Уфа : УГАТУ, 2012 Вестник УГАТУ Т. 16, № 3 (48). С. 38–41
СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ
УДК 004

А. А. Колесников, Р. Ш. Саитгареева

ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМЫ СИТУАЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ НЕСТАЦИОНАРНЫМИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ ПРОЦЕССАМИ НА ОСНОВЕ СТРУКТУРНОЙ ПЕРЕСТРОЙКИ КООРДИНАЦИОННОЙ СХЕМЫ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

В статье рассматриваются принципы построения системы ситуационного управления для решения задач управления нестационарными производственными процессами. *Процессный подход*; *ситуационное управление*; *производственный процесс*; *координационная схема*; *энтропийный подход*

Процессный подход приобретает все большее значение в связи с развитием информационных технологий и необходимостью повышения эффективности управления производственным процессом. Концепция процессного подхода в отличии от классической школы функционального управления, функции управления представляет как потоки взаимосвязанных производственных операций. В зависимости от возможных последствий нарушения последовательности и времени выполнения работ производственные процессы относят к следующим группам процессов:

- «с жесткими временными сроками» – задержка этих производственных процессов приводит к непригодности результатов работ к дальнейшему использованию и требует дополнительных затрат на ликвидацию последствий;
- «с мягкими временными сроками» – задержка этих производственных процессов приводит к снижению эффективности всего производственного процесса.

Соответственно, функция принятия решений в нештатных ситуациях включает модели оценки времени на выполнения новых операций и модели оценки времени досрочного завершения уже начатых операций. Признаком необходимости досрочного завершения начатых операций, т. е. структурной перестройки координационной схемы производственных операций является наличие конфликта («тупика») в схеме выполнения производственных операций Z_i [1].

При возникновении нештатных ситуаций происходит нарушение последовательности и временного графика выполнения производственных операций. Соответственно, возникает задача восстановления выполнения производственных операций с минимальными потерями ресурсов, в том числе ресурсов времени. Эта задача может рассматриваться как задача структурной перестройки схемы производственных операций с учетом дополнительных ограничений, возникших вследствие нештатной ситуации. Для управления дискретно-непрерывным процессом применяется два метода адаптации: параметрическая и структурная.

Система, реализующая параметрическую адаптацию, должна обладать следующими свойствами:

- система изолирована от окружающей среды за исключением связей типа вход/выход;
- правила представления данных на входе/выходе и области изменения параметров фиксированы (параметризованы);
- система включает адаптирующий элемент, настраивающий исполнительные элементы в зависимости от значения входных параметров.

Система, реализующая структурную адаптацию, должна обладать следующими свойствами:

- система представляет собой совокупность адаптирующих элементов;
- каждая функция системы реализуется с помощью совокупности определенным образом связанных элементов (модулей);
- для функций системы существуют альтернативные способы реализации;
- система включает адаптирующий элемент, осуществляющий выбор траектории реализации заданных функций и оптимального состава исполнительных элементов.

Контактная информация: 8(347)291-22-63

При реализации ситуационной системы управления множество элементов системы остается неизменным на протяжении всего жизненного цикла. Из всего множества функциональных связей производственной системы на этапе реализации проекта достаточное количество степеней свободы для перестройки имеет только схема координации производственных операций. Так как система ситуационного управления не имеет формализованной целевой функции, рассмотрим эвристическую функцию эффективности координационной схемы производственных операций, которую можно рассматривать как критерий сокращения непроизводственных затрат, в том числе времени:

$$V = \sum_{i=1}^{n} K_i V_i,$$

где V_i — нормализованная величина непроизводственных затрат i-го ресурса, k_i — весовой коэффициент.

Таким образом, структурная адаптация осуществляется на уровне связей и обеспечивает оптимизацию координационной схемы производственных операций в текущей ситуации.

Множество возможных структур ситуационной модели будет состоять из конечного числа элементов и иметь вид

$$M_s = \{M_1, M_2, ..., M_n\},$$

где n – число вариантов структуры ситуационной модели.

