

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДА СИНТЕЗА МУЛЬТИСЕРВИСНОЙ СЕТИ СВЯЗИ

DOI: 10.36724/2072-8735-2022-16-6-13-18

Manuscript received 17 May 2022;
Accepted 06 June 2022

Журавель Евгений Павлович,
 ФГБОУ ВО "Санкт-Петербургский государственный
 университет телекоммуникаций им. проф.
 М.А. Бонч-Бруевича", г. Санкт-Петербург, Россия,
eshur2003@mail.ru

Ключевые слова: мультисервисная сеть связи,
 метод структурно-параметрического синтеза,
 минимальное оствовное дерево, евклидова
 эвристика

В статье предложены направления оценки эффективности варианта структуры мультисервисной сети связи и на основе евклидовой эвристики рассмотрен подход к оценке эффективности метода синтеза мультисервисной сети связи с коммутацией пакетов, заключающегося в поиске структуры на ограниченном множестве вершин, соединенных минимальными по весу ребрами, представляющей собой множество независимых оствовных деревьев на ограниченном подмножестве минимальных связей. Оценку эффективности метода синтеза мультисервисной сети связи предложено выполнять для связных насыщенных графов, поскольку точный анализ эффективности евклидовой эвристики является трудной аналитической задачей и весьма существенно зависит как от количества и расположения вершин, так и от количества инцидентных им ребер. Приведенный вариант оценки эффективности метода синтеза мультисервисной сети связи основан на результатах многофакторного вычислительного эксперимента для случайных насыщенных графов, верхние границы характеристик которых получены из нормативно-технической документации оценочным анализом значений параметров перспективных мультисервисных сетей связи. Оценка совокупности основных и дополнительных действий при поиске требуемого количества независимых оствовных деревьев, составляющих структуру мультисервисной сети связи в сравнении с алгоритмом Прима позволяет сделать вывод о том, что рассматриваемый метод синтеза позволяет получить рациональное решение задачи синтеза структур, составляющих мультисервисную сеть связи, за приемлемое, по сравнению с известными методами синтеза время, которое, по результатам проведенных статистических испытаний для рассмотренного практически важного подмножества вариантов реализации перспективных мультисервисных сетей связи в два-три раза меньше оценки времени выполнения поиска на множестве всех вершин.

Информация об авторе:

Журавель Евгений Павлович, кандидат технических наук, доцент кафедры "Программной инженерии и вычислительной техники", ФГБОУ ВО "Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича", г. Санкт-Петербург, Россия

Для цитирования:

Журавель Е.П. Оценка эффективности метода синтеза мультисервисной сети связи // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2022. Том 16. №6. С. 13-18.

For citation:

Zhuravel E.P. (2022). Evaluation of efficiency method a of synthesis of a multi-service communication network. T-Comm, vol. 16, no.6, pp. 13-18. (in Russian)

Введение

В общем случае, оценка эффективности варианта построения мультисервисной сети связи (МССС) с коммутацией пакетов и, на её основе, с коммутацией сообщений, зависит от количества и расположения вершин (точек размещения ресурсов МССС), от количества инцидентных им ребер (линий связи), от получающихся структур (кольцевые, древовидные, смешанные и др.) [1], от используемых на различных уровнях эталонной модели взаимодействия открытых систем протоколов передачи данных и установленных для этих протоколов значений соответствующих параметров [2], [3], от предоставляемых МССС услуг и значений технических характеристик производительности используемых для предоставления услуг ресурсов МССС [4], а также от большого количества иных аспектов функционирования МССС.

Известны подходы и способы, которые позволяют выполнить оценку эффективности варианта построения МССС по тем или иным значениям параметров МССС, таким, как приведенные, например, в [5], [6], [7] и [8]. Вместе с тем, для метода, предлагаемого в [5], целесообразна оценка его эффективности на основе подхода, рассматриваемого далее.

