

УДК 681.513

Д.Н. МОАМАР, В.Г. РЯБЦЕВ, Т.Ю. УТКИНА

Черкасский государственный технологический университет, Украина

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА АДАПТАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ К ОТКАЗАМ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ МЕХАНИЗМОВ

Рассматривается модель процесса адаптации технологических операций к отказам исполнительных механизмов с использованием математического аппарата сетей Петри. Исследованы поведенческие свойства сетей Петри при моделировании структур фасовочно-упаковочных машин. Получена информация о структуре, режимах работы и динамическом поведении моделируемой системы, которая необходима для расширения выполняемых ею функций при адаптации к возможным отказам.

Ключевые слова: моделирование систем, технологические операции, отказы исполнительных механизмов, сети Петри, оптимальный режим работы.

Введение

Несогласование во времени действий различных исполнительных механизмов из-за поломки движущихся элементов или нарушения условий эксплуатации в сложных системах реального времени зачастую приводит к отказам и аварийному останову всей системы, выполняющей технологические операции. Актуальной проблемой разработки систем реального времени является автоматизация анализа их работоспособности на различных этапах и уровнях, в том числе выявления слабых и критичных мест при исследовании и верификации алгоритмов управления [1].

Технологические процессы фасовки и упаковки плодоовощной и плодомолочной продукции выполняются параллельно, поэтому для координации действий исполнительных механизмов необходимо контролировать как факты включения/выключения, так и моменты времени, в которые механизмы достигают своих конечных положений. Однако из-за изношенности движущихся элементов или неисправностей в системе энергообеспечения существует возможность ухудшения динамических свойств данных механизмов. Следовательно, если в установленный момент времени не достигнуто одно из заданных на циклограмме положений какого-либо исполнительного механизма, о чём свидетельствуют сигналы, полученные от соответствующих датчиков, то должен произойти аварийный останов фасовочно-упаковочной машины.

В известных алгоритмах управления, если возникнут неисправности в цепочке последовательно расположенных механизмов, выполняющих технологические операции по фасовке и укупориванию

скоропортящихся продуктов, то останавливаются все механизмы для устранения поломки.

Этот процесс может занять продолжительное время, в течение которого на рабочем столе остается упаковочная тара, с которой не завершены все технологические операции, и она может быть по ошибке отправлена потребителю или будет храниться в надлежащих климатических условиях. Кроме того, при продолжительном ремонте продукция может испортиться и будет списана как технологические потери.

Учитывая, что механизмы работают в условиях неблагоприятной окружающей среды (повышенная влажность и загрязненность) вероятность возникновения неисправностей механизмов очень велика и потери продукции могут быть значительными [2].

Целью данной работы является разработка модели процесса адаптации технологических операций к отказам исполнительных механизмов, путем продолжения выполнения операций механизмами, которые расположены в цепочке после отказавшего механизма, и отключения только неисправного механизма и механизмов, расположенные в цепочке раньше отказавшего механизма.

С целью снижения трудоемкости синтеза алгоритмов управления операциями фасовки и упаковки скоропортящейся продукции необходима разработка метода синтеза алгоритмов управления технологическими процессами, на основе функционального моделирования и анализа возможных неисправностей исполнительных механизмов, что обеспечит прогнозирование последствий неисправностей исполнительных механизмов еще на этапе отладки управляющих программ, а также снизит технологические потери фасуемых продуктов.

1. Представление алгоритма функционирования с помощью сетей Петри

Необходимость тщательного планирования разделения основной задачи на параллельные процессы, корректная реализация каждого процесса и правильная организация взаимодействия этих процессов для функционального моделирования алгоритмов управления технологическими процессами фасовки и упаковки продукции требует мощного средства, позволяющего проводить анализ с помощью средств имитационного моделирования, формализовать и производить оценку пригодности к эксплуатации с минимальными потерями фасуемой продукции на всех уровнях анализа системы.

Поэтому для решения подобных задач целесообразно использование сетей Петри, которые являются средством формального описания процессов функционирования дискретных систем. К тому же представление системы в виде сети Петри и последующий анализ этой сети заключается в получении важной информации о структуре и динамическом поведении моделируемой системы и возможности моделирования программного обеспечения для рассматриваемой системы.

Интерпретация сетей Петри основана на понятиях условия и события. Состояние системы описывается совокупностью условий. Функционирование системы состоит в осуществлении последовательности событий. Для возникновения события необходимо выполнение некоторых условий, называемых предусловиями. Возникновение событий может привести к выполнению условий, называемых постусловиями. В сети Петри условия моделируются позициями, события – переходами.

