

## **РАЗРАБОТКА ПРИЛОЖЕНИЯ АНАЛИЗА СЕТЕВЫХ ПРОТОКОЛОВ НА ОСНОВЕ АЛГОРИТМА БЕЛЛМАНА-ФОРДА**

**Аннотация.** В статье поставлена задача анализа сетевых протоколов на основе алгоритма Беллмана-Форда. Разработано приложение, позволяющее определить кратчайшие пути от источника сигнала до всех остальных вершин графа и визуализировать полученный граф.

**Ключевые слова:** Routing Information Protocol, алгоритм Беллмана-Форда, маршрутизация, протокол маршрутизации.

В случаях, когда требуется динамически обновлять маршрутную информацию с помощью маршрутизаторов в небольших компьютерных сетях, появляется необходимость применения протокола маршрутизации. Одним из таких является протокол дистанционно-векторной маршрутизации (Routing Information Protocol), оперирующий в качестве метрики транзитными участками. Простота конфигурирования — главное преимущество этого протокола, успешно используемого в современности и идеально подходящего для предприятий малого масштаба. Анализ протоколов необходим непосредственно для реализации RIP, поскольку он позволяет найти кратчайшие пути от одного маршрутизатора до остальных и передать верную информацию о расстояниях устройству.

При создании способа реализации алгоритма маршрутизации RIP была поставлена цель создать инструмент анализа сетевых протоколов на основе алгоритма Беллмана-Форда, определяющего кратчайшие пути от одной вершины графа до всех остальных.

Для достижения поставленной цели были поставлены следующие задачи:

- 1) реализовать алгоритм Беллмана-Форда;
- 2) разработать приложение, адаптированное для данных, необходимых при использовании протокола дистанционно-векторной маршрутизации;
- 3) реализовать графическую среду для визуализации маршрутной информации;
- 4) провести вычислительный эксперимент на данных сетевого протокола.

Пусть задан граф  $G = (V, E)$  с весами рёбер  $f(e)$  и выделенной вершиной-источником  $u$ . Обозначим через  $d(v)$  кратчайшее расстояние от источника  $u$  до вершины  $v$ . Алгоритм Беллмана-Форда ищет функцию  $d(v)$  как единственное решение уравнения  $d(v) = \min\{d(w) + f(e) | e = (w, v) \in E\}$ ,  $\forall v \neq u$ , с начальным условием  $d(u) = 0$ .

Алгоритм состоит из следующих этапов:

1. Инициализация: всем вершинам присваивается предполагаемое расстояние  $t(v) = \infty$ , кроме вершины-источника, для которой  $t(u) = 0$ .
2. Релаксация множества ребер  $E$ :
  - a. для каждого ребра  $e = (v, z) \in E$  вычисляется новое предполагаемое расстояние  $t'(z) = t(v) + w(e)$ ;
  - b. если  $t'(z) < t(z)$ , то происходит присваивание  $t(z) = t'(z)$ , (релаксация ребра  $e$ ).
3. Алгоритм производит релаксацию всех рёбер графа до тех пор, пока на очередной итерации происходит релаксация хотя бы одного ребра.

Если на  $|V|$ -й итерации всё ещё производится релаксация рёбер, то в графе присутствует цикл отрицательной длины.

Алгоритм Беллмана-Форда масштабируется хуже других алгоритмов решения поставленной задачи (сложность  $O(|V||E|)$  против  $O(|E| + |V|\ln(|V|))$  у алгоритма Дейкстры), однако его отличительной особенностью является

применимость к графам с произвольными, в том числе отрицательными, весами, что крайне важно для построения сетевого маршрута.

С помощью алгоритма Беллмана-Форда можно определить, существует ли отрицательный цикл в графе  $G$ , который можно достичь из вершины  $s$ : достаточно произвести внешнюю итерацию цикла ровно  $|V|$ , а не  $|V|-1$  раз. Если при выполнении последней итерации длина кратчайшего пути до одной из вершин строго уменьшилась, то можно говорить о том, что в графе существует достижимый из  $s$  отрицательный цикл. На основе этого предложена оптимизация: необходимо отслеживать изменения в графе и, как только они закончатся, совершить выход из цикла, так как дальнейшие итерации теряют смысл.

Алгоритм Беллмана-Форда относится к дистанционно-векторным алгоритмам, которые могут быть эффективными только при работе с небольшими сетями, так как в больших они «засоряют» интенсивным трафиком линии связи. Помимо того, изменения конфигурации могут некорректно обрабатываться подобным алгоритмом, поскольку маршрутизаторы не обладают информацией о сетевой топологии связей — лишь сведениями о векторе расстояний, косвенными данными.

Было разработано приложение на языке Python 3. Для реализации и визуализации графов были подключены библиотеки NetworkX и Matplotlib. В качестве ядра для графической оболочки используется PyQt5, а инструментом для работы с ним — QtDesigner.

Приложение состоит из трех связанных между собой скриптов: «BellmanFord.py», «main.py» и «design.py».

«Design.py» содержит код, сгенерированный при помощи QtDesigner и представляет собой графическую реализацию всех используемых приложением блоков, форм и виджетов, которые содержатся в классе UI\_Dialog (Рис. 1).

