

УДК 681.518.3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧАСТОТЫ КОММУТАЦИИ МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

Оськин К.С.

ЗАО «Специальное конструкторское бюро», ОАО «Мотовилихинские заводы», Пермь, Россия (614014, г. Пермь, ул. 1905 года, д. 35), e-mail: oskin_ks@mz.perm.ru

Проведен анализ временных характеристик микропроцессорных многоканальных информационно-измерительных систем (ИИС). В качестве основной характеристики, влияющей на временные характеристики ИИС, выделена частота коммутации системы. При анализе ИИС рассматривалась как циклически функционирующая система массового обслуживания, на входе которой действует три потока заявок с разными приоритетами обслуживания: измерительные заявки, информационно-управляющие заявки и фоновые заявки-операции. Для анализа системы применен асимптотический анализ СМО вида $G/G/n$, основанный на рассмотрении асимптотических сходимостей величины времени обслуживания неприоритетных заявок. При помощи выбранного метода проведена оценка времени обслуживания неприоритетных заявок, а также дисперсии этого времени. На основании полученной оценки был предложен алгоритм расчета частоты коммутации ИИС. Аналитические зависимости временных характеристик ИИС, полученные в работе, позволили определить пути повышения частоты коммутации ИИС.

Ключевые слова: информационно-измерительная система, частота коммутации, микроконтроллер, АЦП, система массового обслуживания, асимптотический анализ.

COMMUTATION FREQUENCY OF MICROPROCESSOR INFORMATION-MEASUREMENT SYSTEMS COMPUTATION

Oskin K.S.

ZAO "Special Design Bureau", OAO "Motovilikha Plants Corporation", Perm, Russia (614014, Perm, 1905 year st., 35), e-mail: oskin_ks@mz.perm.ru

Article is focused on timing characteristics of multichannel microprocessor information-measurement systems (IMS). Commutation frequency was analyzed as the main parameter that works upon other timing characteristics. IMS is considered as queuing system that operates with three types of input streams which have different priorities: measurement applications, information and control applications and background applications. The was applied asymptotic analysis of the queuing system $G/G/n$ based on computation of asymptotic limits of non-priority applications timing characteristics. Based on chosen method was calculated serving time of non-priority applications and dispersion of this value. Based on non-priority application serving time properties was proposed the algorithm of IMS commutation frequency. The proposed analytic formulas of IMS timing characteristics allow to define ways of IMS commutation frequency increasing.

Keywords: information-measurement system, commutation frequency, microcontroller, ADC, queuing system, asymptotic analysis.

Предметом анализа в данной работе является микропроцессорная многоканальная информационно-измерительная система (ИИС), осуществляющая аналого-цифровое преобразование по каждому каналу. Система имеет m АЦП, к каждому из которых подключено n каналов. При этом каждый АЦП в данный момент времени может обслуживать только один канал. Расписание опроса каналов составлено таким образом, что каждый измерительный канал опрашивается с постоянной частотой. В ИИС поступают управляющие команды от системы управления верхнего уровня, передаваемые по линии связи. Таким образом, поток команд образует поток информационно-управляющих заявок. Кроме того, ИИС должна осуществлять первичную обработку измерительной информации, а

также выполнять ряд операций, не критичных ко времени выполнения, но необходимых для функционирования системы. Будем называть такие операции фоновыми операциями ИИС. Схема модели ИИС, как модели сети массового обслуживания, представлена на рисунке 1.

Предположим, что для рассматриваемой ИИС известно время преобразования АЦП по одному каналу, равное t_0 , время обработки измерительной информации по одному каналу, равное τ , время обработки информационно-управляющей заявки, являющееся случайной величиной, имеющей среднее значение φ , а также время выполнения фоновой операции, равное ψ . Также оценена средняя интенсивность потока информационно-управляющих заявок, равная λ_c .

Проведем анализ временных характеристик системы. Согласно [1] преобразования каналов ИИС осуществляются в соответствии с определенным расписанием опроса каналов. Суммарная частота дискретизации всех каналов равна частоте коммутации F_0 , то есть частоте формирования измерительных заявок в системе. Очевидно, что частота коммутации должна иметь некоторое предельное значение. Таким образом, частота коммутации является характеристикой ИИС, определяющей основные временные характеристики системы.