Предусловия события представляются входными позициями соответствующего перехода, постусловия – выходными позициями. К тому же события, моделируемые сетью Петри, являются мгновенными и одновременными, и их взаимосвязь асинхронна, а это удобный аппарат для моделирования множества взаимосвязанных и параллельных процессов [3, 4].

Сети Петри определяются множеством позиций $P = \{p_1, \dots, p_n\}$, множеством переходов $T = \{t_1, \dots, t_m\}$, функцией входов $I: P \rightarrow T$ и функцией выходов $O: P \rightarrow T$.

Графически сети Петри представляются в виде двудольного графа с вершинами двух видов: окружности соответствуют позициям, а планки – переходам. Функции I и O представляются дугами. Позиции, дуги из которых ведут в переход t_j , образуют

множество входных позиций этого перехода и обозначаются $I(t_j)$. Позиции, которые ведут дуги из перехода t_j , образуют множество исходных позиций этого перехода и обозначаются $O(t_j)$.

Состояние сетей Петри описывается маркировкой. Маркировка – это функция, которая ставит в соответствие каждой позиции неотъемлемое целое число маркеров (точек). Составляют сети Петри, основываясь на представлениях условия и события. Условия моделируются наличием или отсутствием маркеров в позициях, а события переходами. В сетях Петри всегда переходу предшествует позиция, а позиция – переход.

Будем называть условием запуска перехода t_j наличие маркеров во всех входных позициях $I(t_j)$. Если условие запуска перехода выполнено, то выполняется запуск перехода. Это означает, что из всех входных позиций $I(t_j)$ устраняется маркер, а во все исходные позиции $O(t_j)$ маркер добавляется.

Таким образом, изменением маркировки сетей Петри отображается последовательность событий протекающих в моделируемой системе.

Два перехода вступают в конфликт, если оба имеют возможность срабатывания, но после запуска одного перехода предусловие или постусловие другого перехода становится невыполнимыми.

Приоритет перехода может находиться в промежутке значений $[0, 255]$. Величина 0 означает самый верхний, 255 – самый низкий приоритет. Если различные переходы могут сработать в одно и то же время, сначала срабатывает переход с самым верхним приоритетом, а затем, возможно, остальные переходы по мере уменьшения приоритетов, если условия их срабатывания все еще выполняются.

Если действительно имел место конфликт переходов, с запуском перехода с самым верхним приоритетом возможность срабатывания перехода с нижним приоритетом исключается.

Для каждого перехода может быть объявлена вероятность срабатывания. Если различные переходы одного и того же приоритета могут сработать в одно и то же время, сначала срабатывает тот переход, у которого вероятность срабатывания выше. Таким образом, кроме разрешения конфликта, также могут быть описаны вероятности для переходов.

Фасовочно-упаковочная машина (ФУМ) обычно является автоматом карусельного типа периодического действия. Круглый стол, вращаясь, перемещает стаканчики/коробки от одной позиции к другой с целью реализации определенных технологических операций исполнительными механизмами.

На первой позиции выполняется операция от- деления тары из подготовленного заранее магазина и их поштучная загрузка в гнездо карусели, на по- следней позиции осуществляется сьем готовой про- дукции.

На рис. 1 приведена сеть Петри машины, со- держащей 4-ре параллельно работающих механизма.

Позиция p_1 определяет условие наличие сигнала пуска системы управления исполнительными механизмами. Позициям $p_2 - p_5$ отвечает наличие сигнала пуска соответствующих исполнительных механизмов. Позициям $p_6 - p_9$ отвечает наличие сигнала остановки соответствующих исполнитель- ных механизмов при их исправном состоянии. По- зиции p_{10} отвечает условие успешного завершения операций всеми исполнительными механизмами.

Срабатывание перехода t_1 является событием пуска ФУМ, t_2 – событие установки тары, t_3 – со- бытие выполнения операций дозирования, t_4 – со- бытие закупоривания тары с нанесением даты изго- товления, t_5 – событие снятия тары, t_6 – событие успешного завершения всех операций, t_7 – событие циклического повторения технологических опера- ций и поворота карусели ФУМ, t_8 – событие выяв- ления поломки какого-нибудь исполнительного ме- ханизма.