Подход к оценке эффективности метода синтеза мультисервисной сети связи

Известна евклидова эвристика, заключающаяся в том, что для поиска минимального пути из одной вершины, находящейся в центре окружности, в другую вершину, находящуюся ближе к границе окружности, целесообразно исследовать вершины и связи, в большинстве случаев, находящиеся внутри эллипса, описанного вокруг предполагаемой траектории минимального пути (см. рис. 1) [7].

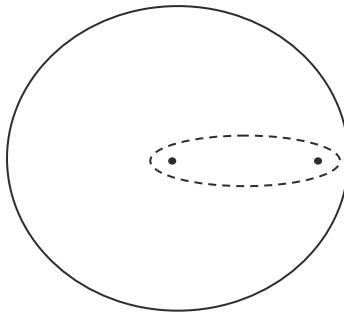


Рис. 1. Эвклидова эвристика поиска минимального пути из одной вершины в другую

Однако, для связных разреженных графов возможна ситуация, когда кратчайший путь отклоняется в произвольную сторону сколь угодно далеко и, в связи с этим, выходить как за рамки эллипса, так и за рамки круга (см. рис. 1) [7]. Для связных насыщенных графов использование евклидовой эвристики объективно целесообразно, поскольку позволяет не рассматривать значительное количество длинных путей, входящих в круг. Точный анализ эффективности евклидовой эвристики является трудной аналитической задачей и весьма существенно зависит как от количества и расположения вершин, так и от количества инцидентных им ребер. По оценке, приведенной в [7], если при поиске кратчайшего пути просматриваются X вершин (условно попадающих в

круг на рис. 1), то евклидова эвристика сократит количество просматриваемых вершин до величины, пропорциональной \sqrt{X} вершин (условно попадающих в эллипс на рис. 1). Таким образом, время выполнения поиска кратчайшего пути, например, алгоритмом Дейкстры, которое в общем (худшем) случае пропорционально X^2 , будет уменьшено до величины, пропорциональной X для насыщенных графов и до величины \sqrt{X} для разреженных графов [7]. Исходя из вышеизложенного, евклидова эвристика достаточно существенно повышает эффективность поиска одного – кратчайшего пути для двух вершин, но не решает задачу поиска требуемого количества независимых минимальных в смысле расстояния путей для требуемого подмножества вершин графа, т.к. её непосредственное итеративное использование в общем случае не позволяет получить приемлемый результат.

Рассматриваемый в [5] метод синтеза МССС заключается в следующем:

1) на всем множестве точек присутствия ТКО и СВТ организации связи Pop выбирается требуемое подмножество точек присутствия ТКО и СВТ $Pop^R \subset Pop$, для которого следует синтезировать сеть;

2) на некотором (полном) множестве всех прямых связей Lt между всеми точками присутствия ТКО и СВТ (в общем случае, "каждый с каждым") Pop выполняется поиск очередной одной минимальной по весу связи $lt_m \in Lt$:

2.1) найденная lt_1 должна быть инцидентна любой вершине $pop \in Pop^R$ (возможно, двум вершинам $pop \in Pop^R$) и добавляется в соответствующее множество Lt^i , $lt_m \in Lt^i$, $i = 1, 2, \dots$;

2.2) найденная lt_m должна быть инцидентна любой вершине из множества вершин, принадлежащих связям Lt^i и добавляется в соответствующее множество Lt^i , $lt_m \in Lt^i$, $i = 1, 2, \dots$;

3) выполняется проверка связности подграфа Pop^R на множестве вершин, принадлежащих связям Lt^i :

3.1) если подграф Pop^R на сформированном множестве вершин, принадлежащих связям Lt^i не связан, то продолжение формирования подсети Lt^i и переход на п. 2 (достаточное и быстро проверяемое условие несвязности – если множество вершин, принадлежащих связям Lt^i , не включает все точки присутствия ТКО и СВТ из подмножества Pop^R);

