

УДК 004.725.4

А.Р. АРУТЮНЯН, Т.В. ЗАВАДСКАЯ, Р.В. ВАЛЬЧУК, А.В. МЕРКУЛОВ

Донецкий национальный технический университет, Украина

МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ КОМАНДНО-ИНФОРМАЦИОННОЙ СЕТИ

В статье предложена методика построения модели командно-информационной сети для сбора информации о протекании технологического процесса. Методика позволяет построить модель сети с заданной конфигурацией и очередностью поллинга узлов, для обеспечения необходимой надежности и достоверности получаемой информации. В статье рассматривается проблема моделирования процесса возникновения и сбора информации о протекании технологического процесса. Используя полученную модель можно определить загрузку узла, число повторных опросов, необходимых для более эффективной работы сети, а также эффективный порядок и скорость опросов отдельных узлов.

Ключевые слова: поллинг, узел, сеть, передача, прием, бит, дальность, скорость, надежность.

Введение

Сбор технологической информации о производственном процессе подразумевает специально организованное, систематическое наблюдение за состоянием объектов, явлений, процессов с целью их оценки, контроля и прогноза [1].

Системы контроля протекания технологического процесса (СКПП) необходимы для повышения эффективности производства, увеличения выпуска готовой продукции, уменьшения расходов сырья. Они являются сложными многокомпонентными системами, что делает целесообразным применение методов математического моделирования при их проектировании и эксплуатации. Системы контроля протекания технологического процесса могут значительно отличаться по своей архитектуре и применяемым аппаратным и программным средствам. Представляется возможным предложить следующую классификацию СКПП по признакам, важным для построения их моделей [2]:

1. По топологии СКПП:

- один объект мониторинга, для обмена информацией, с которым используется монополюсный канал связи;
- сеть, состоящая из объектов мониторинга, узлов ретрансляции и нескольких каналов связи, используемых монополюсно;
- несколько объектов мониторинга, для обмена информацией, с которыми используется общий канал связи;
- сеть, состоящая из объектов мониторинга, узлов ретрансляции и нескольких общих каналов связи.

2. По методу доступа к общему каналу:

- обход станций сервером (поллинг);
- случайный множественный доступ (СМД);
- комбинация поллинга и СМД.

3. По типу применяемых устройств мониторинга:

- с буфером памяти для организации очереди сообщений;
- без буфера памяти, с передачей текущих значений параметров.

1. Построение математической модели

В статье рассматривается проблема моделирования процесса возникновения и сбора информации о протекании технологического процесса, для решения которой используется теория массового обслуживания (ТМО). Эта задача особенно актуальна в случае территориально распределенных систем с низкоскоростными каналами и большим количеством станций мониторинга, что характерно для большинства промышленных предприятий.

Для моделирования простейшего случая – локальной СКПП одного объекта с буфером памяти – целесообразно применять методы и модели классической ТМО вида $M/M/1$, $M/D/1$ или $M/G/1$ [3].

В случае, когда СКПП имеет топологию сеть, но не используется разделение каналов, могут быть использованы модели сетей массового обслуживания (СеМО), например, сети Джексона или более сложные [2, 4, 5].

Наиболее часто в СКПП для передачи сообщений от множества периферийных узлов к цен-

тральному серверу используется общий разделяемый канал. Доступ к нему может осуществляться с помощью алгоритмов СМД или поллинга. В литературе достаточно широко изучены модели, когда доступ к каналу осуществляется только по одному из вариантов, а периферийные устройства могут организовывать очередь сообщений (например, в [6,7]).

Однако еще не предложено адекватных моделей для систем поллинга для случая устройств без буфера памяти, возникающая при использовании протокола Modbus или подобного [2].

Представляется возможным, базируясь на подходах, изложенных в работах [2, 7, 8], предложить следующее решение этой проблемы. Рассмотрим СКПП, использующую поллинг для сбора данных с устройств без буфера памяти. Есть конечное число d станций, посещаемых сервером в соответствии с матрицей маршрутизации $P = \|p_{ij}\|, i, j = 1, \dots, d$, где p_{ij} – вероятность перехода на станцию j после станции i ; v_{ij} – время перехода. Состояние каждой станции j описывается вектором

$$\bar{S}_j(t) = (s_j^1(t), \dots, s_j^n(t)).$$

Основной задачей СКПП является регистрация изменений векторов состояний объектов. Для передачи $\bar{S}_j(t)$ требуется время

$$T_j = c^{-1} \sum l_j^i, \quad (1)$$

где l_j^i – размер s_j^i ; c – скорость передачи данных [2].