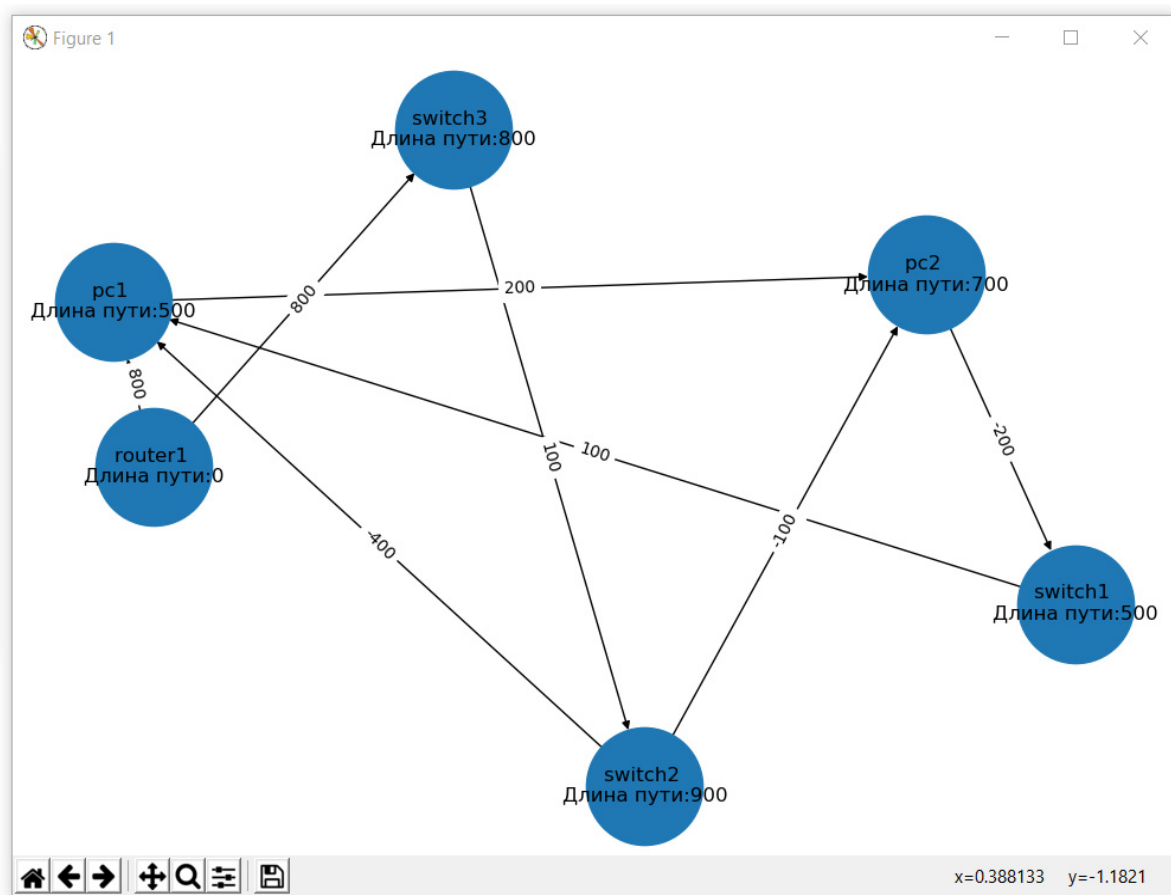


Рис. 1. Пример визуализации графа в приложении

«BellmanFord.py» представляет из себя реализацию алгоритма нахождения кратчайших путей Беллмана-Форда. «Main.py» является главным модулем приложения и представляет собой связующее звено между графо-ориентированным алгоритмом Беллмана-Форда и графической оболочкой.

Работа алгоритма была протестирована на списке графов (табл. 1), для теста были выполнены замеры на 5, 10, 50, и 100 элементов при 10 запусках.

Таблица 1. Результаты вычислительного эксперимента

№	Количество вершин	Количество связей	Худший случай, сек	Средний случай, сек	Лучший случай, сек
1	5	10	1	0.5	0.2
2	10	20	10	5	3
3	50	100	330	150	100
4	100	200	1000	500	250

Для реализации алгоритма протокола маршрутной информации было разработано приложение, позволяющее проводить анализ сетевых протоколов на основе алгоритма Беллмана-Форда, определяющего кратчайшие пути от одной вершины графа до всех остальных.

Алгоритм был усложнен за счет добавления возможности определить, существует ли в графе  $G$  отрицательный цикл, достижимый из вершины  $s$ , что позволяет отслеживать изменения в графе и, как только они закончатся, сделать выход из цикла. Протокол RIP предотвращает появление петель в маршрутизации, по которым пакеты могли бы циркулировать неопределенно долго, устанавливая максимально допустимое количество переходов на маршруте от отправителя к получателю.

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Беллман, Р. О проблеме маршрутизации = On a Routing Problem. // Quarterly of Applied Mathematics. – 1958. – Т.16, №1. – С. 87-90.
2. Захарова И.Г. Алгоритм поиска минимального пути в графе с динамически изменяющимися весами / И.Г. Захарова, И.А. Муравьев // Математическое и информационное моделирование. Издательство ТюмГУ, 2015. С. 173-179.
3. Открытая энциклопедия свойств алгоритмов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://algowiki-project.org> – Алгоритм Беллмана-Форда. – (Дата обращения: 03.06.2019).
4. Университет ИТМО [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://neerc.ifmo.ru> – Алгоритм Форда-Беллмана. (Дата обращения: 03.06.2019).
5. Форд, Л. Поток в сети = Flows in Networks. / Л. Форд, Л. Фалкерсон // Princeton University Press, 1962. – 212 с.