

спонденты из состава $i \in \{I\}$; XYZ – координаты размещения РЭС; S_{PC} , S_{CLC} , S_{PTO} – параметры радиосигналов наземных и воздушных линий связи, спутниковых линий связи и средств РТО соответственно.

Суммарный поток параметров множества радиосигналов (Λ_S), формируемый совокупностью разнородных РЭС и поступающий на вход системы РМ, в общем виде представлен выражением:

$$\Lambda_S = \{\Lambda_{S_{PC}}\} \cup \{\Lambda_{S_{CLC}}\} \cup \{\Lambda_{S_{PTO}}\} \cup \{\Lambda_{S_{MC}}\} = \\ = \bigcup_{m=1}^M \bigcup_{k=1}^K \bigcup_{n=1}^N \bigcup_{w=1}^W S_{mknw}, m = \overline{1, M}; k = \overline{1, K}; n = \overline{1, N}; w = \overline{1, W}, \quad (9)$$

где Λ_{PC} – поток параметров радиосигналов наземных и воздушных линий связи; Λ_{CLC} – поток параметров радиосигналов СЛС; Λ_{PTO} – поток параметров радиосигналов РТО; Λ_{MC} – поток параметров мешающих сигналов общего фона.

Таким образом, выходные данные модели РЭО представляют собой упорядоченный последовательный поток множества параметров радиосигналов, представленный выражением (9), поступающих на вход подсистемы РМ.

Данный подход позволит осуществлять имитацию РЭО на основе множества моделей РЭС функционирующих в соответствии с логикой поведения объектов СЭПС.

Список используемых источников

1. Заика П. В., Копичев О. А. Имитационное моделирование радиоэлектронной обстановки на основе агрегативного подхода // Сборник докладов III Международной научно-технической конференции «Радиотехника, электроника и связь», Омск, 6–8 октября 2015 г. С. 207–212.
2. Месарович М., Такахара Я. Общая теория систем: математические основы. М.: Мир, 1978. 311с.
3. Кузин Л. Т. Т. 2. Основы кибернетических моделей : учебное пособие для вузов. М.: Энергия, 1979. 584 с.
4. Колесов Ю. Б. Объектно-ориентированное моделирование сложных динамических систем. СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2004. 240 с.

МОРФОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПОЛЕВОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ СВЯЗИ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Л.А. Акимова, О.П. Жадан, И.Г. Стахеев

Морфологический анализ является весьма эффективным средством для решения задач по построению сетей связи, поскольку он позволяет выявить, систематизировать и изучить всевозможные варианты и способы построения системы, предназначенной для реализации заданных функций. Он позволяет систематически выявить всю полноту возможных вариантов построения полевой транспортной сети связи специального назначения.

Ключевые слова: полевая транспортная сеть связи, морфологическая структура, модель.

MORPHOLOGICAL MODEL FIELD TRANSPORT COMMUNICATIONS NETWORK SPECIAL PURPOSES

Akimova L., Gadan O., Stakheev I.

Morphological analysis is a very effective remedy for solving problems on the construction of communication networks, since it allows to identify, systematize and investigate the various options and ways to build a system for realization of the given functions. It allows you to systematically identify all the fullness of possible variants of construction of field transport communications network for special purposes.

Keywords: field transport communications network, the morphological structure, model.

В соответствии с концепцией построения и развития современных сетей связи специального назначения (СН) одним из важных составляющих является полевая транспортная сеть связи (ПТСС) СН, т. е. полевой компонент, который предназначен для восстановления разрушенных элементов сети, управления подразделениями в чрезвычайных ситуациях, усиления сети и резервирования стационарной транспортной сети связи СН [1].

В некотором смысле транспортные сети нового поколения могут рассматриваться как виртуальные надстройки более интеллектуальные первичные сети связи (системы переноса). ПТСС СН содержит ряд подсистем: система переноса, система управления, сигнализации, маршрутизации, восстановления, технической и эксплуатации и пр.

ПТСС СН должна создаваться как управляемая система, обладать необходимой инвариантностью к изменениям, происходящим в системах управления, а так же в некоторой степени и к инфокоммуникационным технологиям сетей доступа.

Необходимостью формирования морфологической структуры ПТСС СН обусловлена: несоответствием характеристик существующих сетей связи современным требованиям, разобщенностью и несогласованностью силовых министерств и ведомств по созданию собственных систем связи, отсутствие единства систем связи, что приводит к их нерациональному использованию канального ресурса.

На сегодняшний день задачи по формированию морфологической модели ПТСС СН проработаны не в полном объеме.