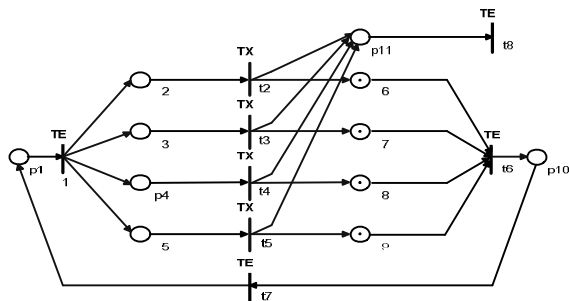


Рис. 1. Состояние ФУМ при исправных механизмах

В сети используются простые переходы – TE и переходы-переключатели – TX. Переход в пози- цию p_{11} возможен с вероятностью возникновения отказа соответствующего механизма q_i . Переход t_6 возможен, если все механизмы исправны с вероят- ностью работоспособного состояния каждого механизма τ_i и успешно выполнены все техноло- гические операции.

Если в ФУМ, состояние которой показано на рис. 2, произойдет отказ одного из механизмов, (на- пример 4-го), то в позиции p_{11} появится фишка и все механизмы остановятся.

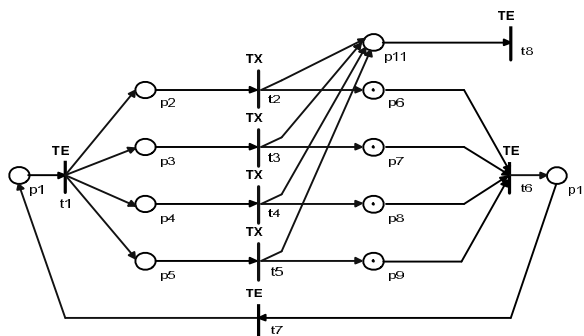


Рис. 2. Состояние ФУМ при отказе 4-го механизма

Таким образом, на всех позициях останутся незавершенные технологические операции, что приведет к порче продукции и технологическим потерям из-за продолжительного ремонта отказав- шего механизма.

2. Моделирование процесса адаптации технологических операций к отказам исполнительных механизмов

Для учета возможных отказов механизмов системы циклического действия предлагается раз- работать команды управления механизмами так, чтобы технологические операции смогли выпол- няться до логического завершения технологическо- го процесса. Причем каждый механизм должен выполнить разное число операций, число которых возрастает при удалении места расположения ме- ханизма от позиции отказавшего механизма.

Введем основные определения.

Определение 1. Технологический процесс на- зывается *неадаптируемым* к отказам исполнитель- ных механизмов, если после выявления какой-либо неисправности происходит выключение всех ис- полнительных механизмов.

Определение 2. Технологический процесс на- зывается *адаптируемым* к отказам исполнитель- ных механизмов, если при выявлении отказа j -го механизма, где $1 < j \leq k-1$, k – количество испол- нительных механизмов происходит отключение механизмов принадлежащих множеству $S_1 \in \{1, 2, \dots, j+1\}$, а оставшиеся механизмы работают в соответствии с алгоритмом адаптации к данному виду отказа.

Определение 3. *Алгоритмом адаптации* на- зывается последовательность управляющих сигна- лов, которые с целью минимизации потерь фасуе- мой продукции, обеспечивают выполнение техно- логических операций исполнительными механиз- мам принадлежащих множеству $S_2 \in \{j+2, \dots, k\}$.

При отказе первого или последнего механизма адаптация к отказам технологического процесса невозможна.

Сеть Петри машины, алгоритм управления которой обеспечивает контроль работоспособности 1-го механизма, при этом принимается решение по адаптированному управлению остальными механизмами, показана на рис. 3.

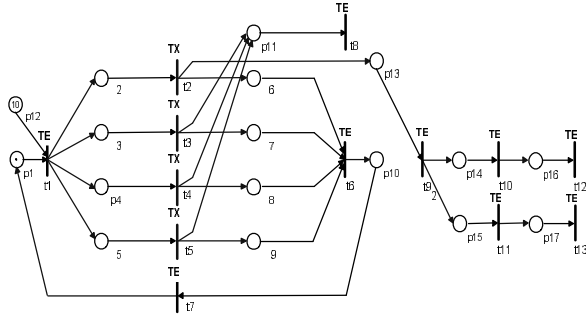


Рис.3. Сеть Петри с контролем отказа 1-го механизма

В позиции p_{12} указано количество тары, предназначенной для упаковки. Позиция p_{13} определяет отказ 1-го исполнительного механизма. Позиция p_{14} отвечает наличие сигнала пуска 3-го исполнительного механизма после обнаружения отказа 1-го механизма. Позиция p_{15} отвечает наличие сигнала пуска 4-го исполнительного механизма после обнаружения отказа 1-го механизма. Позиция p_{16} отвечает наличие сигнала останова 3-го исполнительного механизма при его исправном состоянии после обнаружения отказа 1-го механизма. Позиция p_{17} отвечает наличие сигнала останова 4-го исполнительного механизма при его исправном состоянии после обнаружения отказа 1-го механизма.

