Математическая модель структуры сети обмена данными геоинформационной системы для трех звеньев управления

Mathematic model of data exchange system structure of geo information system for three control links

Ефимов / Efimov V.
Вячеслав Викторович
(vve@loniis.ru)
кандидат технических наук, доцент.
Филиал ФГУП «Ленинградское отделение центрального научно-исследовательского института связи» (ЛО ЦНИИС),
и. о. директора.
г. Санкт-Петербург

Грязев / Gryazev A.
Андрей Николаевич
(agryazev@zniis.ru)
кандидат технических наук.
ФГУП ЦНИИС,
генеральный директор.
г. Москва

Лыжинкин / Lyzhinkin K.
Константин Владимирович
(lkv@loniis.ru)
Филиал ФГУП ЛО ЦНИИС,
начальник научно-технического центра.
г. Санкт-Петербург

Ясинский / Yasinsky S.
Сергей Александрович
(yasinsky777@mail.ru)
доктор технических наук, доцент.
Филиал ФГУП ЛО ЦНИИС,
научный консультант.
г. Санкт-Петербург

Ключевые слова: геоинформационная система – geo information system; система обмена данными – data exchange system; математическая модель для трех звеньев управления – mathematic model for three control links.

Представлена математическая модель структуры системы обмена данными устойчивой геоинформационной системы, учитывающая структурную связность для трех звеньев управления.

Mathematic model of data exchange system structure of geo information system for three control links is introduced considering structural connectivity for three control links.

В случае уже построенной транспортной составляющей телекоммуникационной системы (ТКС), постановка задачи сводится к ее анализу на предмет возможности формирования высокоустойчивой структуры системы обмена данными (СОД). В случае системного проектирования этой составляющей – задача сводится к синтезу структуры СОД. Но так как реальные транспортные сети не удовлетворяют требования по устойчивости структуры СОД при построении геоинформационных систем (ГИС), то настоящие результаты исследований представляются с позиции предъявления требований к структурной устойчивости транспортной составляющей ТКС со стороны СОД ГИС. Однако в настоящее время в основном все математические модели для синтеза структуры СОД не учитывают возможность их изначальной декомпозиции с позиций взаимодействия органов управления через одно звено управления. Следовательно, в работе уделено основное внимание на создание математической модели структуры СОД ГИС в рамках трех звеньев управления.

Для математического моделирования транспортной составляющей телекоммуникационной сети ГИС на физическом уровне эталонной модели взаимодействия открытых систем чаще всего используется многопродуктовый потоковый (*П*) граф [1, 2]:

$$G_П(A_П, B_П),\ A_П = \{a_i; i = \overline{1,N}\},\ B_П = \{b_{ij};\ i, j = \overline{1,N}\}, \quad (1)$$

где $A_П$ – множество вершин графа, которое называется узловой основой; $B_П$ – множество рёбер графа, которое называется линейной основой.

Пропускная способность u_{ij} ребра b_{ij} характеризуется суммой каналов передачи из дискретного ряда канальных ёмкостей (или пропускных способностей) с использованием типов систем передач из заданного перечня средств каналообразования, т. е. характеризуется линейным (*Л*) ресурсом сети [1]:

$$R_{Л}(B_{П}) = \left\{ r'_{л},\ л = \overline{1, Q_{П}} \right\}, \quad (2)$$

где каждое из средств $r'_{л}$ описывается канальной ёмкостью (или пропускной способностью) $u'_{л}$. Узловой ресурс (*У*) транспортной сети ТКС представим следующим образом [1]:

$$R_{У}(A_{П}) = \left\{ r'_{\nu},\ \nu = \overline{1, Q_{П}} \right\}, \quad (3)$$

где r'_{ν} – тип оборудования сетевого узла (станции) для передачи потоков информации.

На множестве $A_{П}$ определяются множество корреспондирующих пар сетевых узлов и станций (КПУ) между которыми формируются независимые пути (π) передачи информации [3]:

$$Z_{\pi} = \left\{ z_{\pi_k}, k = \overline{1, m_{\pi}} \right\}. \quad (4)$$

Выражение (4) представлено с учетом необходимости в дальнейшем формализации записи построения маршрутов (μ) обмена данными (ОД) в СОД.

Резервирование маршрутов ОД реализуется на основе их формирования по отношению к заданному значению требуемого (*тр.*) коэффициента связности (*св.*) $k_{св.тр.ОД}(z_{\mu_k})$ в рамках всей структуры СОД для каждой $z_{\mu_k} \in Z_{\mu}$ корреспондирующей пары сетевых элементов (КПСЭ) СОД, которые условно можно представлять в виде множества направлений обмена данными (НОД):

$$Z_{\mu} = \left\{ z_{\mu_k} = (a_{s_k}, a_{t_k}); k = \overline{1, m_{\mu}} \right\}, \quad (5)$$

где a_{s_k} и a_{s_t} – корреспондирующая пара сетевых элементы СОД, между которыми образуются НОД с порядковыми номерами *k*.

