

МЕТОДИКА РАСЧЕТА РАЗВЕТВЛЕННОСТИ ЦИФРОВОЙ РАДИОРЕЛЕЙНОЙ СЕТИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ОБЪЕДИНЕНИЯ ВКС

С.Е. МИХАЙЛОВ, адъюнкт

Военная академия воздушно-космической обороны
имени Маршала Советского Союза Г.К. Жукова,
170003, Тверь, ул. Жигарева, 50, e-mail: krot-baraban@yandex.ru

© Михайлов С.Е., 2020

Разработана методика, позволяющая повысить устойчивость цифровой сети передачи данных, которая будет учитывать связность при изменении ее структуры, за счет рациональной кластеризации узлов связи с использованием нейронных сетей.

Ключевые слова: система управления, система связи, радиорелейная сеть, нейронные сети, кластеризация узлов связи.

DOI: 10.46573/2658-5030-2020-3-66-73

ВВЕДЕНИЕ

Протоколы маршрутизации играют значительную роль в функционировании цифровой радиорелейной сети передачи данных (ЦРРСПД) объединения военно-космических сил (ВКС). Благодаря этим протоколам осуществляются самоорганизация сети и распределение информационных потоков оптимальными маршрутами в соответствии с алгоритмами, используемыми в соответствующем протоколе [1].

Есть несколько моделей связности узлов связи (УС) ЦРРСПД, которые определяют порядок следования информационных потоков при доставке их от источника к получателю. Среди этих моделей наиболее известные – одно- и многоинтервальные модели; последние подразделяются на плоские и иерархические.

В одноинтервальных моделях УС при достаточном расстоянии и условии прямой видимости передают свои данные напрямую к узлу-получателю. Такие модели можно применять только при размещении каждого из УС ЦРРСПД на достаточном расстоянии. В противном случае узлы просто не будут включены в состав сети. Эти модели являются неэффективными при использовании крупных сетей, поскольку может отсутствовать условие прямой видимости или тактико-технические характеристики средств радиорелейной связи не позволят организовать радиорелейное направление на заданное расстояние. Сети, построенные на основании данной топологии, являются немасштабируемыми.

В многоинтервальных моделях данные от каждого УС ЦРРСПД передаются опосредованно. В многоинтервальной плоской модели беспроводная среда разделяется и управляется отдельными узлами. Назначаются так называемые опорные узлы связи (ОУС), которые выступают в роли транзитных узлов связи (ТУС); задача последних – обеспечить транзит информационных потоков. Транзитные узлы связи ЦРРСПД необходимы для передачи (приема) информационных потоков ЦРРСПД между территориально разнесенными УС ЦРРСПД и выбираются с точки зрения сокращения числа транзитов. В теории сетей процесс объединения группы территориально разнесенных УС вокруг ОУС получил название – процесс кластеризации [1].

В иерархических протоколах (протоколах, основанных на кластеризации) сеть делится на кластеры (группы УС). Как уже говорилось, взаимное расположение

УС ЦРРСПД имеет определяющее значение в части ее потенциальных возможностей. Использование беспроводных технологий связи между УС обуславливает требования к топологическим характеристикам ЦРРСПД, которые зависят от свойств беспроводных каналов и требований к показателям качества обслуживания трафика.

В общем случае при обслуживании трафика доставка данных в сети производится по некоторым маршрутам, которые выбираются используемым протоколом сетевого уровня, реализующим тот или иной метод выбора маршрутов [2]. При этом маршрут может содержать некоторое количество транзитных участков (хопов), включающих в себя УС ЦРРСПД и соединяющие их каналы. Прохождение каждого из таких участков требует затрат времени, которые в совокупности определяют задержку доставки данных от отправителя к получателю. На каждом из участков также может произойти потеря данных, вероятность которой обуславливает возможные потери данных на маршруте.

Разделение сети на кластеры может производиться на основании определенных критериев:

географическое местоположение УС ЦРРСПД (те УС, которые расположены рядом друг с другом, т. е. являются соседями, попадают в один и тот же кластер);

условие прямой видимости;

мощность сигнала (узлы попадают в один и тот же кластер на основании «досягаемости» друг друга по мощности сигнала).

