

РЕАЛИЗАЦИЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИСКРЕТНО-СОБЫТИЙНЫХ СИСТЕМ ИЕРАРХИЧЕСКИМИ РАСПРЕДЕЛЁННЫМИ ВО ВРЕМЕНИ СЕТЯМИ ПЕТРИ

Введение

Рассмотренные в [1] иерархические распределённые во времени сети Петри (И-РВСП) обладают двумя достоинствами: техникой нисходящей декомпозиции, сохраняющей общий вид моделируемых фрагментов дискретно-событийных систем (ДСС), и восходящей составляющей синтеза, обеспечивающей эффективный маршрут связи с более низких до верхних уровней. При этом сложные ДСС могут декомпонироваться нисходящей И-РВСП-технологией, тогда как восходящая технология позволяет синтезировать точные И-РВСП-модели для функционирования более низких уровней.

Данная статья является продолжением работы [1], знакомящей с базовыми основами И-РВСП и особенностями их структуры с отображением иерархической модели интеллектуального управления ДСС, а также методикой классификации ошибок и формирования соответствующих идентифицированных состояний СП. Рассмотрены свойства позиций и переходов в иерархических структурах и общие свойства сгенерированной И-РВСП-модели ошибки на координатном уровне с сопровождающим примером, демонстрирующим удобство и простоту излагаемой технологии моделирования и структурной классификации и обобщающим результаты исследований по реализации предложенного подхода.

Иерархическая структура позиций и переходов

Группирование позиций и переходов в И-РВСП-модели выполнено в зависимости от состояний системы, которые эти группы представляют, а именно, нормальное состояние работы, а также состояние ошибок. На рис. 1 приведено подробное описание такой классификации и определены основные свойства группирования.

Пусть P_k и T_k представляют все позиции и переходы в И-РВСП-модели всех состояний системы. Итак, И-РВСП-контроллер координационного уровня имеет следующий вид: И-РВСП = (P_k, T_k, I, O) , где I и O – функции входа-выхода (в обычных СП); P_k, T_k – соответственно, множество позиций и переходов сети.

С точки зрения описания системы, это множество позиций P_k может быть определено как объединение четырех подмножеств позиций P_{e_i} , где $i = (0, 1, 2, 3)$. Эти четыре подмножества зависят от различных факторов моделирования системы, проиллюстрированных на рис. 1,б : P_{e_0}

© Л.С. Ямпольский, Ю.Н. Ланкин, О.И. Лисовиченко, 2005

, P_{e_1} , P_{e_2} , P_{e_3} - позиции, отображающие нормальное функционирование системы (ЛЮО-ошибки исключены), при наличии ЛЮО-ошибок, при наличии ВУО-ошибок, при наличии неустраняемых ошибок, соответственно.

С учётом вышеизложенного, переходы в И-РВСП-модели могут быть определены как принадлежащие к одному из подмножеств переходов T_{e_i} , где $i = (0, 1, 2, 3)$. И снова эти четыре подмножества переходов зависят от факторов, проиллюстрированных на рис. 1,б: T_{e_0} , T_{e_1} , T_{e_3} – переходы, отображающие, соответственно, нормальное функционирование системы (ЛЮО-ошибки исключены), при наличии ЛЮО-ошибок или приводящих к этому состоянию из нормального в процессе функционирования системы, при наличии ВУО-ошибок или приводящих к этому состоянию из нормального в процессе функционирования системы (а также из одного ошибочного состояния), при неустраняемых ошибках (т.е. таких, которые могут привести к тупиковому состоянию системы) или приводящих к этому состоянию из нормального в процессе функционирования системы (а также из двух ошибочных состояний).

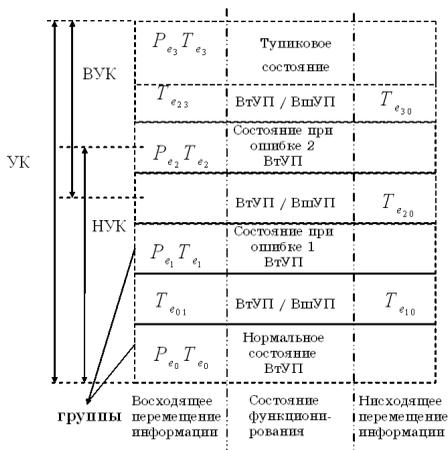
В свою очередь, групповые переходы T_{e_1} , T_{e_2} , T_{e_3} состоят из трех разделённых подсетей переходов:

