

ОПТИМИЗАЦИЯ СТРУКТУРЫ ТЕРРИТОРИАЛЬНО РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЕЙ В УСЛОВИЯХ ДЕСТРУКТИВНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

© 2023 Д. Е. Орлова, К. А. Плющик

Воронежский институт ФСИИ России (Воронеж, Россия)

Решается задача оптимизации структуры территориально распределенных инфокоммуникационных сетей в условиях деструктивных воздействий со стороны злоумышленников и преступных элементов. Критерием оптимальности служит своевременность доставки сообщений от источника до получателя при наличии деструктивных воздействий, направленных на блокировку приема и передачи сообщений, нарушение механизмов обработки и коммутации сообщений на узлах.

Ключевые слова: инфокоммуникационная сеть, оптимизация, маршрут, сообщение, деструктивное воздействие.

Формулировка задачи. Рассмотрим типовую территориально распределенную инфокоммуникационную сеть, состоящую из узлов приема, обработки и передачи информации, соединенных каналами связи. Маршрутом движения сообщения m_k ($m_k = \overline{1, N_k}$) назовем полный перечень узлов, в которые оно попадает, проходя от источника до получателя. Будем исходить из того, что время приема, обработки, коммутации и передачи сообщения в узлах сети зависит не только от их технических характеристик и режимов работы, но и от видов деструктивных воздействий, оказываемых со стороны злоумышленников и преступных элементов.

Введем следующие типы деструктивных воздействий на сеть: A – воздействия, блокирующие прием сообщений; B – воздействия, препятствующие обработке сообщений на узлах; C – воздействия, нарушающие работу средств коммутации сообщений; D – воздействия, препятствующие передаче сообщений.

Будем исходить из того, что эффект указанных воздействий проявляется в увеличении времени доставки сообщений от источника до получателя.

Тогда задача оптимизация структуры инфокоммуникационной сети в условиях деструктивных воздействий со стороны злоумышленников и преступных элементов будет состоять в построении таких маршрутов движения сообщений M^* , при которых каждое сообщение k ($k = \overline{1, K}$) несмотря на деструктивные воздействия со стороны злоумышленников и преступных элементов дойдет от источника до получателя за время T_k не превышающее некоторое наперед заданное значение T_k^{KR} :

$$M^* : \forall_{k=1, K} \forall_{m_k=1, N_k} \left[T_k(m_k) \leq T_k^{KR} \right], \quad (1)$$

Сущность подхода к решению задачи. Сформулированная выше задача (1) относится к классу задач составления расписаний большой размерности с дискретными переменными и качественными (логическими) ограничениями. Как известно, такие задачи не имеют строгого математического решения, а переход к экспертным методам так же не дает конструктивных результатов. [1, 2]. Следуя [3], разрешить эту проблему предлагается путем введения двухрангового пространства $\Omega = \langle L, \Psi \rangle$, где: L – топологическое подпространство, в рамках которого сеть представляется состоящей из узлов приема, обработки и передачи информации и каналов связи между ними; Ψ – информационное подпространство, в рамках которого

Орлова Дарья Евгеньевна – Воронежский институт ФСИИ России, канд. техн. наук, преподаватель.
Плющик Кирилл Александрович – Воронежский институт ФСИИ России, адъюнкт, e-mail: victor_novo@mail.ru.

го та же самая сеть представляется состоящей из сообщений, циркулирующих в сети). Различие между этими подпространствами заключается не только в сущностном представлении исследуемого объекта, но прежде всего в языках, используемых для описания его аспектов. Для описания инфокоммуникационной сети на топологическом уровне ее представления будем использовать язык теории графов, а на информационном – язык теории вероятностей. В результате задача (1) представляется в виде композиции двух задач – топологической и информационной, совместное решение которых дает ее решение. Доказательством, что при таком подходе получаемая модель адекватна реальным процессам, происходящим в сети, подверженной деструктивным воздействиям (естественно в рамках определенных допущений), служит положение о том, что, используя различные пространства, можно исследовать сложные объекты по частям, не нарушая их целостности [3]. Вопрос в том, как осуществляется проекция одного подпространства в другое. Универсальных рекомендаций по этому поводу не существует. Рассмотрим этот вопрос применительно к нашему случаю.

