
**АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ
В МАШИНОСТРОЕНИИ**

УДК 355.358.1

**МОДЕЛЬ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ ПО ЭЛЕМЕНТАМ
АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СВЯЗИ**© 2023 г. А. М. Попов^{1,*}, В. И. Филатов²¹*Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, Москва, Россия*²*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия***e-mail: aproximandra@mail.ru*

Поступила в редакцию 10.01.2023 г.

После доработки 01.02.2023 г.

Принята к публикации 20.02.2023 г.

В статье рассматривается модель передачи информации по элементам автоматизированной системы управления связи на основе сети Петри, которая позволяет динамически контролировать и управлять состоянием системы связи с учетом заданных временных ограничений и возможных внешних воздействий. Представлен общий описательный подход к составлению модели без учета конкретных внешних воздействий. Рассматривается три возможных состояния системы связи с учетом возможных негативных возмущающих воздействий.

Ключевые слова: сеть Петри, конечный автомат, ограниченное время, негативные воздействия, управление состоянием

DOI: 10.31857/S0235711923030148, EDN: PQRZOA

Математическая модель передачи информации по элементам автоматизированной системы управления (АСУ) связи предназначена для определения состояния каждого канала и узла на заданный момент времени. При этом функционирование и применение АСУ связи в условиях различных мешающих воздействий включает следующие основные этапы прохождения информации: обмен и передача данных внутри сети; передача информации о состоянии сети в АСУ; контроль выполнения операций, корректирующих функционирование сети.

При моделировании процесса функционирования системы передачи данных в условиях различных мешающих воздействий целесообразно в качестве основных выделить следующие состояния ее элементов (рис. 1): z_0 — исходное (каналы и узлы готовы к передаче данных); z_1 — функционирование (обработка полученной управляющей информации); z_2 — каналы и узлы не функционируют.

Переход каналов и узлов из состояния z_0 в состояние z_1 происходит при получении управляющей информации, в состояние z_2 — при критических воздействиях на главные узлы и каналы сети. Получить аналитические выражения для определения вероятностей нахождения АСУ в заданные моменты времени в том или ином состоянии достаточно трудно, так как ее текущее состояние будет зависеть и от текущего состояния остальных элементов системы. Для описания смены состояний узлов и каналов целесообразно применять статистическое моделирование [1, 3, 4].

При помощи статистической модели моделируется функционирование каждого отдельного узла и канала в заданные моменты времени. Время моделирования состояний узлов и каналов определяется механизмом продвижения модельного времени.

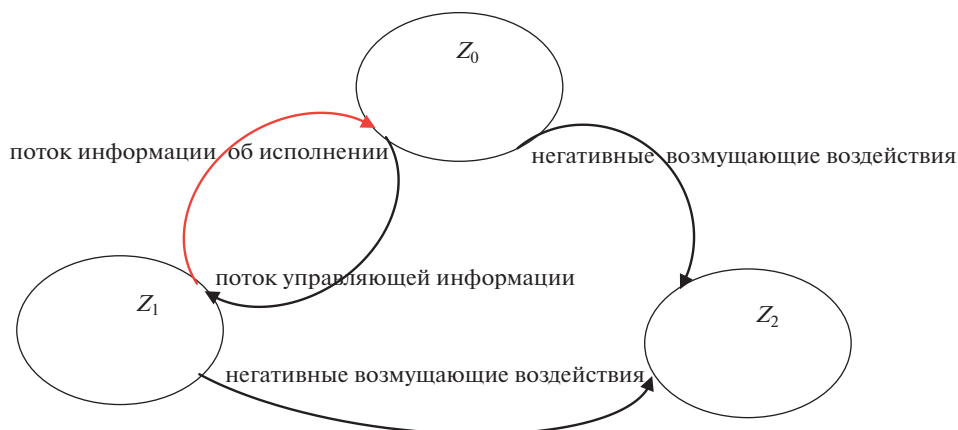


Рис. 1. Граф состояний системы передачи данных, передаваемых на АСУ.

Для моделирования процесса функционирования АСУ связи важно знать состояние каждого узла и канала на момент получения ими управляющей информации. В этой связи переход к очередному моменту модельного времени происходит по времени передачи управляющей информации между узлами по каналам. При этом последующее состояние узлов однозначно определяется состоянием, в котором они находились ранее. Это условие позволяет считать АСУ связи динамической системой, которую можно представить в виде конечного автомата [2]. Изменение состояний конечного автомата происходит в соответствии с модельным временем, которое меняется в зависимости от времени передачи управляющей информации. Одновременно информация может передаваться нескольким узлам и по различным каналам связи. Для описания конечного автомата, в котором смена состояний может осуществляться параллельно несколькими путями, целесообразно использовать математический аппарат сетей Петри [1]. Сети Петри предназначены для описания систем, компонентам которых присущи совмещенность или параллелизм.

Сеть Петри представляется в виде четверки [2]

$$C = (P, T, I, O),$$

где $P = (p_1, p_2, \dots, p_i, \dots, p_n)$ – конечное множество позиций, $i = 1 \dots n$, $n \geq 0$; $T = (t_1, t_2, \dots, t_j, \dots, t_m)$ – конечное множество переходов, $j = 1 \dots m$, $m \geq 0$; $I: P \rightarrow T$ – входная функция, которая определяет входные позиции для перехода; $O: T \rightarrow P$ – выходная функция, которая определяет выходные позиции для перехода.

В сетях Петри для описания состояний конечного автомата используется понятие “фишка”. Перемещаясь по позициям, фишка меняет состояние конечного автомата [5, 7].