- переходы, у которых входные и выходные позиции находятся в одной и той же группе (в общем случае идентифицирующиеся как T_{e_i});
- переходы, у которых хотя бы одна из входных позиций находится в нижестоящей группе, и одна из выходных позиций – в вышестоящей группе (это группы 1, 2 или 3, см. рис. 1(б));
- переходы, у которых хотя бы одна из входных позиций находится в вышестоящей группе (1, 2 или 3), и одна из выходных позиций – в нижестоящей группе (группа 0, см. рис. 1(б)).

Два последних типа переходов (которые являются подмножеством перехода T_{e_k} , где $k = \max\{i, j\}$) отображают изменения состояний функционирующей системы. Переходы форм $T_{e_{21}}$, $T_{e_{32}}$, $T_{e_{31}}$ не рассматриваются, так как предполагается, что процедуры восстановления ошибок вернут систему в нормальное рабочее состояние. Переходы форм $T_{e_{03}}$, $T_{e_{13}}$ возможны, но при этом запрещены для разрешения иерархического распространения информационной ошибки (это становится очевидным при рассмотрении следующего примера:

пусть некоторые переходы формы $T_{e_{ij}}$ являются внешне-управляемыми. Тогда, выполнение этих переходов возможно при условии, когда происходит случайное событие r . На рис. 1,а показаны группирование позиций и переходов в координационном уровне И-РВСП-модели).

Переходы $T_{e_{01}}$, $T_{e_{02}}$, $T_{e_{12}}$ и т.д. представляют группу (так называемых блокирующих), которые могут привести к ЛЮО- или к ВУО-ошибкам, либо к различным ошибкам при восстановительных процедурах (это может соответствовать различным точкам ввода в некоторой подсетевой



ВгУП – внутренне-управляемые переходы
 ВшУП – внешне-управляемые переходы

Рис. 1 – а. – Классификация позиций и переходов



Рис. 1б. – Классификация позиций и переходов

позиции более высокого уровня или совершенно другой подсети). Они могут быть либо внешне, либо внутренне управляемыми переходами– в зависимости от детализации системы. У такой классификации нет отдельных группировок позиций или переходов, которые представляли бы приостановленное состояние функционирования. По определению, приостановленное состояние функционирования отдельного координатора (включая связанные с ним позиции и переходы) такое, при котором его объединенные ресурсы используются другим координатором во время восстановления ВУО-ошибок. Таким образом, набор позиций и переходов, которые отражают приостановленное состояние, может охватывать группы 0, 1, и 2 классификации.

Структурные свойства И-РВСП-модели

Пусть: P_k и T_k – совокупность позиций и переходов; p_k и t_k – отдельные позиции и переходы: позиции с индексами d, a, s, ss и su – означают, соответственно, решающую РП-позицию, активную АП-позицию, пассивную ПП-позицию, истока-стока ПИС-позицию и подсетевую ПСП-позицию; переходы с индексами idt и edt –внутренне ВтУП и внешне ВшУП управляемые переходы, соответственно [1]; $\rho(P)$ - количество элементов множества P ; $\bullet(t_1)$ - множество входных позиций для перехода $t_1, t_1 \in T_k; p_{s_j}^p$ – означает p -ю позицию j -й группы. Иерархические структурные свойства группировок позиции и перехода (по нисходящей на рис. 1) следующие:

Свойство 1. Общая И-РВСП-модель системы состоит из всех разновидностей типов позиций и переходов:

$$P_k = \bigcup_{i=\{d,a,s,ss,su\}}^{P_i} = \bigcup_{i=\{0,1,2,3\}} P_{e_i};$$

$$T_k = \bigcap_{i=\{idt,edt\}} T_i = \bigcap_{i=\{0,1,2,3\}} T_{e_i},$$

где

$$\rho(P_k) = \rho(P_d) + \rho(P_a) + \rho(P_s) + \rho(P_{ss}) + \rho(P_{su}) = \rho(P_{e_0}) + \rho(P_{e_1}) + \rho(P_{e_2}) + \rho(P_{e_3});$$

$$\rho(T_k) = \rho(T_{idt}) + \rho(T_{edt}) = \rho(T_{e_0}) + \rho(T_{e_1}) + \rho(T_{e_2}) + \rho(T_{e_3}).$$

