

АЛГОРИТМЫ СТРУКТУРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ТРУБОПРОВОДНЫХ СИСТЕМ

Крыгин А.А., Лубков Н.В.

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН,

Россия, г. Москва, ул. Профсоюзная д.65

andreyakr@yandex.ru, lbknv@mail.ru

Аннотация: В работе рассмотрено решение с помощью методов теории графов задач по структурному моделированию трубопроводных систем, которые возникли в процессе создания автоматизированной информационно-поисковой системы. Описываются эффективные способы хранения данных и основные алгоритмы, в частности алгоритм нахождения всех путей между двумя вершинами.

Ключевые слова: трубопроводные системы, алгоритм нахождения путей в графах, реализация структуры хранения данных о графе.

Введение

Трубопроводные системы (ТПС) занимают важное место в реализации производственно-технической деятельности и в сфере коммунального хозяйства. Типичными примерами таких систем являются системы водоснабжения, водоотведения, газоснабжения комплексов городского хозяйства.

Возникновение нештатных - аварийных ситуаций в процессе функционирования систем по причине отказов (утрате работоспособности) узловых элементов, нарушения целостности участков трубопроводов или их засоров может иметь серьезные последствия. Нельзя исключать и внешние неблагоприятные воздействия природного, техногенного характера, а также злонамеренные действия.

Для решения задачи анализа последствий аварии (и ряда других задач) ТПС представляется в виде направленного графа. Это позволяет задействовать аппарат теории графов и разработанные в этой области алгоритмы. Одной из трудностей, возникающих при программной реализации, является большое количество узловых элементов (порядка десятков тысяч) и связей между ними.

Работа состоит из двух частей. Первая часть посвящена программной реализации алгоритмов и способов хранения данных в рамках теории графов. Вторая часть посвящена практическому использованию полученных алгоритмов при создании информационно-поисковой системы автоматизации деятельности диспетчера теплосети

1 Реализация графовых алгоритмов

Для целей математической обработки информации, представленной в виде графа использовалась матрица связей S , видоизмененная из соображений компактности. Для слабосвязанных графов (к которым относятся графы ТПС) матрица связей будет разреженной. Вопросам хранения и обработки разреженных матриц посвящено много работ, например [1-2]. Новую матрицу определим как таблицу, количество строк которой, как и у прежней, будет равно количеству вершин графа, а длина строк будет переменной. Длина строки выбирается равной количеству дуг, выходящих из вершины, соответствующей данной строке.

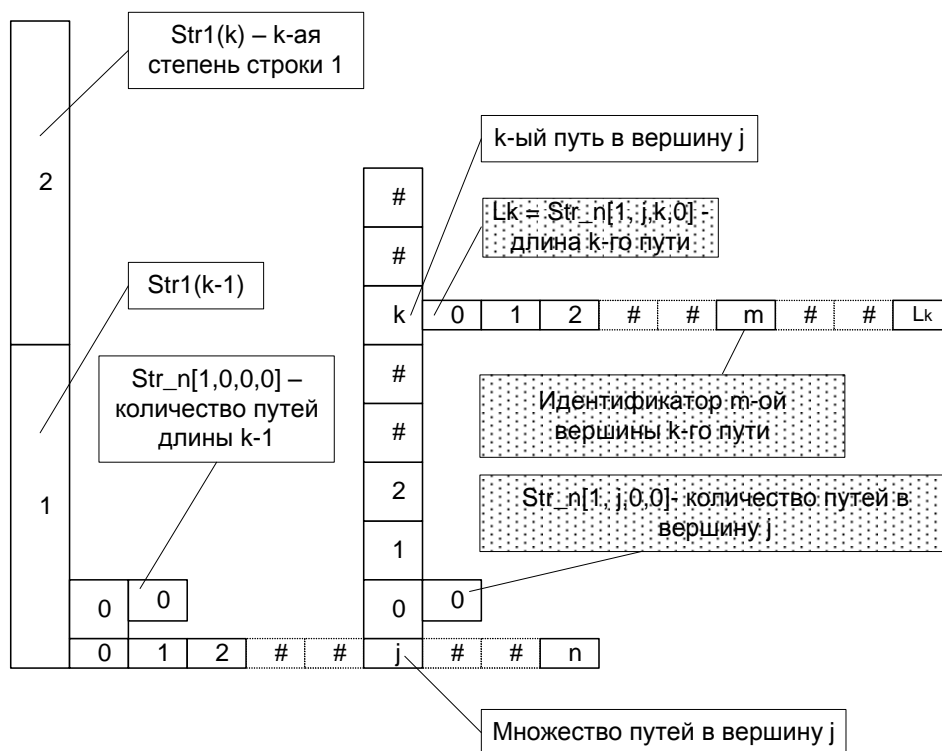


Рис. 1. Структура массива Str_n

Все графовые задачи, которые возникли в процессе создания информационно-поисковой системы автоматизации деятельности диспетчера теплосети, базировались на задаче нахождения путей в графе с теми или иными начальными условиями. Поэтому проектирование подсистемы работы с графами строилось по принципу наибольшего быстродействия модуля нахождения путей. Это существенно повлияло на структуры данных по графу и структуры данных в указанном модуле.

Наиболее удобным вследствие регулярности выполняемых элементарных действий является алгоритм поиска путей, основанный на возведении в степень матрицы связей. При этом r -я степень матрицы содержит пути длины r .

По условию задачи анализа нештатной ситуации на ТПС, требуется определить пути, ведущие из множества начальных вершин, соответствующих источнику ресурса, в некоторое подмножество конечных вершин, отождествляемых с потребителями ресурса. Отсюда следует, что первоначально описанная задача поиска путей в графе может быть сужена, и благодаря этому может быть получен

существенный выигрыш в трудоемкости алгоритма. Предлагается следующая схема: выделяется подграф G_{Π} графа G ; G_{Π} будет содержать все вершины графа G , через которые проходят пути, соединяющие подмножество начальных вершин с подмножеством конечных вершин.