На рис. 3 видно, что после отказа 1-го механизма 3-й механизм должен сработать один раз, а 4-й – два раза. Это отмечено весами соответствующих ветвей. Аналогичным образом можно смоделировать алгоритмы управления, адаптируемые к отказам остальных механизмов.

Представим сеть в виде основополагающих понятий: события и условия. Ниже представлена структура сети Петри в виде четверки, которая состоит из множества позиций P , множества переходов T , входной функции $I: P \rightarrow T^\infty$, и выходной функции

$$O: P \rightarrow T^\infty: C = (P, T, I, O),$$

где $P = \{p_1, p_2, \dots, p_i, \dots, p_n\}$, $T = \{t_1, t_2, \dots, t_j, \dots, t_m\}$, $n = 17$, $m = 13$, $I: P \rightarrow T$, $O: P \rightarrow T$.

Определим расширенную входную функцию I и выходную функцию O :

$$\begin{aligned} I(p_1) &= \{t_7\}, O(p_1) = \{t_1\}, \\ I(p_2) &= \{t_1\}, O(p_2) = \{t_2\}, \\ I(p_3) &= \{t_1\}, O(p_3) = \{t_3\}, \\ I(p_4) &= \{t_1\}, O(p_4) = \{t_4\}, \\ I(p_5) &= \{t_1\}, O(p_5) = \{t_5\}, \\ I(p_6) &= \{t_2\}, O(p_6) = \{t_6\}, \\ I(p_7) &= \{t_3\}, O(p_7) = \{t_6\}, \\ I(p_8) &= \{t_4\}, O(p_8) = \{t_6\}, \\ I(p_9) &= \{t_5\}, O(p_9) = \{t_6\}, \\ I(p_{10}) &= \{t_6\}, O(p_{10}) = \{t_7\}, \\ I(p_{11}) &= \{t_3, t_4, t_5\}, O(p_{11}) = \{t_8\}, \\ I(p_{12}) &= \{\}, O(p_{12}) = \{t_1\}, \\ I(p_{13}) &= \{t_2\}, O(p_{13}) = \{t_9\}, \\ I(p_{14}) &= \{t_9, t_9\}, O(p_{14}) = \{t_{10}\}, \\ I(p_{15}) &= \{t_9\}, O(p_{15}) = \{t_{11}\}, \\ I(p_{16}) &= \{t_{10}\}, O(p_{16}) = \{t_{12}\}, \\ I(p_{17}) &= \{t_{11}\}, O(p_{17}) = \{t_{13}\}. \end{aligned} \tag{1}$$

Проанализируем сеть Петри на основе матричных уравнений. Альтернативным по отношению к определению сети Петри в виде $C = (P, T, I, O)$, является определение двух матриц D_{ji}^- и D_{ji}^+ , где матрица $D_{ji}^- = \#(p_i, I(t_j))$ определяет входы в переходы, а $D_{ji}^+ = \#(p_i, O(t_j))$ – выходы.

Каждая матрица имеет m строк (по одной на переход) и n столбцов (по одному на позицию), отличные от нуля элементы которых перечислены ниже:

$$\begin{aligned} D_{12}^- &= 1, D_{13}^- = 1, D_{14}^- = 1, D_{15}^- = 1, D_{26}^- = 1, D_{213}^- = 1, \\ D_{37}^- &= 1, D_{311}^- = 1, D_{48}^- = 1, D_{411}^- = 1, D_{59}^- = 1, D_{511}^- = 1, \\ D_{610}^- &= 1, D_{71}^- = 1, D_{914}^- = 2, D_{915}^- = 1, D_{1016}^- = 1, D_{1117}^- = 1; \\ D_{11}^+ &= 1, D_{112}^+ = 1, D_{22}^+ = 1, D_{33}^+ = 1, D_{44}^+ = 1, D_{55}^+ = 1, \\ D_{66}^+ &= 1, D_{67}^+ = 1, D_{68}^+ = 1, D_{69}^+ = 1, D_{710}^+ = 1, D_{811}^+ = 1, \\ D_{913}^+ &= 1, D_{1014}^+ = 1, D_{1115}^+ = 1, D_{1216}^+ = 1, D_{1317}^+ = 1. \end{aligned} \tag{2}$$