Свойство 2. Действия четко определены на самом нижнем уровне детализации системы, что означает, что все позиции подсети приведены в их исходное состояние – РП- и АП-позиций:

$$\forall j \in \{1, 2\}, P_{e_j} = \bigcup_{k=\{d,a,su,s\}} P_{e_{kj}};$$

$$\forall j \in \{0\}, P_{e_j} = \bigcup_{k=\{d,a,s\}} P_{e_{kj}}.$$

Свойство 3. В данной группе ПСП-позиция состоит из позиций и переходов, определенных в тех же группах или группах нижестоящего уровня:

$$\forall i \in \{0, 1, 2\}, j \in \{1, 2\}, i \leq j;$$

$$p_{su_j}^p = \bigcap_i P'_{eki} \cup T_{e_i}, k \in \{d, a, su, s\},$$

где

$$P'_{eki} = P_{eki}^- \{p_{su_j}^p\}.$$

Свойство 4. Позиции уникальных группирований не могут одновременно находиться в двух различных группах:

$$\forall i, j \in \{0, 1, 2, 3\}, P_{e_i} \cap P_{e_j} = \left\{ \begin{matrix} 0, i \neq j \\ P_{e_i, i=j} \end{matrix} \right\}.$$

Свойство 5. Входящие в два группирования переходы

$\forall i, j \in \{0, 1, 2, 3\}, T_{e_i} \cap T_{e_j} = \left\{ T_{e_i}, i = j^{T_{e_{ij}}, i \neq j} \right\}$ – такие, у которых входные и выходные позиции между этими двумя группированиями подчиняются следующим в п.п. 5, а и 5, б подсвойствам:

Подсвойство 5,а. У таких переходов существует хотя бы одна входная позиция p_r в i -ой группе и хотя бы одна выходная позиция p_s в j -ой группе (типа $T_{e_{ij}}, i < j$, как показано на рис. 1) в иерархически восходящей передаче информации в И-РВСП-модели системы, причём:

p_r – это АП- или РП-позиция i -ой группы; p_s – это ПП-, АП-, РП-позиции или позиция ПИС-позиция j -ой группы. Позиции, принадлежащие группе $m, ((m < i) \vee (m > j))$, не могут являться позициями входа и выхода для переходов типа $T_{e_{ij}}$. Все другие позиции, которые принадлежат m' -ой группе, $i \leq m' \leq j$, могут быть либо входными, либо выходными для таких переходов.

Таким образом:

$$\begin{aligned} & \forall t_l \in T_{e_{ij}}, i, j, m \in \{0, 1, 2, 3\}, i < j, k \in \{d, a, su, s, ss\}, ((m < i) \vee (m > j)); \\ & \exists p_r, p_r \in \bullet(t_l) : (p_r) \in (P_{ea_i} \vee P_{ed_i}); \\ & \exists p_s, p_s \in (t_l) \bullet : (p_s) \in \left\{ \begin{matrix} (P_{ts_j} \vee P_{ea_j} \vee P_{ed_j}), & \text{если } j = \{0, 1, 2\} \\ P_{ess_j}, & \text{если } j = 3 \end{matrix} \right\}; \\ & \neg \exists p_t, p_t \in (t_l) \bullet \vee p_t \in \bullet(t_l) : (p_t) \in P_{ek_m}. \end{aligned}$$

Подсвойство 5,б. У таких переходов существует хотя бы одна входная позиция p_r в i -ой группе и хотя бы одна выходная позиция p_s в j -ой группе (типа $T_{e_{ij}}, i > j, j = 0$, как показано на рис. 1) в иерархически восходящей передаче информации в И-РВСП-модели системы, причём: p_r – это ПП-, АП-, РП-позиции или ПИС-позиция i -ой группы; p_s – это ПП- либо АП-позиция в j -ой группе. Позиции, принадлежащие m -ой группе, не могут являться входными или выходными позициями для переходов типа $T_{e_{ij}}$. Все остальные позиции, которые принадлежат к группе $m', i > m' > j$, могут быть либо входными, либо выходными для таких переходов.

