

Принципы разработки инструментальной системы имитационного моделирования технологических процессов производства

И. В. МАКСИМЕЙ, В. С. СМОРОДИН, Е. И. СУКАЧ, И. В. СОБОЛЬ

1. Введение

Дискретные технологические процессы производства (ДТПП) характеризуются сложной динамикой развития с вероятностной природой реализации технологических операций (ТХО). Непредсказуемый характер реализации ТХО определяет необходимость исследования ДТПП методами имитационного моделирования. Поскольку имитация представляет собой весьма ресурсоемкую процедуру, требующую автоматизации трудоемких этапов постановки имитационных экспериментов (ИЭ), то для повышения уровня технологии проведения ИЭ в ходе проектного моделирования состава и структуры ДТПП разработан программно-технологический комплекс имитации (ПТКИ) технологических процессов производства (ТПП), предоставляющий исследователю дополнительные возможности для постановки ИЭ с использованием процедур метода Монте-Карло [1]. Наличие в составе ПТКИ базовой системы моделирования MICIS [2] и библиотеки имитационных моделей (ИМ) ТПП позволяет автоматизировать основные этапы разработки испытания и использования ИМ вероятностных ТПП. Однако возможностей ПТКИ при исследовании динамики развития ТПП в условиях появления отказов функционирования $\{ТХО_i\}$ и анализе характеристик надежности и безопасности реализации ТПП уже недостаточно. ИМ, построенные на транзактно-процессном способе имитации, зачастую возрастают в объемах и существенно замедляются процессы имитации, особенно при использовании метода Монте-Карло в ходе проектного моделирования ДТПП. Поэтому актуальна разработка новой инструментальной системы имитационного моделирования ДТПП. В настоящей работе излагаются принципы разработки инструментальной системы имитационного моделирования (ИСИМ) на основе агрегатно-процессного способа имитации.

2. Формализация дискретных технологических процессов производства

Технологические процессы производства описываются аппаратом вероятностных сетевых графиков (ВСГ), в которых основными элементами являются микротехнологические операции ($МТХО_{ij}$) и события (SOB_i). Наряду с традиционным представлением ТПП [3] в виде сетевых графиков с детерминированными последовательностями $\{МТХО_{ij}\}$ и нормативными значениями времен их выполнения (τ_{ij}) используются $МТХО_{ij}$ с набором параметров вероятностной природы и SOB_i , обладающие наборами вероятностных выходов. Каждый k -й вероятностный выход задается в виде «вероятностного куста» ($ВКР_{ij}$), требует задания вектора вероятностей срабатывания жребиев запуска $МТХО_{ij}$ $\{P_{ik}\}$, для которых k -й выход SOB_i является отправителем, а SOB_j становится адресатом. Существенным расширением аппарата формализации на основе сетевых графиков выполнения работ является добавление в описание $МТХО_{ij}$ дополнительных характеристик использования ресурсов, задаваемых либо в виде функций распределения, либо набором списков требуемых ресурсов системы. Для каждой $МТХО_{ij}$ задаются: стоимость ее выполнения ($СТ_{ij}$), требуемые затраты материа-

лов или комплектующих изделий (MT_{ij}), объемы ресурсов системы ($V_{RES_{ij}}$), список используемого оборудования (OB_{ij}), список исполнителей ($ИСП_{ij}$), длительность их выполнения (τ_{ij}). Дополнительными параметрами, характеризующими надежность и безопасность выполнения $MTXO_{ij}$ являются: вероятность отказа работоспособности оборудования ($P_{OT_{ij}}$), вероятность появления опасного отказа при выполнении $MTXO_{ij}$ ($P_{AB_{ij}}$), интервал времени между соседними отказами оборудования при выполнении $MTXO_{ij}$ ($\tau_{MO_{ij}}$), интервал времени восстановления работоспособности оборудования при реализации $MTXO_{ij}$ ($\tau_{BO_{ij}}$), интервал времени ликвидации аварийной ситуации ($\tau_{AB_{ij}}$). Все эти характеристики задаются соответствующими функциями распределения вероятностей их значений: $F_{1ij}(CT)$; $F_{2ij}(MT)$; $F_{3ij}(V_{RES})$; $F_{4ij}(\tau_{ij})$; $F_{5ij}(\tau_{MO})$; $F_{6ij}(\tau_{BO})$; $F_{7ij}(\tau_{AB})$.