Оптимизация сети на топологическом пространстве. На этом уровне задача сводится к определению такой топологии маршрутов, при которой обеспечивается минимум точек их пересечения на промежуточных узлах с учетом того, что часть узлов выведена из строя в результате деструктивных воздействий со стороны злоумышленников и преступных элементов.

Пусть модель сети в пространстве L задана графом

$$L: G = (v, m), \quad (2)$$

где $v \in V$ – вершины графа (множество источников и получателей информации), $m \in M$ – его ребра (множество маршрутов между источниками и получателями сообщений).

Тогда формально задача оптимизации состоит в компланарном преобразовании графа (2) к виду с минимальным числом пересечений его ребер. Обычно такое преобразование сводится к выполнению трех операций над графом – параллельного переноса, поворота и инверсии. При этом все пересечения ребер графа определяются лишь взаимным положением и ориентацией его циклической части. Возникает задача определе-

ния циклической части графа, которая сводится к определению его простых циклов или цикломатической матрицы $C(G) = |c_{ij}|$, в которой для каждого простого цикла графа G есть строка и для каждого ребра – столбец, причем $c_{ij} = 1$, если i -й цикл содержит ребро u_{ij} и $c_{ij} = 0$ – в противном случае. Известные методы нахождения цикломатической матрицы графа основаны на соотношении $CB^T \equiv 0 \pmod{2}$, где B – матрица идентификации графа G , а T – знак транспонирования. Однако реализация этого соотношения требует трудоемких операций перемножения и обращения матриц. Проще использовать методы, основанные на построении базиса пространства циклов над двухэлементным полем $F_2 = \{1, 0\}$.

Известно, что простой цикл, образованный присоединением хорды графа к его остовому дереву, является элементом базиса пространства циклов [4]. Остовое дерево $T^*(G)$ – это подграф графа G , содержащий все его вершины и являющийся деревом. Хорда – ребро графа G , не принадлежащее $T^*(G)$. Предлагаемый алгоритм реализует второй класс методов и состоит из двух частей: а) построение остового дерева и определение размерности цикломатической матрицы (цикломатического числа графа $m(G)$); б) построение всех простых циклов и цикломатической матрицы.

Для построения остового дерева $T^*(G)$ выполним следующие операции:

Шаг 1. Каждой вершине $v \in V$ поставим в соответствие пометку (α_i, β_j) .

Шаг 2. Выберем произвольную вершину $v_0 \in V$, такую, что $\alpha_0 = \beta_0 = 0$, и изменим пометку на $(\alpha_0 = 1, \beta_0 = 0)$.

Шаг 3. У всех вершин $v_j \in V$, таких, что $\alpha_j = \beta_j = 0$ и существует $v_i \in V$, такая, что ребро $(v_i, v_j) \in V$ и $\alpha_i \neq 0$, изменим пометку на $(\alpha_j = \alpha_i + 1, \beta_j = \beta_i)$. Если для любого $v_k \in V$, $\alpha_k \neq 0$, то процесс построения остового дерева завершен, а само дерево определяется массивом $\{(\alpha_i, \beta_i)\}$, $v_i \in V$, и цикломатическое число $m(G) = |m| - |v| + 1$. Если же после очередного изменения пометок найдлись $v_j \in V$, такие, что $\alpha_j = \beta_j = 0$, но не нашлось $v_i \in V$ с $\alpha_i \neq 0$, таких, что ребро $(v_i, v_j) \in V$, то это означает, что граф G имеет, по крайней мере, две компоненты, и процедура повторяется со второго шага.

После завершения процедуры цикломатическое число $m(G) = |u| - |v| + k$, где k – число циклов.

