

В. А. ВИТТИХ, Е. А. СИМАНОВСКИЙ, В. А. ЦЫБАТОВ  
(Куйбышев)

СИСТЕМА ПОКАЗАТЕЛЕЙ  
ДЛЯ АНАЛИЗА ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ  
ИЗМЕРИТЕЛЬНО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА

При анализе функционирования ИВК необходимо учитывать тот факт, что потенциальные возможности комплекса уменьшаются с увеличением интенсивности запросов к его ресурсам. Это связано с затратами времени центрального процессора (ЦП) на диспетчеризацию запросов, которые растут с увеличением интенсивности потока последних, в связи с чем возможности ЦП производить полезную работу (выполнять соответствующие запросам задачи) падают.

Потенциальные ресурсы ЦП можно оценить следующим образом:

$$\rho_n(C) = 1 - \rho_d(C). \quad (1)$$

Здесь  $\rho_d$  — коэффициент загрузки ЦП диспетчеризацией запросов (их идентификацией и инициализацией соответствующих задач);  $C$  — суммарная интенсивность потока запросов, поступающих на вход диспетчера. Зависимость (1) в дальнейшем будем называть потенциальной нагрузочной характеристикой (ПНХ) ИВК [1].

При выборе варианта ИВК необходимо сравнить его потенциальные возможности с потребностями планируемого эксперимента. Эти потребности можно оценить, зная характеристики потока запросов, соответствующего заданию на эксперимент. Поскольку с каждым запросом связана инициализация той или иной задачи, частота поступлений запросов однозначно определяет уровень потребностей в ресурсах ЦП, необходимых для выполнения задач [2].

Пусть общее количество задач равно  $M$  и на интервале рассмотрения  $[t, t + T_0]$  на каждую  $i$ -ю задачу поступает по  $n_i$  запросов. Для своего  $n_i$ -кратного выполнения  $i$ -я задача ( $i = 1, M$ ) потребует  $T_i = \tau_i n_i$  единиц времени ЦП, где  $\tau_i$  — затраты процессорного времени на однократное выполнение  $i$ -й задачи. Величина  $\tau_i$  в общем случае может иметь некоторое распределение вероятностей. Отношение времен  $T_i$  и  $T_0$ :

$$\rho_i = T_i/T_0 = \tau_i(n_i/T_0) = \tau_i C_i$$

— характеризует потребность  $i$ -й задачи в ресурсах ЦП на интервале рассмотрения  $[t, t + T_0]$ , выраженную в единицах загрузки процессора. Здесь  $C_i$  — частота появления  $i$ -й задачи на интервале  $[t, t + T_0]$  — в общем случае случайная величина.

Поскольку в любой момент времени ЦП исполняет не более одной задачи, общую потребность в ресурсах процессора можно оценить следующим коэффициентом:

$$\rho_T = \sum_{i=1}^M \rho_i = \sum_{i=1}^M \tau_i C_i,$$

отражающим уровень требуемой загрузки ЦП задачами.

В однопроцессорных ИВК процессор является исполнителем всех задач, на него также возложено выполнение диспетчерских функций. Каждому варианту организации диспетчера соответствует вполне определенный наклон ПНХ. Каждому рабочему режиму ИВК на плоскости ПНХ можно поставить в соответствие точку с координатами

$$C_0 = E \left( \sum_{i=1}^M C_i \right), \quad \rho_0 = E \left( \sum_{i=1}^M \tau_i C_i \right).$$

Здесь  $C_0$  — среднее значение интенсивности потока запросов в данном режиме;  $\rho_0$  — средняя загрузка ЦП. Точку с координатами  $(C_0, \rho_0)$  будем называть рабочей точкой (РТ).

На рис. 1 показаны ПНХ и РТ. Здесь  $A$  — область флуктуации рабочей нагрузки;  $B$  — область локальных перегрузок;  $R_0$  — средний резерв ЦП;  $\rho_d$  — затраты на диспетчеризацию.

Система показателей «ПНХ—РТ» позволяет количественно оценить возможности ИВК в данном эксперименте, его ресурсы по пропускной способности и загрузке и на этапе предпроектного анализа дать ответ на вопрос: годится или нет выбранный ИВК для данного эксперимента.

