ИЗВЕСТИЯ
ТОМСКОГО ОРДЕНА ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ
И ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА им. С. М. КИРОВА

Том 246 1974

О ПОРЯДКЕ ОПРОСА ПАРАМЕТРОВ В СИСТЕМАХ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО КОНТРОЛЯ

Ю. М. АГЕЕВ, В. И. КОНОВАЛОВ

(Представлена научно-техническим семинаром кафедры автоматики и телемеханики)

Одной из важных задач, требующих решения при разработке систем централизованного контроля, является повышение точности получаемых результатов. Если система контроля включает в себя ВУ, то функциональная схема измерительного тракта может быть изображена следующим образом (рис. 1):

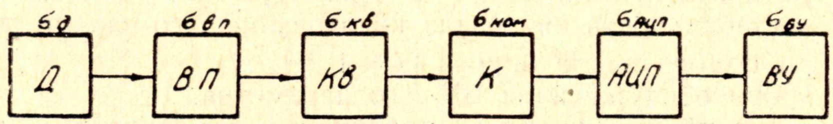

Рис. 1

$\sigma_{д}$ — погрешность датчика с учетом возможности введения поправок в связи с изменяющимися условиями работы;

$\sigma_{вп}$ — погрешность вторичного прибора (в случае, если ввод информации в ВМ осуществляется со вторичных измерительных приборов);

$\sigma_{кв}$ — погрешность квантования идеального коммутатора, учитывающая возможность того или иного метода экстраполяци или интерполяции;

$\sigma_{ком}$ — погрешность коммутации реального коммутатора;

$\sigma_{АЦП}$ — погрешность АЦП;

$\sigma_{ВУ}$ — погрешность методов первичной обработки информации осуществляемых в ВУ.

Рассмотрим погрешность $\sigma_{кв}$, на величину которой влияют статистические характеристики контролируемых параметров, применяемый метод экстра- и интерполяции, быстродействие коммутатора, порядок опроса параметров или программа работы коммутатора.

В современных системах контроля число контролируемых параметров может быть весьма значительным. В связи с тем, что быстродействие коммутаторов и других функциональных узлов системы контроля всегда ограничено, обеспечить равномерное во времени квантование всех параметров не представляется возможным. Из-за неравномерного шага квантования возникает дополнительная погрешность $\sigma'_{кв}$, которая существенно зависит от порядка опроса параметров.

В настоящей работе предлагается простой метод определения порядка опроса контролируемых параметров, позволяющий уменьшить $\sigma'_{кв}$, а также некоторые зависимости, необходимые для оценки быстродействия ВУ и коммутатора. Аналогичные задачи рассмотрены в работах [1] и [2]. Однако в работе [1] полученные зависимости позволяют определить только емкость коммутатора. В работе [2] рассматривается алгоритм оптимальной очередности обслуживания цифровой машиной нескольких независимых подсистем при минимальном допустимом быстродействии. Полученные результаты тем не менее предполагают наличие свободных позиций у коммутатора, что, естественно, снижает ценность метода.

Предварительно введем некоторые обозначения:

n — число контролируемых параметров;

f_i — частота опроса i-го параметра, f_{max}; f_{min} — максимальное и минимальное значения f_i;

$T_ц$ — продолжительность одного цикла опроса;

N_0 — число позиций коммутатора;

$t_к$ — продолжительность нахождения коммутатора на $к$-й позиции;

$\nu_в$ — условное быстродействие ВУ;

$\nu_к$ — быстродействие коммутатора;

h_{ij} — позиция коммутатора, занимаемая i-м параметром, опрашиваемым j-й раз;

Δh_{i0} — интервал при равномерном квантовании, выраженный числом позиций коммутатора;

Δh_{ij} — интервал квантования i-го параметра при $j = \overline{1, \gamma_i}$;

$\Delta \tau_{ij}$ — нестабильность интервала квантования i-го параметра внутри одного цикла опроса $[j = \overline{1, \gamma_i}]$;

Θ_i — время обслуживания ВУ i-го параметра.

Число позиций коммутатора определяется по формуле

$$N_0 = \sum_{i=1}^{n} \gamma_i,$$

где $\gamma_i = \dfrac{f_i}{f_{min}}$,

γ_i — целые числа;

$1 \leqslant \gamma_i < \gamma_{max}$.

Если γ_i — дроби, то можно перейти к целым числам, отыскав наименьший общий знаменатель и умножив числители дробей на соответствующие множители. В этом случае $\gamma_{min} > 1$, и число позиций коммутатора увеличивается. Исходя из условия равномерности всех интервалов квантования для всех параметров, последние нужно подключать к позициям коммутатора K_{ij}, которые вычисляются по формулам, сведенным в табл. 1. Номера параметров i записаны в таблице в порядке возрастания частоты f_i.