Для формализованного описания взаимосвязей между различными звеньями управления и в рамках каждого из трех звеньев управления, запишем требования к формированию ряда квадратных матриц (таблиц) для СОД:

$$Z_{\mu}^{(1)} = \left\{ z^{(1)}_{\mu_k},\ k = \overline{1, m_{\mu}^{(1)}} \right\} \quad (6)$$

– для подмножества маршрутов, проложенных в рамках ребер транспортной сети ТКС 1-го (высшего) звена управления;

$$Z_{\mu}^{(2)} = \left\{ z^{(2)}_{\mu_k},\ k = \overline{1, m_{\mu}^{(2)}} \right\} \quad (7)$$

– для подмножества маршрутов, проложенных в рамках ребер транспортной сети ТКС 2-го (промежуточного) звена управления;

$$Z_{\mu}^{(3)} = \left\{ z^{(3)}_{\mu_k},\ k = \overline{1, m_{\mu}^{(3)}} \right\} \quad (8)$$

– для подмножества маршрутов, проложенных в рамках ребер транспортной сети ТКС 3-го (периферийного) звена управления;

$$Z_{\mu}^{(1-2)} = \left\{ z^{(1-2)}_{\mu_k},\ k = \overline{1, m_{\mu}^{(1-2)}} \right\} \quad (9)$$

– для подмножества маршрутов, проложенных в рамках ребер транспортной сети ТКС между смежными 1-м (высшем) звеном и 2-м (промежуточным) звеном управления;

$$Z_{\mu}^{(2-3)} = \left\{ z^{(2-3)}_{\mu_k},\ k = \overline{1, m_{\mu}^{(2-3)}} \right\} \quad (10)$$

– для подмножества маршрутов, проложенных в рамках ребер транспортной сети ТКС между смежными 2-м (промежуточным) звеном и 3-м (периферийным) звеном управления;

$$Z_{\mu}^{(1-3)} = \left\{ z^{(1-3)}_{\mu_k},\ k = \overline{1, m_{\mu}^{(1-3)}} \right\} \quad (11)$$

– для подмножества маршрутов, проложенных в рамках ребер транспортной сети ТКС, учитывающих передачу информации через одно звено управления (между 1-м и 3-м), то есть через транзитное звено управления.

На расчетной (*р.*) структуре потоковой составляющей ТКС с учётом резервирования путей, т. е. когда $k_{св.р.П}(z_{\mu_k}) > 1$, для приведенных в соответствие порядковых номеров *k* будет справедливо следующее неравенство:

$$k_{св.р.П}(z_{\mu_k}) \geq k_{св.тр.ОД}(z_{\mu_k}). \quad (12)$$

В случае отсутствия резервирования путей передачи информации в транспортной сети ТКС, то есть когда $k_{св.р.П}(z_{\mu_k}) = 1$, эти коэффициенты связности в лучшем случае равны единице:

$$k_{св.р.П}(z_{\mu_k}) = k_{св.тр.ОД}(z_{\mu_k}) = 1. \quad (13)$$

Применительно к КПУ в рамках трех звеньев управления представим соответствующие им выражения для коэффициентов потоковой связности транспортной сети:

$$k^{(1)}_{св.р.П}(z^{(1)}_{\mu_k}) \geq k^{(1)}_{св.тр.П}(z^{(1)}_{\mu_k}),\ z^{(1)}_{\mu_k} \in Z_{\mu}^{(1)} \quad (14)$$

– для подмножества ребер сети 1-го (высшего) звена управления;

$$k^{(2)}_{св.р.П}(z^{(2)}_{\mu_k}) \geq k^{(2)}_{св.тр.П}(z^{(2)}_{\mu_k}),\ z^{(2)}_{\mu_k} \in Z_{\mu}^{(2)} \quad (15)$$

– для подмножества ребер сети 2-го (промежуточного) звена управления;

$$k^{(3)}_{св.р.п}(z^{(3)}_{\pi_k}) \geq k^{(3)}_{св.тр.п}(z^{(3)}_{\pi_k}),\ \ z^{(3)}_{\pi_k} \in Z_{\pi}^{(3)}\ ; \qquad (16)$$

