

УПРАВЛЕНИЕ ПОТОКАМИ ИНФОРМАЦИИ В ЛОКАЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОЙ СЕТИ ГИБКОГО АВТОМАТИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

А. М. Коленченко, Е. Н. Коленченко

В статье на основе аналитической модели сети, описываемой разностными стохастическими уравнениями состояния, указаны пути реализации динамических методов управления сетью: оптимального динамического управления распределением потоков информации по локальной сети, управления объемом входных потоков информации и управления топологией сети, что свидетельствует об универсальности данной модели и возможности построения на ее основе алгоритмов оптимального динамического управления третьего (сетевое) уровня по стандарту OSI.

Ключевые слова: локальная сеть, аналитическая модель сети, оптимальное динамическое управление, потоки информации, маршрутизация, топология сети, алгоритм.

CONTROL OF DATA FLOW IN THE LOCAL INDUSTRIAL NET OF FLEXIBLE AUTOMATIC PRODUCTION

A. M. Kolenchenko, E. N. Kolenchenko

In this article we have specified methods of network controlling realization on the basis of the analytical model of a network, which is described with the help of different stochastic state equations. Ways of implementation of dynamic methods of network management are shown. Those methods are: optimal dynamic controlling of data flows distribution in local network, the controlling of volume of entering data flows (management of access to a network) and management of network topology. All this testifies to the universality of given model and to the possibility of developing the algorithm of optimal dynamic management of the third (network) level according to the OSI standard on this basis.

Keywords: local network, analytical network model, optimal dynamic management, data flows, routing, network topology, algorithm.

В условиях гибкого автоматического производства (ГАП) реализуются безлюдные технологии, требующие автоматического поддержания заданного качества изготавливаемой продукции. Для недопущения снижения качества изготавливаемой продукции в ГАП реализуется непрерывный технический контроль качества выпускаемой продукции. Очевидно, что текущее отслеживание выполнения требуемых параметров работы автоматического оборудования, сделанных наладок и настроек требует передачи по локальной промышленной сети значительных объемов информации, поступающих в сеть от датчиков

автоматического оборудования и от вычислительных средств, управляющих процессом. Время реакции исполнительных органов автоматического оборудования, отвечающего за выполнение технических требований к выпускаемой продукции, зависит от времени и надежности передачи основной и служебной информации по локальной сети. Это, в свою очередь, зависит от эффективности реализованных на сети алгоритмов управления потоками информации.

Объектами управления в локальной промышленной сети являются ЭВМ (как в локальной вычислительной сети), а также локальные системы управления

(например, гибкие автоматизированные модули, станки с ЧПУ, роботизированные комплексы, автоматизированные транспортные системы), специализированные датчики информации и др. Для реализации технологических процессов и процессов управления потоками информации используется программное обеспечение управляющих ЭВМ (серверов), микроЭВМ, процессорных устройств оборудования с ЧПУ и др. Объекты сети (используя терминологию из теории информации, будем называть их узлами) соединены между собой с помощью передаточной среды (витой пары, коаксиального или оптоволоконного кабеля, которые будем называть линиями связи или ветвями).

Динамические методы управления третьего (сетевое) уровня по стандарту OSI «Эталонная модель соединения открытых систем» делятся на три группы, реализующие:

- управление объемом входных потоков информации, поступающих в сеть (управление доступом);
- управление распределением потоков информации, находящихся в сети (управление маршрутизацией информации, находящейся в сети);
- управление топологией (структурой) сети.

Данные методы обеспечивают функционирование сети в заданном режиме с соблюдением необходимых качественных требований при минимальных материальных затратах.

В [1, с. 115–118] разработана аналитическая модель локальной вычислительной сети, на основе которой решена задача реализации оптимального динамического управления распределением потоков информации, находящихся в сети. Покажем, что построенная модель является универсальной и позволяет, в частности, учесть управление объемом поступающей в сеть информации и топологией сети.

Пусть $G = \{I, J\}$ – связанный граф, описывающий допустимую топологию сети, где I – множество узлов, J – допу-