3.2) если подграф Pop^R связан, то, начиная с любой вершины $pop \in Pop^R$ выполняется поиск в Lt^i i -го минимального основного дерева Lt_{mst}^i , исключение из найденного минимального остовного дерева Lt_{mst}^i всех концевых вершин, которые не принадлежат подмножеству Pop^R и возврат соответствующих связей в множество Lt^i ; исключение минимального остовного дерева Lt_{mst}^i из общего (полного) множества Lt , включение его в результирующее множество $Lt_{mst}^i \subset Lt^R$; и переход на п. 2 с оставшимся результирующим множеством минимальных связей $Lt^{i+1} = Lt^i \setminus Lt_{mst}^i$ и скорректированным множеством линий $Lt = Lt \setminus Lt_{mst}^i$;

3.3) если количество минимальных остовных деревьев в результирующем множестве Lt^R менее заданного, то переход на п. 2 иначе переход на п. 4;

3.4) если в множество вершин, принадлежащих связям Lt^i включены все возможные связи lt , но подграф Pop^R не связан, то выполнен полный поиск всех возможных вариантов и следует перейти на п. 4;

4) ост. ов.

Данный метод учитывает специфику функционирования

МССС и основан на расширении евклидовой эвристики с целью ускоренного поиска требуемого количества независимых остовных деревьев для заданного подмножества точек присутствия ТКО и СВТ Pop^R , (множество Pop^R содержит вершины, для которых следует синтезировать структуру МССС), являющихся, по сути, остовными поддеревьями, принадлежащими полному множеству точек присутствия ТКО и СВТ Pop , на подмножестве минимальных связей Lt^i , принадлежащем полному множеству Lt . Формирование подмножества точек присутствия ТКО и СВТ, на котором целесообразно выполнение поиска очередного независимого остовного дерева для множества Pop^R предлагается осуществлять направленным поиском в смысле первой (m -ой) связи $lt_m \in Lt^i$ при поиске i -го независимого остовного дерева для множества Pop^R такой, что она инцидентна хотя бы одной вершине $pop \in Pop^R$ и проверкой связности подграфа Pop^R на множестве вершин, принадлежащих связям Lt^i .

На рисунке 2 точками с черной заливкой показан пример подмножества точек присутствия ТКО и СВТ Pop^R , для которых следует синтезировать МССС, точками с белой заливкой – иные имеющиеся точки присутствия ТКО и СВТ Pop , пунктирной линией – условное первое приближение области, в которой целесообразен поиск независимых остовных деревьев с использованием изложенного метода.

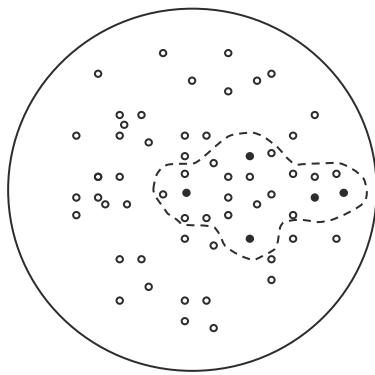


Рис. 2. Подмножество минимальных связей для поиска требуемого количества независимых остовных деревьев

Для улучшения восприятия связи Lt на рисунке 2 не показаны, принимается, что они существуют и рассматриваются насыщенный, в общем случае, полно связанный граф. При получении подмножества минимальных связей Lt^i возможна ситуация, графическая интерпретация которой показана на рисунке 3 одинарной штриховкой, при которой, в соответствии с описанием метода для шага 3.1 в результирующем подмножестве Lt^i имеются как подмножество связей, соединяющее подмножество точек присутствия ТКО и СВТ Pop^R , на котором целесообразно искать очередное остовное дерево, так и подмножества из минимальных связей, связные и не связные рассматриваемому подмножеству.

