

Владимир Качальский
Новосибирский Электротехнический Институт

ПРОГНОЗИРУЮЩАЯ МОДЕЛЬ СОСТОЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Резюме. В докладе представлено описание состояния технического оборудования при помощи графа. Состояния соответствуют здесь вершинам графа. Переход между состояниями (ребро графа) имеет определённую вероятность. На этом основании определяются вероятности состояний, в которых может находиться оборудование.

Построение математической модели, которая позволяет прогнозировать будущее состояние технологического оборудования, является задачей идентификации. На основе априорной информации об объекте и цели моделирования решается задача структурной идентификации для системы Θ , представляющей собой сложную автоматическую роторную линию. Для целей повышения качества модели алгоритмически предусмотрена возможность влияния на процесс моделирования в диалоговом режиме.

Исследуемую систему Θ можно с некоторыми ограничениями и допущениями описать марковским процессом. Отметим следующие особенности функционирования системы:

1) возможно состояние системы, в котором она сохраняет работоспособность при наличии некоторых неисправностей. Например, выход из строя нескольких нагревателей пресс-форм. Данное состояние не возможно смоделировать марковским процессом;

2) возможно возникновение нескольких неисправностей одновременно (или почти одновременно). Такое состояние в принципе можно смоделировать.

Для того чтобы обойти вторую из указанных трудностей при моделировании необходимо ввести состояние, которое было бы переходным от одной неисправности к другой.

Пусть исследуемая система может одновременно находиться в одном из трёх состояний:

состояние — исправно, общее для всех других возможных состояний;

состояние — неисправно, i — й ремонт; $i \in \{1, 2, \dots, n\}$, где n — число возможных неисправностей системы;

состояние — настройка. Состояние существующее, но для моделирования условное. Вводится для перехода из некоторых или всех возможных неисправностей в другие неисправности.

Если допустить, что случаи работ системы с частично неисправным обо-

рудованием довольно и не принимать их в расчёт, то процесс функционирования системы можно представить как переход из одного состояния в другое и математически описать конечным ориентированным графом.

Пользуясь принятой терминологией, будем считать множество V , определяющее все возможные состояния системы, вершинами графа состояний. Тогда множество E , отражающее все возможные переходы из одного состояния в другое, будет содержать в качестве элементов ребра графа G . Отображение множества E на $V \& V$ является отображением инцидентности графа и отражает связи в графе состояний V , где $V \& V$ неупорядоченное произведение множества V само на себя

$$G = \Phi : E \rightarrow V \& V$$

Так как число возможных состояний V и число возможных переходов за фиксированный промежуток времени конечно, то и граф G конечен.

Декомпозицию графа G на множество подграфов G_j ; $j = 1, 2, \dots, k$ можно провести в зависимости от k возможных вариантов переходов на графе состояний G . Рассмотрим эти возможные варианты.

Вариант I. Подграф G_1 описывает возможные переходы из вершины V_0 , которая соответствует состоянию "исправно" к вершинам V_i ; $i = 1, 2, \dots, e$, соответствующим е состояниям "неисправно". Так как переход может осуществляться от вершин V_0 и V_i и от V_i к V_0 , то G_1 образует сильно связанный подграф с независимыми вершинами V_i ; $i \in \{1, 2, \dots, e\}$. Число e независимых вершин V_i определяется числом состояний "неисправно", из которых существует только один путь к V_0

$$L_1 = (V_0, V_i, V_0)$$

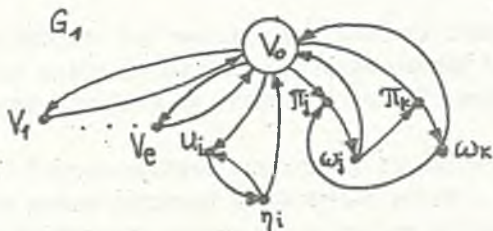


Рис. I. Подграф для I варианта
Ryc. 1. Podgraf dla I... wariantu

Вариант II. Подграф G_2 описывает возможные переходы из вершины V_0 - исправно в состояние U_i ; $i = 1, 2, \dots, m$ - неисправно, затем переход в состояние η_i ; $i = 1, 2, \dots, m$ - настройка. Из состояния η_i возможны переходы как в состояние V_0 , так и в состояние U_i .

