где К является контейнером, в котором находится очередь. Таким образом поставленная задача сведена к двум операциям, что значительно сокращает наши вычисления.

Отметим, что X_1, X_2, K, P_1, P_2 – заданы в интервальной форме, т.е. в процессе для решения рассматриваемой задачи используются арифметические операции с нечёткими интервалами и операция сравнения нечётких интервалов.

Таким образом, использование нечётко-интервальных величин позволяет избежать многочисленных испытаний модели.

Литература.

1. Максимей И.В., Имитационное моделирование на ЭВМ. М.: Радио и связь, 1988.

2. Шеннон Р., Имитационное моделирование: искусство и наука. М.: Мир, 1978.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЕРОЯТНОСТНОЙ МОДЕЛИ БАНКОВСКОЙ СЕТИ

А.В. Паньков

(ГрГУ, Гродно.)

Рассматривается модель банковской сети, состоящей из филиалов и центрального отделения банков. Запросы поступают из филиалов в центральный банк, который через некоторое время делает ответ. Обозначим через S_1, S_2, ..., S_{n-1} - филиалы, а через S_n - центральный банк.

Запросами могут служить: запросы о переводе денег за границу, запросы о совершении операций через межбанковскую валютную биржу. Моделью такой банковской сети может служить сеть массового обслуживания с центральным обслуживающим устройством.

Рассмотрим сеть с двумя периферийными системами обслуживания. Состоянием сети служит вектор числа заявок в системах обслуживания сети. Возможны следующие переходы между состояниями:

$\{k_1,k_2\} \to \{k_1-1,k_2\}$ - с вероятностью $\mu_1 dt$ за время dt,

$\{k_1,k_2\} \to \{k_1,k_2-1\}$ - с вероятностью $\mu_2 dt$,

$\{k_1,k_2\} \to \{k_1+1,k_2\}$ - с вероятностью $\mu_n dt$,

$\{k_1,k_2\} \to \{k_1,k_2+1\}$ - с вероятностью $\mu_n dt$, Переход из $\{k_1, k_2\} \to \{k_1 - 1, k_2\}$ означает поступление запроса из S_1 в S_3; $\{k_1, k_2\} \to \{k_1 + 1, k_2\}$ - означает поступление ответа в S_1 из S_3. Аналогично определяются два других состояния.

При переходе между состояниями S_3 получает некоторые доходы r_{ij} или терпит некоторые убытки r_{ij} (доходы $(-r_{ij})$):

$\{k_1, k_2\} \to \{k_1 - 1, k_2\}$ - доход r_{13} (перевод денег из S_1 в S_3),

$\{k_1, k_2\} \to \{k_1, k_2 - 1\}$ - доход r_{23} (перевод денег из S_2 в S_3),

$\{k_1, k_2\} \to \{k_1 + 1, k_2\}$ - доход $(-r_{31})$ (перевод денег из S_3 в S_1),

$\{k_1, k_2\} \to \{k_1, k_2 + 1\}$ - доход $(-r_{32})$ (перевод денег из S_3 в S_2).

Пусть, например, матрица интенсивностей переходов имеет вид

$$A = \begin{bmatrix} 2 & 2 \\ 1 & 4 \end{bmatrix},$$

а матрица доходов от переходов между состояниями:

$$R = \begin{bmatrix} -2 & -4 \\ 1 & 5 \end{bmatrix}.$$

Тогда вектор нормы выручки Q с компонентами q_i получается из $q_i = r_{ii} + \sum_{i \neq j} a_{ij} r_{ij}$:

$$Q = \begin{bmatrix} -10 \\ 6 \end{bmatrix}.$$

Требуется определить полные ожидаемые доходы. Используя теорию марковских случайных процессов с доходами [1], можно показать, что доходы определяются из системы линейных дифференциальных уравнений

$$\frac{d}{dt} v(t) = q + Av(t),$$

где $v(t)$ - вектор-столбец полных ожидаемых доходов, которые система получит за время t, q - вектор-столбец нормы доходов.