Морфологический анализ является весьма эффективным средством для решения подобных задач, поскольку он позволяет выявить, систематизировать и изучить всевозможные варианты и способы построения системы, предназначенной для реализации заданных функций. Существенным свойством морфологического подхода является его направленность на поиск полноты и общности вариантов. Он позволяет систематически выявить всю полноту возможных вариантов построения ПТСС СН [2].

Морфологический подход состоит в реализации следующих этапов:

1) Формулировка решаемой задачи.

2) Выявление максимально полного перечня основных функций системы.

3) Определение различных альтернативных способов реализации каждой из выявленных функций и генерация всех возможных вариантов синтезируемой системы. При этом каждый вариант состоит из цепочки, содержащей ровно по одному способу реализации каждой отдельной функции.

4) Определение эффективности вариантов синтезируемой системы.

5) Выбор и реализация наиболее предпочтительного варианта.

В нашем случае по формированию морфологической модели можно представить из следующих составляющих структур: топологической, потоковой и физической.

Топологическая структура ПТСС СН во многом определяет ее показатели функционирования, возможности по управлению, реконфигурации, развитию, наращиванию, приведенной стоимости, использованию альтернативных путей [3].

Синтез топологической структуры представляет собой процесс конструирования некоторого множества графов с определенными топологическими параметрами и выбор из этого множества такого графа, который наилучшим образом соответствует заданным принципам построения, функциям и целям функционирования сети связи. Это соответствие определяется по совокупности топологических характеристик, среди которых выделяют следующие [4]:

1. Количество узлов $|A| = N$ и ребер $|B| = n$ графа $G_T(A, B)$.

2. Диаметр графа d – величина, определяемая как максимальное число ребер в кратчайшем пути между любой парой вершин множества A .

3. Среднее расстояние p , рассчитываемое по формуле:

$$p = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N r_{ij}}{N(N-1)},$$

где $r_{ij} = r(\pi_{ij})$ – ранг кратчайшего пути $\pi_{ij} = \min_{(t)} \pi_{ij}^t$ между i и j .

4. Связность графа $h_{св}$.

5. Число остовных деревьев графа $N_{од}$.

6. Ранг пути между вершинами $r(\pi_{ij})$ – количество ребер образующих путь π_{ij} между вершинами a_i и a_j .

7. Ранг узла $r(a_i), i = \overline{1, N}$ – количество ребер инцидентных узлу a_i .

8. Затраты на реализацию топологической структуры косвенно учитываются через минимальное число узлов и минимальную суммарную протяженность ребер с требуемой связностью на заданной структуре сети.

Характеристики ПТСС должны быть сформированы таким образом, чтобы имелась возможность выделения из ее состава двухполюсных сетей, предостав-

ляющих корреспондирующих пар узлов (КПУ) требуемую пропускную способность, которая поддерживалась требуемой структурной надежностью, а характеристики цифровых каналов ПТСС обладали качеством необходимым для обеспечения услуг электросвязи, предоставляемых сетью. Кроме того, должны обеспечиваться потребности в пропускной способности и требуемой надежности обеспечивающих подсистем.

Таким образом, совокупность корреспондирующих пар узлов (КПУ) ПТСС $Z' = \{z_{k'}\}$ представляет собой объединение перечисленных КПУ и обеспечивающих подсистем:

$$Z' = Z \cup Z^y \cup Z^c \cup Z^п \cup Z^{cc}.$$

Такое представление КПУ сети позволяет на ранних этапах синтеза определить особенности морфологического описания ПТСС и количественные требования к сетевым характеристикам: пропускной способности, устойчивости и приведенной стоимости.

Каналы требуемого качества, которые образуются между корреспондирующими парами Z' , определяются компонентами вектора:

$$V_{\Sigma} = [V_1, \dots, V_k, \dots, V_m : V_{\Sigma}^y, V_{\Sigma}^c, V_{\Sigma}^п]^T,$$

где V_{Σ}^y , V_{Σ}^c , $V_{\Sigma}^п$ – суммарное количество каналов заданного качества, необходимое для обеспечения потребностей подсистем управления, сигнализации, связи с стационарными объектами, соответственно; V_k – потребность в каналах k -ой КПУ. Общее количество каналов рассчитывается по формуле:

$$V_{\Sigma} = \sum_{k=1}^m V_k + V_{\Sigma}^y + V_{\Sigma}^c + V_{\Sigma}^п.$$

Требования к надежности [5] задаются для каждого направления связи $H_{z_k}^{тр}$, $k = \overline{1, m}$, а также для обеспечивающих подсистем $H_y^{тр}$, $H_c^{тр}$, $H_{cc}^{тр}$ и представляются в виде вектора:

$$\overrightarrow{H^{тр}} = [H_1^{тр}, \dots, H_k^{тр}, \dots, H_m^{тр} : H_y^{тр}, H_c^{тр}, H_{п}^{тр}, H_{cc}^{тр}]^T.$$