Во главу каждого кластера ставится главный кластерный узел (ГКУ), на который передаются данные с других УС ЦРРСПД в рамках данного кластера. Главный кластерный узел собирает данные со своего кластера и передает их дальше по ЦРРСПД. При этом ГКУ может оптимизировать данные, производя операции сжатия и фильтрации.

В иерархических протоколах отдельное место занимает понятие связности. Связность делится на две категории: внутри- и межкластерная связность.

Внутрикластерная связность обеспечивает передачу данных между УС внутри кластера, а межкластерная – между другими кластерами [2]. Первая может быть одно- или многоинтервальной. При одноинтервальной связности пакеты с данными передаются напрямую от УС источника к ГКУ, а при многоинтервальной – опосредованно, через другие УС ЦРРСПД, принадлежащие данному кластеру.

Межкластерная связность (так же, как и внутрикластерная) может быть одно- или многоинтервальной. При одноинтервальной связности данные, агрегированные ГКУ, передаются напрямую на вышестоящий кластер. Данный подход имеет существенный недостаток – ГКУ не всегда смогут передавать данные напрямую на вышестоящий узел ввиду их удаленности друг от друга [3]. Это существенное ограничение снижает как возможности использования протоколов с одноинтервальной межкластерной связностью, так и их масштабируемость.

Многоинтервальная связность позволяет каждому ГКУ, вне зависимости от его удаленности, передавать данные на вышестоящий кластер. Пакеты с данными передаются опосредованно (через другие ГКУ). Но здесь возникает другая проблема: в зависимости от дальности организации связи ГКУ может не хватить мощности средств радиорелейной связи, чтобы связаться друг с другом. Данная проблема межкластерной связности может возникнуть из-за особенностей деления на кластеры. Решением этой проблемы будет использование ТУС, через которые данные между двумя ГКУ будут передаваться опосредованно. Такие ТУС могут быть двух категорий: распределенные и общие. Общими ТУС называются такие УС, которые располагаются между радиусами передачи двух смежных ГКУ и реализуют двухинтервальную передачу: ГКУ1, ТУС, ГКУ2 (рис. 1).

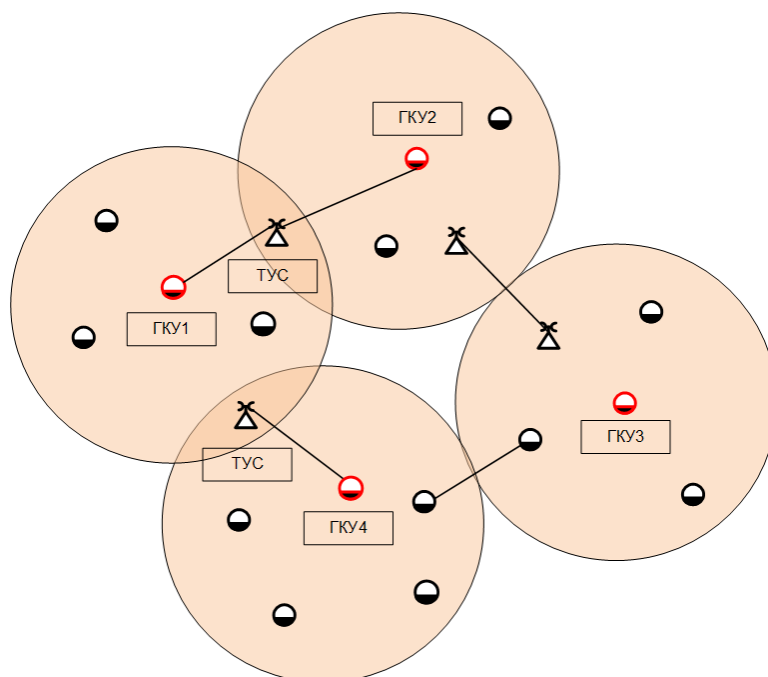


Рис. 1. Реализация двухинтервальной радиорелейной связи ЦРРСПД с помощью транзитного узла связи

Когда два соседних кластера УС ЦРРСПД не имеют общего ТУС, то они могут связаться друг с другом через три интервала (три хопа) с помощью распределенных ТУС, каждый из которых расположен в своем кластере со своим ГКУ. Каждый из распределенных ТУС доступен только для своего ГКУ в рамках кластера.

Таким образом, распределенными ТУС называются УС, которые реализуют трехинтервальную передачу: ГКУ2, ТУС2, ТУС3, ГКУ3 (рис. 2).