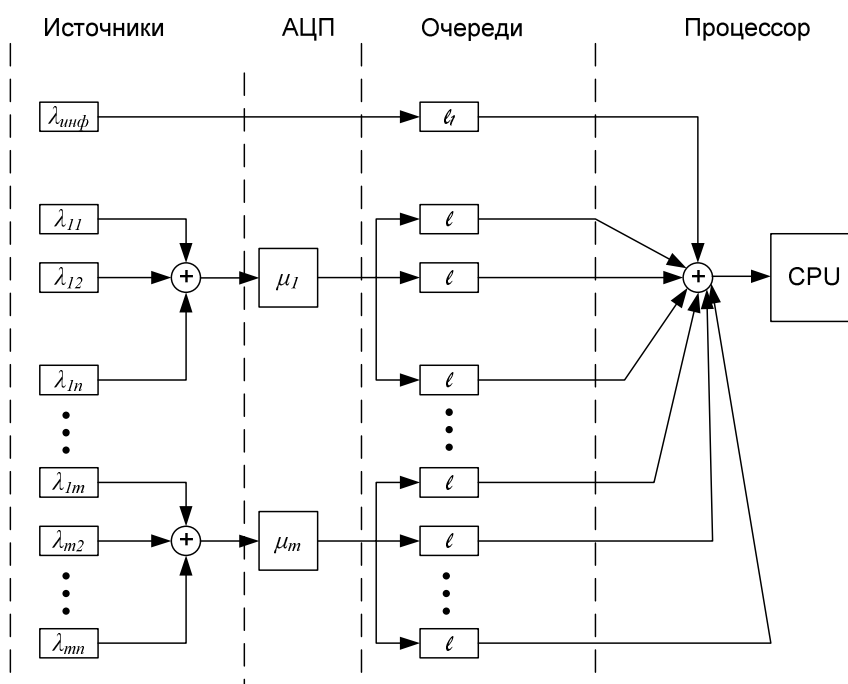


Рис. 1. Схема модели ИИС как модели СМО.

Очевидно, что частота коммутации системы не может быть выше частоты генерации измерительных заявок АЦП. Тогда условие функционирования ИИС можно записать как:

$$F_0 \leq \frac{1}{t_0} \quad (1)$$

Загрузку микропроцессора ИИС можно выразить следующим образом:

$$\rho_m = m\tau F_0 \quad \text{для измерительных заявок,} \quad (2)$$

$$\rho_c = \varphi\lambda_c \quad \text{для информационно-управляющих заявок,} \quad (3)$$

$$\rho_f = \psi F_0 \quad \text{для фонового процесса.} \quad (4)$$

При этом суммарная загрузка должна быть меньше 1 [2]:

$$\rho_\Sigma = \rho_m + \rho_c + \rho_f \leq 1. \quad (5)$$

Таким образом, из (1) и (5) верхняя граница частоты коммутации может быть определена как:

$$F_0 < \min\left(\frac{1}{t_0}, \frac{1 - \lambda_c \varphi}{\psi + m\tau}\right) \quad (6)$$

В рассматриваемой системе действует 3 потока заявок: измерительные, информационно-управляющие и фоновые заявки-операции. Очевидно, что для обеспечения функционирования ИИС каждый тип заявки должен иметь свой приоритет обслуживания. При анализе системы будем считать, что при прерывании низкоприоритетной заявки высокоприоритетной, обслуживание низкоприоритетной заявки останавливается на время прерывания, а затем возобновляется с момента остановки заявки. Высокоприоритетные заявки не ощущают присутствия в системе низкоприоритетных заявок.

В соответствии с [4] исследуемая система может быть рассмотрена как циклически функционирующая СМО с приоритетными потоками заявок. Воспользуемся выводами, приведенными в [4; 5], рассматривая микропроцессор системы как СМО вида G/G/n. При чистом времени выполнения неприоритетной заявки T , время прерывания неприоритетной заявки асимптотически сходится к

$$Z_T \sim \frac{\rho}{1 - \rho} T, \quad (7)$$

где ρ – загрузка системы приоритетными заявками, а символ \sim означает асимптотическую сходимость. Среднее значение времени выполнения неприоритетной заявки T^* складывается из чистого времени выполнения заявки и времени прерывания заявки:

$$T^* \sim \frac{1}{1 - \rho} T \quad (8)$$

Согласно [4] квадратичный коэффициент вариации и дисперсия величины времени обслуживания неприоритетной заявки будут определены как:

$$D(T^*) \sim \frac{D(\bar{T})}{n^2(1 - \rho)^2} + \frac{T\rho^2}{n(1 - \rho^3)\lambda} (C_\lambda^2 + C_t^2) \quad (9)$$

$$C_{T^*}^2 \sim C_T^2 + \frac{n\rho}{T(1-\rho)\lambda} (C_\lambda^2 + C_i^2) \quad (10)$$

