

В отличие от системы уравнений (7) матрица системы уравнений (9) является трехдиагональной, поэтому вычисления на ЭВМ стационарных вероятностей $\pi(\omega)$ могут проводиться для достаточно больших N . Здесь были проделаны вычисления до $N=1000$. Так же, как и для системы без ограничений на длины очередей, стационарные вероятности $\pi(\omega)$ не изменяются при пропорциональном увеличении параметров μ и λ . Относительная загруженность системы (это, как уже сообщалось, есть отношение среднего числа ведущихся в стационарном режиме разговоров к $[N/2]$ — максимально возможному их числу) то практически не зависит от N . График этой зависимости в виде функции от μ/λ представлен на рис. 2 (кривая 1).

Сравнение двух рассмотренных систем показывает, что эффективность работы (число разговоров, обслуживаемых в единицу времени) системы, в которой очереди запрещены, при одинаковых значениях N и μ/λ выше эффективности работы системы с очередями при $\mu/\lambda \leq 1$, т. е. когда разговоры достаточно продолжительны (если интенсивность λ считать фиксированной). При больших значениях μ/λ ($\mu/\lambda \rightarrow \infty$) эффективность работы обеих систем, естественно, падает до нуля, а при умеренных значениях отношения μ/λ несколько эффективнее системы с очередями. Таким образом, системы с очередями при определенном соотношении параметров μ и λ обладают большей эффективностью по сравнению с системами, в которых очереди запрещены. Заметим, что система, рассмотренная в п. 2, может быть предложена в качестве модели функционирования обычной телефонной сети.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сарымсаков Т. А. Основы теории процессов Маркова. М., Гостехиздат, 1954.
2. Феллер В. Введение в теорию вероятностей и ее приложения. Т. 1. М., Мир, 1967.

Поступила в редакцию 22 октября 1979 г.

УДК 519.283-681.32

В. А. ВИТТИХ, А. А. СИДОРОВ

(Куйбышев)

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ВРЕМЕННЫХ ЗАДЕРЖЕК, ВНОСИМЫХ ОПЕРАЦИОННЫМИ СИСТЕМАМИ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ, НА ТОЧНОСТЬ РЕГИСТРАЦИИ ИНФОРМАЦИИ В ИВК

Постановка задачи. Одним из распространенных режимов работы ИВК является программно-управляемый опрос аналоговых сигналов по нескольким каналам. В этом режиме регистрация информации в каждом из каналов осуществляется в моменты

$$t_i^k = t_i^0 + k\Delta t_i, \quad k = 1, 2, \dots$$

где $i = \overline{1, N}$ — номер канала; t_i^0 — время первого запуска программы, обслуживающей i -й канал; Δt_i — интервал повторения этой программы. Планирование времени начала выполнения программ каналов t_i^k в ИВК осуществляется супервизором задач (планировщиком), входящим в состав любой операционной системы реального времени (ОСРВ). Супервизор

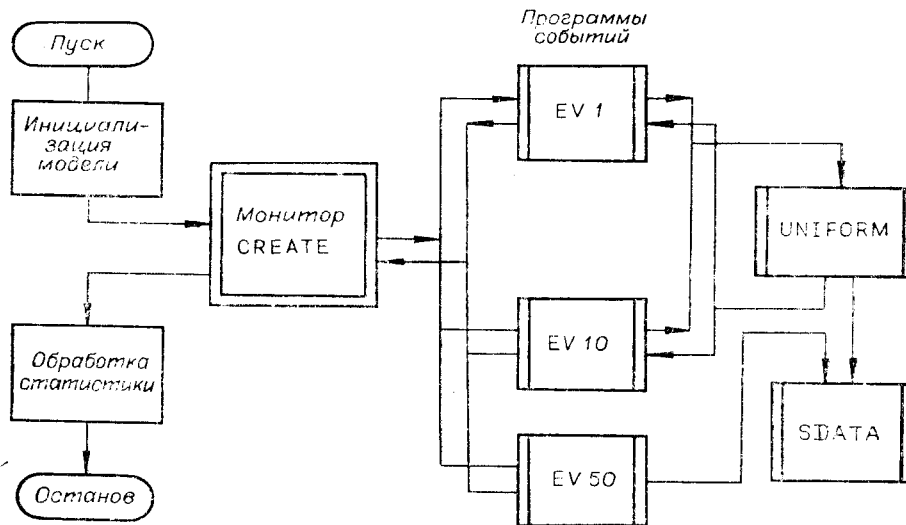


Рис. 1.