Зададим начальные условия: $v(0) = 0$. Тогда

$$\frac{d}{dt} v(t) = Q + Av(t).$$

Для решения этого уравнения воспользуемся преобразованием Лапласа:

$$w(s) = \frac{1}{s}(sI - A)^{-1} Q + (sI - A)^{-1} v(0).$$

Последняя формула связывает преобразование Лапласа $w(s)$ вектора $v(t)$ с матрицей $(sI-A)^{-1}$, вектором нормы выручки Q и вектором доходов в момент начала процесса. Вектор дохода $v(t)$ можно найти при помощи обратного преобразования Лапласа.

Для указанной выше матрицы A имеем:

$$\frac{1}{s}(sI-A)^{-1}=\frac{1}{s(s-(3+\sqrt{3}))(s-(3-\sqrt{3}))}\begin{bmatrix} s-4 & 2 \\ 1 & s-2 \end{bmatrix}=\frac{1}{\eta}\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}+\frac{1}{\delta}\begin{bmatrix} -4 & 2 \\ 1 & -1 \end{bmatrix},$$

где $\eta=(s-(3+\sqrt{3}))(s-(3-\sqrt{3}))$, $\delta=s(s-(3+\sqrt{3}))(s-(3-\sqrt{3}))$. Обратное преобразование Лапласа для функции $\frac{1}{(p+a)(p+b)}$ равно $\frac{1}{b-a}\left(e^{-at}-e^{-bt}\right)$, а для функции $\frac{1}{p(p+a)(p+b)}$: $\frac{1}{ab(a-b)}\left[(a-b)+be^{-at}-ae^{-bt}\right]$. Применяя для $w(s)$ обратное преобразование Лапласа, получим

$$v(t)=\frac{1}{2\sqrt{3}}\left(e^{(3+\sqrt{3})t}-e^{(3-\sqrt{3})t}\right)\begin{bmatrix} -10 \\ 6 \end{bmatrix}+\frac{1}{-12\sqrt{3}}\times$$

$$\times\left(-2\sqrt{3}-(3-\sqrt{3})e^{(3+\sqrt{3})t}+(3+\sqrt{3})e^{(3-\sqrt{3})t}\right)\begin{bmatrix} 52 \\ -22 \end{bmatrix}.$$

Если система начинает функционировать с перехода $\{k_1,k_2\}\to\{k_1-1;k_2\}$, то полный ожидаемый доход в момент времени t:

$$v_1(t)=\frac{-5}{\sqrt{3}}\left(e^{(3+\sqrt{3})t}-e^{(3-\sqrt{3})t}\right)-\frac{13}{3\sqrt{3}}\left(-2\sqrt{3}-(3-\sqrt{3})e^{(3+\sqrt{3})t}+(3+\sqrt{3})e^{(3-\sqrt{3})t}\right),$$

если с перехода $\{k_1,k_2\}\to\{k_1,k_2-1\}$, то:

$$v_2(t)=\frac{3}{\sqrt{3}}\left(e^{(3+\sqrt{3})t}-e^{(3-\sqrt{3})t}\right)-\frac{11}{6\sqrt{3}}\left(-2\sqrt{3}-(3-\sqrt{3})e^{(3+\sqrt{3})t}+(3+\sqrt{3})e^{(3-\sqrt{3})t}\right).$$

Литература.

1. Ховард Р.А. Динамическое программирование и марковские процессы. М.-1964. 192с.

АСПЕКТЫ РАЗВИТИЯ КОМПЬЮТЕРНОЙ СИСТЕМЫ ТЕСТОВОГО КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ В БГТУ

А.А. Паук, В.А. Суслов

(БГТУ, г. Брест, КПУ, Польша)

Представление результатов. В существующем варианте компьютерной системы контроля знаний результаты теста не визуализируются, а записываются в файл протокола, что предполагает возможность их дальнейшей обра-