Таким образом:

$$\begin{aligned} &\forall t_i \in T_{e_{ij}}, i, m \in \{1, 2, 3\}, j = 0, k \in \{d, a, su, s, ss\}, m > i; \\ &\exists p_r, p_r \in \bullet(t_i) : (p_r) \in \left\{ \begin{array}{l} (P_{ts_i} \vee P_{ea_i} \vee P_{ed_i}), \text{ если } i = \{1, 2\} \\ P_{ess_i}, \text{ если } i = 3 \end{array} \right\}; \\ &\exists p_s, p_s \in (t_i) \bullet : (p_s) \in (P_{es_j} \vee P_{ea_j}); \\ &\neg \exists p_t, p_t \in (t_i) \bullet \vee p_t \in (t_i) \bullet : (p_t) \in P_{ek_m}. \end{aligned}$$

Подсвойства 5,а и 5,б доказывают, что И-РВСП-модель является полной и совместимой структурой. Все вышеприведенные свойства отражают структуру И-РВСП-контроллера с точки зрения функций диспетчера/анализатора. В том случае, когда диспетчер/анализатор функционирует как контролирующе-сертифицирующее устройство всех операций системы, все действия, выполняемые на НУК-подуровне, “не просматриваются” диспетчером. Вместе с тем, при запуске анализатора ошибок диспетчер выборочно проверяет подсети (и их соответствующие нижестоящие сетевые уровни) до тех пор, пока не будет достигнута соответствующая маркировка ошибок: после идентификации маркировки начинается анализ ошибок. Этот важный аспект функционирования И-РВСП-модели способствует упрощению процесса идентификации ошибок и снижению количества маркировок достижимости подсети.

Общая структура И-РВСП модели

На рис. 2 показана обобщенная структура И-РВСП-модели любой иерархической системы с учетом сбоев на координационном уровне. На рис. 3 и рис. 3 представлены базисные композиции И-РВСП моделей для любой системы. Эти структуры могут быть использованы для идентификации операций, которые одновременно выполняются различными координаторами при их взаимодействии. На этих двух рисунках обобщены фрагменты, отображённые разобщено в рассмотренных ранее иллюстрациях.

У каждого координатора есть связанные с ним операции, и у всех таких операций есть связанные с ними позиции и переходы, которые можно разделить на три группы, как показано на рис. 2 (состояния: нормальное, при ошибке 1, при ошибке 2, соответственно). Когда координатор начинает операцию, он работает в нормальном состоянии. Когда он обнаруживает ЛУО-ошибку (ЛУО_{иниц}), им инициируются операции, связанные с состоянием при ошибке 1; если же ЛУО-ошибка обработана (идентифицирована) (ЛУО_{обр}), происходит возврат координатора к нормальной работе. Если ЛУО-ошибка не идентифицирована еще на стадии ошибки 1, или если имеет место ВУО-ошибка, тогда координатором выполняются действия, связанные с восстановлением ошибки 2. Подобные операции нуждаются в поддержке/использовании ресурсов, связанных с другими координаторами, и данный координатор приостанавливается до высвобождения и доступности необходимых ресурсов.

Передача ресурсов между двумя координаторами (от координатора j к координатору i) на рис. 2 показана штрихованными линиями “X”.

В табл. 1 в виде C_{ij} -матрицы, являющейся, по-существу, координирующей ячейкой, отображается взаимодействие между различными координаторами и направленным потоком ресурсов при наличии ВУО-ошибки. Введение переменной X в матрице C_{ij} обозначает наличие системного ресурса (работающего под управлением координатора C_i), использовавшего во время ВУО-ошибки управляющее состояние координатора C_j . Наличие ввода для C_{ij} не означает существование соответствующего ввода для C_{ji} . “Пустой” ввод в матрицу для обоих C_{ij} и C_{ji} обозначает совместное действие координаторов C_i и C_j . Ввод в C_{ij} в виде $(X_p + \dots + X_q)$ обозначает, что ресурсы $X_i \in C_j$ (отдельных или всех переменных) используются в ВУО-восстановительном процессе в C_i .