Очевидно, что $\{(\alpha_i, \beta_i)\}$, $v_i \in V$ определяет остовое дерево $T^*(G)$. Действительно, все $v_i \in T^*(G)$, так как по построению $\{(\alpha_i, \beta_i)\}$, $\alpha_i \neq 0$, и для каждой вершины $v_i \in V$ в $T^*(G)$ есть ровно один предок β_i . Таким образом, $T^*(G) = (v, \{(v_i, \beta_i)\})$, а множество $X = \{(v_i, v_j)\} = V/\{(v_i, \beta_i)\}$ образует множество хорд графа мощностью $m(G)$. Выделение простого цикла – элемента базиса основано на следующем утверждении: если $m_l = (v_i, v_j)$ – хорда, то либо v_i прапредок v_j или v_j прапредок v_i , либо v_i и v_j имеют общего предка или прапредка. В первом случае базисный цикл образован простой цепью $(v_j, \beta_j, \beta_{\beta_j}, \dots, v_k)$ и хордой $(v_i, v_j) = m_l$, а во втором – простыми цепями $(v_j, \beta_j, \beta_{\beta_j}, \dots, v_k)$, $(v_i, \beta_i, \beta_{\beta_i}, \dots, v_k)$ и хордой $m_l = (v_i, v_j)$. По найденным базисным циклам заполняются строки цикломатической матрицы $C(G)$.

Оптимизация сети на информационном пространстве. Пусть в результате решения первой задачи определена топология маршрутов, обеспечивающая минимум точек их пересечения на промежуточных узлах рассматриваемой сети. Тогда без учета деструктивных воздействий на сеть время доставки k -го сообщения по m -му маршруту можно оценить по формуле:

$$T_k(m_k) = \sum_{i=1}^{N_k} [T_k^1(i) + T_k^2(i) + T_k^3(i) + T_k^4(i)], \quad (3)$$

где N_k – количество узлов связи, через которые проходит данное сообщение по маршруту от источника до получателя; $T_k^1(i)$ – время приема k -го сообщения на i -м узле; $T_k^2(i)$ – время обработки k -го сообщения на i -м узле; $T_k^3(i)$ – время коммутации k -го сообщения на i -м узле; $T_k^4(i)$ – время передачи k -го сообщения с i -го узла на соседний узел.

С учетом введенных типов деструктивных воздействий формула (3) преобразуется в формулу (4):

$$T_k^{(A,B,C,D)}(m_k) = \sum_{i=1}^{N_m} \left[\left(T_k^1(i) + p(A,i)T_k^1(A,i) \right) + \left(T_k^2(i) + p(B,i)T_k^2(B,i) \right) + \left(T_k^3(i) + p(C,i)T_k^3(C,i) \right) + \left(T_k^4(i) + p(D,i)T_k^4(D,i) \right) \right], \quad (4)$$

где $p(A,i), p(B,i), p(C,i), p(D,i)$ – вероятности реализации злоумышленниками и преступными элементами деструктивных воздействий типа A, B, C и D на i -м узле; $T_k^1(A,i), T_k^2(B,i), T_k^3(C,i), T_k^4(D,i)$ – периоды времени, потребные персоналу i -го узла на восстановление работоспособности оборудования после деструктивных воздействий соответствующего типа.

С учетом сказанного задача оптимизации структуры территориально распределенной инфокоммуникационной сети на информационном пространстве в условиях деструктивных воздействий сводится к поиску маршрутов, обеспечивающих минимальное время доставки сообщений от источника до получателя, или в формальном виде:

$$\forall_{k=1, K} \forall_{m_k=1, N_k} T_k^{(A,B,C,D)}(m_k) \rightarrow \min. \quad (5)$$

где m_k – маршрут доставки k -го сообщения от источника до получателя; K – общее количество сообщений; N_k – общее количество маршрутов, по которым k -е сообщение может быть передано от источника до получателя; A, B, C и D – план реализации злоумышленниками и преступными элементами деструктивных воздействий на сеть, заданный вероятностями $p(A,i), p(B,i), p(C,i), p(D,i)$.

Алгоритм решения общей задачи. Разработанный с учетом изложенных теоретических положений, обобщенный алгоритм оптимизации структуры территориально распределенной инфокоммуникационной сети в условиях деструктивных воздействий со стороны злоумышленников и преступных элементов приведен на рисунке.