Если расположить вычисленные таким образом значения K_{ij} в порядке возрастания, а затем в том же порядке записать индексы i при соответствующих K_{ij}, то получим искомый порядок опроса, характеризующийся следующим.

1. При переменном шаге опроса коммутатора ($t_к \neq \text{const}$) составляющая погрешность $\sigma'_{кв}$ уменьшится до нуля, если $t_к \to 0$ при ограниченной средней скорости работы коммутатора, т. е.

$$T_ц = \sum_{1}^{N_0} t_к \neq 0.$$

2. При $t_к = \text{const}$ в пределах одного цикла опроса рассматриваемый порядок является наилучшим. В пределах же нескольких смежных циклов не является таковым, поскольку в этом случае параметр с $f_{\max}$ всегда будет опрашиваться первым и последним в каждом цикле и, следовательно, минимальный интервал квантования этого параметра всегда будет равен $t_к$.

Рассмотрим некоторые возможные варианты совместной работы ВУ и коммутатора. Предположим, что в промежуток времени $t_к$ ВУ обеспечивает математическую обработку результатов измерения каждого параметра, затрачивая на это время Θ_i.

Обозначим коэффициент использования ВУ через ξ

$$\xi = \frac{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{\gamma_i}\Theta_{ij}}{T_ц}.$$

Рассмотрим три возможных случая.

1. Основное требование $t_к = t_0 = \text{const}$. Тогда необходимое быстродействие коммутатора и ВУ определяется по формулам:

$$\begin{gathered} \nu_к \geqslant N_0 \cdot f_{\min}, \\ \Theta_i < t_0; \quad \nu_в \geqslant l_{i\max} \cdot \nu_к, \\ \xi \leqslant \frac{f_{\min}}{\nu_в} \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{\gamma_i} l_{ij}, \end{gathered} \tag{1}$$

где l_i — число элементарных операций, выполняемых ВУ при обработке i-го параметра, $l_{i\max} = \max\{l_i\}$. Оценка дисперсии шага квантования равна

$$\bar{\sigma}_i = \frac{1}{\nu_к}\sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{\gamma_i}(\Delta h_{ij} - \Delta h_{i0})^2}{\gamma_i - 1}}.$$

2. Основное требование $\xi \leqslant \xi_0$; $\nu_{к\,ср} = \nu_{к0} = N_0 \cdot f_{\min}$. В этом случае

$$\nu_в \geqslant \frac{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{\gamma_i} l_{ij}}{\xi_0} f_{\min}$$

и, если $\frac{l_{i\max}}{\nu_в} \leqslant \frac{1}{\nu_{к0}}$, то коммутатор работает с постоянным шагом ($t_к = t_0$). В противном случае возникает еще одна составляющая погрешности квантования из-за непостоянства $t_к$ и оценка дисперсии шага квантования равна

$$\bar{\sigma}_i = \frac{1}{\nu_{к0}}\sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{\gamma_i}(\Delta h_{ij} - \Delta h_{i0} + \Delta\tau_{ij} - \Delta\tau_{ij-1})^2}{\gamma_i - 1}}.$$

3. Основное требование — минимальная неравномерность квантования. Это возможно только в том случае, если коммутатор будет работать с переменным шагом, и моменты включения коммутатором определенных позиций будут строго соответствовать описанному выше порядку опроса. Строгое выполнение этого требования возможно в об-

Таблица 1

Порядковый номер опроса параметров в цикле / Номер параметра	1	2	. . .	j	. . .	γ_{max}
1	$\frac{N_0}{2\gamma_1}$					
2	$\frac{N_0}{2\gamma_2}$	$\frac{3N_0}{2\gamma_2}$	$\frac{(2\gamma_2-1)N_0}{2\gamma_2}$			
. . .						
i	$\frac{N_0}{2\gamma_i}$	$\frac{3N_0}{2\gamma_i}$	. . .	$\frac{(2j-1)N_0}{2\gamma_i}$	$\frac{(2\gamma_i-1)N_0}{2\gamma_i}$	
. . .						
n	$\frac{N_0}{2\gamma_{max}}$	$\frac{3N_0}{2\gamma_{max}}$	. . .	$\frac{(2j-1)N_0}{2\gamma_{max}}$	. . .	$\frac{(2\gamma_{max}-1)N_0}{2\gamma_{max}}$

щем случае только при $\nu_в \to \infty$, $t_k \to 0$. В действительности же всегда $\nu_в \leqslant \nu_{во}$; $t_к \geqslant t_{ко}$. Поэтому возможно, что некоторые Θ_i будут больше соответствующих им $t_к$, а квантование становится неравномерным.

Для ξ справедливо (1), а

$$\bar{\sigma}_i = \frac{1}{\nu_{к.ср}} \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{\gamma_i} (\Delta\tau_{ij} - \Delta\tau_{ij-1})^2}{\gamma_i - 1}}; \quad \nu_{к.ср} = \nu_{к0} = f_{\min} \cdot N_0.$$

Максимальное требуемое быстродействие коммутатора

$$\nu_{к\,\max} = \frac{1}{t_{к0}}.$$

Рассмотрим пример.

