

## ФОРМИРОВАНИЕ МНОЖЕСТВА НЕПЕРЕСЕКАЮЩИХСЯ ПУТЕЙ В БЕСПРОВОДНЫХ КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЯХ

Национальный технический университет Украины  
"Киевский политехнический институт"

[koganav@yandex.ru](mailto:koganav@yandex.ru)

*На основе алгоритма Дейкстры разработан алгоритм многопутевой маршрутизации, формирующий множество непересекающихся путей и характеризующийся меньшей временной сложностью по сравнению с базовым алгоритмом многопутевой маршрутизации*

**Ключевые слова:** беспроводные компьютерные сети, многопутевая маршрутизация, алгоритм Дейкстры, временная сложность

### **Вступление**

Расширение сферы использования беспроводных компьютерных сетей и повышение их мобильности в рамках высокопроизводительных компьютерных систем с динамическим распараллеливанием вычислительных процессов предъявляет новые, более высокие, требования к качеству обслуживания, обеспечению надежности и безопасности передачи информации. Одним из путей решения данной задачи является использование многопутевой маршрутизации, которая позволяет осуществить равномерную загрузку каналов передачи данных. Особую актуальность принимает задача многопутевой маршрутизации в беспроводных компьютерных сетях.

### **Обзор существующих решений**

Для мобильных сетей характерны быстрота развертывания, простой доступ к информации и возможность масштабирования, однако все эти преимущества одновременно являются и недостатками беспроводных сетей. В работе [1] рассмотрена проблема создания секретных ключей между взаимодействующими узлами, а также предложено несколько способов ее решения: схема аутентификации, создания попарного ключа и схема аннулирования узла в мобильной сети.

Для организации равномерной загрузки каналов передачи данных в работе [2] предложен способ безопасной многопутевой маршрутизации, который позволяет обеспечивать максимально безопасную передачу информационных сообщений. С целью оптимизации процедуры формирования непересекающихся маршрутов целесообразно определить множество непересекающихся маршрутов.

Для организации многопутевой безопасной маршрутизации, в работе [3] нахождения множества путей определено с помощью модифицированного алгоритма Дейкстры, что позволит уменьшить время поиска путей.

### **Постановка задачи**

К недостаткам многопутевой маршрутизации следует отнести значительную временную сложность формирования множества путей, которая при известных комбинаторных методах поиска путей равна  $O(kN^2)$ , где:  $k$  - количество формируемых путей;  $N$  - число узлов коммуникационной сети. В связи с этим возникает задача сокращения временной сложности формирования множества путей, которая особенно актуальна для беспроводных сетей в силу их динамической реконфигурации и использовании относительно низкоскоростных каналов связи.

### Решение поставленной задачи

Комбинаторные алгоритмы формирования множества непересекающихся путей осуществляют последовательный поиск непересекающихся путей, например, с помощью алгоритма Дейкстры. Временная сложность алгоритма Дейкстры нахождения кратчайшего пути равна  $O(N^2)$ , где  $N$  - множество вершин графа топологии сети.

Для организации множества непересекающихся путей в рамках данной работы предложено использовать модифицированный алгоритм Дейкстры. При нахождении каждого последующего пути, вершины, входящие в предыдущие пути

не учитываются. В этом случае временная сложность нахождения  $k$  непересекающихся путей вычисляется следующим образом:

$$O\left(N^2 + \sum_{i=2}^k \left(N - \sum_{j=1}^{i-1} N_{L_j}\right)^2\right),$$

где:  $N$  – общее число узлов сети;

$k$  – количество непересекающихся путей;

$N_{L_j}$  – число вершин пути  $L_j$ .

Рассмотрим пример формирования множества непересекающихся путей на примере графа, представленного на рис. 1.