Примеры реализации

Производственный пример. Для того, чтобы продемонстрировать методологию И-РВСП-проектирования, рассмотрим производственную систему, представленную на рис. 3 [3] и состоящую из трех рабочих станций $СТ_1$, $СТ_2$, $СТ_3$ и робота Р. Заготовка должна быть последовательно обработана на рабочих станциях $СТ_1$ - $СТ_3$, причём, станции $СТ_1$ и $СТ_3$ могут обрабатывать только одну заготовку и используют робот Р при обработке и выгрузке (следовательно, ресурс робота поделен между $СТ_1$ и $СТ_3$), тогда как станция $СТ_2$ может обрабатывать две заготовки одновременно и может загружаться и выгружаться самостоятельно. Если робот уже начал работу на рабочих станциях, его работа не может быть прервана до окончания операции по выгрузке. Фиксированные заготовки ожидают своего времени выполнения в специальном входном буфере $БУФ_{вх}$. Готовые детали автоматически перемещаются в выходной буфер $БУФ_{вых}$. Освободившаяся тара возвращается роботом во входной буфер $БУФ_{вх}$ после окончания разгрузки станции $СТ_3$.

С позиций И-РВСП-модели можно выделить четыре основных этапа функционирования: операции на входном накопителе, связанные с фиксацией партии поступивших на $БУФ_{вх}$ заготовок, подлежащих обработке на $СТ_1$; операции на $СТ_1$, сопровождаемые загрузкой роботом Р станции $СТ_1$ заготовками из $БУФ_{вх}$, их обработкой этой станцией и дальнейшей выгрузкой роботом Р обработанных полуфабрикатов и транспортировкой последних на станцию $СТ_2$; операции на $СТ_2$ по автозагрузке полуфабрикатов, их обработке этой станцией и автовыгрузке обработанного изделия; операции на $СТ_3$, когда робот Р загружает обработанные на $СТ_2$ изделия в станцию $СТ_3$, на которой осуществляется их окончательная обработка, и далее робот Р разгружает $СТ_3$, транспортирует готовое изделие на выходной буфер $БУФ_{вых}$ и затем возвращает освободившуюся тару на входной буфер $БУФ_{вх}$.

При моделировании описанной производственной ситуации на верхнем уровне И-РВСП-модели можно констатировать следующее (см. рис. 3):

- станции $СТ_1$, $СТ_2$ и $СТ_3$ работают в определённой последовательности с фиксированными партиями заготовок. Если отдель-

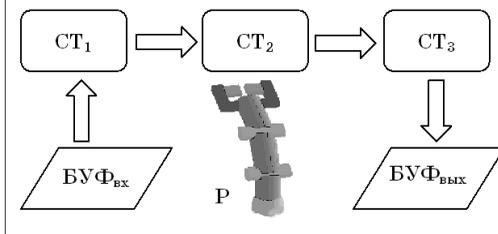


Рис. 3 – Производственный пример

ные элементы партии заготовок любой специализированной группы по каким-то причинам не будут обработаны на какой-либо стадии (то есть не пройдут через какую-либо из рабочих станций), этот факт зафиксируется соответствующей позицией p_x подсети в И-РВСП-модели, виртуально отражающей состояние реально функционирующей системы. Рабочие станции CT₁ и CT₃ используют робот Р для своего обслуживания, в связи с чем последний должен быть свободным перед активизацией позиции p_x одной из этих рабочих станций;

- робот Р переносит партии из зоны питателя БУФ_{вх} на станцию CT₁, либо с выхода станции СП₂ на вход станции СП₃, либо возвращает освободившуюся тару после станции CT₃ на буфер БУФ_{вх}. Этот процесс может быть абстрагирован более высоким уровнем представления в модели - операцией функционирования робота.

Фрагментарно И-РВСП-модель представлена рисунками 4, 5 и 6 [2]. Группирование позиций и переходов (аналогично рассмотренному выше и отображённому на рис. 1) указано в таблице 2. Таблицы 3 и 4 дают общее представление об И-РВСП-модели с координирующей ячейкой. Следует отметить, что таблицы 2-4 отражают результат функционирования системы с позиций диспетчера/анализатора. Заметим, что И-РВСП-моделью системы отражаются лишь некоторые из возможных ошибочных ситуаций. Нет и чёткого представления о восстановительном процессе после некоторых ошибок, ибо этим примером отображения на диспетчере/анализаторе лишь демонстрируются возможности декомпозиции И-РВСП-подхода, причём, сеть разбита на такие минимально возможные состояния, в которых удаётся наблюдать определённое группирование позиций и переходов.