стимое множество ветвей (линий связи, соединяющих два узла). Множество J строится допустимым, чтобы исключить петли и эффект пинг-понга в путях передачи информации. Здесь и далее под допустимой топологией сети понимается такая топология, в которой путем ограничения использования ряда ветвей (исключения их и состоящих из них путей передачи информации) обеспечивается отсутствие петель и эффекта пинг-понга во всех остальных путях передачи информации. Обозначим $M_{p,q}(m)$ – множество путей без петель из узла $p \in I$ в узел $q \in I$ «длины» m , $m = 1, 2, \dots$ (под длиной пути понимается число ветвей, содержащихся в этом пути) графа $\{I, J\}$. Существуют стандартные алгоритмы построения этого множества. Обозначим через $a_{p,q}(m)$, $m = 1, 2, \dots$ множество ветвей, образующее множество путей $M_{p,q}(m)$. Предположим, что

$$A_{p,q}(k) = \bigcup_{m=1}^k a_{p,q}(m), \text{ где } k - \text{максимально}$$

допустимая длина пути. Множество

$$D_{p,q}(i) = \{j : ij \in A_{p,q}(k)\} \text{ и множество}$$

$$D_{p,q}^{-1}(i) = \{j : ji \in A_{p,q}(k)\} \text{ содержат номера}$$

узлов, принадлежащие допустимым путям, в которые, соответственно, возможна передача информации типа p, q из узла $i \in I$ и из которых возможен прием информации типа p, q в узел $i \in I$. Эти множества не содержат сочетаний индексов $p = q, i = j, j = p, i = q$. Множества $B_{ij} = \{p, q : ij \in A_{p,q}(k), p, q \in I\}$ и $B_{ji} = \{p, q : ji \in A_{p,q}(k), p, q \in I\}$ содержат номера пар узлов p, q сети, между которыми возможна передача информации с использованием ветви ij и ji соответственно.

Пусть на графе $G = \{I, J\}$ сети в моменты времени $\{t_n\}$, $n = 0, 1, \dots$, $(t_{n+1} - t_n = \tau \text{ для } \forall n)$ заданы уравнения движения информации в сети (предполагается, что время распространения сигналов в каналах связи и время обработки сообщений в вычислительных

устройствах сети в сумме не превосходят величины τ):

$$\begin{cases} x_i^{p,q}(n+1) = \\ = \left[x_i^{p,q}(n) + \sum_{k \in D_{p,q}^{-1}(i)} u_{ki}^{p,q}(n) - \sum_{k \in D_{p,q}(i)} u_{ik}^{p,q}(n) \right]^+ + \\ + \delta(p-i)Q_{i,q}(n+1), \\ x_q^{p,q}(n+1) \equiv 0, \quad n = 0, 1, \dots, \end{cases} \quad (1)$$

с начальными условиями $\{x_i^{p,q}(0)\}$ и ограничениями:

$$\begin{aligned} \sum_{p,q \in B_{ij}} u_{ij}^{p,q}(n) + \sum_{p,q \in B_{ji}} u_{ji}^{p,q}(n) &\leq C_{ij}; \\ u_{ij}^{p,q}(n) &\geq 0; \quad n = 0, 1, 2, \dots; \quad i, p, q \in I. \end{aligned}$$

Здесь $u_{ij}(n) = \{u_{ij}^{p,q}(n) : p, q \in I\}$ – система управлений ветвью $ij \in J$ в момент времени n ; C_{ij} – пропускная способность ветви $ij \in J$; $\delta(\cdot)$ – символ Кронекера.

Для сетей с ограниченными объемами буферных накопителей должны быть введены дополнительные ограничения:

$$x_i^{p,q}(n) \leq R_i \quad \text{для } \forall \quad n = 0, 1, 2, \dots,$$

где R_i – объем буферного накопителя i -го узла.

Отсутствие в правой части уравнения состояния системы (1) величины $\lambda_{p,q}$ связано с тем, что скорость вывода информации из сети считается равной бесконечности (т. е. $\lambda_{p,q} = \infty$). Очевидно, что исключение из данного уравнения величины $\lambda_{p,q}$ с необходимостью приводит к записи в системе (1) равенства типа тождество $x_q^{p,q} \equiv 0$.

Необходимо найти последовательность управлений $u_{ij}(n) = \{u_{ij}^{p,q}(n) : p, q \in I\}$, $n = 0, 1, 2, \dots$, такую, чтобы время задержки информации, поступившей в сеть в момент времени n , было минимальным. В [2] на данной модели решена задача синтеза оптимальных управлений распределением потоков информации в сети.

Данная модель, наряду с управлением потоками, находящимися в сети, позволяет также учесть управление входными потоками, например, изоритмический метод управления, аналогичный применяемой в промышленной сети ДН-485 маркерной процедуре управления доступом в сеть.

