

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ПОСТРОЕНИЮ ПОДСИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СЕТИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Шинкарев С. А.¹, Волошенюк А. С.², Коваленко Е. С.³

DOI:10.21681/3034-4050-2026-4-38-41

Ключевые слова: программно-конфигурируемые сети, структура сети связи, кондиционное остовное дерево, контроллер.

Аннотация

В статье представлено описание структуры сети передачи данных специального назначения как программно-конфигурируемой сети, рассмотрены основные принципы построения подсистемы управления. Также приведены решения оптимального построения подсистемы управления с учетом предъявляемых требований с использованием алгоритма определения рационального размещения контроллера в подсистеме, а также предложения по нахождению сетки линий, соединяющей контроллер со всеми сетевыми элементами.

Цель работы состоит в предложении порядка нахождения оптимального построения подсистемы управления сети передачи данных специального назначения.

Результаты исследования: алгоритм определения рационального размещения контроллера в подсистеме управления, предложения по определению оптимальной сетки линий, соединяющей контроллер со всеми сетевыми элементами.

Научная новизна: представлен алгоритм определения рационального размещения контроллера в подсистеме управления, а также предложены решения по нахождению сетки линий, соединяющей контроллер со всеми элементами сети.

Введение

К числу основных задач, направленных на развитие сетей передачи данных специального назначения, относится совершенствование методов построения подсистемы управления для обеспечения устойчивого информационного обмена в сложных условиях функционирования сети. Существующие принципы построения, предполагающие децентрализованное управление сетью, не позволяют в заданной мере наращивать производительность и пропускную способность сети. Указанное обстоятельство обусловлено возрастанием временных затрат на процессы маршрутизации, усложнением процедур конфигурирования сетевой структуры и управления потоками данных, а также необходимостью реализации современных политик качества обслуживания в высокоскоростных глобальных сетях и сетях центров обработки данных. Дополнительным фактором выступает возрастающая потребность в виртуализации сетей. Вследствие этого возникает необходимость разработки и внедрения новых концептуальных подходов к построению подсистемы управления инфотелекоммуникационных сетей в целом и сетей передачи данных в частности.

Основная часть

Под сетью передачи данных (СПД) специального назначения будет пониматься часть сети связи, выполняющая передачу сообщений, команд и сигналов управления, подтверждений, донесений и неформализованной информации в автоматизированных системах управления, при отсутствии функций содержательной обработки передаваемой информации. Структурно сеть передачи данных представляет собой совокупность узлов связи и каналов электросвязи, дополненную обеспечивающими подсистемами переноса данных, восстановления, сигнализации, синхронизации, коммутации и управления.

Переход на концепцию программно-конфигурируемых сетей предполагает формирование архитектуры сети, в рамках которой уровень управления (УУ) (состоянием сетевой инфраструктуры и потоками данных в сети) и уровень передачи данных (УПД) разделяются посредством переноса управляющих функций, традиционно реализуемых маршрутизаторами и коммутаторами, на специализированное централизованное устройство – контроллер [1, 2]. В результате подобного разделения обеспечивается логическая централизация процессов

¹ Шинкарев Семен Александрович, кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры Автоматизированных систем управления Военной академии связи, г. Санкт-Петербург, Россия. E-mail: se_men82@mail.ru

² Волошенюк Анастасия Сергеевна, курсант 4 курса Военной академии связи, г. Санкт-Петербург, Россия. E-mail: voloshenuk2004@gmail.com

³ Коваленко Елизавета Сергеевна, курсант 4 курса Военной академии связи, г. Санкт-Петербург, Россия. E-mail: elizavetka_zubtsova@mail.ru

мониторинга состояния сети и управления потоками данных. Кроме того, применение данного подхода позволяет абстрагировать уровень управления от физической инфраструктуры уровня передачи данных за счёт использования логического представления сети.

Подсистема управления сетью передачи данных специального назначения, являясь составной частью общей сетевой инфраструктуры, реализует три базовые функции: сбор информации о состоянии сети, её анализ и передачу управляющих воздействий элементам сети [3].