При этом, например, с использованием алгоритма Прима, выполним поиск остовного дерева, (показанного на рис. 4), для которого с использованием метода на очередном шаге 3.1 будет выполнено исключение из найденного минимального остовного дерева Lt_{mst}^i всех концевых вершин, которые не принадлежат подмножеству Pop^R и возврат соответствующих связей в множество Lt^i (показаны на рис. 4 перекрестной штриховкой) для их последующего использования при

поиске очередного независимого остовного дерева [8].

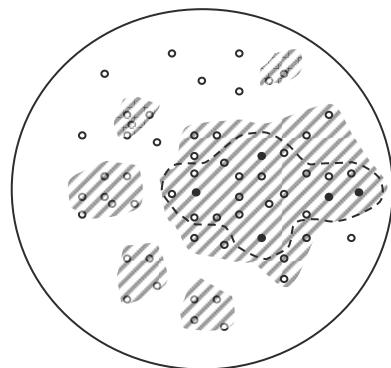


Рис. 3. Подмножество минимальных связей для поиска требуемого количества независимых остовных деревьев

В целом, эффективность предлагаемого метода синтеза МССС целесообразно оценить в сравнении с эффективностью алгоритма Прима, рационального для насыщенных графов [7], для которого время выполнения поиска кратчайшего пути в общем (худшем) случае пропорционально квадрату количества вершин $|Pop|^2$, т.к. фактически выполняется просмотр всех вершин, входящих в окружность, и к которому, в соответствии с рассматриваемым методом, следует прибавить некоторое количество действий по формированию подмножества минимальных связей и возврат связей для непринадлежащих множеству Pop^R концевых вершин, уменьшающееся для очередной итерации поиска следующего остовного дерева ввиду, в большинстве случаев, начиная со второй итерации поиска, не пустого множества Lt^i .

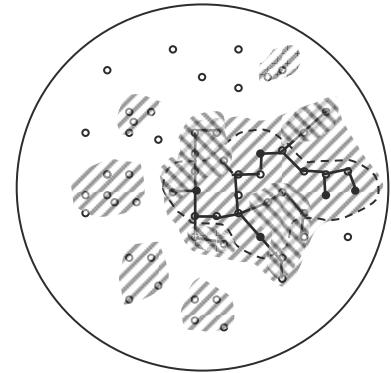


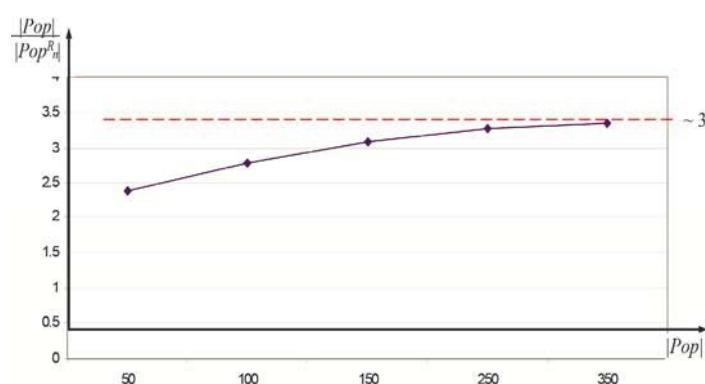
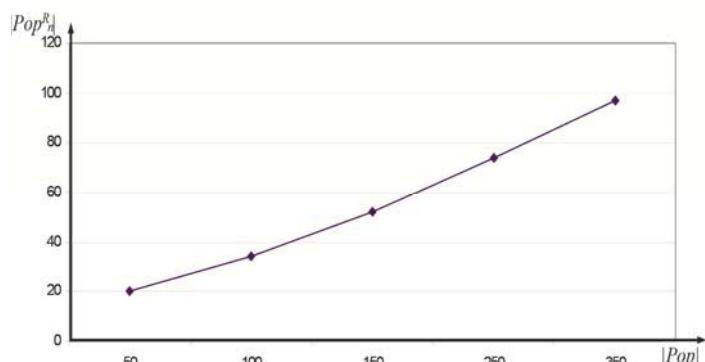
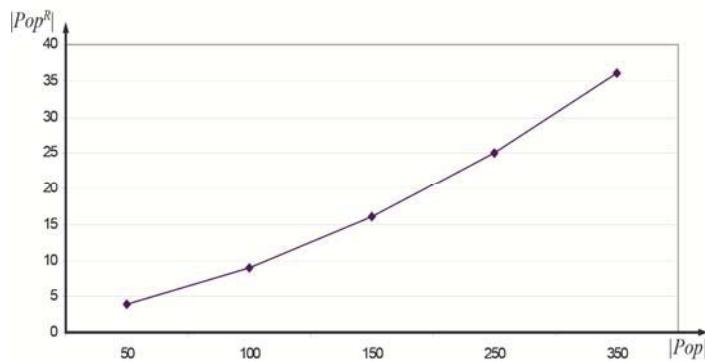
Рис. 4. Подмножество минимальных связей для поиска требуемого количества независимых остовных деревьев