Отдельно взятые структуры моделей M_i соответствуют вариантам сетевой модели из множества допустимых и формализованы функциями, определяющими многообразие сочетаний элементов D'_j. Состав множества структурных компонентов D'_j описывается как

$$D' = \{T, X, U, W, G, \Phi\},$$

где T – подмножество моментов времени, X – подмножество переменных состояния объекта управления, U – подмножество допустимых управляющих воздействий, W – подмножество случайных возмущающих воздействий, G – подмножество технологических ограничений, Φ – подмножество функций связи с элементами.

Так как целевая функция выбора сетевой модели в разработанной системе ситуационного управления является линейной для каждого шага ситуационной модели, для сокращения числа итераций структурной перестройки определим систему ограничений в форме линейных неравенств. Таким образам, задача выбора структуры сводится к задаче математического программирования.

Рассмотрим правила формализации системы ограничений задачи математического программирования [2] на основе системной интегративной потоковой модели. Топология узлов потоковой модели представлена в форме направленного графа G_p, матрица смежности узлов которого преобразуется в множество ограничений на последовательность производственных операций. Возможно использование алгоритма обхода узлов графа в прямом или обратном направлении, соответственно будут построены правила ограничений на последующие либо предшествующие производственные операции (работы). Интегративная потоковая модель [3, 4] имеет топологию, в которой все независящие производственные операции представлены выполняемыми параллельно.

Реально производственные операции на объекте управления должны выполняться частично последовательно. Так как в топологии потоковой модели производственных операций не отражено распределение работ по исполнителям и ограничения по технологическому оборудованию, эта модель отображает все потенциально возможные последовательности выполнения работ. Таким образом, необходимы дополнительные ограничения на параллельное выполнение работ, формализуемые моделями нижнего уровня в иерархии системной модели.

Обозначим $R = \{R_1, R_2, \ldots, R_n\}$ – множество исполнителей, n – количество исполнителей, причем, $n < m$; $\tau(x)$ – время выполнения i-м работником работы x, $x \in D$. Назначение работ по исполнителям задается прямоугольной матрицей R' $n \times m$ над множеством $\{0, 1\}$; строки матрицы – исполнители, столбцы – работы, i, j – элемент: равен 1 тогда и только тогда, если i-й исполнитель выполняет j-ю работу.

Таким образом, критерий оптимизации – V, граф G_p, матрицы R' составляют исходные данные задачи математического программирования для принятия решения по структурной перестройке координационной схемы производственных процессов в нештатных ситуациях. Результатом решения задачи математического программирования являются массивы значений раннего срока выполнения работ t_{i0} и позднего срока выполнения работ t_{iw}, образующие интервалы запасов времени $[t_{i0}, t_{iw}]$, для i-й работы. Так как продолжительности работ точно не известны, то они представлены нечеткими интервалами, и все вычисления производятся в терминах расширений для нечетких значений.

Интервал $[\underline{m}–a,\ m+b]$ является носителем нечеткого интервала M. В качестве L и R выбраны непрерывные и гладкие функции. Для операций минимизации значений V, используется аппроксимация функции принадлежности нечеткого интервала согласно выражению:

$$\min(M, N) \approx (\min(\underline{m}, \underline{n}), \min(m, n), \min(\underline{m}, \underline{n}) -$$
$$-\min(\underline{m}-a, \underline{n}-\gamma),$$
$$\min(m + b, n + \delta) - \min(m, n));$$
$$M = (\underline{m}, m, a, b);\ \ N = (\underline{n}, n, \gamma, \delta);$$

согласно способу аппроксимации нечетких интервалов:

$$f(M, N) \approx (f(\underline{m}, \underline{n}), f(m, n), f(\underline{m}, \underline{n}) - f(\underline{m} - a, \underline{n} - \gamma),$$
$$f(m + b, n + \delta) - f(m, n)).$$

Таким образом, возможно использование расширения стандартного алгоритма сетевого планирования для нечетких данных. В связи с тем, что время начала работ и их длительность определены нечетко, критический путь сетевой модели необходимо заменить на нечеткое множество потенциально возможных критических путей.

Оценка времени применения управляющего воздействия в процедурах принятия решений.