В результате исследований построена модель процесса адаптации технологических операций к отказам исполнительных механизмов, которая позволяет сформировать статистические характеристики поведения системы, выявить возможные ошибки алгоритма управления, его критичные места для коррекции еще на этапе отладки управляющих программ до реализации системы автоматизированного управления, что выгодно с экономической точки зрения, поскольку не требуются затрат

на создание реальной системы для проверки и оценки ее работоспособности.

Применение данной модели предоставляет возможность выявить слабые и сильные места процесса управления исполнительными механизмами, повысить производительность системы за счет выбора наиболее оптимального варианта работы для достижения конкретной цели с заданными временными характеристиками.

Заключение

Предлагаемая модель адаптации технологических операций к отказам исполнительных механизмов ускоряет процесс создания сложных систем реального времени, упрощает адаптацию системы к отказам, а также позволяет оценить альтернативные алгоритмы управления и выбрать наиболее эффективный на этапе проектирования системы без реализации всей системы, что приводит к умень-

шению технологических потерь продукции, а главное обеспечивает ее высокое качество за счет сокращения времени нахождения продукции на столе фасовочно-упаковочной машины.

Литература

1. Шакирова Н.Ф. *Формальный аппарат регулярных сетей Петри* / Н.Ф. Шакирова // *Обработка информации и моделирование*. – М.: МФТИ, 2002. – 224 с.
2. Анфилатов В.С. *Системный анализ в управлении: учебное пособие* / В.С. Анфилатов, А.А. Емельянов. – М.: Финансы и статистика, 2002. – 368 с.
3. Советов Б.Я. *Моделирование систем: Учеб. для вузов* / Б.Я. Советов, С.А. Яковлев. – М.: Высш. шк., 2001. – 343 с.
4. Гуляев А. *Визуальное моделирование в среде Windows: Практическое пособие* / А. Гуляев. – СПб.: Корона принт, 2001. – 288 с.

Поступила в редакцию 15.01.2009

Рецензент: д-р техн. наук, профессор В.М. Лукашенко, Черкасский государственный технологический университет, Черкассы.

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ АДАПТАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОПЕРАЦІЙ ДО ВІДМОВ ВИКОНАВЧИХ МЕХАНІЗМІВ

Д.Н. Моамар, В.Г. Рябцев, Т.Ю. Уткина

Розглядається модель процесу адаптації технологічних операцій до відмов виконавчих механізмів з використанням математичного апарату мереж Петрі. Досліджені поведінкові властивості мереж Петрі при моделюванні структур фасувально-пакувальних машин. Отримана інформація про структуру, режими роботи і динамічну поведінку модельованої системи, яка необхідна для розширення виконуваних нею функцій при адаптації до можливих відмов.

Ключові слова: моделювання систем, технологічні операції, відмови виконавчих механізмів, мережі Петрі, оптимальний режим роботи.

DESIGN OF THE ADAPTATION PROCESS OF TECHNOLOGICAL OPERATIONS TO REFUSALS OF EXECUTIVE MECHANISMS

D.N. Moamar, V.G. Ryabtcev., T.Y. Utkina

The model of the adaptation process of technological operations is examined to the refusals of executive mechanisms with the use of mathematical vehicle of Petri nets. The behaviors properties of Petri nets are explored at the design of structure of packing machines. Information is obtained about a structure, office hours and dynamic behaviors of the designed system which is needed for expansion of executable by its functions during adaptation to the possible refusals.

Key words: design of the systems, technological operations, refusals of executive mechanisms, Petri nets, best performance.

Моамар Диаа Надим – аспирант кафедры специализированных компьютерных систем Черкасского государственного технологического университета, Черкассы, Украина, e-mail: diaamoamar@yahoo.com.

Рябцев Владимир Григорьевич – д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры специализированных компьютерных систем Черкасского государственного технологического университета, Черкассы, Украина, e-mail: volodja18@ukr.net.

Уткина Татьяна Юрьевна – аспирант кафедры специализированных компьютерных систем Черкасского государственного технологического университета, Черкассы, Украина, e-mail: utia_chdту@yahoo.com.