Действительно, пусть N – общий пул «разрешений», циркулирующих в сети. Если компоненту входного потока $Q_{i,q}(n+1)$, находящуюся в правой части уравнения баланса, умножить на величину $1 \left(N_i(n) - \sum_{p,q \in I} x_i^{p,q}(n) \right)$,

где $N_i(n) = N_i((n), Y_i(n)) + M_i$ – пул «разрешений» в i -м центре сети в момент времени n , сформированный под действием служебной информации $Y_i(n)$ (M_i – постоянная составляющая пула «разрешений» в i -м центре сети, в более общем случае некоторая случайная величина), причем всегда $\sum_{i \in I} N_i(n) = N$

для $\forall n = 0, 1, 2, \dots$, то данное уравнение баланса наряду с учетом управления распределением потоков информации по сети учитывает также управление объемом поступающей информации (через управление пулом «разрешений»):

$$\begin{aligned} x_i^{p,q}(n+1) &= \\ &= \left[x_i^{p,q}(n) + \sum_{k \in D_{p,q}^{-1}(i)} u_{ki}^{p,q}(n) - \sum_{k \in D_{p,q}(i)} u_{ik}^{p,q}(n) \right]^+ + \\ &+ \delta(p-i) \cdot 1 \left(N_i(n) - \sum_{p,q \in I} x_i^{p,q}(n) \right) \times Q_{i,q}(n+1), \\ &i, p, q \in I. \end{aligned}$$

Если на каждом узле сети пул «разрешений» закреплен, то величина $\sum_{i \in I} N_i((n), Y_i(n)) = 0$, а общий пул «разрешений» равен $N = \sum_{i \in I} M_i$.

Покажем, как на данной модели сети может быть реализовано управление

ние топологией сети, служащее для перераспределения имеющегося ресурса каналов сети в соответствии с поступившими требованиями на обслуживание. Управление топологией сети применяется при возникновении аварийных ситуаций, приводящих к появлению отдельных изолированных локальных систем управления или целых групп данных объектов, а также в случае введения в строй новых или отключения существующих объектов управления.

Так как управление изменением топологии сети должно учитывать сравнительно «медленные» изменения в нагрузочных характеристиках сети, то естественно динамику входного потока описывать как динамику появления (в случайные моменты времени) групп требований случайного объема. В одну группу требований входят требования, поступившие в интервале времени, меньшем некоторого числа (величина этого числа здесь не существенна). При этом моменты появления групп требований трактуются как моменты появления скачка в соответствующем марковском процессе, а величина скачка – как число каналов, требуемых для обслуживания данной группы.

Пусть $Q_{p,q}(n)$ – число групп требований типа p,q (т. е. требований на установление путей передачи информации из узла-источника $p \in I$ до узла-приемника $q \in I$), поступивших в сеть в момент времени n . Пусть также C – общее число каналов, которые могут быть использованы во всех ветвях сети (общий ресурс сети). Механизм распределения каналов в данном случае не детализируется (например, это может быть кроссирование отдельных каналов).

Обозначим $v_{ij} = \{v_{ij}^{p,q} : p,q \in I\}$, $ij \in J$ – систему каналов (множество управлений на сети), необходимых для обслуживания множества требований $\{Q_{p,q}(n), p,q \in I\}$, каждая компонента которой $v_{ij}^{p,q} = v_{ij}^{p,q}(n, Y_i(n))$ – часть общего ресур-

са сети, отводимая в момент времени n для обслуживания требований на установление путей передачи информации из активного узла-источника $p \in I$ в узел назначения $q \in I$ по ветви $ij \in J$ под действием служебной информации $Y_i(n)$, находящейся в данный момент времени в узле $i \in I$. Функции $v_{ij}^{p,q}(n, Y_i(n))$ таковы, что

$$v_{ij}^{p,q} \geq 0, \quad \sum_{ij \in J} \left(\sum_{p,q \in B_{ij}} v_{ij}^{p,q} + \sum_{p,q \in B_{ji}} v_{ji}^{p,q} \right) \leq C, \\ ij \in J, \quad p, q \in I.$$

Обозначим через $x_i^{p,q}(n)$ – число каналов в ветвях, исходящих из узла $i \in I$, которые в момент времени n предназначены для передачи информации из узла $p \in I$ в узел $q \in I$. Очевидно, что разностное стохастическое уравнение состояния сети для случая управления топологией сети будет иметь вид, аналогичный (1):

$$x_i^{p,q}(n+1) = \\ = \left[x_i^{p,q}(n) + \sum_{k \in D_{p,q}^{-1}(i)} v_{ki}^{p,q}(n) - \sum_{k \in D_{p,q}(i)} v_{ik}^{p,q}(n) \right]^+ + \\ + \delta(p-i)Q_{i,q}(n+1), \quad i, p, q \in I.$$

Здесь $\sum_{k \in D_{p,q}^{-1}(i)} v_{ki}^{p,q}(n)$ – количество каналов в ветви $ki \in J$, которые в момент времени n из соседних узлов k выделяются в направлении узла i сети на организацию связей для передачи информации типа p,q под действием служебной информации $Y_k(n)$, находящейся в узле k сети; $\sum_{k \in D_{p,q}(i)} v_{ik}^{p,q}(n)$ – количество каналов в ветви $ik \in J$, которые в момент времени n из узла i выделяются в направлении узла k сети для передачи информации типа p,q под действием служебной информации $Y_i(n)$.