В формулах (9) и (10) t – среднее время обслуживания приоритетной заявки, λ – интенсивность поступления приоритетных заявок, ρ – загрузка системы приоритетными заявками, C_λ^2 – квадратичный коэффициент вариации интервала поступления приоритетных заявок, C_i^2 – квадратичный коэффициент вариации времени обслуживания приоритетных заявок, C_T^2 – квадратичный коэффициент вариации времени обслуживания заявки, n – количество обслуживающих приборов.

Тогда для случая прерывания измерительных и информационно-управляющих заявок аналогично (8) получаем соответственно:

$$T_m \square \frac{m\tau}{1-\lambda_c\varphi}, \quad (11)$$

где m – количество независимых АЦП в ИИС.

$$T_c \square \frac{\varphi}{1-m\tau F_0} \quad (12)$$

Для фонового процесса время прерывания аналогично (7) сходится к:

$$T_f \sim \frac{\psi}{1-m\tau F_0 - \lambda_c\varphi} \quad (13)$$

Так как на время выполнения измерительных заявок накладывается ограничение, связанное с интенсивностью прихода заявок, то из (11) получаем условие возможности прерывания измерительных заявок:

$$\frac{m\tau}{1-\lambda_c\varphi} < \frac{1}{F_0} \quad (14)$$

Таким образом, прерывание обработки измерительных заявок возможно только в случае низкой загрузки системы как информационно-управляющими, так и измерительными заявками. Очевидно, что для высокопроизводительных ИИС наиболее предпочтительным решением будет передача высшего приоритета измерительным заявкам, так как в этом случае будет гарантировано время обработки измерительной заявки.

В случае прерывания информационно-управляющих заявок условие функционирования ИИС будет записано в виде:

$$\frac{\varphi}{1-m\tau F_0} < t_d, \quad (15)$$

где t_d – максимальное допустимое время обработки информационно-управляющей заявки.

Объединив выражения (6) и (15), определим верхнюю границу частоты коммутации как:

$$F_0 < \min\left(\frac{1}{t_0}, \frac{1-\lambda_c\varphi}{\psi+m\tau}, \frac{t_d-\varphi}{t_d m\tau}\right) \quad (16)$$

Выражение (16) дает оценку верхней границы частоты коммутации системы.

Для более точной оценки величины частоты коммутации требуется оценить максимальное время выполнения неприоритетной заявки с учетом дисперсии времени выполнения, определяемой согласно (9).

При условии детерминированного потока измерительных заявок, согласно формуле (9), дисперсия времени выполнения информационной заявки будет определяться дисперсией трудоемкости информационно-управляющей заявки и, согласно [5], может быть найдена как:

$$D(T_\varphi^*) \sim \frac{D(\varphi)}{k^2(1-m\tau F_0)^2} \quad (17)$$

Для фонового процесса дисперсия времени выполнения будет определяться как:

$$D(T_f^*) \sim \frac{\psi(\lambda_c\varphi+m\tau F_0)^2}{(1-(\lambda_c\varphi+m\tau F_0)^3)(\lambda_c+F_0)}(C_\lambda^2+C_\varphi^2), \quad (18)$$

где C_φ^2 – квадратичный коэффициент вариации длительности обслуживания информационных заявок.