задач, реализуя некоторую дисциплину приоритетного обслуживания, управляет прохождением потока программ через ИВК. Вследствие того что информация поступает в ИВК по нескольким каналам одновременно с различной интенсивностью, может оказаться, что в момент инициализации программы обслуживания i -го канала t_i^h ИВК занят обслуживанием другой более приоритетной программы. В этом случае время начала работы вновь пришедшей программы t_i^h будет смещено относительно запланированного t_i^k на величину $\tau_i^h = \tilde{t}_i^h - t_i^k$, $\tau_i \geq 0$. Таким образом, τ_i имеет смысл задержки начала реального времени выполнения программы от запланированного в i -м канале.

В данной работе исследуются статистические характеристики τ_i и вызванная задержками τ_i погрешность регистрации информации $\hat{\epsilon}$. Прототипом предлагаемой модели послужил информационно-вычислительный комплекс на базе УВМ М-6000, операционной системы ДОС РВ и устройства связи с объектом радиального типа. С учетом специфики прототипа можно сделать следующие предположения: параллельная обработка программ каналов невозможна; программы конкурируют по абсолютной системе приоритетов с дообслуживанием прерванных программ; время работы программы канала состоит из времени, необходимого для аппаратного преобразования аналогового сигнала в код (которое, в свою очередь, складывается из времени фильтрации, коммутации и преобразования сигнала в цифровую форму), и времени работы программы, управляющей сбором, обработкой и регистрацией информации, причем время работы программы канала распределено по экспоненциальному закону.

При этих допущениях моделью ИВК, работающего в режимах циклического сбора, регистрации и обработки информации, является система массового обслуживания (СМО) $D_N | M_N | 1$ с абсолютными приоритетами и дообслуживанием.

Имитационная модель. Исследование СМО типа $D_N | M_N | 1$ аналитическими методами затруднено [1]. Поэтому в качестве метода исследования было выбрано имитационное моделирование. Моделирование осуществлялось на базе монитора CREATE [2], являющегося расширением языка ПЛ/1 ДОС ЕС. Структура имитационной модели отражена на рис. 1. Модель состоит из модулей монитора CREATE, основной программы, программ-событий EV1—EV10, EV50 и двух служебных процедур UNIFORM и SDATA. Основная программа осуществляет инициализацию

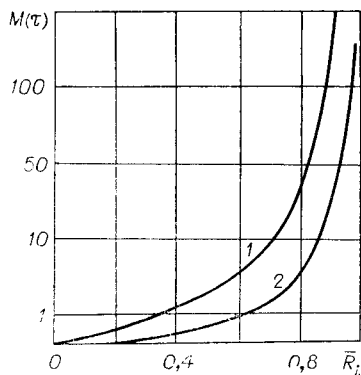


Рис. 2.

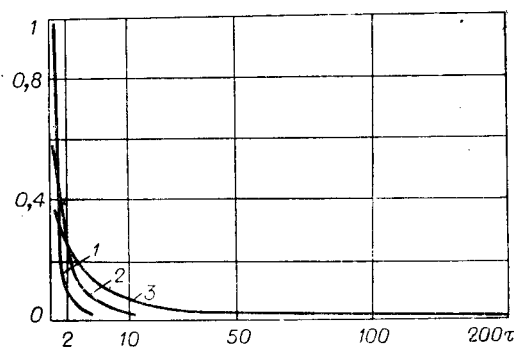


Рис. 3.