Данный граф образует контур (V_0, U_i, η_i, V_0) . Введение состояния η_i в данном подграфе позволяет стратить возможные, последовательно возникшие

виде, неисправности одного и того же типа $U_i; i \in \{1, m\}$.

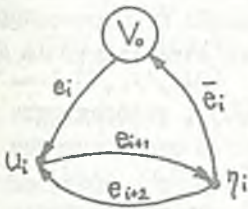


Рис.2. Подграф варианта II.
Rys.2. Podgraf dla II wariantu.

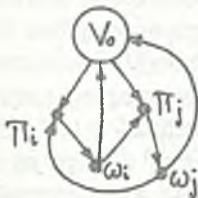


Рис.3. Подграф варианта III.

Rys.3. Podgraf dla III wariantu.

Подграф G_2 , показанный на рис.2, позволяет описать два варианта пути на графе

$$L_2 = (V_0, U_i, \eta_i, V_0); L_3 = (V_0, U_i, \eta_i, U_i, \eta_i, V_0)$$

Вариант III. Подграф G_3 описывает возможные переходы из состояний V_0 - исправно в τ состояний $\Pi_i; i = 1, 2, \dots, \tau$ - неисправно. Из состояний Π_i возможен переход в состояния $\omega_i; i \in \{1, \tau\}$ - соответствующее настройки ω_i , а затем в состояние $\Pi_j; i \neq j, j \in \{1, \tau\}$ - неисправно и т.д.

На рис.3. показан подграф G_3 , описывающий наиболее сложные возможные пути на графе, образующие контуры и циклы. Как видно из рис на графе возможен цикл перехода в вершину V_0 .

Возможные пути на графе G_3 образуют следующие последовательности:

$$L_4 = (V_0, \Pi_i, \omega_i, \Pi_j, \omega_j, V_0);$$

$$L_5 = (V_0, \Pi_i, \omega_i, \Pi_j, \omega_j, \Pi_i, \omega_i, V_0);$$

$$L_6 = (V_0, \Pi_i, \omega_i, \Pi_j, \omega_j, \Pi_i, \omega_i, \Pi_j, \omega_i, \dots, V_0).$$

Композиция из трех подграфов образует граф G всех возможных переходов в состоянии рассматриваемой системы $G = (G_1, G_2, G_3)$.

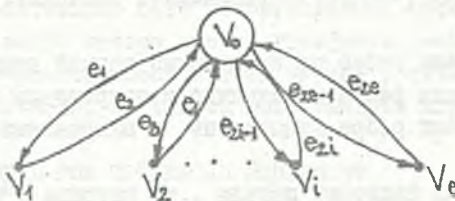


Рис.4. Граф системы Θ .

Rys.4. Graf systemu Θ .

Граф G , отражающий возможные пути от состояния к состоянию в системе $\Theta; i \in \{1, m\}; j, k \in \{1, \tau\}; e = m + \tau - N$ - число возможных состояний Θ .

Из рис.4 видно, что G является связным ориентированным графом с вершинами, играющими роль состояний системы. Естественным, что система Θ может находиться только в одном из возможных состояний. Переход из состоя-

ния в состояние происходит в общем случае случайным образом.

Рассмотрим основные характеристики, отражающие переход из одного состояния в другое, и условия нахождения в состояниях V, U, Π, η, ω . Ребра графа $e \in \{E\}$, отражающие переходы из V_0, U_i в V_i, Π_i , характеризуются вероятностью существования ребра $P_i(V), P_i(U), P_i(\Pi)$. Ребра графа, отображающие обратный переход из вершин $(V_0, U_i, \Pi_i) \rightarrow V$ характеризуются вероятностью $P = I$. Ребра $e \in \{E\}$, отображающие переход $\eta_i \rightarrow U_i$ и $\eta_i \rightarrow V_0$, характеризуются вероятностью существования $P(\eta_i)$ и $P(\eta V)$; Ребра $e \in E$, связанные с вершинами Π_i и ω_i ; $i \neq j; i, j \in \{1, \tau\}$ характеризуются вероятностями $P(\omega_i V)$ и $P(\omega_i \Pi_j)$ соответственно.