В таблице 5 приведено описание состояния позиций и переходов в декомпозициях И-РВСП. Восходящим способом проверяются такие важные свойства системы, как *ограниченность*, *живость* и *реверсивность*. Анализ достижимости подсетей связан с состоянием её маркировки, т.е. с *проблемой достижимости* и заключается в следующем: вначале проверяются свойства подсети p_{44} (или p_{23} , рис. 6); затем проверяются свойства подсетей p_3 (или p_{15} , см. декомпозицию сети на рис. 5); далее следует про-

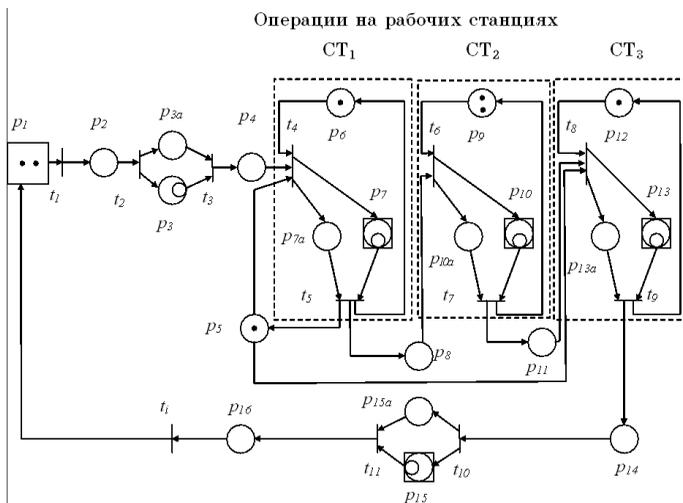


Рис. 4 – Первая декомпозиция И-РВСП-модели

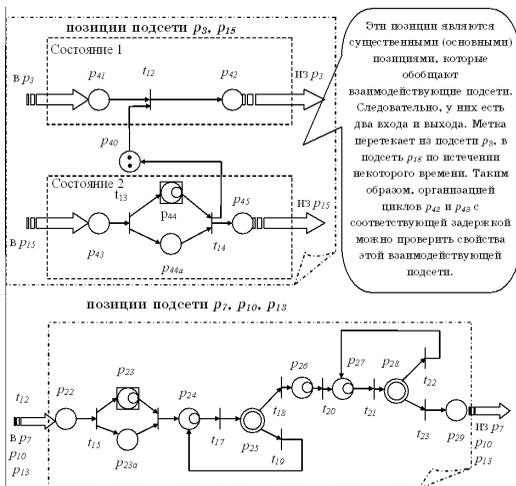


Рис. 5 – Вторая декомпозиция И-РВСП-модели

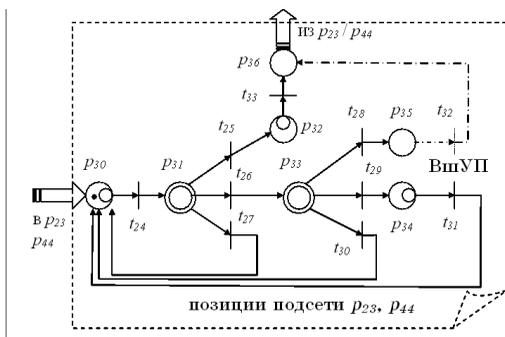


Рис. 6 – Декомпозиция-3 И-РВСП-модели

Таблица 2.

Наблюдаемое группирование позиций и переходов И-РВСП-модели системы

Классификация	Позиции/переходы
p_{e3}, t_{e3}	p_1, p_{16}, t_1
t_{e23}	t_{11}
t_{e30}	t_1
p_{e2}, t_{e2}	$p_3, p_{3a}, p_4, p_5, p_6, p_7, p_{7a}, p_8, p_9, p_{10}, p_{10a}, p_{11}, p_{12}, p_{13}, p_{13a}, p_{14}, p_{15}, p_{15a}, p_{35}, t_3, t_4, t_5, t_6, t_7, t_8, t_{10}$
t_{e02}, t_{e12}	t_2, t_{28}
t_{e20}	t_{32}^*
p_{e1}, t_{e1}	$p_{23}, p_{23a}, p_{25}, p_{28}, p_{31}, p_{33}, p_{34}, p_{44}, p_{44a}, t_{26}, t_{29}$
t_{e01}	$t_{13}, t_{15}, t_{17}, t_{21}, t_{24}$
t_{e10}	$t_{14}, t_{16}, t_{18}, t_{19}, t_{22}, t_{23}, t_{25}, t_{27}, t_{30}, t_{31}$
p_{e0}, t_{e0}	$p_2, p_{22}, p_{24}, p_{26}, p_{27}, p_{29}, p_{30}, p_{32}, p_{36}, p_{40}, p_{41}, p_{42}, p_{43}, p_{45}, t_{20}, t_{33}$