С использованием аппарата сетей Петри АСУ связи можно представить в формализованном виде следующим образом: позиции P – узлы и каналы сети: $n = 1 \dots Kol^{KY}$, где Kol^{KY} – общее количество каналов (K) и узлов (Y); переходы T – управляющие узлы сети: $m = 1 \dots \sum_{i=1}^{Kol^{KY}} Kol_i^{YU}$, где Kol_i^{YU} – количество комплектов аппаратуры управления, размещенной на i -м пункте управления; входная функция I – определяет каналы связи, по которым управляющая информация передается от узлов на другие элементы сети; выходная функция O – определяет каналы связи, по которым на АСУ

поступает управляющая информация; фишка (маркер) – управляющая сетью информация (сигналы).

Процесс передачи управляющей информации по элементам системы в сети Петри моделируется перемещением фишек по позициям – выполнение сети. Перемещаясь по позициям, фишки изменяют маркировку μ_k , где $\mu_k = (\mu_1(k), \mu_2(k), \dots, \mu_i(k), \dots, \mu_n(k))$ – вектор, определяющий для каждой позиции количество фишек в ней.

Выполнение сети Петри осуществляется посредством запуска переходов. Переход может запускаться только в том случае, когда он разрешен. Переход называется разрешенным, если каждая из его позиций имеет число фишек, равное числу дуг из позиции в переход [1]

$$\mu_i(k) \geq (p_i, I(t_i)), \quad (1)$$

где $(p_i, I(t_i))$ – кратность входной позиции p_i для перехода t_i , определяемая как число появлений позиции во входном комплекте перехода.

При запуске переход удаляет все разрешающие фишки из его входных позиций с последующим помещением в каждую из его выходных позиций по одной фишке для каждой дуги, образуя тем самым новую маркировку сети Петри [6].

Отметим, что все позиции сети Петри, описывающие элементы системы связи, являются входными сразу для нескольких переходов (допускается, что основные узлы имеют несколько различных управляющих каналов, например, радио и проводной). Наличие фишки в этих позициях разрешает запуск всех ее выходных переходов. Данные переходы будут находиться в конфликте. По правилам выполнения сети Петри можно запустить только один переход, который удалит фишку из общего входа и запретит запуск других переходов [5, 6]. Анализ реального процесса передачи управляющей информации в системе связи показывает, что вполне возможна ситуация, при которой полученная управляющая информация передается по всем имеющимся каналам на основных узлах. Для разрешения конфликта переходов при моделировании процесса передачи управляющей информации в позициях, являющихся входом сразу для нескольких переходов, фишка тиражируется по числу переходов позиции. Выполнение сети Петри осуществляется до тех пор, пока есть хотя бы один разрешенный переход.

Для учета динамики процесса передачи управляющей информации по каналам сети переходы нагружаются временем срабатывания t_j^{cp} [6, 7]. Разрешенный переход перемещает фишки во входные позиции с временем задержки, равным времени их срабатывания t_j^{cp} .

Тогда порядок запуска одновременно разрешенных переходов определяется временем их срабатывания. Первым запускается переход с наименьшим временем срабатывания. Значение модельного времени увеличивается на время запуска перехода. Время срабатывания остальных разрешенных переходов уменьшается на время срабатывания запущенного перехода. После запуска разрешенного перехода/переходов определяется новая маркировка. Процесс выполнения сети Петри повторяется с учетом изменения времени срабатывания разрешенных переходов. Сеть Петри выполняется, пока есть хотя бы один разрешенный переход.

При отсутствии разрешенных переходов сеть Петри считается выполненной. Маркировка выполненной сети Петри считается конечной маркировкой [7]. Конечная маркировка сети Петри определяет состояния элементов АСУ связи, до которых управляющие сигналы были или не были доведены, а также те узлы и каналы, которые перестали функционировать по тем или иным причинам. Время срабатывания соответствующего перехода, переместившего фишку в позицию, определяет время получения управляющей информации соответствующим узлам сети.

Изменение модельного времени по времени срабатывания разрешенных переходов в сети Петри позволяет описать процесс передачи информации по АСУ связи и представить его в виде процесса с дискретным временем. Дискретизация процесса передачи информации по АСУ связи дает возможность уточнять состояние каждого узла и канала при изменении модельного времени. Это позволяет моделировать процессы воздействий на АСУ. Для этого необходимо разработать модель негативных воздействий на узлы и каналы. При этом модель негативных воздействий должна учитывать характеристики воздействующих факторов и их продолжительность, чтобы оценить состояние АСУ в требуемые моменты времени.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Питерсон Дж.* Теория сетей Петри и моделирование систем. М.: Наука, 1984. 263 с.
2. *Кельтон В., Лоу А.* Имитационное моделирование. Классика CS. 3-е изд. СПб.: Издательская группа BHV, 2004. 847 с.
3. *Karp T., Fliege N.J.* Modified DFT Filter Banks with Perfect Reconstruction // IEEE Transactions on Circuits and Systems-II: Analog and Digital Signal Processing. 1999. V. 46 (11). P. 1404. <https://doi.org/10.1109/82.803480>
4. *Aldairi A., Tawalbeh L.* Cyber security attacks on smart cities and associated mobile technologies // Procedia Comput. Sci. 2017. V. 109. P. 1086.
5. *Osadchy S.I., Zozulya V.A., Ladanyuk A.P.* Optimal Robust Control of a Robots Group // Aut. Control Comp. Sci. 2019. V. 53. P. 298.
6. *Vasil'ev Y.S., Zegzhda D.P., Poltavtseva M.A.* Problems of security in digital production and its resistance to cyber threats // Autom. Control Comput. Sci. 2018. V. 52. № 8. P. 1090.
7. *Попов А.М., Филатов В.И., Жулего В.А., Бонч-Бруевич А.М.* Метод адаптивного управления устойчивым состоянием автоматизированной системы управления в условиях ограничения времени управляющего воздействия // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2022. № 6. С. 97.