В связи с этим подсистему управления можно представить в виде структуры, включающую в себя все элементы сети (вершины графа) и соединяющие определенным образом их линии. При этом на множестве сетевых элементов должны быть определены место размещения контроллера (контроллеров), имеющего либо прямую, либо составную линию до каждого сетевого устройства. Место размещения контроллера должно быть оптимальным и удовлетворять следующему условию – расстояние от контроллера до всех сетевых элементов должно быть минимальным. Сетка линий подсистемы управления СПД, построенная от контроллера, должна быть минимальной (ранг пути от контроллера до сетевого элемента).

Задачу определения местоположения контроллера подсистемы управления СПД можно сформулировать, как задачу нахождения центра графа.

Для дальнейшего исследования вводятся следующие понятия [4]:

Эксцентриситет $e(a_i)$ вершины связного графа $G(A, B)$ определяется как максимальное расстояние от рассматриваемой вершины до остальных вершин графа: $\max\{l(a_i, a_j)\}$;

Радиус графа $r(G)$ представляет собой минимальное значение эксцентриситета среди всех вершин.

Центральной вершиной графа называется вершина (a_i) , эксцентриситет которой равен радиусу графа: $e(a_i) = r(G)$, $a_i \in A$.

Дополнительно вводится множество всех вершин, расстояние от a_i до которых не больше λ : $N_\lambda^0(a_i) = \{a_j | l_{ij} \leq \lambda, a_j \in A\}$. Для каждой вершины определяется $C_0(a_i) = \max(l_{ij})$, $a_i \in A$; Пусть λ_0 – минимальное значение λ такое, что для некоторой вершины a_i : $N_{\lambda_0}^0(a_i) = A$, то есть длина пути от a_i до любой вершины графа не превосходит λ_0 . Тогда $C_0(a_i) = \lambda_0$. Вершина a_0^* такая, что $C_0(a_0^*) = \min[N_0(a_i)]$, $a_0^* \in A$ является центром графа $G(A, B)$.

Для нахождения центра графа формируется матрица кратчайших путей $L_{n \times n}$ (n – мощность множества A), где $l_{ij} = l(i, j)$. Построение указанной

матрицы может быть реализовано, например, с использованием алгоритма Флойда–Уоршелла [5]. Далее для каждой строки матрицы определяется максимальное значение расстояния до остальных вершин, в результате чего формируется массив эксцентриситетов длины n . Минимальный элемент данного массива соответствует центру графа. В случае, когда этих вершин несколько, все они могут являться центром графа.

Одним из возможных способов формирования сетки линий подсистемы управления является построение остовных деревьев от всех вершин графа с последующей интеграцией полученных структур и оптимизацией итоговой конфигурации.

В настоящее время существует ряд алгоритмов, предназначенных для построения остовных деревьев. Наиболее распространёнными являются алгоритмы Прима, Краскала и протокол STP (Spanning Tree Protocol), использующиеся для формирования остовного дерева с минимальной протяжённостью сетки линий. Кроме того, применяется алгоритм, основанный на теореме О. Б. Лупанова, позволяющий осуществлять нахождение кондиционного остовного дерева.

Алгоритм Краскала основан на сортировке всех возможных связей по стоимости и последовательном добавлении наименее затратных соединений без образования циклов. Такой алгоритм наиболее предпочтителен для разреженных графов, в которых количество рёбер значительно меньше максимального возможного и не эффективен для сетей с частым изменением топологии.

Для работы с полными сетями преимущественно используется алгоритм Прима, основанный на постепенном наращивании сети от центрального узла и выбора на каждом шаге самого выгодного соединения, что отражает его преобладающую эффективность при построении иерархических сетей с центром [6].

Алгоритм, реализованный в протоколе STP, способен построить логическую схему сети, аналогичную дереву, с контроллером в центре с задачей предотвратить появление петель, которые могут нарушить сетевой трафик. Использование данного механизма способствует более равномерному распределению потоков данных по доступным маршрутам. При отказе основного пути автоматически активируются ранее заблокированные резервные маршруты, что позволяет сократить время восстановления работоспособности сети [7].