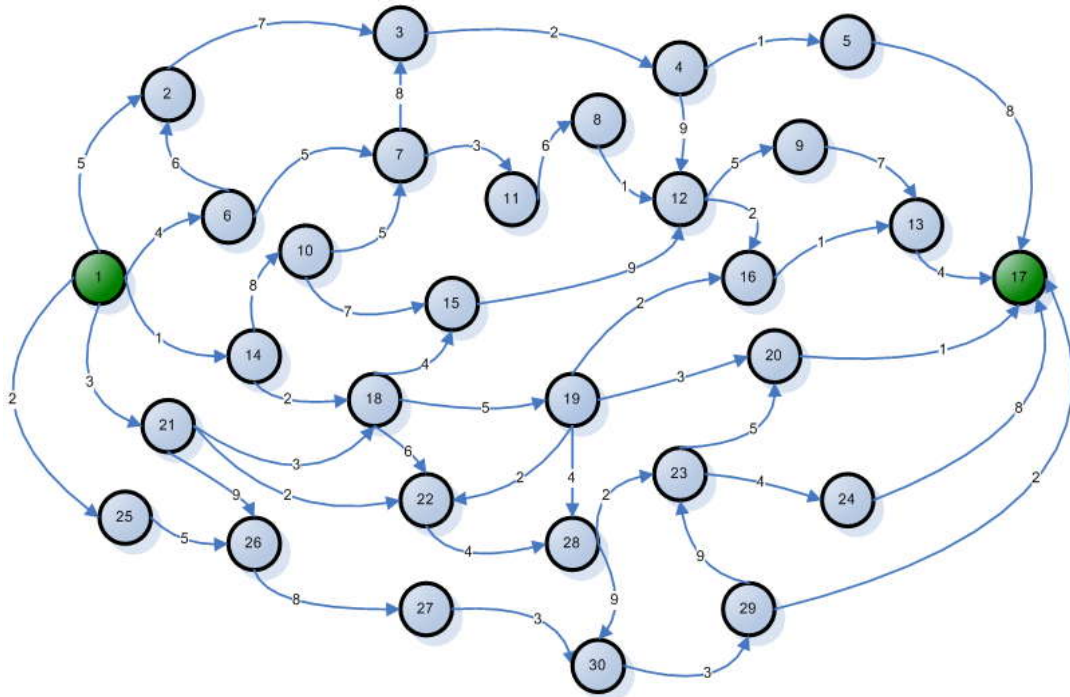


Рис. 1. Граф сети

Поиск первого кратчайшего пути осуществляется с помощью алгоритма

Дейкстры (рис. 2). Временная сложность поиска первого пути составляет:

$$O(N^2) = 30^2 = 900.$$

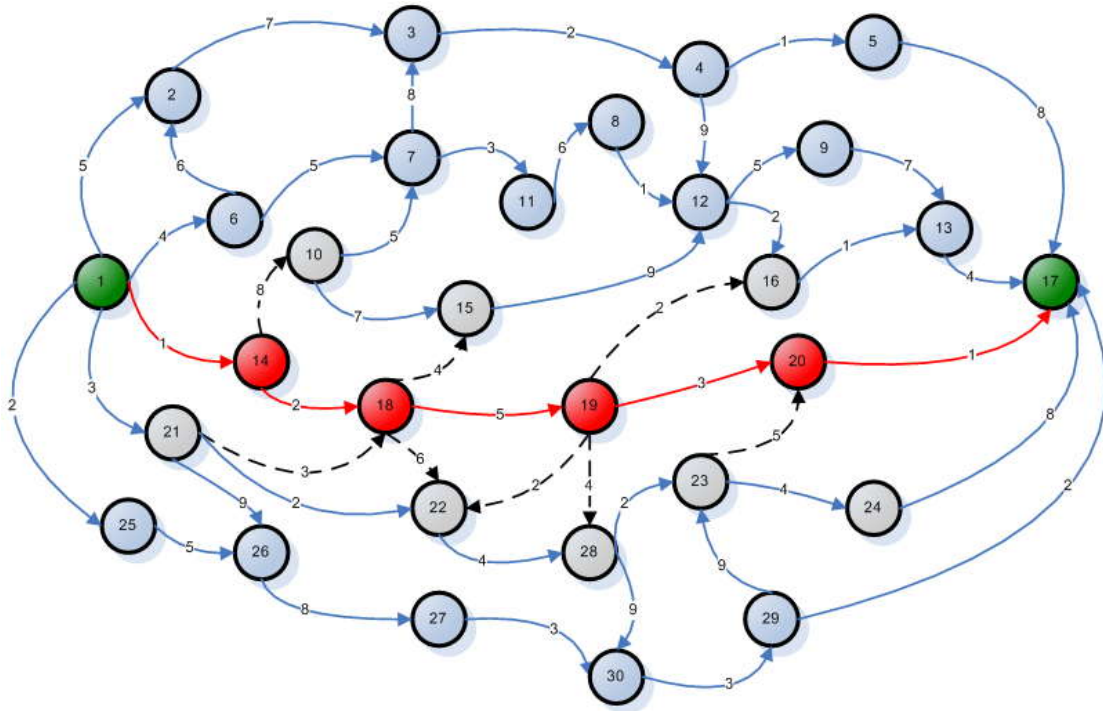


Рис. 2 Поиск первого пути

Следующим шагом в формировании множества путей будет разбиение исходного графа на два независимых графа. Для этого удалим все ребра, которые соединены с узлами основного пути, а узлы, которые являются соседними для данного

маршрута пометим, как узлы, которые не могут быть включены в другие независимые маршруты. Дальнейший поиск осуществляется в двух сформированных независимых областях (рис. 3).

