

ДИБРОВА М. А.,
КОГАН А. В.,
КАПОРИН Р. М.

СПОСОБЫ ОРГАНИЗАЦИИ МНОГОПУТЕВОЙ МАРШРУТИЗАЦИИ

В работе предложены модифицированный алгоритм Беллмана-Форда и потоковый алгоритм многопутевой маршрутизации, которые позволяют улучшить пропускную способность сети и обеспечить ее безопасность. Проведен сравнительный анализ данных алгоритмов и определена область их применения. Модифицированный алгоритм Беллмана-Форда целесообразно использовать для внутрисетевой маршрутизации при относительно большом количестве узлов, модифицированный волновой алгоритм целесообразно использовать при небольшом количестве узлов, например, при межсетевой маршрутизации.

In this paper we propose a modified algorithm Bellman-Ford and streaming multipath routing algorithm, which can improve network capacity and ensure its safety. A comparative analysis of these algorithms and identify areas of their application. Modified Bellman-Ford algorithm should be used for intra-domain routing in a relatively large number of nodes, the modified wave algorithm is useful when a small number of nodes, such as inter-domain routing.

Ключевые слова: многопутевая маршрутизация, волновой алгоритм, алгоритм Беллмана-Форда

Введение

Расширение области применения компьютерных сетей повышает требования к качеству (*QoS*) передачи информации, таких как передача голоса по *IP (VoIP)*, потоковое видео и др. Многопутевая маршрутизация один из перспективных способов решения данной задачи. Большинство известных протоколов маршрутизации ориентированы на формирование одного наилучшего пути для передачи данных.

Основным условием организации безопасной многопутевой маршрутизации является наличие достаточного количества путей необходимых для передачи данных и возможного обхода скомпрометированных или вышедших из строя вершин. Для этого в сети, необходимо сформировать множество непересекающихся путей [1, 2, 3], что позволит уменьшить вероятность прослушивания и ускорит процесс передачи за счет использования нескольких путей. Использование многопутевой маршрутизации предусматривает ряд преимуществ, а именно:

- Балансирование нагрузки
- Контроль полосы пропускания
- Улучшение показателей *QoS*, таких как задержка, и т.д.

Решение поставленной задачи

Известные способы формирования множества путей базируются на алгоритмах поиска в ширину, глубину или использования комбинированного способа. Наиболее распространенный алгоритм поиска в ширину - это волновой алгоритм [4], который позволяет сформировать кратчайший путь на графе. Формирование множества путей, используя данный алгоритм, влечет за собой значительное увеличение вычислительной сложности которая близка к $O(N^2)$.

В работе [5] описан подход теории игр (*FDG - forwarding dilemma game*) для того, чтобы передать пакеты множественной рассылкой в беспроводных специальных сетях. У этого подхода есть два преимущества: во-первых, узлы используют *FDG*, чтобы вычислить вероятность передачи адаптивно, во-вторых, в отличие от иерархических или кластеризирующихся методов, предложенная модификация не вызывает дополнительные издержки маршрутизации. Этот способ может быть использован к большинству классов протоколов маршрутизации, у которых есть множественная рассылка.

В работе [6] предложен модифицированный метод «ветвей и границ» [7], позволяющий формировать множество непересекающихся путей между двумя узлами сети, позволяющий исключить операций направленного перебора, характерные для волнового алгоритма.

рного для комбинаторных алгоритмов формирования путей. С помощью данного алгоритма строится дерево путей из начальной вершины до конечной. Основным недостатком данного алгоритма, как и всех других алгоритмов волновых алгоритмов и алгоритмов поиска в глубину или ширину, является достаточно большая область поиска решений.

В связи с этим, в рамках данной работы был предложен модифицированный волновой алгоритм адаптирован под многопутевую маршрутизацию (рис. 1). Особенностью данного модифицированного алгоритма является возможность сформировать все возможные непересекающиеся пути.

