

С. Ю. Страхов¹, А. А. Карасев²

¹ БГТУ «Военмех» им. Д. Ф. Устинова, ² АО «Научно-производственное предприятие «Радар ммс»

ПРИМЕНЕНИЕ СЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

Рассматривается вопрос применимости методологии построения диагностического обеспечения с использованием сетевых формальных моделей для процесса функционального тестирования радиоэлектронной аппаратуры в составе сложных технических систем. Применение методов системного анализа позволяет провести декомпозицию функционирующих совместно подсистем и выявить базовые акты взаимодействия между контрольно-проверочной аппаратурой и объектом диагностирования. Для формализованного описания таких актов возможно применить математический аппарат сетей Петри и определить причинно-следственные связи процессов, функционирующих в диагностируемой сложной системе. Исследование свойств сетевых моделей, таких как безопасность и достижимость конечных состояний, позволяет перейти к разработке алгоритмов диагностирования исследуемого объекта контроля. В работе приводится подход к формированию формализованного описания базовых актов взаимодействия между системой диагностики и объектом контроля.

Ключевые слова: диагностика, автоматизированный испытательный комплекс, сети Петри, алгоритм диагностирования

Введение

При разработке и изготовлении сложных технических систем возникает задача диагностирования технической исправности таких объектов. Для ее решения с объектом исследования необходимо провести цикл испытательных работ, в том числе функциональные проверки, во время которых определяется соответствие получаемых характеристик и свойств объекта требованиям, заложенным в технической документации [1].

Для современных сложных технических систем характерно применение информационных технологий, облегчающих взаимодействие между оператором и объектом. К таким технологиям можно отнести системы управления базами данных, операционные системы реального времени, системы поддержки принятия решений, основанные на алгоритмах машинного обучения.

Функциональные испытания рассматриваемых систем не должны проводиться в пошаговом режиме, так как процессы в объекте контроля по своей продолжительности могут варьироваться в широких пределах: от долей секунд до часов и, возможно, суток. Это, в свою очередь, означает, что функциональный контроль подобных операций также может вестись непрерывно в течение продолжительного времени. Однако подтверждение

технической исправности сложной технической системы и исследование ее свойств не могут вестись бесконечно долго вследствие ограниченного ресурса такой аппаратуры и характеристик ее надежности. При этом возникает противоречие: с одной стороны, для проведения полного исследования необходимо затрачивать ресурсы сложной системы, задействовать расчет операторов и т.д., а с другой стороны, операция функциональных испытаний проводится у изготовителя сложной системы, как правило, во время приемо-сдаточных испытаний, выполнение которых ограничено по времени производственным графиком.

Разрешить данное противоречие возможно за счет применения автоматизированных испытательных комплексов, в которых выполняются оптимальные циклограммы испытаний с использованием специальных проблемно-ориентированных языков программирования. Благодаря внедрению автоматического контроля исправности объекта диагностирования минимизируется время, затрачиваемое на проведение работ. Создание таких циклограмм является отдельной научной задачей, и в данной работе будет показано, как на ранних этапах проектирования сложной технической системы (эскизного проекта или аванпроекта) можно рассмотреть причинно-следственные связи при взаимодействии

диагностической системы и объекта контроля с помощью формальных сетевых моделей, построенных на математическом аппарате сетей Петри [2, 3].

Диагностика сложного технического объекта

На рис. 1 представлена схема взаимодействия между объектом контроля и автоматизированным испытательным комплексом, который является ядром диагностической системы управления сложного технического объекта.

Представленный комплекс обеспечивает электрический интерфейс с объектом по различным видам связей – последовательный интерфейс связи (в качестве примера – мультиплексный канал обмена по ГОСТ 52070 [4]), выдача релейных команд, прием квитанций об исполнении команд, обмен по Fast Ethernet и др.

В работе [5] приведены основные операции, выполняемые в ходе процедуры диагностирования. В обобщенном виде их можно представить следующим образом:

- выдача адресной команды управления;
- съём и оценка контрольной информации с датчиков;
- контроль информации, поступающей по последовательным интерфейсам от цифровых вычислительных машин объекта контроля (ЦВМ ОК);
- запись массивов данных либо программ в ОЗУ ЦВМ ОК;
- запуск программ в ЦВМ ОК.

Рассмотрим сетевую формализацию для решения задачи моделирования процесса диагностики сложного технического объекта на примере операции управления ЦВМ по командам из АИК, поступающим по МКО.