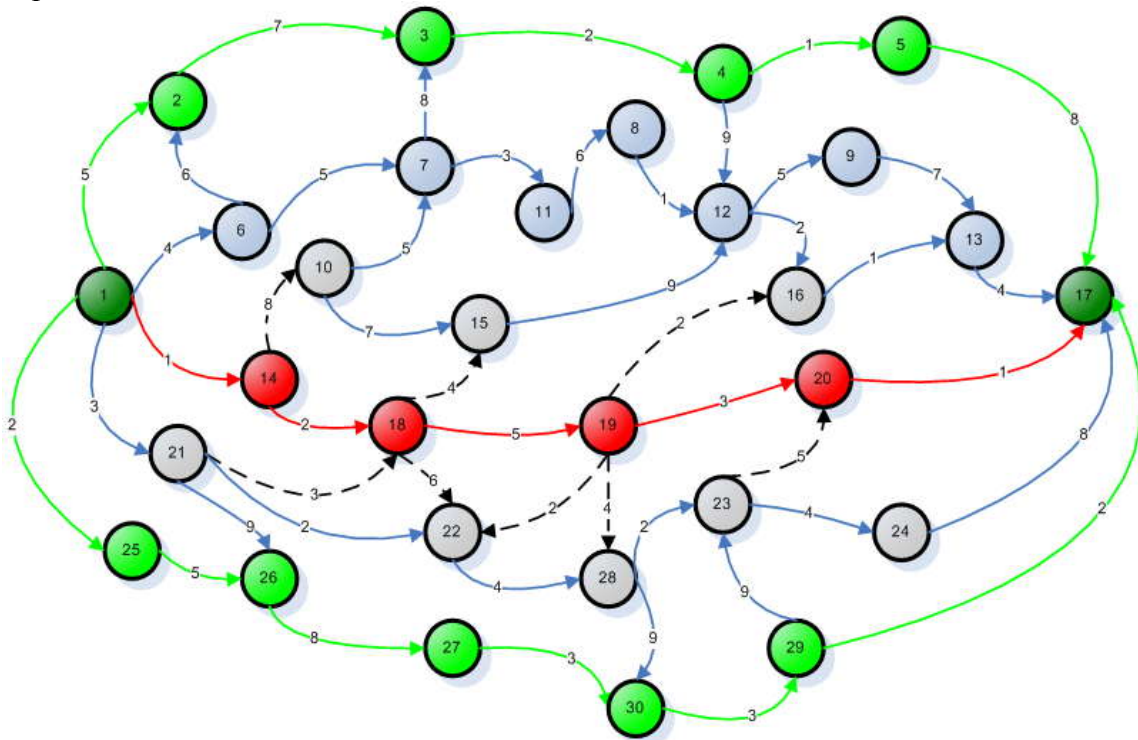


Рис. 3 Поиск следующих путей

Обсчитаем сложность поиска путей в двух независимых областях:

Таблица 1. Сложность поиска путей на 2-ом этапе

Верхняя область (1)	Нижняя область (2)
$n = 16$	$n = 12$
$O(N^2) = 256$	$O(N^2) = 144$

Общая сложность на 2 этапе:

$$O_1 + O_2 = 256 + 144 = 400.$$

Используя обычный алгоритм

Дейкстры:

$$O_1 = (30 - 4)^2 = 676$$

$$O_2 = (30 - 4 - 4)^2 = 484$$

$$O_1 + O_2 = 676 + 484 = 1160.$$

Аналогично предыдущему шагу удаляем все ребра, которые соединены с узлами, найденными на 2-ом шаге. В итоге формируется множество непересекающихся путей.