Каждое событие SOB_i , в свою очередь, описывается двумя списками: список входов $SPIN_{ij}$ и список выходов $SPOU_{ij}$. Список входов включает в себя: количество входов (R_i) и номера входов ($r_i = \overline{1, R_i}$). Список выходов $SPOU_{ij}$ содержит следующую информацию о выходах: количество выходов (K_i), множество описателей выходов $OPOU_{ki}$ ($k = \overline{1, K_i}$). Каждый $OPOU_{ki}$ характеризует состав и способ связей данного выхода SOB_i с другими входами других событий SOB_j . Кустовые выходы могут содержать различное число направлений связей с другими событиями, обозначаемое как d_{kj} . Направления связей, в свою очередь, характеризуются парой: порядковый номер направления (l) и вероятность выбора этого направления в качестве единственно реализуемого из всех (d_k) направлений связей (P_{klj}). При этом сумма этих вероятностей у одного куста должна быть равна единице ($\sum_{l=1}^{d_k} P_{lkj} = 1$).

3. Моделирование дискретных технологических процессов производства на основе агрегатно-процессного способа имитации

Для составления описания ИМ ВСГР используются два типа агрегатов: технологическая операция ($АТОР_{ij}$) и событие ($ASOB_{ij}$). Агрегаты взаимодействуют между собой с помощью информационно-управляющих сигналов $Sig(ij)$. В отличие от классической схемы агрегатного способа имитации [4] $Sig(ij)$ представляет собой сложную информационно-логическую структуру:

$$Sig(ij) = (i, k_i, d_{ki}, l_{ki}, P_{ki}, \pi_{ki}; j, r_j),$$

где i – номер события – отправителя сигнала;

k_i – номер выхода $ASOB_{ij}$, инициирующего посылку данного сигнала;

d_{ki} – тип и число направлений;

l_{ki} – номер направления d_k -го выхода $АТОР_{ij}$, сформировавшего сигнал ($l_{ki} = \overline{1, d_k}$);

P_{ki} – вероятность выбора l_{ki} -го направления l_{ki} в d_k -ом кусте;

π_{ki} – признак, равный единице в случае срабатывания жребия события выбора по вероятности P_{ki} ;

j – номер события – получателя сигнала;

r_j – номер входа в событие.

Переменные ($i, k, d_{ki}, l_{ki}, P_{ki}, \pi_{ki}$) представляют адрес отправителя, а адресом получателя сигнала является пара переменных (j, r_j).

Программа агрегата $ATOP_{ij}$ является универсальной и реентерабельной, обслуживая одновременно все ИМ $MTXO_{ij}$. Алгоритм моделирования $MTXO_{ij}$ может функционировать в двух режимах: прямой имитации ($ini = 0$) и инверсной имитации ($ini = 1$). Агрегат $ATOP_{ij}$ представляет собой четырехполосник, на входы которого поступают сигналы IP в режиме прямой имитации и II в режиме инверсной имитации, а на выходах которого формируются сигналы OP в режиме прямой имитации и OI в режиме инверсной имитации. В режиме прямой имитации модельное время t_0 возрастает от 0 до момента окончания моделирования ($T_{мод}$), а в режиме инверсной имитации t_0 убывает от $T_{мод}$ до нуля. Агрегат $ATOP_{ij}$ может пребывать в следующих состояниях: ожидание прихода сигнала типа IP, запускающего его программу в режиме прямой имитации (S_0); формирование множества запросов ресурсов ТПП, необходимых для обеспечения выполнимости $MTXO_{ij}$ и задаваемых в списке параметров агрегата (S_1); моделирование выполнения $MTXO_{ij}$ длительностью $\tau_{вып\ ij}$ в режиме прямой имитации (S_2); формирование выходного сигнала типа OP для передачи его на один из входов агрегата $ASOB_i$ (S_3); ожидание прихода сигнала типа II от $ASOB_i$ в режиме инверсной имитации (S_4); моделирование выполнения $MTXO_{ij}$ длительностью $\tau_{вып\ ij}$ в режиме инверсной имитации (S_5); формирование выходного сигнала типа OI в режиме инверсной имитации (S_6). Таким образом за время постановки серии ИЭ агрегат $ATOP_{ij}$ циклически переходит из состояния S_0 во все остальные состояния до S_6 , затем возвращаясь в состояние S_0 .