Алгоритм, разработанный на основе теоремы О. Б. Лупанова о разложении булевых функций по переменным, обеспечивает построение

Таблица 1

Сравнительный анализ алгоритмов Прима–Краскала, STP и метода построения кондиционного остоного дерева

	Нахождение кондиционного остоного дерева	Алгоритм Прима–Краскала	STP
Количество уровней иерархии	3	8 (+266 %)	3
Протяженность сетки линий	89	74 (-20 %)	90
Количество «шагов» для построения	3	11 (+366 %)	7 (+233 %)

кондиционного остоного дерева на топологических структурах произвольной размерности. При этом достигается выполнение следующих условий: размещение основного контроллера в вершине иерархии, минимизация ранга остоного дерева, а также сокращение общей протяжённости линий связи между узлами сети [8].

Проведённый сравнительный анализ алгоритмов Прима–Краскала, STP и метода построения кондиционного остоного дерева показал, что наибольшей эффективностью характеризуется алгоритм нахождения кондиционного остоного дерева.

Результаты сравнительного анализа алгоритмов приведен в таблице 1.

Полученные результаты позволяют сделать вывод, что алгоритм построения кондиционного остоного дерева в наибольшей степени удовлетворяет совокупности критериев эффективности. Рассматриваемый метод обеспечивает минимальную глубину иерархической структуры, сравнительно небольшую протяжённость линий связи и минимальное число этапов построения. Несмотря на то, что по показателю протяжённости сетки линий данный алгоритм уступает алгоритмам Прима–Краскала, различие

составляет лишь около 20 %, что компенсируется преимуществами по остальным параметрам. Следовательно, алгоритм, основанный на теореме О. Б. Лупанова, может рассматриваться как наиболее рациональный инструмент построения структуры подсистемы управления.

Вывод

Процесс технического проектирования сетей передачи данных представляет собой сложную научно-техническую задачу, базирующуюся на применении положений теории систем, теории графов и методов математического программирования. Особую значимость при проектировании приобретают требования, предъявляемые к подсистеме управления, поскольку именно её параметры в значительной степени определяют эффективность функционирования сети в целом. В работе представлены подходы к нахождению рациональной структуры подсистемы управления сети передачи данных, позволяющие создать необходимые, но недостаточные условия для построения оптимальной подсистемы управления, решающей задачи эффективного функционирования сетей передачи данных специального назначения.

Литература

1. Фёдоров Н.К. Программно-конфигурируемые сети. Проблемы при переходе к сетям ПКС. Научно-образовательный журнал для студентов и преподавателей «StudNet», 2022. – Вып. 4. – С. 3137–3148.
2. Никитин С. В., Лоборчук А. А. Программно-конфигурируемые сети как новый этап развития сетей передачи данных. MEANS OF COMMUNICATION EQUIPMENT, 2023. – Вып. 1. – С. 89–93.
3. Татаринов В. И. Модель системы управления сетью передачи данных специального назначения в условиях компьютерных сетевых атак. Журнал «Известия тульского государственного университета», 2021. – Вып. 8. – С. 33–37.
4. Jernej Azarija, Sandi Klavzar. Moore Graphs and Cycles Are Extremal Graphs for Convex Cycles // Journal of Graphs Theory. – 2015. – Т. 80. – С. 34–42.
5. Блинов И. В., Бугаев Ю. В., Чикунов С. В. Обобщение алгоритма Флойда–Уоршалла на случай нескольких критериев. Вестник ТГТУ, 2009. – № 4. – С. 885–892.
6. Иванова А. П., Сапожников Н. А. Сравнительный анализ алгоритмов Краскала и Прима для графов с различным количеством вершин. Электронный научный журнал «Дневник науки», 2024. – № 12.
7. Макаренко С. И., Михайлов Р. Л. Модель функционирования коммутатора в сети с использованием протокола покрывающего дерева STP и исследование устойчивости сети в условиях ограниченной надёжности каналов связи. Радиотехнические и телекоммуникационные системы, 2013. – Вып. 2. – С. 61–68.
8. Евглевская Н. В., Пак Р. С., Привалов А. А., Хмелляр Н. А., Шинкарев С. А. Алгоритм нахождения кондиционного остоного дерева для передачи сигналов синхронизации на сети связи. Автоматизация процессов управления. – Ульяновск: ФНПЦ АО НПО «Марс». – 2020. – № 2 (60). – С.117–123.