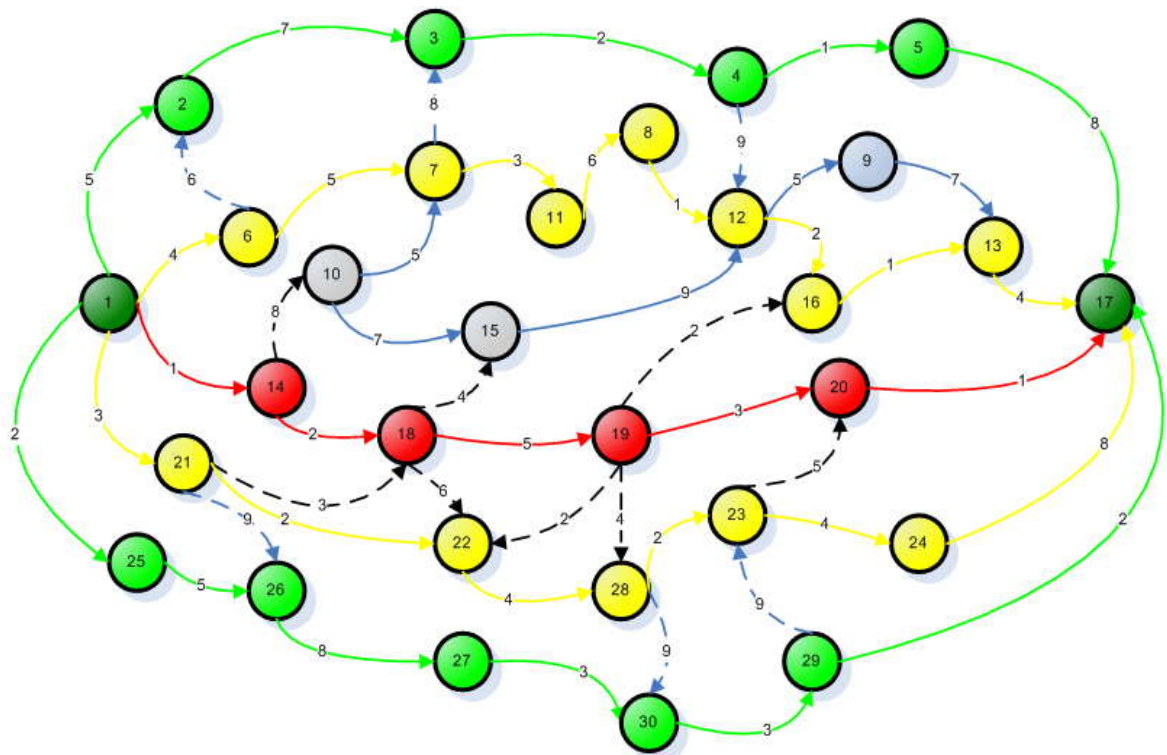


Рис. 4. Множество независимых путей

Таблица 2. Сложность поиска путей 3-ем этапе

Верхняя область (3)	Нижняя область (4)
$n = 12$	$n = 0$
$O(N^2) = 144$	$O(N^2) = 0$

Общая временная сложность 3 этапа:

- Модифицированный алгоритм -

$$O_3 + O_4 = 144 + 0 = 144;$$

- Алгоритм Дейкстры -

$$O_3 + O_4 = (30 - 13)^2 + (30 - 20)^2 = 389.$$

Суммарная сложность поиска всех путей с использованием модифицированного алгоритма:

$$O_0 + O_1 + O_2 + O_3 + O_4 = 1444.$$

Суммарная сложность поиска всех путей, используя алгоритм Дейкстры:

$$O_0 + O_1 + O_2 + O_3 + O_4 = 2449.$$

Нахождения которой можно представить формулой:

$$O\left(\sum_{j=1}^k (N_{V_j})^2\right),$$

где:  $N$  – общее количество вершин сети;

$k$  – количество путей, что не пересекаются;

$N_{V_j}$  – количество исследованных вершин для нахождения пути  $L_j$ , если  $N_{V_j} = L_j \rightarrow N_{V_j} = 0$ .

Таблица 3. Множество непересекающихся путей

Этап (путь)	Путь	$N_{L_j}$	$N_{V_j}$
1	1->14->18->19->20->17	4	30
2	1->2->3->4->5->17	4	16
3	1->25->26->27->30->29->17	5	12
4	1->6->7->11->8->12->16->13->17	7	12
5	1->21->22->28->23->24->17	5	7 -> 0

Сравнительный анализ временной сложности поиска множества непересекающихся путей с использованием алгоритма Дейкстры и модифицированного алгоритма Дейкстры приведены в табл. 4.

Таблица 4. Временная сложность поиска множества путей

Путь	Временная сложность			
	Алгоритм Дейкстры		модифицированный алгоритм Дейкстры	
1	900	900	900	900
1,2	900+676	1576	900+256	1156
1,2,3	1576+484	2060	1156+144	1300
1,2,3,4	2060+289	2349	1300+144	1444
1,2,3,4,5	2349+100	2449	1444+0	1444

Представим данные в виде графика (АД - алгоритм Дейкстры).