Согласно Рекомендациями МСЭ-Т серии G (G.701, G.810, G.820, G.821, G.822, G.823) требования к качеству цифровых каналов (ЦК) ПТСС задаются вектором:

$$\overrightarrow{Q^{тр}} = [K_{ош}^{тр}, J_{вых}^{тр}, t_{кп}^{тр}, P_{\lambda}^{тр}, \tau_{п}^{тр}, \delta_{\nu}^{тр}]^T,$$

где $K_{\text{ош}}$ – коэффициент ошибки; $J_{\text{вых}}$ – дрожание фазы цифрового сигнала на выходе ЦК; $t_{\text{кп}}$ – относительное время действия импульсных помех и кратковременных прерываний в ЦК; P_{λ} – проскальзывания цифрового сигнала; $\tau_{\text{п}}$ – время прохождения сигнала по ЦК; δ_v – допустимое отклонение скорости передачи цифрового сигнала на выходе ЦК.

В задачах синтеза многопродуктовая сеть, как математический объект, представляется в виде взвешенного неориентированного связанного графа $G(A, B, U, H)$, где A – множество вершин графа, соответствующее сетевым узлам и сетевым станциям, B – множество ребер, представляющих собой линии связи, H – структурная надежность ПТСС. Каждому ребру b_{ij} графа сети ставится в соответствие два числа: u_{ij} – пропускная способность ребра, то есть величина максимального потока, передаваемого по ребру $U = \{u_{ij}\}$, $i, j = \overline{1, N}$, $i \neq j$, $b_{ij} \in B$; h_{ij} – надежность ребра сети (вероятность исправной работы, коэффициент готовности r^{μ} -ой системы передачи). Как правило, при синтезе сети узлы считают абсолютно надежными, а их ненадежности пересчитывают на ребра графа.

Основным критерием рациональности ПТСС служит расход сил и средств на ее построение, эксплуатацию и развитие. В качестве целевой функции учитывающей данные расходы используется приведенная стоимость, подлежащая минимизации:

$$W(G(A, B, U, H), R(R_{\lambda}, R_{\gamma})) = W_A + W_B = W(r^{\mu}) + W(r^{\psi}) \rightarrow \min,$$

где $W_A = W(r^{\mu})$ и $W_B = W(r^{\psi})$ – приведенные стоимости, учитывающие расход сил и средств на развертывание и эксплуатацию узлов и линий ПТСС, соответственно.

Выделяются минимальные по пропускной способности и надежности покрытия, то есть «узкие места» сети по этим характеристикам.

В качестве целевых функций многокритериальной задачи оптимизации морфологической структуры ПТСС выбираются функции: структурной надежности сети:

$$H = f_1(\overrightarrow{P_Z^{\lambda}}, r^{\mu}, r^{\psi}, U_{\text{ном}}, V_{\Sigma}, \overrightarrow{H^{\text{тп}}}, \overrightarrow{Q^{\text{тп}}}) = f_1(\alpha);$$

пропускной способности:

$$C = f_2(\overrightarrow{P_Z^{\lambda}}, r^{\mu}, r^{\psi}, U_{\text{ном}}, V_{\Sigma}, \overrightarrow{H^{\text{тп}}}, \overrightarrow{Q^{\text{тп}}}) = f_2(\alpha);$$

качества канального ресурса сети:

$$Q = f_3(\overline{P}_Z^\lambda, r^\mu, r^\psi, U_{\text{ном}}, V_\Sigma, \overline{H}^{\text{тп}}, \overline{Q}^{\text{тп}}) = f_3(\alpha);$$

приведенной стоимости на построение, эксплуатацию и развитие ПТСС:

$$W = f_4(\overline{P}_Z^\lambda, r^\mu, r^\psi, U_{\text{ном}}, V_\Sigma, \overline{H}^{\text{тп}}, \overline{Q}^{\text{тп}}) = f_4(\alpha).$$

Многокритериальная задача синтеза структуры ПТСС состоит в выборе морфологической структуры сети G^* – эффективной альтернативы $\alpha \in A$, характеризующейся такими совокупностями путей $\overline{P}_Z^\lambda = \{\overline{P}_k\}$, $k = \overline{1, m}$, $\lambda = \overline{1, \Lambda_G}$ и покрывающих множеств $C_{\min}(\overline{P}_k)$, $C(\overline{P}_Z^\lambda)$, при которых отклонения целевых функций от своих оптимальных значений минимальны.