и запуск модели, а также последующую обработку данных, полученных в результате моделирования. События EV1—EV10 планируют занятие «обслуживающего прибора» в моменты $t_i^k = t_i^0 + k\Delta t_i$, $k = 1, 2, \dots$, в соответствии с их приоритетами. Поскольку в CREATE не предусмотрено приоритетное обслуживание событий, для имитации работы прибора была разработана процедура UNIFORM, реализующая заданную дисциплину обслуживания. Каждое из событий EV1—EV10, обращаясь к этой процедуре, в соответствии со своим приоритетом и состоянием прибора («Занят требованием с приоритетом j » или «Свободен») либо захватывает прибор, либо становится в очередь. При этом были сделаны два следующих предположения: момент регистрации информации совпадает с моментом начала работы программы канала, очередь в любом из каналов может содержать больше одного требования. Последнее означает, что если заявка, пришедшая в момент t_i^k , еще не обслужена и поступает новая заявка, то она будет поставлена в очередь. При этих предположениях τ эквивалентно времени ожидания заявки в очереди.

Событие EV50 («Освобождение прибора») инициирует дообслуживание прерванных заявок и заявок, стоящих в очереди на обслуживание, либо освобождает прибор, если таких заявок нет. Среди равноприоритетных заявок прерванные обслуживаются в первую очередь.

Поскольку стандартные средства сбора статистики CREATE при данной структуре модели не обеспечивают автоматического получения необходимых статистических данных, эта функция реализуется в модели специальной подпрограммой SDATA.

Моделирование с использованием монитора CREATE показало, что принятая схема управления событиями достаточно удобна для моделирования механизмов планирования ОСРВ. Использование средств отладки монитора позволило существенно снизить затраты на этапе отладки модели.

Результаты моделирования. В ходе вычислительного эксперимента исследовалось изменение статистических характеристик СМО с ростом суммарной загрузки

$$\bar{R}_i = \sum_{j=1}^i R_j = \sum_{j=1}^i (\Delta t_j)^{-1} T_j,$$

где R_j — загрузка в j -м канале, Δt_j — интервал инициализации программы канала, T_j — среднее время работы программы канала. С увеличением загрузки $M(\tau)$ увеличивается экспоненциально (рис. 2). Кривая 1 на этом рисунке соответствует такому распределению приоритетов между каналами, при котором высший приоритет, равный единице, соответствует

первому каналу, равный двум, — второму и т. д. При этом одновременно выполняется условие $R_1 \leq R_2 \leq \dots \leq R_N$. Кривая 2 соответствует обратному порядку распределения приоритетов. При любом другом порядке распределения приоритетов получаются кривые, расположенные между 1 и 2. Таким образом, для минимизации $M(\tau)$ необходимо распределять приоритеты в порядке возрастания загрузок в каналах.

Вычислительный эксперимент показал также, что с доверительной вероятностью, не меньшей 0,95, плотность распределения задержек $w_i(\tau)$ соответствует экспоненциальной функции распределения. На рис. 3 показана зависимость характера функции $w_i(\tau)$ от величины суммарной загрузки \bar{R}_i .

Модель входного сигнала и погрешность регистрации информации.

Для достаточно широкого круга приложений можно считать, что моделью измеряемого аналогового сигнала является стационарный в широком смысле случайный процесс. Предположим также, что нам известны такие параметры этого процесса, как математическое ожидание $\bar{Y}(t) = \bar{Y}$ и автокорреляционная функция $B_{YY}(t)$. При аналогичных предположениях в [3] в качестве погрешности информационно-управляющих систем со случайным временем квантования принят функционал вида

$$\sigma_{\Delta Y}^2 = \left(1 + \int_0^{\infty} \Phi^2(u) \frac{1 - \mathcal{F}(u)}{\mu} du \right) B_{YY}(0) - 2 \int_0^{\infty} B_{YY}(u) \Phi(u) \frac{1 - \mathcal{F}(u)}{\mu} du, \quad (1)$$

где $\Phi(u)$ — импульсная переходная функция формирователя выходных сигналов, определяющая алгоритм восстановления; $\mathcal{F}(u)$ — закон распределения интервалов квантования; μ — математическое ожидание длины интервала квантования. При таком подходе величина погрешности сигнала зависит от трех факторов: характеристик потока квантования, характеристик сигнала и алгоритмов восстановления сигналов.