Обмен информацией между ЦВМ и АИК наступает не только по инициативе ЦВМ, но также возможен по запросу от АИК. В этом случае АИК организует аппаратный запрос прерывания в ЦВМ, а он, в свою очередь, реализует обмен по заданному информационному протоколу обмена.

На рис. 2 представлена сетевая макро модель функционирования такого обмена в диагностическом программном обеспечении.

Макросеть является одной из разновидностей сети Петри. В данном случае структура сети задается составом позиций и переходов, которые образовал двудольный направленный граф.

Формально макро-Е-сеть определяется множеством:

$$MEN = (P, T, K, S),$$

где $P = (p, r, Q)$ – конечное непустое множество позиций; p – обыкновенная позиция, r – решающая

позиция, Q – макропозиция; T – конечное непустое множество переходов; K – множество дуг, связывающих между собой множества позиций и переходов; S – множество функциональных правил.

Для разъяснения семантики графа в табл. 1 приведен состав позиций, а в табл. 2 – состав переходов графа.

При организации обмена по МКО между АИК и ЦВМ требуется формировать запрос прерывания. Необходимость этого обусловлена тем, что в качестве контроллера канала МКО выступает ЦВМ.

Этой логике соответствует срабатывание переходов t_1 и t_2 . Метки переходят соответственно в позиции p_4, p_5 . Решающая позиция r_1 перехода t_3 определяет дальнейший алгоритм обмена по магистрали. Срабатывание перехода t_3 определяет только одну

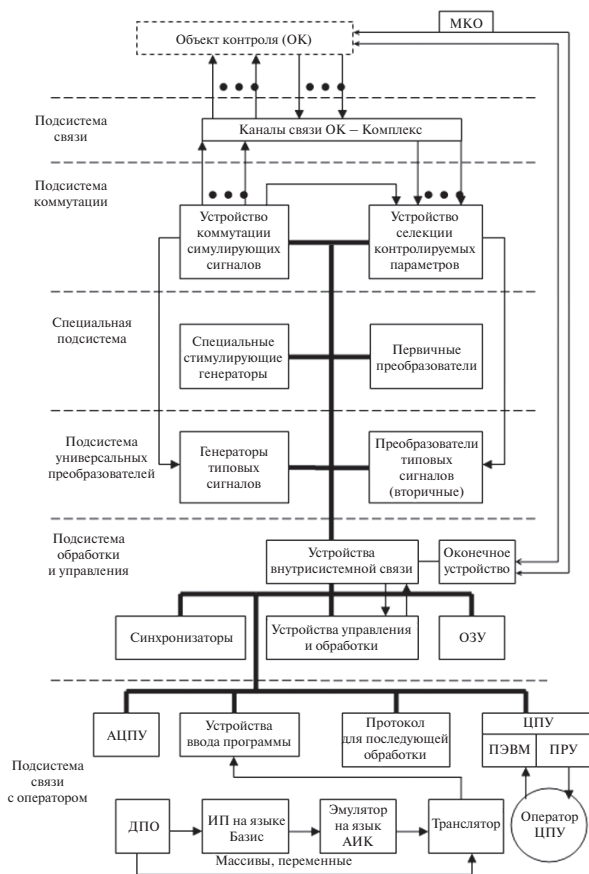


Рисунок 1. Структурная схема взаимодействия в диагностической системе: ОК – объект контроля; МКО – мультиплексный канал обмена; ОЗУ – оперативное запоминающее устройство; ЦПУ – центральный пульт управления; АЦПУ – алфавитно-цифровое печатающее устройство; ПЭВМ – персональная электронно-вычислительная машина; ПРУ – пульт ручного управления; ДПО – диагностическое программное обеспечение; ИП – испытательная программа; АИК – автоматизированный испытательный комплекс