Ребра $\Pi_i \rightarrow \omega$ характеризуются вероятностью $P = I$. Для графа G должны выполняться следующие условия полноты событий:

$$\sum_{i=1}^m P_i(V) + \sum_{i=1}^m P_i(U) + \sum_{i=1}^{\tau} P_i(\Pi) = 1;$$

$$P(\eta_i V_i) + P(\eta_i V_0) = 1; \forall i \in \{1, m\}$$

$$P(\omega_i V_0) + \sum_{j=1}^{\tau} P_j(\omega_i \Pi_j) = 1; \forall i \in \{1, \tau\}$$

Время нахождения системы \textcircled{C} в одном из перечисленных возможных состояний можно охарактеризовать в общем случае плотностью вероятности:

$$\varphi_i(V), \varphi_j(U), \varphi_k(\Pi), i \in \{1, e\}, j \in \{1, m\}, k \in \{1, \tau\}.$$

Ориентированный граф G имеет $n + 1$ вершину и q ребер. Данному графу можно сопоставить матрицу инциденции размером $(n + 1) \times q$, строки и столбцы которой соответствуют вершинам и ребрам графа соответственно. Элемент матрицы $a_{ij}; i \in \{1, n\}, j \in \{1, q\}$ принимает значения:

$$a_{ij} \begin{cases} 0, & \text{если ребро не инцидентно данной вершине,} \\ +1, & \text{если ребро инцидентно и направлено к данной вершине,} \\ -1, & \text{если ребро инцидентно и направлено от данной вершины.} \end{cases}$$

Так как граф G не содержит петель, то матрица A , отражающая связь на G , однозначна. Таким образом, подграф G_1 можно описать следующей подматрицей A_1 :

$$A_1 = \begin{vmatrix} -I & I & \dots & -I & I & \dots & -I & I \\ I & -I & \dots & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & 0 & -I & \dots & 0 & -0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & \dots & I & -I \end{vmatrix}$$

Матрица A_1 определяет все возможные связи в подграфе G_1 , с учетом направления. Однако A_1 не отражает вероятного характера существования ребра. Возникает возможность заменить элементы a_{ij} , имеющие знак минус на соответствующую вероятность возникновения данного ребра. Тогда первая строка A_1 будет иметь следующий вид:

$$A_i = | P_1 I \dots P_i I \dots P_e I |; \quad i = 1, 2, \dots, e \dots$$

В соответствии с этим изменяются и остальные строки A_1 . По аналогии с подграфом G_1 , матрицей A , состоящей из вероятностей возникновения ребра $e \in \{E\}$, можно описать весь граф G .

В заключении отметим, что задача получения оценок функций плотности вероятности времени нахождения системы Θ в том или ином состоянии, а также вероятности переходов из одного состояния в другое, решается по ретро-спективной выборке за время квазистационарности объекта. Полученные значения вероятностей и функций распределения корректируются в процессе моделирования перед очередным тактом получения прогноза на следующий шаг. Задача решается на ЭВМ в комплексе задач оперативного управления производственным процессом на уровне цеха. Сервисные программы коррекции структуры модели и ее параметров дает возможность управлять процессом моделирования в режиме диалога без знания языков программирования.

Recenzent: Doc. dr h. inż. Franciszek Marecki

Wpłynęło do Redakcji do 1988-06-30.

MODEL PROGNOZY STANU URZĄDZEŃ TECHNICZNYCH

Streszczenie

W referacie przedstawiono opis stanu urządzeń technicznych za pomocą grafu. Stany odpowiadają węzłom grafu. Przejście pomiędzy stanami /łuk grafu/ ma określone prawdopodobieństwo. Na tej podstawie określa się prawdopodobieństwa stanów, w których może znaleźć się urządzenie techniczne.

STATE-PREDICTIVE MODEL FOR TECHNICAL EQUIPMENT

Summary

The graph-based description of technical equipment is presented. States are prescribed to the graph nodes. A transition between states represented by a graph are has a given probability, It enables to define the probabilities for states in which the technical equipment could reside.