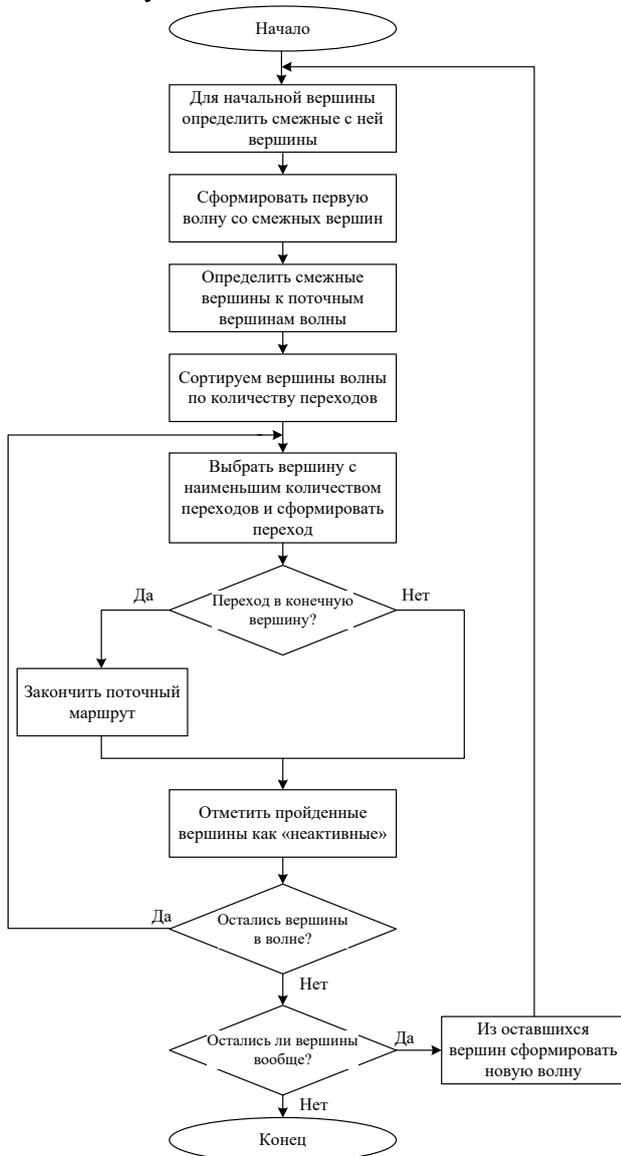


Рис. 1 – Блок схема модифицированного волнового алгоритма

Рассмотрим пример модифицированного волнового алгоритма формирования множества путей между начальной вершиной $V1$ и конечной вершиной $V16$ (рис.2). Основной задачей предложенного алгоритма является формирование максимально возможного множества $K_1 \cup K_2 \cup \dots \cup K_t = K$ непересекающихся безопасных путей $|K| \rightarrow \max$ между двумя вершинами. Основным критерием формирования множества путей это отсутствие общих узлов кроме начальной и конечной вершины

$$K_1 \cap K_2 \cap \dots \cap K_t = \emptyset.$$

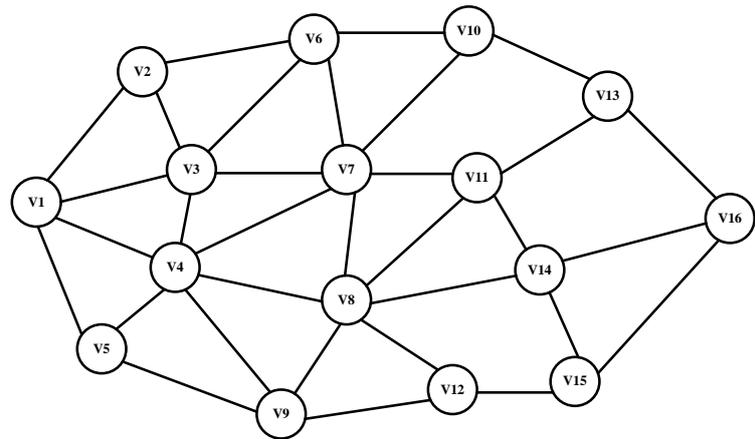


Рис. 2. Граф сети

На начальном этапе строится дерево из начальной вершины и смежных с ней вершин. Например, для графа, представленного на рис. 2, для начальной вершины $V1$ смежными являются вершины $V2, V3, V4, V5$. Таким образом на каждом шаге формируются своеобразные волны (рис. 3)