Для поиска путей в графе G_{Π} используется алгоритм последовательного умножения строки матрицы, соответствующей начальной вершине (для определенности установим номер начальной вершины равным 1) на матрицу связей по следующему правилу.

$Str(k) = Str1(k-1) \times MS$ – k -я степень первой строки, определяет пути длины k , выходящие из начальной вершины, определяется следующим образом: $Str(1) [j] = MS[1,j]$; $Str(k)[j] = \cup_i Str(k-1)[i] \& MS[i,j] = \cup_i Str(k-1)[i] \& MS'[j,i]$, где $\&$ – операция логического «и»,

\cup_i – операция логического «или», MS – матрица связей, MS' – транспонированная матрица связей.

Эффективность алгоритма при программной реализации в значительной мере зависит от выбора структуры представления данных и наличия дополнительной информации, обеспечивающей навигацию по массивам данных при выполнении отдельных шагов алгоритма. По этой причине в качестве базового представления данных были выбраны многомерные динамические массивы, что позволяет использовать лишь минимально необходимые объемы памяти на каждом этапе выполнения алгоритма и повысить быстродействие их выполнения.

1. Двумерный массив для хранения таблицы смежных вершин графа (матрицы связей) mMS . По вертикали размер массива равен $n+1$, нулевой столбец массива – служебный, он используется для хранения текущих размерностей строк с целью повышения быстродействия алгоритмов.

2. Элементы массива $mMS[i,j]$ – содержат номер j -ой по счету вершины, в которую идет дуга из i -ой вершины.

Для формирования и хранения результатов перемножения строки $Str(k)$ на матрицу MS предлагается специальная структура данных – четырехмерный динамический массив

Str_n , структура которого показана на рис. 1.

2 Практическое применение разработанных методов (на примере сети теплоснабжения)

Инженерные распределительные сети предназначены для переноса ресурса от источников снабжения к потребителям. В упрощенном виде объекты теплоснабжения можно разделить на источники снабжения (ТЭЦ, РТС, КТС), объекты теплосети (камеры, участки теплопровода, коммутирующие устройства), тепловые пункты (ТП, ЦТП) и потребителей ресурса (строения, абоненты). Для обеспечения надежности объекты теплосети резервируются, соответственно, имеется множество конфигураций переноса ресурса. Текущая конфигурация сети определяется состоянием коммутирующих устройств (открыто/закрыто). Для краткости будем называть все источники снабжения ТЭЦ, коммутирующие устройства – коммутаторами, тепловые пункты – ТП.

При создании информационно-поисковой системы автоматизации деятельности диспетчера теплосети, был выявлен ряд задач, которые удобно решать с помощью методов теории графов. Для решения этих задач была создана библиотека, практически не привязанная к предметной области, которая содержала следующие основные функции по работе с графами.

Инициализация

Для дальнейшей работы задается исходный граф и отдельно все ТЭЦ и ТП.

Построение покрывающего дерева

По заданному объекту передачи ресурса, в зависимости от заданного направления функция строит покрывающее дерево от объекта ко всем возможным ТП или от всех возможных ТЭЦ к объекту.

Поиск всех путей между двумя вершинами

Эта функция строит все пути между двумя заданными вершинами.

Поиск путей из заданной вершины во множество вершин

По заданным двум подмножествам вершин $V1$ и $V2$ и заданной вершине функция строит все пути из заданной вершины в вершины подмножества $V1$ и из всех вершин подмножества $V2$ в заданную вершину.

Поиск связей между подмножествами

Для двух произвольных подмножеств вершин $V1$ и $V2$ (подмножества могут пересекаться или совпадать). Необходимо построить граф, у которого каждая дуга (a,b) обладает следующими свойствами: $a \in V_1; b \in V_2$;

В исходном графе существует путь $a \rightarrow b$, вершины которого (кроме a и b) не принадлежат V_1 и V_2 .

С помощью этих функций было выполнено решение следующих задач: визуализация схемы инженерной сети; поиск неисправности в теплосети, отвечающей за нарушение в теплоснабжении строения; задачи, связанные с авариями на теплосети [3].

Выводы

В процессе проектирования информационно-поисковой системы автоматизации деятельности диспетчера теплосети, был выявлен ряд задач, которые удобно решать с помощью методов теории графов. Для решения этих задач была создана отдельная подсистема работы с графами. При анализе выделенных задач было поставлено два требования к подсистеме: максимальное быстродействие выполнения операции умножения строки на матрицу и экономное расходование памяти, т.к. количество узлов в исследуемом объекте может составлять сотни тысяч. При создании графовой подсистемы были разработаны структуры для хранения данных о графе и выполнении указанной операции умножения, отвечающие поставленным требованиям. В самой информационно-поисковой системе многократно использовались реализованные в модуле функции для визуализации схемы теплоснабжения, поиска неисправностей, локализации и оценке последствий аварий и поиске резервных маршрутов для восстановления снабжения потребителей.

Литература

1. Тьюарсон Р. Разреженные матрицы. – М.: Мир, 1977.
2. Богоявленский А.И. Использование форматов хранения разреженных матриц при реализации метода конечных элементов. – М.: Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Серия «Естественные науки». 2017 №2 С.4-11.
3. Гребенюк Г.Г., Крыгин А.А. Алгоритмы оптимизации числа переключений при реконфигурации сетей теплоснабжения - Автоматика и телемеханика. 2007. № 12. С. 101-112.