Таким образом, показано, как на основе модели сети, описываемой раз-

ностными стохастическими уравнениями состояния, можно учесть не только управление входными потоками и потоками, находящимися в сети, но и управление перераспределением каналов ветвей, что является частным случаем управления топологией сети.

Универсальность данной модели доказывает возможность реализации с ее помощью алгоритмов оптимального

динамического управления входными потоками, сетевыми потоками [1] и топологией сети. В последующем с помощью модели сети, описанной в данной работе, авторы ставят задачу разработки алгоритма оптимального динамического управления топологией сети, являющегося, по сути, алгоритмом синтеза оптимальной топологии сети на каждом шаге дискретного времени n .

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Коленченко, А. М.** Алгоритм оптимального динамического управления распределением потоков информации в нестационарной сети / А. М. Коленченко, Е. Н. Коленченко // Организационные, философские и технические проблемы современных машиностроительных производств : материалы IV научно-практической конференции. – Рузаевка, 2005. – С.115–118.

2. **Коленченко, А. М.** Реализация алгоритма оптимального динамического управления нестационарной сетью / А. М. Коленченко, Е. Н. Коленченко // Организационные, философские и технические проблемы современных машиностроительных производств: материалы IV научно-практической конференции. – Рузаевка, 2005. – С. 122–127.

Поступила 21.11.2013 г.

Об авторах:

Коленченко Александр Михайлович, кандидат технических наук, доцент кафедры общетехнических дисциплин Рузаевского института машиностроения (филиал) ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет имени Н. П. Огарева» (г. Рузаевка, Россия), kamrim1953@yandex.ru

Коленченко Елена Николаевна, старший преподаватель кафедры общеобразовательных и профессиональных дисциплин филиала Самарского государственного университета путей сообщений в г. Рузаевке (г. Рузаевка, Россия), e_kolenchenko@mail.ru

Для цитирования: Коленченко, А. М. Управление потоками информации в локальной промышленной сети гибкого автоматического производства / А. М. Коленченко, Е. Н. Коленченко // Вестник Мордовского университета. – 2014. – № 1. – С. 165–170.

REFERENCES

1. Kolenchenko A. M., Kolenchenko E. N. Algorithm optimal'nogo dinamicheskogo upravleniya raspredeleniem potokov informatsii v nestatsionarnoi seti [Algorithm of optimal dynamic control of flows distribution of information in a non-stationary network]. *Materialy IV nauchno-practicheskoy konferentsii «Organizatsionnye, filosofskie i tekhnicheskie problemy sovremennykh mashinostroitel'nykh proizvodstv»* – Materials of IV academic conference “Organizational, philosophical and technical problems of modern machine building enterprises”. Ruzaevka, 2005, pp. 115 – 118.

2. Kolenchenko A. M., Kolenchenko E. N. Realizatsiya algoritma optimal'nogo dinamicheskogo upravleniya nestatsionarnoi set'yu. [Realization of algorithm of optimal dynamic control of a non-stationary network]. *Materialy IV nauchno-practicheskoy konferentsii «Organizatsionnye, filosofskie i tekhnicheskie problemy sovremennykh mashinostroitel'nykh proizvodstv»* – Materials of IV scientific conference “Organizational, philosophical and technical problems of modern machine building enterprises”. Ruzaevka, 2005, pp. 122 – 127.

About the authors:

Kolenchenko Aleksandr Mihailovich, Associate Professor (docent) of General Technical Disciplines chair of Machine Building Institute (Ruzayevka campus), Ogarev Mordovia State University (Ruzaevka, Russia), Kandidat Nauk (PhD) degree holder in Technical sciences, kamrim1953@rumbler.ru

Kolenchenko Elena Nikolaevna, senior lecturer of General Educational and Professional Disciplines chair of Samara State Transport University (Ruzaevka campus) (Ruzaevka, Russia), e_kolenchenko@mail.ru

For citation: Kolenchenko A. M., Kolenchenko E. N. Upravlenie potokami informacii v lokal'noj promyshlennoj seti gibkogo avtomaticheskogo proizvodstva [The Controlling Of Data Flow In The Local Industrial Net Of Flexible Automatic Production]. *Vestnik Mordovskogo Universiteta – Mordovia University Bulletin*. 2014, no. 1, pp. 165 – 170.