Если расчетная РТ оказалась выше ПНХ или резерв ЦП  $R_0$  недостаточен для имеющегося уровня локальных перегрузок, то это означает, что выбранный режим работы ИВК неосуществим. Положение можно исправить следующим образом:

1) смещением РТ влево вниз за счет сокращения расходов времени ЦП на выполнение задач (тщательное программирование, уменьшение трудоемкости алгоритмов, сокращение числа задач);

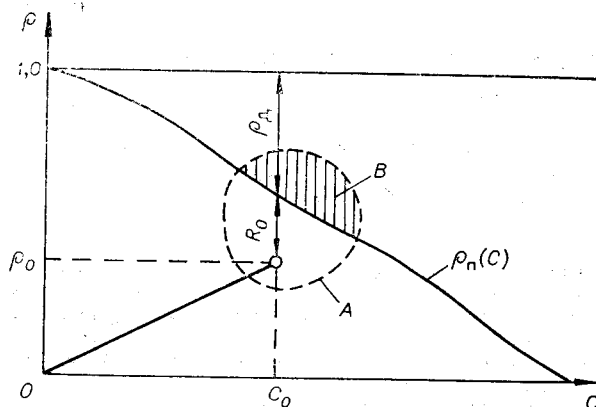


Рис. 1. Потенциальная нагрузочная характеристика и рабочая точка.

по освобождению ЦП (инициализация по обратной связи).

Последний режим является фоновым по отношению к первым двум. Функциональная схема диспетчера для первых двух вариантов показана на рис. 2, где штриховой линией обведены функции, реализуемые процессором. В каждом функциональном блоке справа от вертикальной черты указаны средние затраты времени ЦП на выполнение соответствующей функции. На рисунке обозначены:  $\lambda$ ,  $f$  — интенсивности потока запросов от инициативных устройств (ИУ) и таймера соответственно;  $\gamma_i$  — коэффициент самопрерываний  $i$ -й задачи. Величина  $\gamma_i$  показывает количество самопрерываний  $i$ -й задачи в процессе ее однократного выполнения (например, в связи с неготовностью соответствующего ИУ). При самопрерывании задача передает управление диспетчеру. Самопрерывания порождают два потока запросов: поток программных запросов к диспетчеру и поток запросов от ИУ, готовых к обмену.

Согласно функциональной схеме, затраты на диспетчеризацию при стохастической и плановой инициализациях соответственно равны:

$$\rho_d^\lambda = (\tau_n + \tau_p) (\lambda + 2\gamma\lambda) + (\tau_\lambda + \tau_{oc}) (\lambda + \gamma\lambda) + \tau_n \lambda;$$

$$\rho_d^f = (\tau_n + \tau_p) (f + 2\gamma f) + \tau_{oc} (f + \gamma f) + (\tau_f + \tau_n) f + \tau_\lambda \gamma f.$$

При отсутствии потерь в очередях суммарная частота инициализации задач по внешним сигналам  $C = \lambda + f$ . Тогда ПНХ комплекса можно представить следующим образом:

$$\rho_n(C) = 1 - \rho_d^\lambda(C) - \rho_d^f(C).$$

В этом выражении учтен тот факт, что режим инициализации задач по обратной связи не влияет на потенциальные возможности комплекса, поскольку дополняет загрузку ЦП до 1.

Для конкретного ИВК ПНХ может быть снята путем моделирования потока запросов и измерения соответствующих затрат процессорного времени на диспетчеризацию. Улучшение ПНХ требует упрощения функций диспетчера и повышения качества его программ.

Номер задачи	Расходы времени ЦП на однократное выполнение задачи, мс		Ограничение на частоту инициализации, Гц	Частота инициализации задач, Гц		
				Варианты		
				1	2	3
$i$	$E\{\tau_i\}$	$\tau_{\min i}; \tau_{\max i}$	$C_{oi}$	$E\{C_i\}$	$C_i$	$C_i$
1	0,12	0,11; 0,14	92	81,8	140	93,3
2	2,78	2,50; 3,48	32	»	»	35,0
3	0,12	0,11; 0,14	85			93,3
4	3,14	2,71; 4,42	17			17,5
5	0,11	0,10; 0,12	65			70,0
6	2,74	2,52; 3,48	15			15,6
7	0,11	0,11; 0,11	140			140,0
8	3,10	2,02; 5,20	23			23,0

2) поднятием ПНХ за счет оптимизации диспетчера (уменьшение расходов процессорного времени на идентификацию одного запроса);

3) заменой ЦП на более быстродействующий.