*- эти переходы возможны при восстановлении нормальных операций благодаря внешнему событию, контролируемому диспетчером/анализатором.

верка свойств подсетей p_7 (или p_{10} , или p_{13}); наконец, следует проверка свойств всей И-РВСП-модели, отражённой на рис. 4. Процессное время, связанное с позицией p_{26} для различных рабочих станций, определяется динамической маркировкой системы. Это значит, что процессное время, связанное с операциями в позициях p_{24} , p_{26} и p_{27} , будет зависеть от маркировки позиций p_{7a} , p_{10a} и p_{13a} . Если позиция p_{10a} маркирована, то процессное время может зависеть от маркировки позиции p_9 , что также повлияет на загруженность рабочей станции (обрабатываются одно или два задания).

Анализ функционирования. Функционируя как контрольное устройство, диспетчер \ анализатор сможет также “видеть” все операции системы, которые проиллюстрированы в табл. 1. Таким образом, произойдет переключение на режим контроллера операций, сразу после обнаружения ошибки в операции. В этом режиме будет выбрана и проанализирована необходимая подсеть для идентификации размещения ошибки и связанных состояний подсети. Во время этих операций, диспетчер может активировать ВшУП или инициировать системные операции еще раз в необходимых точках входа/выхода, как было отражено в И-РВСП модели системы.

Таблица 3.

Структурная координация в И-РВСП модели

	Источники	ЛЮО _{иниц}	ЛЮО _{обр}	ВУО _{иниц}	ВУО _{обр}
Робот	p_5				
БУФ _{вх}	p_{40}	t_{13}	t_{14}		
СТ ₁	p_6	$t_{15}, t_{17}, t_{21}, t_{24}$	$t_{16}, t_{18}, t_{19}, t_{22}, t_{23}, t_{25}, t_{27}, t_{30}, t_{31}$	t_{28}	t_{32}
СТ ₂	p_9	t_{17}, t_{21}, t_{24}	$t_{18}, t_{19}, t_{22}, t_{23}, t_{25}$		
СТ ₃	p_{12}	$t_{15}, t_{17}, t_{21}, t_{24}$	$t_{16}, t_{18}, t_{19}, t_{22}, t_{23}, t_{25}, t_{27}, t_{30}, t_{31}$	t_{28}	t_{32}
БУФ _{вых}	-				

Таблица 4.

Связи в ячейках координатора

	Робот	БУФ _{вх}	СТ ₁	СТ ₂	СТ ₃	БУФ _{вых}
Робот			X		X	
БУФ _{вх}			X			
СТ ₁				X		
СТ ₂					X	
СТ ₃						X
БУФ _{вых}						

Таблица 5.