– для подмножества ребер сети 3-го (периферийного) звена управления;

$$k^{(1-2)}_{св.р.п}(z^{(1-2)}_{\pi_k}) \geq k^{(1-2)}_{св.тр.п}(z^{(1-2)}_{\pi_k}),\ \ z^{(1-2)}_{\pi_k} \in Z_{\pi}^{(1-2)}; \qquad (17)$$

– для подмножества ребер сети между смежными 1-м (высшем) звеном и 2-м (промежуточным) звеном управления;

$$k^{(2-3)}_{св.р.п}(z^{(2-3)}_{\pi_k}) \geq k^{(2-3)}_{св.тр.п}(z^{(2-3)}_{\pi_k}),\ \ z^{(2-3)}_{\pi_k} \in Z_{\pi}^{(2-3)} \qquad (18)$$

– для подмножества ребер сети между смежными 2-м (промежуточным) звеном и 3-м (периферийным) звеном управления;

$$k^{(1-3)}_{св.р.п}(z^{(1-3)}_{\pi_k}) \geq k^{(1-3)}{}_{св.тр.п}(z^{(1-3)}_{\pi_k}),\ \ z^{(1-3)}_{\pi_k} \in Z_{\pi}^{(1-3)} \qquad (19)$$

– для подмножества ребер сети, учитывающую передачу информации через одно звено управления (между 1-м и 3-м).

По аналогии с (14),...,(19) представим соответствующие выражения коэффициентов связности для КПСЭ, то есть для НОД в рамках структуры СОД:

$$k^{(1)}_{св.р.од}(z^{(1)}_{\mu_k}) \geq k^{(1)}_{св.тр.од}(z^{(1)}_{\mu_k}),\ z^{(1)}_{\mu_k} \in Z_{\mu}^{(1)} \qquad (20)$$

– для подмножества ребер системы 1-го (высшего) звена управления;

$$k^{(2)}_{св.р.од}(z^{(2)}_{\mu_k}) \geq k^{(2)}_{св.тр.од}(z^{(2)}_{\mu_k}),\ z^{(2)}_{\mu_k} \in Z_{\mu}^{(2)} \qquad (21)$$

– для подмножества ребер системы 2-го (промежуточного) звена управления;

$$k^{(3)}_{св.р.од}(z^{(3)}_{\mu_k}) \geq k^{(3)}_{св.тр.од}(z^{(3)}_{\mu_k}),\ z^{(3)}_{\mu_k} \in Z_{\mu}^{(3)} \qquad (22)$$

– для подмножества ребер системы 3-го (периферийного) звена управления;

$$k^{(1-2)}_{св.р.од}(z^{(1-2)}_{\mu_k}) \geq k^{(1-2)}_{св.тр.од}(z^{(1-2)}_{\mu_k}),\ z^{(1-2)}_{\mu_k} \in Z_{\mu}^{(1-2)} \qquad (23)$$

– для подмножества ребер системы между смежными 1-м (высшем) звеном и 2-м (промежуточным) звеном управления;

$$k^{(2-3)}_{св.р.од}(z^{(2-3)}_{\mu_k}) \geq k^{(2-3)}_{св.тр.од}(z^{(2-3)}_{\mu_k}),\ z^{(2-3)}_{\mu_k} \in Z_{\mu}^{(2-3)} \qquad (24)$$

– для подмножества ребер системы между смежными 2-м (промежуточным) звеном и 3-м (периферийным) звеном управления;

$$k^{(1-3)}_{св.р.од}(z^{(1-3)}_{\mu_k}) \geq k^{(1-3)}_{св.тр.од}(z^{(1-3)}_{\mu_k}),\ z^{(1-3)}_{\mu_k} \in Z_{\mu}^{(1-3)} \qquad (25)$$

– для подмножества ребер системы, учитывающую передачу информации через одно звено управления (между 1-м и 3-м).

В совокупном соотношении между выражениями (14),..., (19) и выражениями (20),...,(25) представим требования к формированию устойчивой структуры СОД на основе соответствующих расчетных коэффициентов связности в рамках трех взаимодействующих по ОД звеньев управления:

$$k^{(1)}_{св.р.п}(z^{(1)}_{\mu_k}) \geq k^{(1)}_{св.р.од}(z^{(1)}_{\mu_k}) \geq k^{(1)}_{св.тр.од}(z^{(1)}_{\mu_k}) \qquad (26)$$

– для подмножества ребер сети и системы 1-го (высшего) звена управления;

$$k^{(2)}_{св.р.п}(z^{(2)}_{\mu_k}) \geq k^{(2)}_{св.р.од}(z^{(2)}_{\mu_k}) \geq k^{(2)}_{св.тр.од}(z^{(2)}_{\mu_k}) \qquad (27)$$