Найдем вектор $\pi^{(n)}$, описывающий стационарное распределение состояний цепи $\{w_n\}$, где w_n – номер опрашиваемой станции после n -го перехода по матрице P (после n -го опроса узла). Для вычисления стационарного распределения воспользуемся рекуррентным соотношением

$$\pi^{(n)} = \pi^{(n-1)}P, \quad (2)$$

где $\pi^{(n)} = (\pi_1^{(n)}, \dots, \pi_d^{(n)})$ – распределение на n -ом шаге; $\pi^{(n-1)} = (\pi_1^{(n-1)}, \dots, \pi_d^{(n-1)})$ – распределение после $n-1$ -го перехода. Это приводит к системе из d рекуррентных соотношений

$$\pi_j^{(n)} = \sum_{i=1}^d \pi_i^{(n-1)} p_{ij} \quad (3)$$

Обозначим $\pi^{(n)}$, где $n \rightarrow \infty$ как π .

Рассмотрим среднее количество переходов между посещениями станции j как ξ_j .

Обозначим $f_j^{(n)}$ – вероятность возвращения в вершину j через n шагов.

Среднее количество переходов можно определить как

$$\xi_j = \sum_{n=1}^{\infty} f_j^{(n)} n \quad (4)$$

В исходя из работы [3] $\xi_j = \pi_j^{-1}$.

Найдем средний интервал между посещениями станции j $\tau_j = E[t_j^n - t_j^{n-1}]$.

Найдем время $\tau_{\text{пер}}^{(n+1)}$, необходимое для перехода системы из состояния $\pi^{(n)}$ в состояние $\pi^{(n+1)}$:

$$\tau_{\text{пер}}^{(n+1)} = \sum_{i=1}^d \left(\pi_i^{(n)} \sum_{j=1}^d (p_{ij} v_{ij}) \right). \quad (5)$$

Найдем время $\tau_{\text{обсл}}^{(n+1)}$, необходимое для обслуживания станции в состоянии $\pi^{(n+1)}$:

$$\tau_{\text{обсл}}^{(n+1)} = \sum_{i=1}^d \pi_i^{(n+1)} T_i. \quad (6)$$

Полное время работы со станцией:

$$\tau^{(n+1)} = \tau_{\text{обсл}}^{(n+1)} + \tau_{\text{пер}}^{(n+1)}. \quad (7)$$

2. Методика построения математической модели

При проектировании поллинговых систем в большинстве случаев необходимо по заданным параметрам получить вероятностную матрицу маршрутизации

$$P = \|p_{ij}\|, i, j = 1, \dots, d \quad [1].$$

Следовательно, актуальной задачей является не только моделирование систем поллингового опроса, но и методы построения моделей, и соответственно, системы с заданными параметрами.

Пусть задан вектор $\Pi = (\pi_i)$, необходимо построить $P = \|p_{ij}\|, i, j = 1, \dots, d$ такую, чтобы

$$\pi_j = \sum_{i=1}^d \pi_i p_{ij}. \quad (8)$$

Как видно (8) представляет собой систему из d уравнений и в общем случае решается, например, методом Гаусса. Вся сложность поиска решения заключается в том, что для каждого значения матрицы маршрутизации задается множество допустимых значений.

Исходя из этого, для заданного вектора $\Pi = (\pi_i)$, может не существовать решения. Один из способов решения данной проблемы является поиск вектора $\Pi^P = (\pi_i^P)$ такого, что среднеквадратичное отклонение

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{d+1} \sum_i^d (\pi_i - \pi_i^p)^2} \quad (9)$$

минимально.

Дополним сформулированную задачу. Пусть задан вектор $\Pi = (\pi_i)$, необходимо построить

$P = \|p_{ij}\|, i, j = 1, \dots, d$ такую, чтобы

$$\pi_j = \sum_{i=1}^d \pi_i p_{ij} \quad (8),$$

для $p_{ij} \in H_{ij} = \|h_{ij}^k\|, k = 1..|H_{ij}|$, где $RH_{ij} = \|H_{ij}\|$,

$i, j = 1..d$ множество допустимых значений вероятностной матрицы маршрутизации.

Так как матрица RH_{ij} определяет множество порядков или алгоритмов опроса поллинговой системы, то на первом этапе необходима оптимизация матрицы множеств, для исключения заведомо ложных решений.

Для поиска вектора $\Pi^p = (\pi_i^p)$ построим граф $G(V, E)$, состоящий из подграфов $G_{ij}(V, E)$.

Подграф имеет исток v_{ij}^0 и сток v_{ij}^k , где $k = |H_{ij}| + 1$, количество вершин подграфа равно

$$V = |H_{ij}| + 2.$$

Ребра ориентированы от истока к вершинам

$$v_{ij}^k, k = 1..|H_{ij}|,$$

вес ребер

$$(v_{ij}^0, v_{ij}^k) = 1$$

и от вершин

$$v_{ij}^k, k = 1..|H_{ij}|$$

к стоку, вес ребер

$$(v_{ij}^k, v_{ij}^{|H_{ij}|+1}) = h_{ij}^k.$$

Подграфы $G_{ij}(V, E)$ топологически отсортированы в графе $G(V, E)$. Далее используем поиск в глубину описанный в [9].

Применение этого способа обусловлено тем, что на каждом шаге меняется только одно значение p_{ij} , что позволяет уменьшить ресурсоемкость вычислений критерия (9).