Известно: $l_1 = 100$, $l_2 = 200$, $l_3 = 500$, $l_4 = 100$,

$$f_1 = 1\frac{1}{сек}, \quad f_2 = 2\frac{1}{сек}, \quad f_3 = 3\frac{1}{сек}, \quad f_4 = 4\frac{1}{сек}.$$

Требуется определить порядок опроса и неравномерность шага квантования для какого-либо параметра.

$$N_0 = \gamma_1 + \gamma_2 + \gamma_3 + \gamma_4 = 10.$$

Принятый согласно вышеизложенному методу порядок опроса параметров приведен в табл. 2.

Таблица 2

Номер параметра	4	3	2	4	3	4	2	8	4	1
h_{ij}	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
K_{ij}	1,25	1,66	2,5	3,75	5	6,25	7,5	8,33	8,75	10

1. $\nu_к \geqslant 10 \cdot 1 = 10 \left[\frac{точек}{сек}\right]$;

$$\nu_в \geqslant 500 \cdot 10 = 5000 \left[\frac{эл.\ оп}{сек}\right];$$

$$\xi \leqslant \frac{1}{5000} /100 + 2 \cdot 200 + 3 \cdot 500 + 4 \cdot 100/ = 0{,}48;$$

$$\bar{\sigma}_4 = \frac{1}{10} \sqrt{\frac{(3-2{,}5)^2 + (2-2{,}5)^2 + (3-2{,}5)^2 + (2-2{,}5)^2}{4-1}} =$$

$$= 0{,}058\ [сек] = 5{,}8\ [\%].$$

2. $\nu_{к0} = 10 \cdot 1 = 10 \left[\frac{точек}{сек}\right]$; $\xi_0 = 0{,}8$.

Тогда

$$\nu_в \geqslant \frac{100 + 200 \cdot 2 + 500 \cdot 3 + 100 \cdot 4}{0{,}8} \cdot 1 = 3000 \left[\frac{оп}{сек}\right].$$

$$\frac{500}{3000} > \frac{1}{10}, \text{ поэтому } t_к \neq \text{const}.$$

Оценим дисперсию шага квантования для 4-го параметра

$$\bar{\sigma}_4 = \frac{1}{10}\sqrt{\frac{\left(3-2\frac{1}{2}+\frac{1}{3}-0\right)^2+\left(2-2\frac{1}{2}+\frac{2}{3}-\frac{1}{3}\right)^2+\left(3-2\frac{1}{2}+\frac{2}{3}-\frac{2}{3}\right)^2+\left(2-2\frac{1}{2}+0-\frac{2}{3}\right)^2}{4-1}} = 0{,}067\ [сек] = 6{,}7\ [\%].$$

3. $\nu_в = 5000$ *оп/сек.*

Определим значения Δh_{ij} и $t_к$, а также оценим, соответствуют ли значения Θ_i $t_к$-м.

$$\Delta h_{ij\,\min} = \Delta h_{41} = 1{,}66 - 1{,}25 = 0{,}41.;\quad t_{41} = \frac{1}{10}\cdot 0{,}41 = 0{,}041\ [сек].$$

$$\Theta_4 = \frac{100\ оп}{5000\ оп/сек} = 0{,}02\ сек.\quad \Theta_4 < t_{41}.$$

Наименьшим среди оставшихся интервалов является интервал t_{33}.

$$\Delta h_{33} = 0{,}42;\quad t_{33} = 0{,}042\ сек;\quad \Theta_3 = \frac{500\ оп}{5000\ оп/сек} = 0{,}1\ сек;$$

$$\Theta_3 > t_{33}.$$

Следовательно, за интервал времени t_{33} ВУ не успевает провести обработку контролируемого параметра. За время t_{33} будет выполнено 5000 $оп/сек \cdot 0{,}042$ $сек = 210$ операций вместо требуемых 500, поэтому начало обработки следующего параметра сдвинется на величину $\frac{500-210}{500} = 0{,}58$ поз. коммутатора.

В остальных случаях $t > \Theta_i$.

$$\bar{\sigma}_4 = \frac{1}{10}\sqrt{\frac{(0-0{,}58)^2+(0{,}58-0)^2}{4-1}} = 0{,}041\ [сек] = 4{,}1\ [\%].$$

ЛИТЕРАТУРА

1. Ю. В. Федюкин. Центральный регулятор производственных процессов. Труды МЭИ, вып. 52, М., 1963

2. Г. Ф. Луговой. Выбор вариантов очередности обслуживания управляющей машиной нескольких независимых систем автоматического управления. Известия АН СССР, Техническая кибернетика, № 4, 1968.