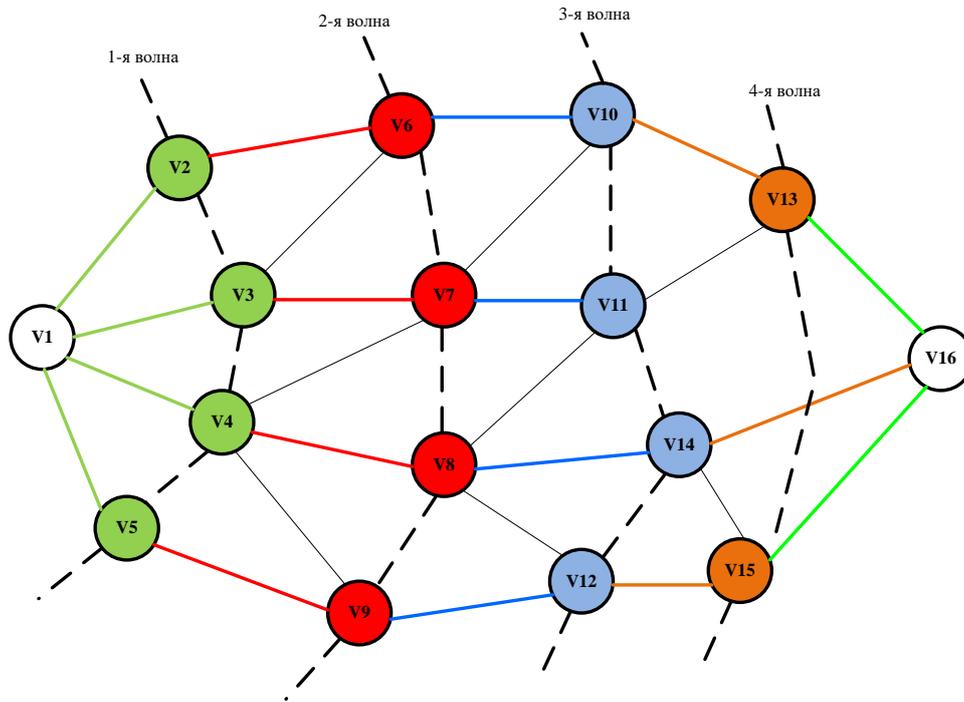


Рис. 3 Формирование «волн»

Основной метрикой данного алгоритма является стоимость C_{ij} , где индексы ij это начальная и конечная вершины. Условие минимальной стоимости сформированного пути определяется как:

$$\sum_i^m \sum_j^m C_{ij} x_{ij} \rightarrow \min.$$

где X_{ij} - переход с вершины i в вершину j . Представим переходы и их стоимости в виде матрицы

$$C = \begin{pmatrix} - & C_{12} & C_{13} & \infty & \infty & \infty \\ C_{21} & - & C_{23} & C_{24} & \infty & \infty \\ C_{31} & C_{32} & - & C_{34} & C_{35} & \infty \\ \infty & C_{42} & C_{43} & - & C_{45} & C_{46} \\ \infty & \infty & C_{52} & C_{53} & - & C_{56} \\ \infty & \infty & \infty & C_{62} & C_{63} & - \end{pmatrix}$$

В результате сформировано три непересекающихся пути:
 $P1 = \{V1, V2, V6, V10, V13, V16\}$ – путь сформирован;
 $P2 = \{V1, V3, V7, V11\}$ – путь не сформирован;
 $P3 = \{V1, V4, V8, V14, V16\}$ – путь сформирован;
 $P4 = \{V1, V5, V9, V12, V15, V16\}$ – путь сформирован.

В рамках данной работы предложен комбинированный способ формирования множества

путей, а именно модифицированный алгоритм Беллмана-Форда. Такой способ гарантирует поиск всего множества непересекающихся путей с наименьшей стоимостью. Блок схема алгоритма работы представлена на рис. 4.