Выводы

В статье предложена модель систем поллинга для случайных устройств без буфера памяти, возникающая при использовании протокола Modbus или подобного.

Используя полученную модель можно определить загрузку узла, число повторных опросов, необходимых для более эффективной работы сети, а также эффективный порядок и скорость опросов отдельных узлов.

Литература

1. Костюков, В.Н. Мониторинг безопасности производства [Текст] / В.Н. Костюков. – М.: Машиностроение, 2002. – 224 с.
2. Охотников, Е.С. Системы мониторинга технологических процессов нефтегазодобывающих предприятий: классификация и математическое моделирование [Электронный ресурс] / Е.С. Охотников. – Режим доступа к ресурсу: http://www.ogbus.ru/authors/Okhotnikov/Okhotnikov_1.pdf. – 23.02.2012 г.
3. Клейнрок, Л. Теория массового обслуживания [Текст]: пер. с англ. / И.И. Грушко; ред. В.И. Нейман. – М.: Машиностроение, 1979. – 432 с.
4. Башарин, Г.П. Анализ очередей в вычислительных сетях: Теория и методы расчета [Текст] / Г.П. Башарин, П.П. Бочаров, А.Я. Коган. – М.: Наука, 1989. – 334 с.
5. Ивницкий, В.А. Разработка аналитической теории сетей массового обслуживания [Текст]: дис. ... д-ра физ.-мат. наук: 05.13.17/ Ивницкий, Виктор Аронович. – М.: РГБ, 2003. – 434 с.
6. Боровков, А.А. Эргодичность и устойчивость случайных процессов [Текст] / А.А. Боровков. – М.: Эдиториал УРСС, 1999. – 440 с.
7. Шварц, М. Сети ЭВМ. Анализ и проектирование [Текст] / М. Шварц. – М.: Радио и связь, 1997. – 336 с.
8. Фосс, С.Г. Теоремы сравнения и эргодические свойства систем поллинга [Текст] / С.Г. Фосс, Н.И. Чернова // Проблемы передачи информации. – 1996. – Т. 32, № 4. – С. 46 – 72.
9. Кормен, Т.Х. Алгоритмы: построение и анализ [Текст] / Т.Х. Кормен, Ч.И. Лейзерсон, Р.Л. Ривест, К. Штайн. – М.: Вильямс, 2011. – 1296 с.
10. Ватутин, В.А. Системы поллинга и многотипные ветвящиеся процессы в случайной среде с финальным продуктом [Текст] / В.А. Ватутин // ТВП. – 2010. – № 55:4. – С. 644 – 679.

Поступила в редакцию 12.03.2012

Рецензент: д-р техн. наук, проф. А.А. Мельник, Национальный университет «Львовская политехника», Львов, Украина.

МЕТОДИКА ПОБУДОВИ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ КОМАНДНО-ІНФОРМАЦІЙНОЇ МЕРЕЖІ

А.Р. Арутюнян, Т.В. Завадська, Р.В. Вальчук, А.В. Меркулов

У статті запропонована методика побудови моделі командно-інформаційної мережі для збору інформації про протікання технологічного процесу. Методика дозволяє побудувати модель мережі із заданою конфігурацією мережі та черговістю поллінгу вузлів, для забезпечення необхідної надійності та достовірності одержуваної інформації. У статті розглядається проблема моделювання процесу виникнення та збору інформації про протікання технологічного процесу. Використовуючи отриману модель можна визначити завантаження вузла, число повторних опитувань, необхідних для більш ефективної роботи мережі, а також ефективний порядок та швидкість опитувань окремих вузлів.

Ключові слова: поллінг, вузол, мережа, передача, прийом, біт, дальність, швидкість, надійність.

FORMATION METHOD OF MATHEMATICAL MODEL COMMAND-INFORMATION NETWORK

A.R. Arutyunyan, T.V. Zavadskaya, R.V. Valchuk, A.V. Merkulov

In this article the formation method of mathematical model command-information network for gathering of the technological process information is offered. This formation method allows to construct model with the set configuration of network and sequence polling nodes, for a given reliability and information received accuracy. The paper considers the problem of modeling the process and gather information on the flow of the process. Using this model we can determine the download site, the number of repeated surveys required for more efficient operation of the network, as well as an effective procedure and speed surveys of individual sites.

Key words: polling, node, network, send, receive, bit, range, speed, reliability.

Арутюнян Арсен Рафаелович – асистент кафедри комп'ютерної інженерії Донецького національного технічного університета, Донецьк, Україна.

Завадская Татьяна Владимировна – асистент кафедри комп'ютерної інженерії Донецького національного технічного університета, Донецьк, Україна.

Вальчук Роман Валерьевич – аспірант кафедри штучного інтелекту інституту штучного інтелекту Донецького національного технічного університета, Донецьк, Україна.

Меркулов Андрей Владимирович – магістрант Донецького національного технічного університета, Донецьк, Україна.