Для нахождения критической точки фазового перехода нечеткого множества выходных значений динамической модели применяется энтропийный подход. Известно несколько вариантов постулирования энтропии нечеткого множества, являющихся расширением понятия энтропии, введенного К. Шенноном. В данной работе используется определение энтропии в соответствии с вероятностной мерой нечеткого множества по аксиоматике вероятности А. Н. Колмогорова. Рассмотрим основные свойства энтропии применительно к управляющей системе. Энтропия $H(S)$ источника S с двумя состояниями S_1 и S_2 изменяется от нуля до единицы, достигая максимума при равенстве их мер функций принадлежности:

$$P(S_1) = P = P(S_2) = 1 - P = 0{,}5,$$
$$H(S) = -[P \log P + (1 - P) \log (1 - P)].$$

Для нечеткого множества входных параметров с энтропией $w(t)$, переводящих управляющую систему из одного состояния в другое состояние, можно составить систему обыкновенных дифференциальных уравнений Колмогорова с переменными коэффициентами в виде:

$$\frac{dP_i\,(t)}{dt} = \sum_{j=1}^{n} P_j\,(t)\, w_{ji}(t) - P_i(t) \sum_{j=1}^{n} w_{ji}(t),\ i = \overline{1, n}.$$

Это следует из того, что в любой момент t события $\{S(t) = S_1\}$, $\{S(t) = S_2\}$,…,$\{S(t) = S_n\}$ образуют полную группу несовместных событий. Дифференциальные уравнения Колмогорова для мер функций принадлежности состояний $P_1(t)$ и $P_2(t)$ имеют вид

$$dP_1(t)\,/\,dt = P_2(t)\mu\mu t) - P_1(t)w(t),$$
$$\frac{dP_1(t)}{dt} + (w + \mu)\, P_1\,(t) = \mu.$$

Для любого момента времени t выполняется нормировочное условие для группы событий $P_1(t) + P_2(t) =1$, отсюда: $P_2\,(t) = 1 - P_1\,(t)$.

После преобразований получим линейное дифференциальное уравнение с переменными коэффициентами

$$dP_1(t)\,/\,dt + [w(t) + \mu(t)]\, P_1(t) = \mu(t).$$

Приняв $w(t) = w = \text{const}$, $\mu(t) = \mu = \text{const}$ (интенсивности $w(t)$ и $\mu(t)$ являются независимыми от времени), и при начальном условии $P_1(0) = 1$ дифференциальное уравнение запишем в виде

$$P_1(t) = \frac{\mu}{w + \mu} + \frac{w}{w + \mu} e^{-(w+\mu)t}.$$

Решением будет энтропия нечеткого множества состояний управляющей системы в соответствии с плановыми показателями в момент времени t. После преобразований которого получим линейное дифференциальное уравнение с переменными коэффициентами

$$dP_1(t)/dt + [w(t) + \mu(t)]P_1(t) = \mu(t),$$

где $\mu(t)$ – функция принадлежности нечеткого множества состояний системы ситуационного управления при наличии отклонений в момент времени t .

При $P << (1 - P)$ частная неопределенность, приходящаяся на состояние S_1 , велика, однако такие состояния источника являются редкими. Состояния S_2 реализуется часто, но неопределенность, приходящаяся на такое состояние очень мала. Поэтому энтропия, характеризующая среднюю неопределенность на одно состояние ансамбля, также мала. Аналогичная ситуация наблюдается при $p >> (1 - P)$. Энтропия непрерывно зависит от функций распределения нечетких функций состояний, что непосредственно вытекает из непрерывности функций $P \log P$. При $P_1(t) = 0{,}5$ энтропия $H(S) = 1$. Решим уравнение при энтропии равной единице, обозначив $w + \mu = a$:

$$t = -1/a \ln ((0{,}5\, a - \mu)\ /\ w).$$

Подставив, принятое обозначение a получим:

$$t = -\frac{1}{(w + \mu)} \ln \frac{w - \mu}{2w}.$$

Момент времени t является точкой фазового перехода управляющей системы из одного качественного состояния в другое качественное состояние. В управляющей системе с классами состояний S_1 и S_2 выполняется необходимое условие для построения модели ситуационного управления, обеспечивающей детерминированность времени принятия решений.