PROPOSALS FOR CONSTRUCTING THE CONTROL SUBSYSTEM OF A SPECIAL-PURPOSE DATA TRANSMISSION NETWORK

Shinkarev S. A.⁴, Voloshenyuk A. S.⁵, Kovalenko E. S.⁶

Keywords: software-defined networks, communication network architecture, conditional spanning tree, controller.

Abstract

This article describes the architecture of a special-purpose data transmission network modeled as a software-defined network and outlines the fundamental principles for constructing its control subsystem. It further presents solutions for the optimal design of the control subsystem subject to specified requirements, including an algorithm for determining the rational placement of the controller within the subsystem, as well as proposals for identifying the network topology that connects the controller to all network elements.

Objective: the objective of this study is to propose a procedure for determining the optimal configuration of the control subsystem of a special-purpose data transmission network.

Research results: an algorithm for determining the rational placement of the controller within the control subsystem is developed, along with proposals for defining an optimal network topology that ensures connectivity between the controller and all network elements.

Scientific novelty: the study introduces an algorithm for the rational placement of the controller within the control subsystem and proposes solutions for constructing a network topology that connects the controller with all elements of the network.

References

1. N. K. Fedorov. «Software-Defined Networks: Challenges in the Transition to SDN». StudNet: Research and Educational Journal for Students and Teachers, 2022. – No 4. – Pp. 3137–3148.
2. S. V. Nikitin and A. A. Loborchuk. «Software-Defined Networks as a New Stage in the Development of Data Transmission Networks». Means of Communication Equipment, 2023. – No 1. – Pp. 89–93.
3. V. I. Tatarinov. «A Model of the Control System for a Special-Purpose Data Transmission Network under Computer Network Attacks», Izvestiya of Tula State University, 2021. – No. 8. – Pp. 33–37.
4. J. Azarija and S. Klavžar. «Moore Graphs and Cycles Are Extremal Graphs for Convex Cycles». Journal of Graph Theory, 2015. – Vol. 80. – Pp. 34–42.
5. I. V. Blinov, Yu. V. Bugaev, S. V. Chikunov. «Generalization of the Floyd–Warshall Algorithm for the Multicriteria Case». Vestnik of TSTU, 2009. – No. 4. – Pp. 885–892.
6. A. P. Ivanova, N. A. Sapozhnikov. «Comparative Analysis of Kruskal's and Prim's Algorithms for Graphs with Varying Numbers of Vertices». Science Diary (Electronic Scientific Journal), 2024. – No 12.
7. S. I. Makarenko, R. L. Mikhailov. «A Model of Switch Operation in a Network Using the Spanning Tree Protocol (STP) and an Analysis of Network Stability under Limited Channel Reliability». Radio Engineering and Telecommunication Systems, 2013. – No. 2. – Pp. 61–68.
8. N. V. Evglevskaya, R. S. Pak, A. A. Privalov, N. A. Khmellyar, S. A. Shinkarev. «An Algorithm for Constructing a Conditional Spanning Tree for Synchronization Signal Transmission in Communication Networks». Automation of Control Processes, 2020. – No 2 (60). – Pp. 117–123.



⁴ Semyon A. Shinkarev, Ph.D. of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Automated Control Systems of the Military Academy of Communications, St. Petersburg, Russia. E-mail: se_men82@mail.ru

⁵ Anastasia S. Voloshenyuk, 4th year cadet of the Military Academy of Communications, St. Petersburg, Russia. E-mail: voloshenuk2004@gmail.com

⁶ Elizaveta S. Kovalenko, 4th year cadet of the Military Academy of Communications, St. Petersburg, Russia. E-mail: elizavetka_zubtsova@mail.ru