Меж- и внутрикластерная связности, объединяясь, образуют иерархию, что соответствует названию данной группы протоколов. Узлы связи ЦРРСПД, подчиненные ГКУ в рамках кластера верхнего уровня, могут быть субкластерами (кластерами нижнего уровня), которые в свою очередь могут иметь собственные субкластеры с соответствующими ГКУ. Субкластеры будут представлять собой внутрикластерную связность отдельного ГКУ и при этом иметь свою меж- и внутрикластерную связности [4].

Таким образом, установлено, что протоколы маршрутизации играют значительную роль в функционировании ЦРРСПД объединения ВКС. Благодаря этим протоколам осуществляются самоорганизация сети и организация информационных потоков оптимальными маршрутами [5].

Многоинтервальная иерархическая модель является для ЦРРСПД наиболее эффективной, так как при обслуживании трафика доставка данных в ЦРРСПД производится по некоторым маршрутам, которые выбираются используемым протоколом сетевого уровня, реализующим тот или иной метод выбора маршрутов. Данная модель связности, в отличие от одноинтервальных моделей, предоставляет возможности развертывания ЦРРСПД объединения ВКС в удаленных широкомасштабных областях, что говорит о высокой масштабируемости сети.

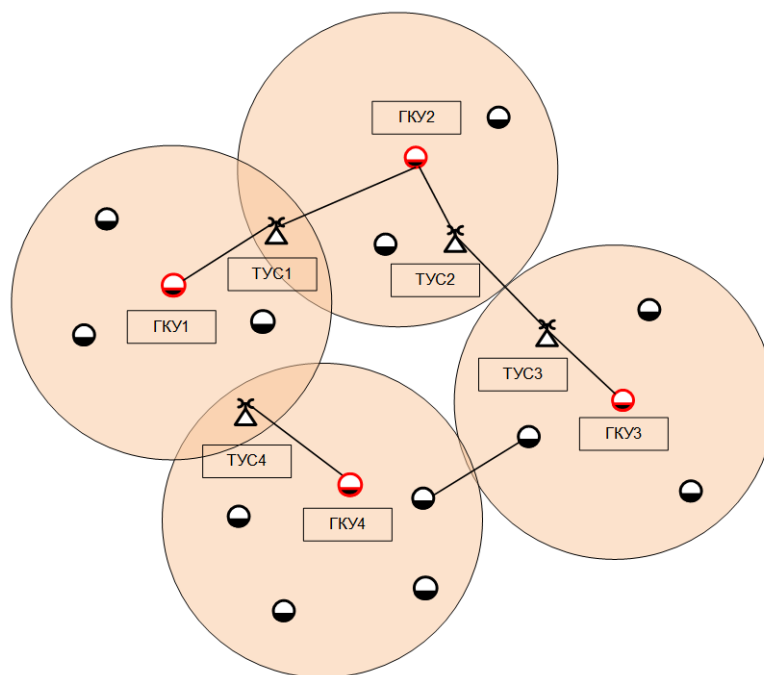


Рис. 2. Реализация трехинтервальной радиорелейной связи ЦРРСПД с помощью транзитного узла связи

Учитывая, что ЦРРСПД объединения ВКС является частью сети общего пользования и по ее каналам должна обеспечиваться связь, как правило, с большинством объединений, соединений и частей, расположенных во всей полосе оперативного построения войск, разветвленность является важнейшим свойством сети. Качество сети по данному свойству характеризуется возможностью доступа УС центра управления, командного пункта (КП), пункта управления (ПУ) подразделений и частей объединения ВКС к каналам ЦРРСПД объединения ВКС [6]. Расчет разветвленности ЦРРСПД объединения ВКС $S_{P \text{ ЦРРС}}$ осуществляется с использованием особого показателя – коэффициента доступности C_N .

C_N обуславливается допустимой дальностью действия имеющихся на УС ЦРРСПД объединения ВКС и ОУС, средств привязки. Коэффициент доступности рассчитывается по формуле

$$C_N = \frac{N_{УС Д}}{N_{УС ОБЩ}},$$

где $N_{УС Д}$ – количество УС, имеющих доступ к ЦРРСПД; $N_{УС ОБЩ}$ – общее количество УС, развернутых в полосе боевых действий.