– для подмножества ребер сети и системы 2-го (промежуточного) звена управления;

$$k^{(3)}_{св.р.п}(z^{(3)}_{\mu_k}) \geq k^{(3)}_{св.р.од}(z^{(3)}_{\mu_k}) \geq k^{(3)}_{св.тр.од}(z^{(3)}_{\mu_k}) \qquad (28)$$

– для подмножества ребер сети и системы 3-го (периферийного) звена управления;

$$k^{(1-2)}_{св.р.п}(z^{(1-2)}_{\mu_k}) \geq k^{(1-2)}_{св.р.од}(z^{(1-2)}_{\mu_k}) \geq k^{(1-2)}_{св.тр.од}(z^{(1-2)}_{\mu_k}) \qquad (29)$$

– для подмножества ребер сети и системы между смежными 1-м (высшем) звеном и 2-м (промежуточным) звеном управления;

$$k^{(2-3)}_{св.р.п}(z^{(2-3)}_{\mu_k}) \geq k^{(2-3)}_{св.р.од}(z^{(2-3)}_{\mu_k}) \geq k^{(2-3)}_{св.тр.од}(z^{(2-3)}_{\mu_k}) \qquad (30)$$

– для подмножества ребер сети и системы между смежными 2-м (промежуточным) звеном и 3-м (периферийным) звеном управления;

$$k^{(1-3)}_{св.р.п}(z^{(1-3)}_{\mu_k}) \geq k^{(1-3)}_{св.р.од}(z^{(1-3)}_{\mu_k}) \geq k^{(1-3)}_{св.тр.од}(z^{(1-3)}_{\mu_k}) \qquad (31)$$

– для подмнжества ребер сети и системы, учитывающих передачу информации через одно звено управления (между 1-м и 3-м), то есть через транзитное звено управления.

Реализация коэффициентов связности для $z_{\mu_k} \in Z_{\mu}$ и $z_{\mu_k} \in Z_{\mu}$ может быть произведена любым заранее обоснованным известным алгоритмом поиска кратчайших путей между двумя вершинами графа путем многократного использования процедуры поиска и составления соответствующих матриц путей и маршрутов.

С учетом необходимости минимизации потери времени при ОД в устойчивых СОД ГИС целесообразно использовать постоянные виртуальные каналы (*PVC*) передачи данных. Такой канал ОД представляет собой постоянное соединение между двумя устройствами и позволяет начинать передачу данных по сети без необходимости сначала устанавливать соединение между устройствами, работая длительное время без пере-

рывов. Следовательно, матрицы маршрутов должны максимально совпадать с матрицами путей, а число путей в матрицах N_π должно быть равно или больше чем число требуемых маршрутов N_μ, то есть должно выполняться условие принадлежности для каждой из $z_{\pi_k} \in Z_\pi$ и $z_{\mu_k} \in Z_\mu$:

$$N_\mu \subseteq N_\pi. \tag{32}$$

На основе полученных матриц маршрутов ОД производится суперпозиция маршрутов и составление узловой и линейной основ для СОД, которые можно представить в виде графа

$$G_{ОД}(A_{ОД}, B_{ОД}),\ A_{ОД} = \left\{a_i; i = \overline{1, N_{ОД}}\right\},$$
$$B_{ОД} = \left\{b_{ij};\ i, j = \overline{1, N_{ОД}}\right\}, \tag{33}$$

структурно принадлежащему потоковому графу (1):

$$G_{ОД}(A_{ОД}, B_{ОД}) \subseteq G_П(A_П, B_П). \tag{34}$$

Таким образом, полученная графовая модель структуры системы обмена данными устойчивой геоинформационной системы учитывает структурную связность не только в рамках каждого из звеньев управления и с нижестоящим звеном управления, но и через одно звено управления, что позволяет в результате такой декомпозиции повысить точность математического моделирования при разработке методик синтеза СОД и транспортной составляющей ТКС.

Литература

1. Ясинский, С. А. Унифицированные математические модели для анализа и синтеза элементов телекоммуникационных сетей / С.А. Ясинский. – СПб.: Военный университет связи, 2003. – 184 с.

2. Формализованная постановка задачи синтеза потокотопологической структуры магистральной транспортной сети телекоммуникационной системы специального назначения / А.И. Осадчий [и др.] // Информация и Космос. – 2013. – № 3. – С. 11–16.

3. Графовая модель структуры транспортной сети геоинформационной системы специального назначения для трех звеньв управления при обмене данными / А.Н. Грязев [и др.] // Информация и Космос. – 2016. – № 3. – С. 40–42.