и анализ вычислительных алгоритмов. Москва: Мир, 1979. 536 с.
2. Емеличев В.А., Мельников О.И., Сарванов В.И., Тышкевич Р.И. Лекции по теории графов. Москва: Наука, 1990. 384 с.
3. Евстигнеев В.А., Касьянов В.Н. Теория графов: алгоритмы обработки деревьев. Новосибирск: Наука, 1994. 360 с.
4. Hoffmann C.M. Group-theoretic algorithms and graph isomorphism. *Lecture Notes in Computer Science*. 1982. Vol. 136. 275 p.

Надійшла до редакції 06.07.2020

О.І. Иванешкін

НОВИЙ ПІДХІД ДО РОБОТИ З НЕОРІЄНТОВАНИМИ ДЕРЕВАМИ

Анотація. Розроблено та практично реалізовано у створеному комплексі програмних засобів новий підхід, що забезпечує виконання на неорієнтованих деревах великої сукупності базових операцій, яка дозволяє поповнення. Підхід не потребує освоєння та використання наявних видів формалізованого представлення дерев (матриці суміжності, зв'язку, інцидентності, відстаней, списків суміжностей тощо), стандартизованих мов опису, спеціалізованих програм для побудови та засобів візуалізації їхньої структури. У десятки (та сотні) раз знижуючи витрати технічних ресурсів та часу для розв'язання задач з різних галузей знань, підхід дає змогу виконувати роботу максимально просто та ефективно, отримувати низку важливих для практичного застосування характеристик, розв'язувати задачу ізоморфності дерев та генерувати два варіанти представлення матриці суміжності.

Ключові слова: граф-дерево, неорієнтоване дерево, ізоморфізм, комплекс програмних засобів.

A.I. Ivaneshkin

A NEW APPROACH TO OPERATING WITH NON-ORIENTED TREES

Abstract. A new approach has been developed and practically implemented in the created software package that ensures the implementation on wide trees that allows replenishment of the set of basic operations. The approach does not require the development and use of existing types of formalized representation of trees (matrices of adjacency, connectivity, incidence, distance, adjacency lists, etc.), standardized description languages, specialized programs for constructing and visualization tools for their structure. Dozens (and hundreds) times reducing the cost of technical resources and time when solving problems from various fields of knowledge, the approach makes the work as simple and effective as possible, allows you to obtain a number of characteristics that are important in practical terms, solve the problem of tree isomorphism and generate two options of representing the adjacency matrix.

Keywords: graph tree, non-oriented tree, isomorphism, a set of software tools.

Иванешкин Александр Иванович,

доктор техн. наук, старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник Международного научно-учебного центра информационных технологий и систем НАН Украины и МОН Украины, Киев, e-mail: al.ivaneshkin@gmail.com.