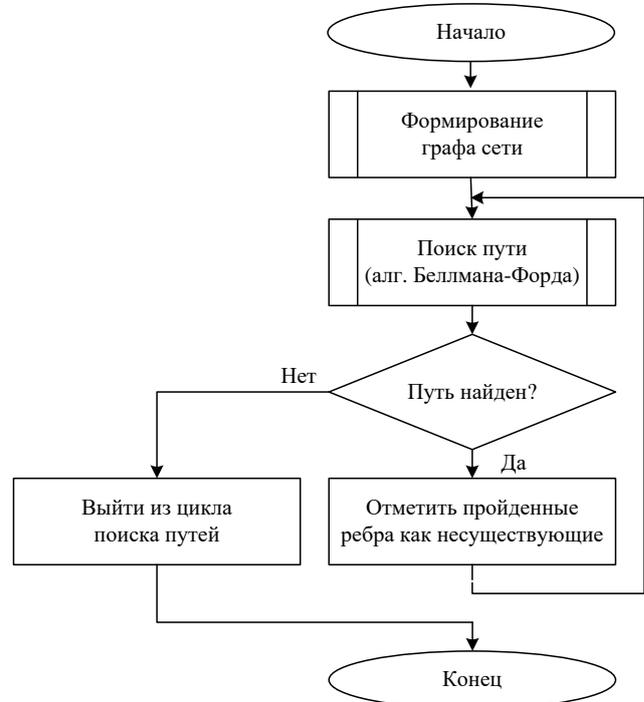


Рис. 4. Блок схема модифицированного алгоритма Беллмана-Форда

Для достоверных результатов была разработана моделирующая программа (рис.5) с помощью которой были проведены эксперименты, на графах различной размерности. Время фор-

мировання множення непересекаючихся путей
используя предложенные модифицированные
алгоритмы представлена на рис.6. Программа

разработана на языке программирования *Ruby* с
использованием графического интерфейса
Shoes 3.2.

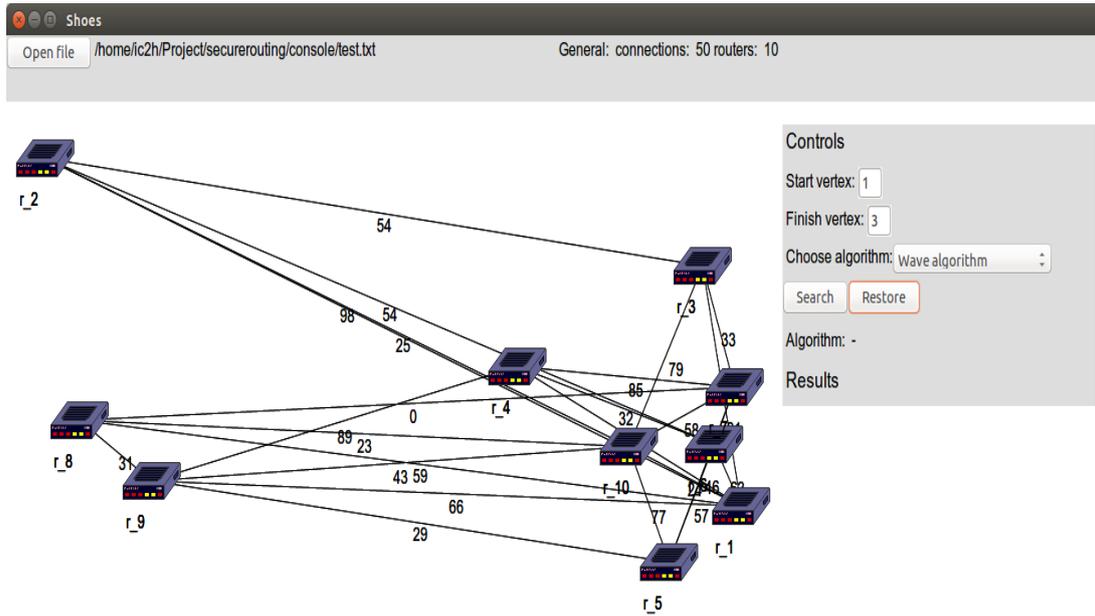


Рис. 5. Интерфейс моделирующей программы

Табл. 1. Время формирования путей

Алгоритмы	Количество вершин				
	10	20	50	100	200
	Время, за которое было сформировано пути, (с)				
Беллмана – Форда (мод.)	0,000106	0,000477	0,001369	0,005309	0,013547
Волновой (мод.)	0,000140	0,000517	0,002590	0,013465	0,047211