Решение задачи обеспечения разветвленности ЦРРСПД объединения ВКС в общем виде реализуется с учетом сформированной основы ЦРРСПД с помощью методики нейросетевой кластеризации УС ЦРРСПД и осуществляется в два этапа: расчета внутрикластерной разветвленности и расчета межкластерной разветвленности [7, 8, 9].

На обоих этапах расчета кластерной разветвленности необходимо выполнить ряд процедур. В соответствии с матрицей информационной связанности и потребностями вторичных сетей формируем матрицу направлений связи, на которых

необходимо выделение каналов ЦРРСПД объединения ВКС. Исходя из наличия средств привязки в войсках связи объединения ВКС, рассчитываются и строятся зоны доступа УС ЦРРСПД. При построении ЦРРСПД зоны доступа могут составлять радиусы до 50 км (дальность связи радиорелейных станций согласно тактико-техническим характеристикам), так как используются радиорелейные средства.

Производится оценка ЦРРСПД по доступности УС ЦРРСПД путем расчета разветвленности. Если выполняется условие $S_{P\text{ЦРРСПД}} \geq S_{P\text{ЦРРСПД}}^{TP}$, то определяется количество УС ЦРРСПД; если не выполняется данное условие, то осуществляется наращивание дополнительными полевыми узлами связи до выполнения данного условия [10].

Выбор рациональной привязки происходит по критерию минимальной суммарной протяженности линий между УС ПУ объединения ВКС и УС КП (ПУ) (УС Единой сети электросвязи РФ), который находим по следующей процедуре:

1. Составляем матрицу ρ , в которой столбцы соответствуют выбранным УС ЦРРСПД, строки главного кластерного УС (ГКУС) ЦРРСПД объединения ВКС, элементы протяженности линий привязки:

$$\rho = |a_{ij}|, i = \overline{1, N}; j = \overline{1, M},$$

где ρ – матрица расстояний между всеми УС ЦРРСПД объединения ВКС и ГКУС ЦРРСПД; a – расстояние между i -м УС ЦРРСПД объединения ВКС и j -м ГКУС ЦРРСПД; N – количество УС ЦРРСПД объединения ВКС; M – количество ГКУС ЦРРСПД объединения ВКС.

2. Устанавливаем суммарное расстояние между всеми УС ЦРРСПД объединения ВКС и ГКУС ЦРРСПД:

$$Q_j = \sum_{i=1}^N a_{ij}, \forall j = \overline{1, M},$$

3. Анализируем все Q по критерию минимальной протяженности линий привязки и выбираем такой УС ЦРРСПД, для которого выполняется условие

$$Q_k^* = \min_j Q_j, \forall j = \overline{1, M},$$

где Q_k^* – минимальная протяженность k -й линии привязки.

4. Вычисляем суммарную протяженность линий привязки для всех выбранных УС ЦРРСПД:

$$Q_{\Sigma}^* = \sum_{k=1}^N Q_k^*. \quad (5)$$

Совокупность выбранных УС ЦРРСПД и ГКУС ЦРРСПД объединения ВКС составляют узловую основу ЦРРСПД. После определения узловой основы разрабатывается сетка линий связи между УС ЦРРСПД объединения ВКС и тем самым решается задача связности сети.

Реализация рассмотренных направлений, определяющих построение ЦРРСПД объединения ВКС, позволит значительно расширить возможности сети связи