Следует отметить, что обобщенная оценка худшего случая рассматриваемого метода может оказаться чрезмерно пессимистичной, чтобы быть полезной для прогнозирования его производительности на практике. В связи с этим, для оценки эффективности рассматриваемого метода выполнен многофакторный вычислительный эксперимент для случайных насыщенных графов, верхние границы характеристик которых получены из нормативно-технической документации оценочным анализом значений параметров современных [9], [10], [11] и перспективных [12], [13], [14], [15] отказоустойчивых МССС, характеризующихся валентностью вершин, равной ($n + 1$) и наличием связей между соответствующими близлежащими вершинами для количества вершин

СВЯЗЬ

$$Pop^R \subset Pop : |Pop^R| \geq 4 \cdot n, \quad \frac{|Pop^R|}{|Pop|} \leq 0.1 \quad \text{а также}$$

их относительно близким взаиморасположением, при котором диаметр $\delta(Pop^R) \leq \frac{\delta(Pop)}{4}$.



статочно близко к вершинам из множества Pop^R , совокупное суммарное количество которых приближенно оценивается значением $\frac{|Pop|}{3}$ ввиду значения валентности вершин, равной $(n+1)$ и, по сути, определяющей для насыщенного графа наличие близких и связных с вершинами множества Pop^R вершин из множества Pop .

Суммарное количество дополнительных затрат времени при поиске n независимых остовных деревьев рассматриваемым методом оценивается сверху выражением $n \cdot \left(\frac{|Lt|}{3} \cdot \lg \left(\frac{|Pop|}{3} \right) \right)$ действий, соответствующих худшему случаю [7], при котором, например, для алгоритма Прима, добавляющего в искомое остовное дерево в качестве очередной минимальную связь, соединяющую некоторую вершину с вершиной, не входящей в искомое остовное дерево, каждая операция для соответствующей очереди с приоритетами связей требует выполнения действий, количество которых не превосходит значения $\lg(POP)$ [7].

При этом каждая вершина выбирается операцией удаления минимальной связи, которая, в худшем случае, может потребовать выполнения операции изменения приоритета для других связей [7].

Проверку связности подграфа Pop^R целесообразно выполнить поиском в ширину или в глубину, а суммарное количество дополнительных затрат времени этой проверки будет линейным от суммы $\left(\frac{|Pop|}{3} + \frac{|Lt|}{3} \right)$ [7]. На практике

для быстрой проверки несвязности можно проверять не включение Pop^R в сформированное множество вершин, принадлежащих связям Lt^i .