Первый и третий пути оптимизации достаточно очевидны. Второй путь требует анализа функциональной схемы диспетчера. Затраты на диспетчеризацию зависят от организации диспетчера и от того, каким образом проводится инициализация задач в ИВК. Возможны следующие варианты инициализации задач:

по запросам от инициативных устройств (стохастическая инициализация);

по сигналам от таймера (плановая инициализация);

Для иллюстрации применения ПНХ и РТ рассмотрим пример анализа конкретного ИВК, ориентированного на сбор и обработку данных по восьми измерительным каналам. Каждому каналу поставлена в соответствие своя задача, выполняющая функции связи с периферийными устройствами и обработку данных (адаптивную выборку). При однократном выполнении задачи производят опрос соответствующего измерительного канала, обработку полученного отсчета и запись результата в определенную зону оперативной памяти. В таблице указаны расходы времени ЦП на однократное выполнение задач и ограничения на частоты их вызова, установленные по соображениям точности измерений и обработки. Анализировались три варианта организации процесса функционирования ИВК:

- 1) циклическая инициализация задач (по обратной связи);
- 2) синхронная циклическая инициализация задач (по сигналам от таймера);
- 3) синхронная инициализация задач (по оптимальной циклограмме).

Для первого варианта диспетчер предельно прост: он запускает задачи последовательно по освобождению ЦП. Переход к очередной задаче занимает  $\approx 25$  мкс процессорного времени СМ-3:  $\tau_d = 25$  мкс. Для этого варианта ПНХ имеет малую крутизну (рис. 3):  $\rho_n(C) = 1 - 25 \cdot 10^{-6} C$ .

При циклической инициализации задач все каналы будут опрашиваться с одной и той же частотой, причем эта частота из-за разброса времени выполнения задач (см. таблицу) непостоянна со средним

$$C_{\text{ср}} = \left[ \sum_{i=1}^8 E\{\tau_i\} + \tau_d \right]^{-1} = 81,8 \text{ Гц.}$$

РТ будет находиться на ПНХ, поскольку время ЦП используется полностью. Приведем параметры РТ:

$$C_0 = MC_{\text{ср}} = 8 \cdot 81,8 = 654,4 \text{ Гц, } \rho_0 = \rho_0(C_0) = 0,984.$$

Частота опроса  $C_{\text{ср}}$  для одних каналов будет избыточной, а для других — недостаточной, что наряду с «дрожанием» частоты опроса является серьезным недостатком первого варианта организации процесса функционирования ИВК.

С целью устранения погрешности за счет «дрожания» частоты опроса во втором и третьем вариантах использовался диспетчер, обеспечивающий функционирование комплекса по синхронной временной диаграмме с прерываниями (СВДП).

При работе по СВДП все операции в ИВК синхронизируются некоторым постоянным тактом, в начале которого осуществляется запуск очередной задачи, а в оставшееся время такта (если задача успела завершиться до прихода очередного синхросигнала) проводится довыполнение ранее прерванных задач. На рис. 3 приведена ПНХ анализируемого ИВК, работающего по СВДП.

ПНХ получена путем измерения издержек на диспетчеризацию в такте

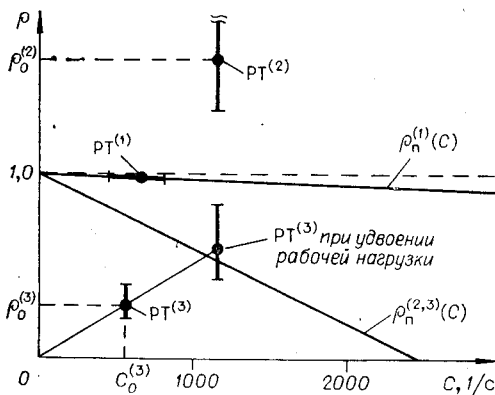


Рис. 3. ПНХ и РТ ИВК для трех режимов функционирования:

жирный отрезок — область флуктуации РТ.

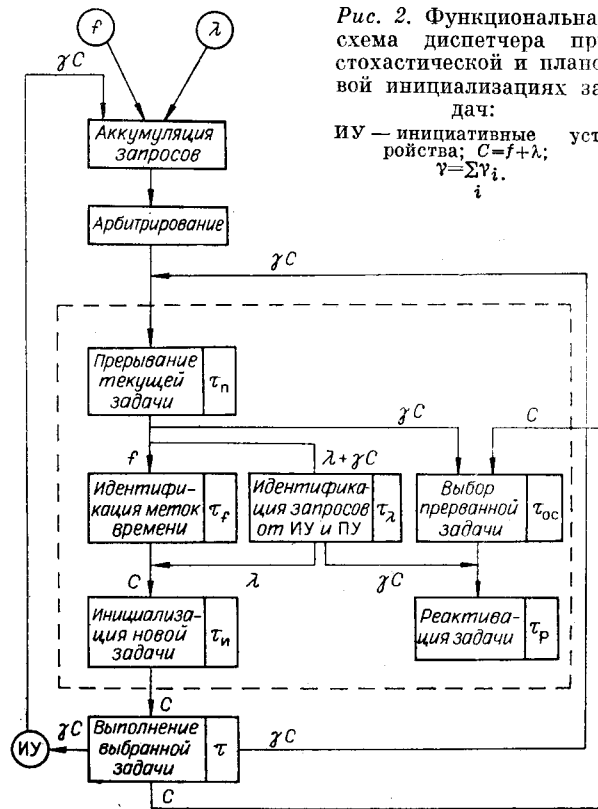


Рис. 2. Функциональная схема диспетчера при стохастической и плановой инициализациях задач:

ИУ — инициативные устройства;  $C = f + \lambda$ ;  
 $\gamma = \sum_{i=1}^n \gamma_i$ .