объединения ВКС по устойчивости, что особенно актуально на современном этапе развития военных телекоммуникационных сетей [4].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанная методика позволяет на основе базового варианта кластерной основы ЦРРСД объединения ВКС произвести расчет разветвленности ЦРРС, что в свою очередь позволит значительно расширить возможности ЦРРСД объединения ВКС по устойчивости. Новизна методики заключается в том, что расчет разветвленности ЦРРСД объединения ВКС производится в два этапа: расчета внутрикластерной разветвленности сформированных кластеров и расчета межкластерной разветвленности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Younis O., Krunz M., Ramasubramanian S. Node clustering in wireless sensor networks: recent developments and deployment challenges // *IEEE network*. 2006. V. 20. № 3. P. 20–25.
2. Salami A.F., Anwar F., Priantoro A.U. An investigation into clustering routing protocols for wireless sensor networks // *Sensors & Transducers Journal*. 2009. V. 106. № 7. P. 48–61.
3. Чубукова И.А. Data Mining. М.: Интернет-Университет Информационных Технологий: Бином. Лаборатория знаний, 2008. 383 с. URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=233055> (дата обращения: 21.06.2020).
4. Ланчев В.М., Михайлов С.Е., Демидов А.В. Один из подходов к разработке метода построения цифровой радиорелейной сети объединения ВКС в общей системе ПВО стран СНГ // *Сборник статей IV МВНК ВА ВКО*, 2019.
5. Ермишян А.Г. Теоретические основы построения систем военной связи в объединениях и соединениях. Ч. 1. Методологические основы построения организационно-технических систем военной связи: учебник. СПб: Военная академия связи, 2005. 740 с.
6. Каллан Р. Основные концепции нейронных сетей. М.: Вильямс, 2001. 287 с.
7. Кальченко Д.И. Нейронные сети: на пороге будущего // *КомпьютерПресс*. 2005. Т. 1. С. 86–90.
8. Кохонен Т. Самоорганизующиеся карты. М.: Бином. Лаборатория знаний. 2008. 655 с.
9. Воронцов К.В. Лекции по искусственным нейронным сетям. М.: Вычислительный центр имени А.А. Дородницына РАН, 2014.
10. Дистель Р. Теория графов. Новосибирск: Институт математики, 2002. 336 с.

Для цитирования: Михайлов С.Е. Методика расчета разветвленности цифровой радиорелейной сети передачи данных объединения ВКС // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Технические науки». 2020. № 3 (7). С. 66–72.

METHODOLOGY OF CALCULATING OF THE RAMIFICATION OF THE DIGITAL RADIO RELAY DATA TRANSMISSION NETWORK OF THE AEROSPACE FORCES ASSOCIATION

S.E. MIKHAILOV, Adjunct

Military Academy of Aerospace Defense named after Marshal of the Soviet Union
G.K. Zhukov, 50, Zhigareva st., 170003, Tver, Russian Federation,
e-mail: krot-baraban@yandex.ru

The article considers a methodology for increasing the stability of a digital data transmission network, which will take into account connectivity when changing its structure, due to rational clustering of communication centers using neural networks.

Keywords: control system, communication system, radio relay network, neural network, clustering of communication centers.

REFERENCES

1. Younis O., Krunz M., Ramasubramanian S. Node clustering in wireless sensor networks: recent developments and deployment challenges. *IEEE network*. 2006. V. 20. No. 3, pp. 20–25.
2. Salami A.F., Anwar F., Priantoro A.U. An investigation into clustering routing protocols for wireless sensor networks. *Sensors & Transducers Journal*. 2009. V. 106. No. 7, pp. 48–61.
3. Chubukova I.A. Data mining. Moscow: Internet-Universitet Informatsionnykh Tekhnologiy: Binom. Laboratoriya znaniy, 2008. 383 p. URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=233055> (accessed: 21.06.2020).
4. Lancev V.M., Mikhailov S.E., Demidov A.V. One of the approaches to the development of a method for constructing a digital radio-relay network for combining an aerospace network in a common air defense system of CIS countries. *Sbornik statey IV MVNK VA VKO*, 2019. (In Russian).
5. Ermishyan A.G. The theoretical foundations of building military communications systems in associations and formations. Textbook. Part 1. Methodological foundations for the construction of organizational and technical systems of military communications. St. Petersburg: Voyennaya akademiya svyazi. 2005. 740 p.
6. Callan R. Osnovnyye kontseptsii neyronnykh setey [Basic concepts of neural networks]. Moscow: Vilyams, 2001. 287 p.
7. Kalchenko D.I. Neural networks: on the verge of the future. *ComputerPress*. 2005. V. 1. pp. 86–90. (In Russian).
8. Kohonen T. Samoorganizuyushchiesya karty [Self-organizing cards]. Moscow: Binom. Laboratoriya znaniy, 2008. 655 p.
9. Vorontsov K.V. Lektsii po iskusstvennym neyronnym setyam [Lectures on artificial neural networks]. Moscow: Vychislitelnyy tsentr im. A.A. Dorodnitsyna RAN, 2014.
10. Distel R. Teoriya grafov [Graph Theory]. Novosibirsk: Institut matematiki, 2002. 336 p.

Поступила в редакцию/received: 11.06.2020; после рецензирования/revised: 09.07.2020;
принята/accepted 03.08.2020