С учетом влияния дисперсии случайных величин можно считать, что длительность выполнения большинства заявок не превысит величины T_{max} , равной [3]:

$$T_{max} = T + \sqrt{D(T)} \quad (19)$$

Таким образом, для информационно-управляющих заявок условие (15) с учетом влияния дисперсии величины времени обслуживания заявки примет вид:

$$\frac{\varphi}{1-m\tau F_0} + \sqrt{\frac{D(\varphi)}{(1-m\tau F_0)^2}} < t_d \quad (20)$$

Для фонового процесса с учетом выражения (13) условие функционирования системы примет вид:

$$\frac{\psi}{1-m\tau F_0-\lambda_c\varphi} + \sqrt{\frac{\psi(\lambda_c\varphi+m\tau F_0)^2}{(1-(\lambda_c\varphi+m\tau F_0)^3)(\lambda_c+F_0)}(C_\lambda^2+C_\varphi^2)} < \frac{1}{F_0} \quad (21)$$

Из условий (20) и (19) находятся два значения частоты коммутации F_0 , которые могут являться верхней границей частоты коммутации ИИС. В качестве частоты коммутации системы требуется выбрать наименьшее значение.

Приведенные рассуждения позволяют составить метод расчета временных параметров информационно-измерительной системы, основываясь на асимптотическом методе определения характеристик СМО типа G/G/n. Алгоритм расчета имеет следующий вид.

1. Задаться количеством измерительных каналов ИИС. Определить необходимые частоты дискретизации по всем каналам ИИС. Составить расписание опроса каналов АЦП.

Определить минимально допустимую величину частоты коммутации как сумму частот дискретизации по всем измерительным каналам ИИС.

2. Определить алгоритмы обработки информации и оценить трудоемкость обслуживания измерительных, информационно-управляющих заявок и фоновых заявок-операций, а также интенсивность поступления информационно-управляющих заявок.

3. Выбрать элементную базу для построения ИИС и получить следующие характеристики: время преобразования АЦП по одному входному каналу, время обслуживания измерительных, информационно-управляющих заявок и фоновых заявок-операций.

4. В соответствии с формулами (12) и (13) вычислить асимптотическую сходимость средних значений времени прерывания информационных заявок и фоновых процессов. По формуле (16) оценить верхнюю границу полученной частоты коммутации.

5. Если верхняя граница меньше минимально допустимой величины частоты коммутации, вычисленной на шаге 1, то вернуться к шагу 2 и пересмотреть алгоритмы обработки информации с целью сокращения трудоемкости обслуживания заявок. Также возможен выбор более производительной элементной базы.

6. Если по формуле (16) частота коммутации не равна частоте генерации измерительных заявок АЦП, определяемой как $1/t_0$, то вычислить скорректированные значения частоты из условий (20) и (21). В качестве частоты коммутации принять наименьшее значение из полученных.

7. Если выбранная частота коммутации меньше минимально допустимой, то вернуться к шагу 2 и пересмотреть выбор алгоритмов обработки информации либо выбор элементной базы.

Из приведенных рассуждений можно сделать вывод, что частота коммутации ИИС является параметром, взаимосвязанным с временными характеристиками обслуживания неприоритетных заявок ИИС. Факторами, ограничивающими повышение частоты коммутации, может быть как время преобразования АЦП по одному каналу, так и временные характеристики обслуживания всех типов заявок, действующих в ИИС. Таким образом, для повышения частоты коммутации ИИС целесообразно не только выбирать элементную базу, обладающую высокопроизводительным АЦП, но и оптимизировать алгоритмы обработки информации.

Список литературы

1. Авдеев Б.Я., Белоусов В.В., Брусаков И.Ю. [и др.]. Цифровые адаптивные информационно-измерительные системы / под ред. Авдеева Б.Я., Черняховского Е.А. – СПб. : Энергоатомиздат. Санкт-Петербургское отделение, 1997. – 368 с.
2. Алиев Т.И. Основы моделирования дискретных систем : учеб. пособие. – СПб. : СПбГУ ИТМО, 2009. – 363 с.
3. Вентцель Е.С. Теория вероятностей : учеб. для вузов. — 6-е стер.-е изд. — М. : Высш. шк., 1999. — 576 с.
4. Задорожный В.Н. Асимптотический анализ периодов повышенной загрузки в приоритетных системах // Омский научный вестник. – 2006. – № 3 (36). – С. 117-124.
5. Задорожный В.Н. Распределение календарного времени обслуживания неприоритетных заявок в системах с абсолютными приоритетами // Омский научный вестник. – 2006. – № 8 (44). – С. 117-124.

Рецензенты:

Столбов В.Ю., д.т.н., профессор, декан ФПММ, ФГБОУ «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», г. Пермь.

Тюрин С.Ф., д.т.н., профессор, кафедра АТ, ФГБОУ «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», г. Пермь.