временной диаграммы (работа с таймером, со стеками, с таблицами передач управления):  $\rho_{\text{н}}(C) = 1 - 400 \cdot 10^{-6} \text{ с.}$

Второй вариант функционирования соответствует случаю, когда задачи запускаются последовательно друг за другом, а частота тактирования выбирается из условия выполнения ограничений на частоту инициализации задачи, обслуживающей самый быстрый канал. В нашем примере  $C_{\text{max}} = 140 \text{ Гц}$ ,  $C_0 = MC_{\text{max}} = 8 \cdot 140 =$

$$= 1120 \text{ Гц}, \rho_0 = C_{\text{max}} \sum_{i=1}^M E\{\tau_i\} = 1,71, \text{ т. е. расчетная РТ оказывается выше ПНХ}$$

(см. рис. 3, РТ<sup>(2)</sup>). Загрузка ЦП рассматривалась на интервале  $[t, t + 1/C_{\text{max}}]$ .

В третьем варианте порядок и частоты вызова задач задаются диспетчером по находящейся в памяти оптимальной циклограмме, представляющей собой определенным образом организованную последовательность адресов запуска задач. Циклограмма обеспечивает опрос каналов с частотами, максимально близкими к своим нижним границам, указанным в таблице. Оптимальная частота тактирования при условии минимума непроизводительных затрат равна  $f_0^{\text{opt}} = 560 \text{ Гц}$ . Приведем па-

раметры РТ-граммы. Применение оптимизационных методов для построения циклограмм позволяет получить РТ, в среднем на 15–20% более близкую к началу координат, чем при использовании традиционного метода «двоичных сеток», широко распространенного на практике.

Если к рассматриваемому ИВК подключить еще один такой же стенд с восьмью измерительными каналами, то РТ ИВК окажется за пределами рабочей области (см. рис. 3), т. е. ИВК будет неработоспособным. Положение можно исправить, если уменьшить суммарную частоту вызова задач либо сократить загрузку ЦП путем более тщательного программирования. Другой путь — поднятие ПНХ за счет реализации определенных функций монитора на микропроцессоре, работающем параллельно ЦП. Но предварительным расчетам такой шаг позволит уменьшить крутизну ПНХ более чем в 5 раз.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Витих В. А., Цыбаев В. А. Нагрузочная характеристика как средство анализа ИВК.— В кн.: Тез. докл. I Международ. школы по автоматизации науч. исслед. Пушкино, 1982.
2. Феррари Д. Оценки производительности вычислительных систем/Пер. с англ. А. И. Горлина, Ю. Б. Котова, Л. В. Ухова; Под ред. В. В. Мартынова.— М.: Мир, 1981.

*Поступило в редакцию 7 июля 1983 г.*

УДК 621.378.336

С. П. БОРИСОВСКИЙ, А. В. КОЗЛОВ, П. С. КРЫЛОВ,  
Л. Я. МАКОВЕЕВА, Е. Г. ЧУЛЯЕВА

(Рязань)

#### УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ОДНОЧАСТОТНЫХ СТАБИЛИЗИРОВАННЫХ ЛАЗЕРОВ

Нестабильность частоты лазерного излучения характеризуется среднеквадратическим относительным отклонением частоты [1]. Традиционный метод измерения частотной нестабильности (описанный, например, в [2]) заключается в измерении частоты биений между двумя идентичными лазерами с помощью частотомера. Затем данные статистически обрабатываются, вычисляется среднеквадратическое относительное отклонение. Определение относительной нестабильности частоты по дисперсии Аллена [3] в этом случае затруднено, так как для ее нахождения необходимо использовать смежные отсчеты частоты биений. Зависимость дисперсии Аллена от времени усреднения позволяет по наклону кривой  $\langle \sigma^2(\tau) \rangle$  ( $\langle \sigma^2(\tau) \rangle$  — дисперсия Аллена) судить о влиянии флуктуаций с различным спектром на стабильность частоты, тогда как метод, рассмотренный в работе [2], не дает возможности получить