Оценку дополнительных действий при поиске n независимых остовных деревьев следует прибавить к оценке основных затрат времени выполнения поиска n независимых остовных деревьев. При этом полученная суммарная приближенная оценка времени выполнения поиска требуемого количества остовных деревьев рассматриваемым методом составляет $n \cdot \left(\frac{|Pop|}{3} \right)^2 + n \cdot \frac{|Lt|}{3} \cdot \lg \left(\frac{|Pop|}{3} \right) + \left(\frac{|Pop|}{3} + \frac{|Lt|}{3} \right)$ и, в совокупности, будет много меньше, чем оценка времени выполнения поиска для всех вершин $n \cdot POP^2$.

В свою очередь, практически линейные слагаемые $n \cdot \frac{|Lt|}{3} \cdot \lg \left(\frac{|Pop|}{3} \right)$ и $\left(\frac{|Pop|}{3} + \frac{|Lt|}{3} \right)$ по сравнению со степенными $n \cdot \left(\frac{|Pop|}{3} \right)^2$ оказывают не существенное влияние

на оценку суммарного времени выполнения рассматриваемого метода, что подтверждает известное положение о целесообразности первичной формализации подходящих для решения задач предметной области моделей исходных данных (специальных структур, отсортированных массивов и др.) и только после этого – формирование модифицированных алгоритмов их обработки, что, в свою очередь, позволяет получить существенную экономию в приложениях, особенно в случаях достаточно простой программной реализации [16].

Рис. 5. Результаты статистических испытаний оценки основных затрат времени выполнения поиска независимых остовных деревьев мультисервисной сетей связи

По результатам проведенных статистических испытаний для рассматриваемого практически важного подмножества вариантов реализации перспективных МССС, приведенным на рисунке 5, приближенная оценка основных затрат времени выполнения поиска n независимых остовных деревьев $n \in \{1, \dots, 5\}$, рассматриваемым методом пропорциональна $n \cdot \left(\frac{|Pop|}{3} \right)^2$, так как поиск будет выполняться n раз

в большинстве случаев как для вершин, входящих в множество Pop^R , так и для некоторого не большого подмножества вершин из множества Pop , расположенных до-

Заключение

Предложенный метод синтеза МССС на основе суперпозиции непересекающихся остовных деревьев для множества вершин Pop^R , для которых следует синтезировать сеть на ограниченном множестве вершин, соединенных минимальными по весу ребрами (множество независимых остовных деревьев на ограниченном подмножестве минимальных связей) позволяет получить рациональное решение задачи синтеза структур, составляющих МССС, за приемлемое, по сравнению с известными методами синтеза время, которое, по результатам проведенных статистических испытаний для рассмотренного практически важного подмножества вариантов реализации перспективных МССС пропорционально $n \cdot \left(\frac{|Pop|}{3}\right)^2$ и много меньше оценки времени выполнения поиска на множестве всех вершин $n \cdot |Pop|^2$, что подтверждает его эффективность по сравнению с существующими методами.

Литература

1. Petersen B. Hardware-defined networking. Modern networking from a hardware perspective. USA: Juniper Networks, Inc., 2017. 352 p.
2. Reynolds H., Marschke D. Junos enterprise switching – Sebastopol, CA, USA.: O'Reilly, 2009. 752 p.
3. Southwick P., Marschke D., Reynolds H. Junos enterprise routing. 2nd edition – Sebastopol, CA, USA.: O'Reilly, 2011. 768 p.
4. Sanchez-Monge A., Szarkowicz K. MPLS in the SDN era – Sebastopol, CA, USA.: O'Reilly, 2016. 893 p.
5. Журавель Е.П. Метод синтеза мультисервисной сети связи // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2018. Том 12. № 10. С. 4-9.
6. Лебедев А.Т., Бабкин А.В., Муравцов А.А. Многокритериальный синтез топологической структуры региональной транспортной сети связи // Научно-технический журнал "Научно-технический вестник Санкт-Петербургского государственного политехнического университета". 2008. № 3. С. 12-17.