Программа агрегата $ASOB_i$ также является универсальной и реентерабельной, обслуживая одновременно все ИМ SOB_i , и также может функционировать в двух режимах (прямой и инверсной имитации). Агрегат $ASOB_i$ представляет собой многополосник с R_i входами и K_i выходами. На входы агрегата $ASOB_i$ поступают выходные сигналы OP от $ATOP_{sj}$ в режиме прямой имитации и выходные сигналы OI от $ATOP_{ij}$ в режиме инверсной имитации. В режиме прямой имитации после поступления последнего входного сигнала срабатывает спусковая функция агрегата в момент, соответствующий раннему сроку свершения SOB_i (t_{pi}), и агрегат $ASOB_i$ организует запуск сигналов одновременно со всех выходов (одиночных и по одному из кустовых выходов). Эти сигналы относятся к типу IP, поступая на входы агрегатов $ATOP_{ij}$ в режиме прямой имитации. В режиме инверсной имитации после поступления первого сигнала типа OI от $ATOP_{ij}$ на один из выходов агрегата $ASOB_i$ в момент, соответствующий позднему сроку свершения SOB_i (t_{ni}), агрегат $ASOB_i$ организует запуск сигналов одновременно со всех входов агрегата. Эти сигналы относятся к типу II и поступают на соответствующие входы $ATOP_{sj}$, запуская эти агрегаты в режим инверсной имитации. Агрегат $ASOB_i$ может пребывать в следующих состояниях: ожидания прихода на вход агрегата первого выходного сигнала OP от $ATOP_{sj}$ на один из входов $ASOB_i$ (S_0); ожидание прихода последнего сигнала на входы $ASOB_i$ (S_1); срабатывание спусковой функции агрегата $ASOB_i$ в момент времени t_{pi} (S_2) и формирование сигналов со всех выходов $ASOB_i$ типа IP в режиме прямой имитации (S_3); ожидание прихода в режиме инверсной имитации первого сигнала типа OP от $ATOP_{ij}$ на один из выходов $ASOB_i$ (S_4); запуск сигналов со всех вхо-

дов $ASOB_i$ типа II в режиме инверсной имитации, поступающих на соответствующие входы агрегатов $АТОР_{s_i}$ (S_5); переход в состояние S_0 . Отметим, что все сигналы в состояниях S_2 и S_4 агрегат $ASOB_i$ формирует мгновенно в модельном времени t_0 . За время постановки серии ИЭ агрегат $ASOB_i$ также циклически переходит из состояния S_0 во все состояния до S_5 включительно и затем снова возвращается в состояние S_0 .

Разработанная на изложенных принципах инструментальная система имитационного моделирования (ИСИМ) позволяет оперативным образом автоматизировать серию ИЭ для определения параметров ВСГ на основе процедур Монте-Карло [5]. Использование ИСИМ и технологии постановки с ее помощью серии ИЭ [6] предоставляет исследователю формировать диаграммы расхода ресурсов ТПП в ходе реализации ВСГ и находить вероятностные характеристики параметров сетевого графика комплекса $МТХО_y$.

Abstract

The authors consider principles of the development of an instrumental system of imitating modeling on the basis of an aggregate-process way of imitation.

Литература

1. Максимей И.В., Левчук В.Д., Маслович С.Ф., Смородин В.С., Попова Е.О., Поташенко А.М., Терещенко Г.А. О проблемной модификации программно-технологического комплекса имитации технологических процессов производства. – Известия ГГУ им. Ф. Скорины. – Гомель, 2003. – № 3(18). – С. 38-41.
2. Левчук В.Д., Помаз А.С. Визуальное проектирование имитационной модели в СМ MICIS. – Известия ГГУ им. Ф. Скорины. – Гомель, 2002. – № 6(15). – С. 49-54.
3. Жогаль С.П., Максимей И.В. Задачи и модели исследования операций. Ч.1. Аналитические модели исследования операций. уч. пособие. – Гомель: БелГУТ, 1999. – 109 с.
4. Максимей И.В. Имитационное моделирование на ЭВМ. – М.: Радио и связь, 1984. – 230 с.
5. Поташенко А.М. Об одной методике постановки имитационных экспериментов при оценке пропускной способности технологических процессов производства. – Известия ГГУ им. Ф.Скорины. – Гомель, 2003. – №3(18). – С. 64-67.
6. Максимей И.В., Смородин В.С., Поташенко А.М., Попова Е.О. Методика анализа и прогноза на имитационной модели характеристик надежности реализации вероятностных технологических процессов производства. – Реєстрація, зберігання і обробка даних (Data Recording, Storage & Processing). – Том 5, N 4. – Київ, 2003. – С. 3-10.