Оценка риска недерминированности времени в процедурах принятия решений. Основными причинами возможной недетерминированности времени являются неопределенность времени выполнения отдельных производственных операций.

$$v_{ik} = \int_{t_{iw}}^{t_{k0}} \exp(-(t-(t_i+d_i))^2/\sigma_i^2) \times \exp(-(t-(t_k+d_k))^2/\sigma_k^2)dt + \int_{t_{k0}}^{t_{kw}} \exp(-(t-(t_i+d_i))^2/\sigma_i^2)dt + \int_{t_{i0}}^{t_{iw}} \exp(-(t-(t_k+d_k))^2/\sigma_k^2)dt.$$

Риск, обусловленный данной причиной, оценивается методами нечетких интервалов в сетевом планировании производства. На следующем этапе необходимо оценить потребности в технологическом оборудовании и исполнителях для обеспечения условий не превышения риска сверхнормативных задержек. Для i-ой работы время начала оценивается интервалом $[t_{i0},\ t_{iw}]$. Время, необходимое для выполнения работы, задано нечетким числом d_i. Интервал времени, в котором работа должна быть выполнена, $-[t_{i0},\ t_{iw}+d_i]$. Рассмотрим величину риска конфликта при выполнении i-й и k-й работ, нечеткие интервалы времени выполнения которых частично пересекаются. Предполагается что ограничения сетевой модели выполнены:

$$\max((([t_{iw}+d_i]) - t_{k0}), (([t_{kw} + d_k]) - t_{i0})) > d_i+d_k.$$

В случае

$$\min((([t_{iw}+d_i]) - t_{k0}), (([t_{kw}+d_k]) - t_{i0})) \geq d_i+d_k$$

риск отсутствует, нечеткие интервалы времени выполнения работ не пересекаются.

Для случая частичного пересечения нечетких интервалов времени выполнения работ определим функции L и R :

$$L_i(t) = \exp(-(t-(t_i+d_i))^2/\sigma_t^2),$$

$$R_k(t) = \exp(-(t-(t_k+d_k))^2/\sigma_r^2);$$

где σ_i – коэффициент широты i-го интервала.

Существуют различные варианты аксиоматики сравнения нечетких интервалов на основе нечетких мер. Далее используется вычисление свертки как меры корреляции двух нечетких интервалов. Величина риска соответствует значению суммы нечетких интегралов:

$$P_2(t) = 1 - P_1(t) = \frac{w}{\lambda+\mu}(1-e^{-(w+\mu)t}).$$

Таким образом, нечеткое число v_{ik} характеризует нормированную величину риска недерминированности времени принятия решений по двум работам следующим последовательно в соответствии с сетевой моделью. Суммарный риск V соответственно равен:

$$V = \sum_{i=1,k=1}^{n} v_{ik} g_{ik}.$$

где g – матрица смежности графа сетевой модели.

Таким образом, вместо традиционного анализа времени критического пути сетевой модели получено нечеткое множество потенциально возможных критических путей и соответствующая ему интегральная оценка риска недерминированности времени принятия решений с целью обеспечения режима квазиреального времени в условиях структурной перестройки координационной схемы производственных операций. Разработанная модель на основе оценки энтропии нечетких множеств, позволит определить критические точки фазового перехода системы в новые ситуации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Карпов Ю. Г.** Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5. БХВ-Петербург, 2005.

2. **Вендров А. М.** CASE-технологии. Современные методы и средства проектирования информационных систем. М.: Финансы и статистика, 1998.

3. **Форестер Дж.** Основы кибернетики предприятия (индустриальная динамика). М.: Прогресс. 1971.

4. **Форрестер Дж.** Антиинтуитивное поведение сложных систем // Современные проблемы кибернетики. М.: Знание, 1977. С. 9–25.

ОБ АВТОРАХ

Колесников Андрей Александрович, доц. каф. управления и информатики ин-та экономики, информатики и управления Академии ВЭГУ. Дипл. инженер, кандидат технических наук. Готовит дис. в обл. автоматизированных инф. систем.

Саитгареева Руза Шакирьяновна, доц. той же каф. Дипл. физик. Готовит дис. в обл. построения инф. систем.