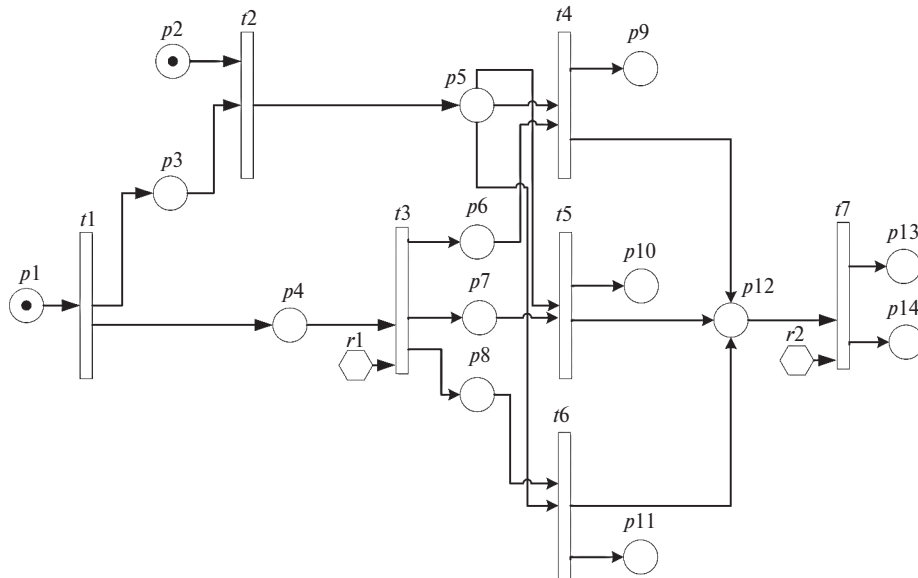


Рисунок 2. Сеть, реализующая обмен информацией между цифровыми вычислительными машинами и автоматизированным испытательным комплексом по инициативе последнего

Таблица 1. Позиции, определяющие двудольный направленный граф

Обозначение позиции	Функциональное назначение
p_1	Начало исполнения процедуры обмена с ЦВМ
p_2	ЦВМ готов к приему запроса прерывания (ЗПр)
p_3	Сигнал ЗПр готов
p_4	Сформирована задача обмена
p_5	ЗПр обработан ЦВМ, готовность к обмену по МКО с АИК
p_6	Сформированы данные для записи в ОЗУ ЦВМ
p_7	Сформированы данные для съема данных из ОЗУ ЦВМ
p_8	Сформированы данные для запуска программы ЦВМ
p_9, p_{10}, p_{11}	Обмен ЦВМ с АИК завершен
p_{12}	Сформирован код безошибочного обмена
p_{13}	Переход алгоритма АИК при оценке «НОРМА»
p_{14}	Переход алгоритма АИК при оценке «НЕНОРМА»
r_1	Решающая позиция, которая определяет выбор алгоритма обмена с ЦВМ
r_2	Решающая позиция, определяющая выбор продолжения исполнения программы в зависимости от результата обмена

метку на одной из позиций p_6, p_7 или p_8 . В зависимости от наличия меток на входе, срабатывает один из переходов t_4, t_5 или t_6 , при этом результирующая метка поступает в одну из позиций p_9, p_{10} или p_{11} . Метка в позиции p_{12} означает, что обмен завершился и сформирован признак результата обмена в АИК. Решающая позиция r_2 перехода t_7 , в зависимости от успешности обмена, определяет перемещение метки в одну из позиций – p_{13} или p_{14} , что соответствует «НОРМЕ» и «НЕНОРМЕ» соответственно.

Аналогичным образом, анализируя операции взаимодействия в диагностической системе, можно построить макросети для остальных обозначенных в данной работе операций.

Выводы

Достоинством формальных сетевых моделей является возможность построения сложных иерархических структур, заменяя базовые сети, как было рассмотрено выше, на макропозиции. Такой подход

Таблица 2. Переходы, определяющие двудольный направленный граф

Обозначение перехода	Функциональное назначение
t_1	Формируются исходные данные для выдачи ЗПр
t_2	ЗПр выдан в ЦВМ
t_3	Проведение подготовительных операций перед обменом с ЦВМ
t_4	Реализация обмена по МКО для задачи записи данных в ОЗУ ЦВМ из АИК
t_5	Реализация обмена по МКО для считывания данных из ОЗУ ЦВМ в АИК
t_6	Реализация обмена по МКО для запуска программы в ЦВМ
t_7	Оценка кода возвращаемого значения из интерфейсной платы и формирование оценки результата обмена

позволяет анализировать операции диагностики технических объектов и синтезировать алгоритмы диагностирования различной иерархической вложенности.

На этапе первоначального анализа процессов диагностики сложного технического объекта по сетевым формальным моделям необходимо выявить наличие тупиков, закликивания, конфликтов

за ресурсы, достижимости конечного состояния, которые можно обнаружить, прослеживая динамику изменения разметки в сети.