7. Sedgewick R. Algorithms in C, Part 5: Graph Algorithms. 3rd edition. USA: Addison-Wesley, 2002. 512 p.

8. Янбых Г.Ф., Эттингер Б.Я. Методы анализа и синтеза сетей. Л.: Энергия, 1990. 96 с.

9. Design Considerations for Desktop Video Collaboration over a PIN Architecture – Solution Overview: [сайт]. 2009. URL: <https://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/solutions/Enterprise/Video/vidcollabover.pdf> (дата обращения: 23.09.2021).

10. 3GPP Technical report 23.726. Release 16. Study on enhancing topology of the Service Management Function and the User Plane Function in 5G networks.: [сайт]. 2018. URL: <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=3336> (дата обращения: 30.10.2021).

11. Psenak P., Previdi S., Filsfils C., Gredler H., Shakir R., Henderickx W., Tantsura J. Request of comments No. 8665. OSPF Extensions for Segment Routing: [сайт]. 2019. URL: <https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc8665.txt> (дата обращения: 08.11.2021).

12. Ginsberg L., Psenak P., Previdi S., Henderickx W., Drake J. Request of comments No. 8919. IS-IS Application-Specific Link Attributes: [сайт]. 2020. URL: <https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc8919.txt> (дата обращения: 09.11.2021).

13. Filsfils C., Camarillo P., Leddy J., Voyer D., Matsushima S., Li Z. Request of comments No. 8986. Segment Routing over IPv6 (SRv6) Network Programming: [сайт]. 2021. URL: <https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc8986.txt> (дата обращения: 15.11.2021).

14. Previdi S., Talaulikar K., Filsfils C., Gredler H., Chen M. Request of comments No. 9085. Border Gateway Protocol – Link State (BGP-LS) Extensions for Segment Routing: [сайт]. 2021. URL: <https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc9085.txt> (дата обращения: 25.11.2021).

15. Przygienda A., Sharma A., Thubert P., Rijsman B., Afanasiev D. Draft request of comments Routing in Fat Trees: [сайт]. 2017. URL: <https://www.ietf.org/id/draft-ietf-rift-rift-15.txt> (дата обращения: 15.02.2022).

16. Вентцель Е.С. Исследование операций: задачи, принципы, методология. 2-е изд. М.: Высшая школа, 2001. 208 с.

EVALUATION OF EFFICIENCY METHOD A OF SYNTHESIS OF A MULTI-SERVICE COMMUNICATION NETWORK

Evgeny P. Zhuravel, Federal State Budget-Financed Educational Institution of Higher Education The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications, St. Petersburg, Russia, eshur2003@mail.ru

Abstract

The article proposes directions for evaluating the efficiency of the multiservice communication network structure variant, and on the basis of euclidean heuristics, an approach to evaluating the efficiency of the method of synthesizing a multiservice packet-switched communication network consisting in searching for a structure on a limited set of vertices connected by minimum edges by weight, which is a set of independent spanning trees on a limited subset of minimum connections. It is proposed to assess the effectiveness of the method of synthesizing a multiservice communication network for connected saturated graphs, since an accurate analysis of the effectiveness of euclidean heuristics is a difficult analytical task and very significantly depends on both the number and location of vertices and the number of edges incident by it. The given version of estimation of efficiency of method of synthesis of multiservice communication network is based on results of multivariate computational experiment for random saturated graphs, upper limits of characteristics of which are obtained from normative and technical documentation by evaluation analysis of values of parameters of promising multiservice communication networks. Assessment of the set of main and additional actions when searching for the required number of independent spanning trees, the structure of the multiservice communication network in comparison with the Prima algorithm allows us to conclude that, that the synthesis method under consideration enables to obtain a rational solution to the structure synthesis problem, constituting a multiservice communication network in an acceptable time compared to known synthesis methods; which, according to the results of statistical tests for the considered practically important subset of implementation options for promising multiservice communication networks, is two to three times less than the estimate of the time for performing a search on a set of all vertices.