В данной работе в качестве оценки погрешности регистрации, возникающей из-за временных задержек τ , предлагается функционал

$$\hat{\varepsilon}_i = \int_0^{\infty} M(Y(t_i) - Y(t_i + \tau))^2 w_i(\tau) d\tau = 2 \int_0^{\infty} (B_{YY}(0) - B_{YY}(\tau)) w_i(\tau) d\tau \quad (2)$$

($w_i(\tau)$ — плотность распределения задержек в i -м канале). Функционал (2) в отличие от (1) не содержит характеристик алгоритмов восстановления. Для СМО $D_N | M_N | 1$ и автокорреляционной функции $B_{YY}(t) = e^{-\beta|t|}$ (2) примет вид

$$\begin{aligned} \hat{\varepsilon}_i &= 2 \int_0^{\infty} (e^{-\beta|0|} - e^{-\beta|\tau|}) \lambda_i e^{-\lambda_i \tau} d\tau = 2 \left(1 - \int_0^{\infty} \lambda_i e^{-(\lambda_i + \beta)\tau} d\tau \right) = \\ &= 2 \left(1 - \left[\lim_{t \rightarrow \infty} \int_0^t \lambda_i e^{-(\lambda_i + \beta)\tau} d\tau \right] \right) = 2 \left(1 - \frac{\lambda_i}{\lambda_i + \beta} \right). \end{aligned} \quad (3)$$

Определим связь между погрешностью регистрации информации ε_i и загрузкой процессора \bar{R}_i . Для этого аппроксимируем экспериментально

полученные данные (см. рис. 2) аналитической функцией вида

$$M(\tau) = \frac{1}{\lambda_i} = e^{\frac{a}{1-\tilde{R}_i}} - e^{\frac{a}{1-R_1}}, \quad (4)$$

где a — параметр аппроксимации, R_1 — загрузка по первому каналу (с высшим приоритетом), \tilde{R}_i — суммарная загрузка по i каналам. Подставляя (4) в (3), получим окончательное выражение для погрешности регистрации информации $\hat{\varepsilon}_i$

$$\hat{\varepsilon}_i = 2 \left(1 - \frac{\frac{-a(\tilde{R}_i - R_1)}{e^{(1-\tilde{R}_i)(1-R_1)}}}{\frac{-a(\tilde{R}_i - R_1)}{e^{(1-\tilde{R}_i)(1-R_1)}} + \beta} \right).$$

При $\tilde{R}_i \rightarrow 1$ $\hat{\varepsilon}_i \rightarrow 2$. Отметим, что $\sigma_Y^2 = B_{YY}(0) = 1$. Таким образом, при стремлении загрузки ИВК к единице погрешность измерения аналогового сигнала становится сопоставимой с удвоенной дисперсией измеряемого процесса.

Заключение. Полученные результаты позволяют дать практические рекомендации по проектированию прикладного программного обеспечения ИВК.

Поскольку с ростом загрузки ИВК увеличивается погрешность регистрации информации, высшие приоритеты следует назначать тем каналам, точность регистрации информации в которых наиболее важна проектировщику. При этом минимальная погрешность системы в целом соответствует случаю, когда уровень приоритета обратно пропорционален нагрузке ИВК по этому каналу. В целях уменьшения погрешности $\hat{\varepsilon}_i$ для фоновых программ должен назначаться низший приоритет по сравнению с программами реального времени даже в тех случаях, когда планировщик ОСРВ позволяет фоновым программам прерывать программы реального времени.

Как следует из вышесказанного, при проектировании измерительно-вычислительных систем, которые должны обеспечивать высокую точность регистрации информации, не следует стремиться к максимальной нагрузке процессора (что характерно для универсальных систем обработки данных), так как это неизбежно приводит к потере точности.

В заключение авторы хотели бы поблагодарить С. В. Смирнова за помощь, оказанную в изучении средств монитора имитационного моделирования CREATE, и участие в составлении имитационной модели.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бронштейн О. И., Духовный И. М. Модели приоритетного обслуживания в информационно-вычислительных системах. М., Наука, 1976.
2. Смирнов С. В. Пакет подпрограмм CREATE для моделирования дискретных систем в ПЛ/1 ДОС ЕС.— В кн.: Управление сложными техническими системами. Вып. 1. Уфа, изд. УАИ, 1977, с. 141—146.
3. Артамонов Г. Т., Тюрин В. Д. Анализ информационно-управляющих систем со случайным интервалом квантования сигнала во времени. М., Энергия, 1977.

Поступила в редакцию 3 декабря 1979 г.