Формально многокритериальную задачу можно представить в следующем виде:

$$\alpha \in A: \begin{cases} \overline{P}_Z^\lambda = \{\overline{P}_k\}; \\ C(\overline{P}_Z^\lambda), C_{\min}(\overline{P}_k); \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} H = f_1(\overline{P}_Z^\lambda, r^\mu, r^\psi, U_{\text{ном}}, V_\Sigma, \overline{H}^{\text{тп}}, \overline{Q}^{\text{тп}}) = f_1(\alpha); \\ C = f_2(\overline{P}_Z^\lambda, r^\mu, r^\psi, U_{\text{ном}}, V_\Sigma, \overline{H}^{\text{тп}}, \overline{Q}^{\text{тп}}) = f_2(\alpha); \\ Q = f_3(\overline{P}_Z^\lambda, r^\mu, r^\psi, U_{\text{ном}}, V_\Sigma, \overline{H}^{\text{тп}}, \overline{Q}^{\text{тп}}) = f_3(\alpha); \\ W = f_4(\overline{P}_Z^\lambda, r^\mu, r^\psi, U_{\text{ном}}, V_\Sigma, \overline{H}^{\text{тп}}, \overline{Q}^{\text{тп}}) = f_4(\alpha); \end{cases} \quad (2)$$

$$\min_{\alpha} \Delta f_i(\alpha) = \begin{cases} f_i^0 - f_i(\alpha), \quad \forall i \in I_1; \\ f_i(\alpha) - f_i^0, \quad \forall i \in I_2; \end{cases}$$

$$i = \overline{1, 4}, \lambda = \overline{1, \Lambda}, \mu = \overline{1, Q_\mu}, \psi = \overline{1, Q_\psi}, r^\psi = \overline{1, Q_y}, r^\mu = \overline{1, Q_\lambda},$$

где f_i^0 – оптимальное значение i -ой функции цели на множестве допустимых альтернатив, I_1, I_2 – множества индексов максимизируемых и минимизируемых функций цели, соответственно.

Многокритериальная задача оптимизации структуры ПТСС в общем виде (1)–(2) разрешена быть не может. Это связано с взаимозависимостью целевых функций и отсутствием строгих математических методов решения таких задач. В связи с этим и возникла необходимость разработки морфологической модели ПТСС СН.

Таким образом, морфологический подход позволяет реализовать методологическую основу, которая состоит из взаимоувязанных этапов:

1) постановка задачи многокритериального синтеза ПТСС СН (топологического, потокового и физического);

- 2) формирование максимально полного перечня основных функций ПТСС СН;
- 3) определение различных альтернативных способов реализации каждой из выявленных функций и генерация всех возможных вариантов синтезируемой структуры ПТСС СН. При этом каждый вариант состоит из цепочки, содержащей ровно по одному способу реализации каждой отдельной функции;
- 4) определение эффективности функционирования вариантов синтезируемой структуры ПТСС СН;
- 5) реализация наиболее предпочтительного варианта структуры ПТСС СН.

Список используемых источников

1. Москвитин В. Д. От Взаимоувязанной сети связи к Единой сети электросвязи // Вестник связи. 2003. № 9.
2. Бусленко Н. П. Моделирование сложных систем. М.: Наука, 1978. 156 с.
3. Шмалько А. В. Цифровые сети связи: основы планирования и построения. М.: ЭКО-ТРЕНДЗ, 2001. 284 с.
4. Кристофидес Н. Теория графов. Алгоритмический подход : пер. с англ. М.: Мир, 1978. 432 с.
5. Муравцов А. А, Фокин Н. И, Шинкарев С. А, Стахеев И. Г. Синтез потоковой структуры мультипротокольной транспортной сети связи региона с учетом обеспечивающих и взаимодействующих подсистем при заданной надежности передачи их потоков // Сборник научных трудов по материалам международной НПК «Современные направления теоретических и прикладных исследований 2011». Т. 6. Технические науки. Одесса: Черноморье, 2011. С. 32.

КОНЦЕПЦИЯ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА УЗЛА СВЯЗИ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

А.В. Александрова, Д.В. Рыжаков, Д.С. Самаркин

Статья посвящена вопросам анализа построения системы управления и выработке решения построения системы мониторинга функционирования УССН которое может быть выражено как информационное обеспечение процесса принятия управленческих решений. На основе анализа предлагается концепция построения системы мониторинга УССН.

Ключевые слова: узел связи специального назначения, система управления, автоматизированная система мониторинга и контроля.

THE CONCEPT OF THE MONITORING SYSTEM OF THE COMMUNICATION NODE A SPECIAL PURPOSE

Alexandrova A., Ryzhakov D., Samarkin D.

The article is devoted to analysis of building management systems and developing solutions developing systems for monitoring the operation of WSN which may be expressed as information