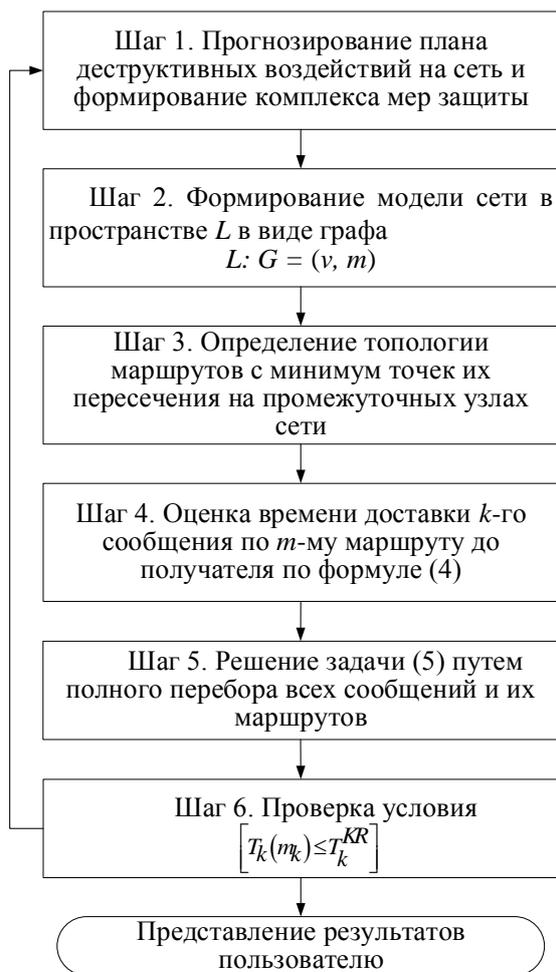


Рисунок. Алгоритм оптимизации структуры инфокоммуникационной сети в условиях деструктивных воздействий

Заключение. В статье поставлена и решена задача оптимизации структуры территориально распределенных инфокоммуникационных сетей в условиях деструктивных

воздействий со стороны злоумышленников и преступных элементов. Решение задачи предложено осуществлять путем введения двух взаимосвязанных пространств: топологического и информационного. В рамках первого пространства критерием оптимальности служит минимум точек пересечения маршрутов на промежуточных узлах, а в рамках второго пространства – своевременность доставки сообщений от источника до получателя. При этом учитываются следующие типы деструктивных воздействий на сеть: блокирующие прием сообщений; препятствующие обработке сообщений на узлах; нарушающие работу средств коммутации сообщений; препятствующие передаче сообщений между узлами связи.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Дёмин Б. Е. Методологические основы и модели обоснования проектов крупномасштабных информационно-коммуникационных систем / Б. Е. Дёмин. – Воронеж: «Научная книга», 2006. – 332 с.
2. Лазарев А. А. Теория расписаний. Оценки абсолютной погрешности и схема приближённого решения задач теории расписаний. Учебное пособие. (ИПУ РАН, МФТИ) / А. А. Лазарев. – М.: МФТИ, 2008. – 222 с.
3. Крон Г. Исследование сложных систем по частям – диакоптика / Г. Крон; Пер. с англ. – М.: Мир, 1972. – 450 с.
4. Кристофидес Н. Теория графов: алгоритмический подход / Н. Кристофидес; Пер. с англ. – М.: Мир, 1978. – 432 с.

OPTIMIZATION OF THE STRUCTURE OF GEOGRAPHICALLY DISTRIBUTED INFOCOMMUNICATION NETWORKS IN CONDITIONS OF DESTRUCTIVE INFLUENCES

© 2023. D. E. Orlova, K. A. Plushik

Voronezh Institute of the Federal Penitentiary Service of Russia (Voronezh, Russia)

The problem of optimizing the structure of geographically distributed infocommunication networks in conditions of destructive influences from intruders and criminal elements is solved. The criterion of optimality is the timely delivery of messages from the source to the recipient in the presence of destructive influences aimed at blocking the reception and transmission of messages, violation of the mechanisms of processing and switching messages on nodes.

Keywords: infocommunication network, optimization, route, message, destructive impact.