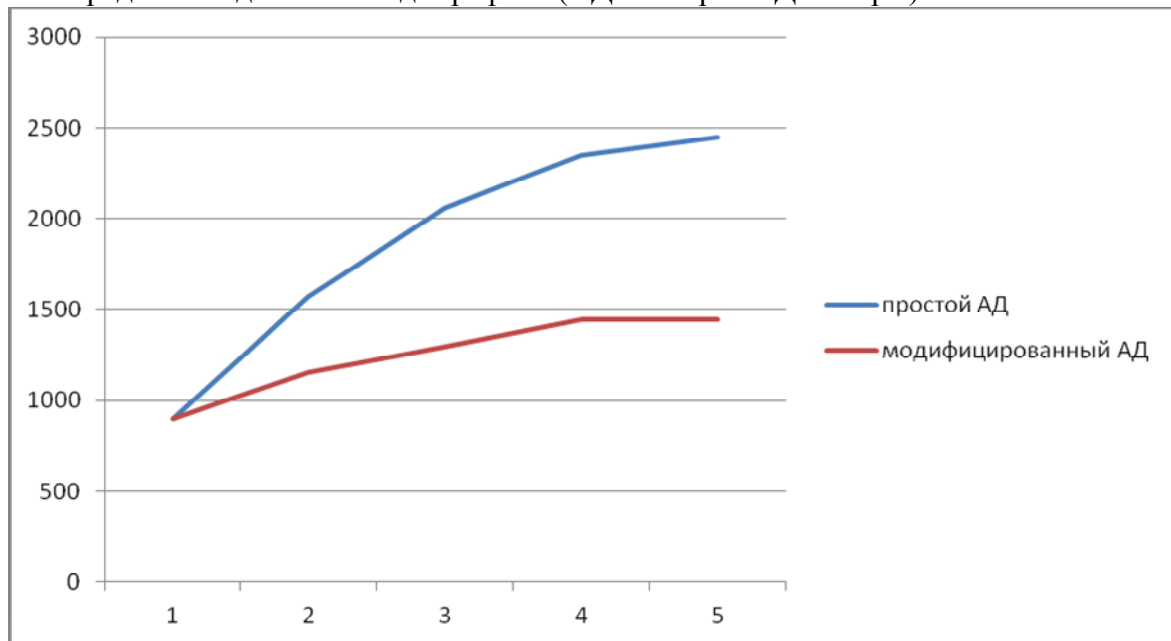


Рис. 5. Временная сложность поиска множества путей

В процентном отношении:

$$\frac{\sum O_{norm}}{\sum O_{mod}} = \frac{2449}{1444} * 100\% \approx 170\%$$

### **Итоги**

Рассмотрев разные методы маршрутизации для сетей, можно сделать вывод, что не существует единого метода, который удовлетворяет всем требованиям  $QoS$  и обеспечивает оптимизацию всех показателей эффективности функционирования сети при разных условиях ее работы.

Задача нахождения множества маршрутов, в том числе и непересекающихся, относится к комбинаторным задачам, решение которых в большинстве случаев осуществляется методами направленного перебора. В связи с этим актуальным является определение:

Максимально возможного числа непересекающихся путей;

Предложенный в работе потоковый алгоритм многопутевой маршрутизации характеризуется меньшей временной сложностью по сравнению с известными алгоритмами. В практическом плане использования полученных результатов позволяет повысить уровень безопасности беспроводных сетей за счет выбора оптимального числа надежных путей передачи.

### **Использованная литература**

1. Mrs Soumyashree Sahoo. Secure Routing in Wireless Sensor Networks / Mrs Soumyashree Sahoo, Mr Pradipta Kumar Mishra, Prof. Dr. Rabi Narayan Satpathy // IJCSI International Journal of Computer Science Issues .- 2012.-Vol.9, №1. – P.189-191.
2. Кулаков Ю.А. Безопасная многопутевая маршрутизация в беспроводных сетях большой размерности / Кулаков Ю.А., Лукашенко В.В., Левчук А.В. // Научно-Практический Журнал «Захист Інформації».- 2011.-Т.2, №51. – С.5-10.
3. Кулаков Ю.А. Разработка и моделирование процесса безопасной многопутевой передачи информации в мобильных сетях / Кулаков Ю.А., Коган А.В., Пирогов А.А. // Вісник НТУУ «КПІ». Інформатика, управління та обчислювальна техніка: збірник наукових праць. – К.: Век+, 2011. – № 54. – С. 145-149.

Статью представлено к печати 9.12.2014