Порівняння часу роботи алгоритмів

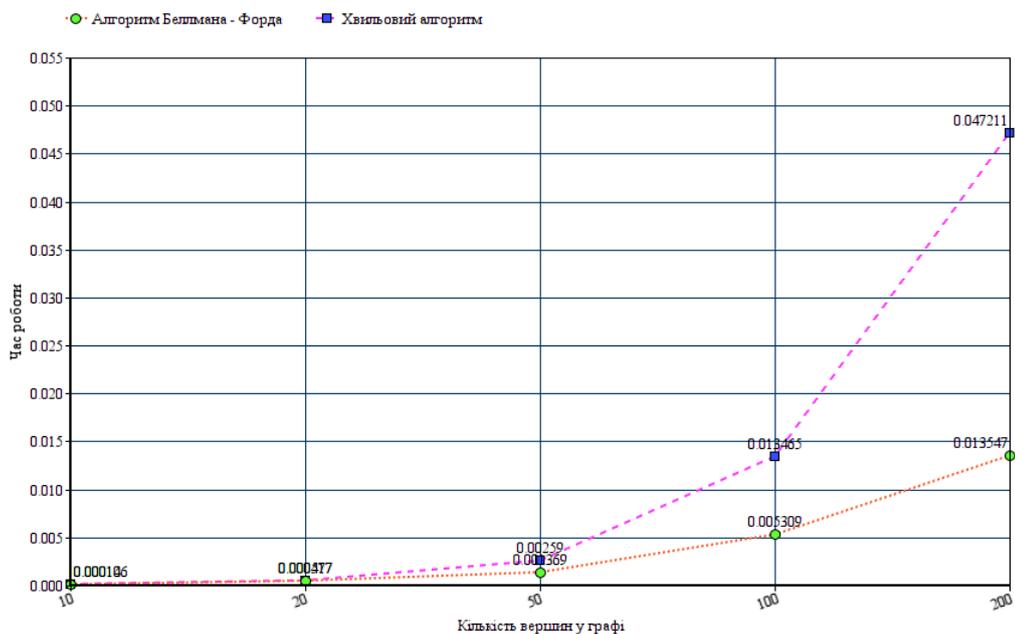


Рис. 6. Анализ работы алгоритмов

По результатам эксперимента можно сделать вывод, что оба способа адаптивны к многопутевой маршрутизации и формируют множество непересекающихся путей. Модифицированный алгоритм Беллмана-Форда подходит для внутридоменной маршрутизации, где достаточно большое количество узлов. Модифицированный волновой алгоритм лучше применять при междоменной маршрутизации, так как он показал достаточно хороший результат при небольшом количестве узлов.

Выводы

В данной работе были рассмотрены способы формирования множества путей между узлом-

источником и узлом назначения. В результате проведенного анализа было определено, что большинство способов не подходят для многопутевой маршрутизации. Основным критерием при организации многопутевой маршрутизации является безопасность, достичь которой удастся за счет формирования множества непересекающихся путей, которые позволят повысить уровень безопасности в сети. В рамках данной работы были предложены и обоснованы два модифицированных способа формирования множества непересекающихся путей и определены их области применения.

Список литературы

1. Кулаков Ю. А. Формирование множества непересекающихся путей между граничными маршрутизаторами сети MPLS / Кулаков Ю. А., Диброва М. А., Коган А. В. // *Electronics and Communications. Електроніка та зв'язок. Електроніка та зв'язок.* – 2016. – Том 21. – №1(90), – С.50-55.
2. Deepak Ganesan. Highly-Resilient, Energy-Efficient Multipath Routing in Wireless Sensor Networks / Deepak Ganesan, Ramesh Govindan, Scott Shenker, Deborah Estrin // *Mobile Computing and Communications Review*, 2014, Volume 1, Number 2. – P.1-13.
3. Aboli Arun Anasane. A Survey on Various Multipath Routing Protocols in Wireless Sensor Networks / Aboli Arun Anasane, Prof. Rachana Anil Satao // *Proceedings of International Conference on Communication, Computing and Virtualization (ICCCV) 2016.* - Volume 79, 2016. – P. 610-615
4. Keijo Ruohonen. *Graph theory.* – 2013. – 114p.
5. Mohammad Naserian. Game theoretic approach in routing protocol for wireless ad hoc networks / Mohammad Naserian, Kemal Tepe // *Ad Hoc Networks.* - № 7, 2009. – P. 569–578.
6. Кулаков Ю. А. Способ организации многопутевой маршрутизации с помощью модифицированного метода ветвей и границ / Кулаков Ю. А., Коган А. В., Морозовский Т. О. // *Вісник НТУУ «КПІ». Інформатика, управління та обчислювальна техніка: збірник наукових праць.* – К.: Століття +, 2015. – №62. – С.27-31.
7. Ю. Л. Костюк. Эффективная реализация алгоритма решения задачи коммивояжера методом ветвей и границ / Ю. Л. Костюк // *Вычислительные методы в дискретной математике.* – 2013, №2(20). С. 78-90.