Keywords: multiservice communication network, method of structural and parametric synthesis, minimum spanning tree, euclidean heuristics.

References

1. B. Petersen (2017). Hardware-defined networking. Modern networking from a hardware perspective. Juniper Networks, Inc. 352 p.
2. H. Reynolds and D. Marschke (2009). Junos enterprise switching. O'Reilly. 752 p.
3. P. Southwick, D. Marschke and H. Reynolds (2011). Junos enterprise rout-ing. 2nd edition. O'Reilly. 768 p.
4. A. Sanchez-Monge and K. Szarkowicz (2016). MPLS in the SDN era. O'Reilly. 893 p.
5. E. Zhuravel (2018). The method of synthesis of a multiservice communication network. *T-Comm.* Vol. 12. No. 10, pp. 4-9. (in Russian)
6. A. Lebedev, A. Babkin and A. Muravtsov (2008). Multicriteria synthesis of topological structure of a regional transport network of communication. *Russian Scientific and technical bulletin of the St. Petersburg state polytechnic university.* No. 3, pp. 12-17. (in Russian)
7. R. Sedgewick (2002). Algorithms in C, Part 5: Graph Algorithms, 3rd ed. Addison-Wesley. 512 p.
8. G. Yanbykh and B. Ettinger (1990). Methods for analysis and synthesis of networks, Energy. 96 p. (in Russian)
9. Cisco Systems, Inc. (2009). Design Considerations for Desktop Video Col-laboration over a PIN Architecture - Solution Overview. [online] Cisco Systems, Inc. Available from <https://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/solutions/Enterprise/Video/vidcollabover.pdf> [Accessed 23 September 2021].
10. The 3rd Generation Partnership Project. (2018) Technical report 23.726. Release 16. Study on enhancing topology of the Service Management Function and the User Plane Function in 5G networks. [online]. The 3rd Generation Partnership Project. Available from <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=3336> [Accessed 30 October 2022].
11. P. Psenak, S. Previdi, C. Filsfils, H. Gredler, R. Shakir, W. Henderickx, and J. Tantsura (2019). Request of comments No. 8665. OSPF Extensions for Seg-ment Routing. [online]. The Internet Engineering Task Force. Available from <https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc8665.txt> [Accessed 8 November 2022].
12. L. Ginsberg, P. Psenak, S. Previdi, W. Henderickx and J. Drake (2020). Request of comments No. 8919. IS-IS Application-Specific Link Attributes. [online]. The Internet Engineering Task Force. Available from <https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc8919.txt> [Accessed 9 November 2022].
13. C. Filsfils, P. Camarillo, J. Leddy, D. Voyer, S. Matsushima and Z. Li (2021). Request of comments No. 8986. Segment Routing over IPv6 (SRv6) Network Programming. [online]. The Internet Engineering Task Force. Available from <https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc8986.txt> [Accessed 15 November 2022].
14. S. Previdi, K. Talaulikar, C. Filsfils, H. Gredler and M. Chen (2021). Request of comments No. 9085. Border Gateway Protocol - Link State (BGP-LS) Exten-sions for Segment Routing. [online]. The Internet Engineering Task Force. Available from <https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc9085.txt> [Accessed 25 November 2022].
15. A. Przygienda, A. Sharma, P. Thubert, B. Rijsman and D. Afanasiev (2017). Draft request of comments Routing in Fat Trees. [online] The Internet Engi-neering Task Force. Available from <https://www.ietf.org/id/draft-ietf-rift-rift-15.txt> [Ac-cessed 15 February 2022].
16. E. Wentzel (2001). Operations research: tasks, principles, methodology, 2rd ed. The Higher School. 208 p. (in Russian)

Information about author:

Evgeny P. Zhuravel, assistant professor Department of Software Engineering and Computing, PhD, Federal State Budget-Financed Educational Institution of Higher Education The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications, St. Petersburg, Russia