Интерпретация состояний позиций и переходов

Позиции	Переходы
p_1 Входная ПИС-позиция	t_1 ВшУП1
p_2 Доступность входной партии	t_2 В подсеть p_3
p_3 Подсеть количества носителей	t_3 Из подсети p_3
p_4 Фиксированная партия доступна на БУФ _{вх}	t_4 Начало операции СТ ₁
p_5 Робот свободен	t_5 Конец операции СТ ₁
p_6 СТ ₁ (рабочая станция 1) свободна	t_6 Начало операции СТ ₂
p_7 Подсеть для операций на рабочей станции 1	t_7 Конец операции СТ ₂
p_8 Незагруженная деталь из рабочей станции 1	t_8 Начало операции СТ ₃
p_9 СТ ₂ (рабочая станция 2) свободна	t_9 Конец операции СТ ₃
p_{10} Подсеть для операций на рабочей станции 2	t_{10} В подсеть p_{15}
p_{11} Незагруженная деталь из рабочей станции 2	t_{11} Из подсети p_{15}
p_{12} СТ ₃ (рабочая станция 3) свободна	t_{12} Приспособления готовы для загрузки
p_{13} Подсеть для операций на рабочей станции 3	t_{13} Подсеть передвинуть вовнутрь
p_{14} Незагруженная деталь из рабочей станции 3	t_{14} Подсеть передвинуть наружу
p_{15} Подсеть возвращает все приспособления на БУФ _{вх}	t_{15} Инициирование операций СТ ₁ , СТ ₂ , или СТ ₃
p_{16} Выполняющаяся деталь на БУФ _{вых}	t_{16} Деталь, передв. к рабочей станции
p_{40} Количество приспособлений, доступное на БУФ _{вх}	t_{17} Загрузка закончена
p_{41} В подсеть p_3	t_{18} Загрузка успешна
p_{42} Из подсети p_3	t_{19} Неуспешная загрузка
	t_{20} Деталь обработана
	t_{21} Выгрузка закончена
	t_{22} Выгрузка неуспешна
	t_{23} Выгрузка успешна
	t_{24} Деталь перенесена на не-большое расстояние
	t_{25} Достигнут пункт назначения
	t_{26} Полезное отклонение

Продолжение таблицы 5.

Интерпретация состояний позиций и переходов

Позиции	Переходы
p_{43} В подсеть p_{15}	t_{27} Пункт назначения не достигнут
p_{44} Подсеть переносит приспособления к БУФ _{вх}	t_{28} Деталь выгружена, вне подсети
p_{45} Из подсети p_{15}	t_{29} Деталь в зоне достижимости
p_{22} Начало операций на СТ ₁ , СТ ₂ , СТ ₃	t_{30} Деталь не опущена
p_{23} Перенесение деталей на СТ ₁ , СТ ₂ , СТ ₃	t_{31} Деталь поднята
p_{24} Загрузка деталей на СТ ₁ , СТ ₂ , СТ ₃	t_{32} Деталь может быть бракована
p_{25} Операция загрузки успешна?	t_{33} Деталь доставлена на место назначения
p_{26} Загрузка успешна, деталь обрабатывается	ti Возврат к началу цикла
p_{27} Выгрузить детали с СТ ₁ , СТ ₂ , СТ ₃	
p_{28} Успешна ли процедура выгрузки?	
p_{29} Деталь выгружена, вне подсети	
p_{30} Переместить в подсеть, на небольшое расстояние	
p_{31} Полезное отклонение/пункт назначения достигнуты	
p_{32} Инициализировать переключение детали	
p_{33} Деталь опущена	
p_{34} Инициализировать поднятие детали	
p_{35} Деталь вне достижения, сложная ошибка	
p_{36} Вне движения подсети	

Выводы

Рассмотрены свойства И-РВСП-базовой многофункциональной модели иерархической ДСС. Синтезированы и проанализированы структурные объединения позиций и переходов для диагностирования ошибок диспетчером/анализатором, позволяющим одновременно интерпретировать особенности функционирования реальной системы как на верхних (абстрагированных), так и на нижних (детализированных) её уровнях.

Дополнительным важным достоинствами основанного на И-РВСП-подходе системного моделирования является возможность адаптации к системам с параллельными процессами и различными ресурсами, выполняющими независимые операции для достижения общей цели. Примером такой адаптации служит присоединение приоритетного правила для принадлежащих к конфликтному множеству переходов (например, обеспечение возможности более высокого приоритета для переходов с активизированными дугами).

Приведенный пример реализации описанного подхода наглядно интерпретирует особенности И-РВСП-моделирования сложных процессов в ДСС при выявлении и прогнозировании возможных сбоев.

Литература

1. Моделирование процессов в дискретно-событийных системах иерархическими распределёнными во времени сетями Петри / Лисовиченко О.И., Остапченко К.Б., Пуховский Е.С., Ямпольский Л.С. // Адаптивні системи автоматичного управління. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць.- Вип. 7(27).- Дніпропетровськ, 2004.- С. 26-38.
2. Ramaswamy S., Valavanis K. P. Modeling, Analysis and Simulation of Failures in a Materials Handling System with Extended Petri Nets // IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics.-Vol. 24.- 9.-1994.
3. Zhou M. C., DiCesare F. Petri Net Synthesis for Discrete event Control of Manufacturing Systems // Boston: Kluwer Academic Publishers.-1993.