Проведение такого анализа позволит сделать вывод о безопасности сети (отсутствии роста меток в позициях) и, соответственно, выявить проблемные места при проектировании диагностирующей системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов Ю. П., Никитин В. Г., Чернов В. Ю. Контроль и диагностика измерительно-вычислительных комплексов. СПб.: СПб ГУАП, 2004. 98 с.
2. Котов В. Е. Сети Петри. М.: Наука, 1984. 160 с.
3. Питерсен Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем. М.: Мир, 1984. 264 с.
4. ГОСТ Р 52070–2003. Интерфейс магистральный последовательный системы электронных модулей. Общие требования. М.: ИПК Издательство стандартов, 2003. 27 с.
5. Страхов С. Ю., Карасев А. А., Сотникова Н. В. Формализация и построение сетевой модели испытаний радиоэлектронной бортовой аппаратуры космического аппарата с помощью сетей Петри // Вопросы радиоэлектроники. 2018. № 7. С. 51–58.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Страхов Сергей Юрьевич, д.т.н., доцент, профессор кафедры «Лазерная техника», Балтийский государственный технический университет «Военмех» им. Д. Ф. Устинова, Российская Федерация, 190005, Санкт-Петербург, ул. 1-я Красноармейская, д. 1, тел.: 8 (911) 216-76-86, e-mail: strakhov_s@mail.ru.

Карасев Александр Александрович, ведущий инженер-программист, АО «Научно-производственное предприятие «Радар ммс», Российская Федерация, 197375, Санкт-Петербург, ул. Новосельковская, д. 37, лит. А, тел.: 8 (921) 655-71-50, e-mail: posrv@yandex.ru.

For citation: Strakhov S. Yu., Karasev A. A. Network models as a solution for complex technical product's diagnosing problems solving. Voprosy radioelektroniki, 2019, no. 2, pp. 38–42. DOI 10.21778/2218-5453-2019-2-38-42

S. Yu. Strakhov, A. A. Karasev

NETWORK MODELS AS A SOLUTION FOR COMPLEX TECHNICAL PRODUCT'S DIAGNOSING PROBLEMS SOLVING

Authors explore issue of applicability of the methodology of building diagnostic software using network formal models in the functional testing of electronic equipment as part of complex technical systems. Using methods of system analysis allows to perform a decomposition of interdependent subsystems and to reveal basic acts of interaction between the control-verification equipment and the object of diagnosis. Mathematical apparatus of Petri nets should be employed for the formalized description of such acts and determined the cause-and-effect relations in the diagnosed complex system's processes. Network models properties studying (such as safety and accomplishment of the final positions) allows us to move to the test object's algorithm's developing. The article presents an approach of a formalized description for basic acts of interaction between the diagnosis system and the object.

Keywords: diagnosing, automated test system, Petri nets, diagnostic algorithm

REFERENCES

1. Ivanov Yu. P., Nikitin V. G., Chernov V. Yu. *Kontrol i diagnostika izmeritelno-vychislitelnykh kompleksov* [Monitoring and diagnostics of measuring and computing complexes]. St. Petersburg, GUAP Publ., 2004, 98 p. (In Russian).
2. Kotov V. E. *Seti Petri* [Petri nets]. Moscow, Nauka Publ., 1984, 160 p. (In Russian).
3. Peterson J. L. *Petri net theory and the modeling of systems*. Prentice Hall, 1981, 290 p.
4. GOST R52070–2003. *Bus serial interface of electronic modules system. General requirements*. Moscow, Izdatelstvo standartov Publ., 2003, 27 p. (In Russian).
5. Strakhov S. Yu., Karasev A. A., Sotnikova N. V. Formalization and the construction of a network model of testing of the electronic onboard equipment of the spacecraft with the help of petri nets. *Voprosy radioelektroniki*, 2018, no. 7, pp. 51–58. (In Russian).

AUTHORS

Strakhov Sergey, D. Sc., associate professor, professor of the Laser engineering chair, Ustinov Baltic State Technical University «VOENMEH», 1, 1st Krasnoarmejskaja St., Saint-Petersburg, 190005, Russian Federation, tel.: +7 (911) 216-76-86, e-mail: strakhov_s@mail.ru.

Karasev Alexander, lead software engineer, «NPP «Radar mms» JSC, 37A, Novoselkovskaya St., Saint-Petersburg, 197375, Russian Federation, tel.: +7 (921) 655-71-50, e-mail: posrv@yandex.ru.