

Раздел V. Автоматизированные системы управления

УДК 621.82: 621.397

Л.К. Самойлов

АЛГОРИТМ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОГРАММЫ РАЗМЕЩЕНИЯ КОМАНД ОПРОСА ДАТЧИКОВ В АНАЛОГОВОМ ИНТЕРФЕЙСЕ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И КОНТРОЛЯ

Показано, что требуемая скорость опроса датчиков в аналоговом интерфейсе систем управления и контроля имеет минимумы в зависимости от значения минимальной частоты дискретизации датчиков, что позволяет путем специального завышения этой частоты получать оптимальный результат. При программном опросе тактовая частота работы аналогового интерфейса существенно выше частоты дискретизации, которая требуется с точки зрения частотных свойств датчиков, погрешности дискретизации-восстановления и условий восстановления информации, где искусственное завышение минимальной частоты дискретизации датчиков позволяет получить оптимальную программу опроса.

Аналоговый интерфейс; системы управления и контроля; датчики; частота дискретизации; программа опроса.

L.K. Samoilo

ALGORITHM OF OPTIMISATION OF THE PROGRAM OF PLACING OF COMMANDS OF INTERROGATION OF SENSORS IN THE ANALOGUE INTERFACE OF CONTROL AND THE SUPERVISING SYSTEMS

It is shown that the required rate of the survey in the analog sensor interface, control and monitoring systems has minima, depending on the value of the minimum sampling frequency of sensors that allows by special overstating this frequency to obtain optimal results. When polled clock frequency of the analog interface is much higher sampling rate, which is required in terms of the frequency characteristics of sensors, sampling error-recovery and recovery conditions, which artificially drive the minimum sampling frequency of sensors provides the optimum program survey.

The analogue interface; a control system; sensors; frequency of digitization; the interrogation program.

Аналоговый интерфейс системы управления и контроля вводит информацию от N датчиков. Сигнал каждого датчика имеет частоту дискретизации ($f_i \quad i = 1, 2, \dots, N$), которая определяется частотными свойствами датчика, допустимой погрешностью дискретизации-восстановления и порядком восстанавливающего полинома [1], [2]. Можно выделить датчик с f_{min} и с f_{max} .

Набор N датчиков может характеризоваться минимально допустимой суммарной частотой дискретизации (f_{Σ}):

$$f_{\Sigma} = \sum_{i=1}^N f_i \cdot \quad (1)$$

Суммарная частота дискретизации (1) фактически является тактовой частотой работы аналогового интерфейса и определяет требуемую минимальную скорость ввода информации в цифровой системе управления и контроля [3], [4]. *Циклом опроса датчиков* называется временной интервал (T_u), за который будут приняты цифровые сигналы от всех датчиков. Длительность цикла опроса определяется частотой опроса сигнала датчика с f_{min} . Действительно, за время цикла опроса этот датчик будет опрошен только один раз:

$$T_u = 1 / f_{min}. \quad (2)$$

Если частоты дискретизации всех датчиков равны между собой, т.е.:

$$f_{min} = f_{max}, \quad (3)$$

то алгоритм ввода информации носит название циклического.

Если условие (3) не выполняется, т.е. $f_{min} \neq f_{max}$, то такой алгоритм ввода информации называется программным. При программном опросе число тактов опроса в цикле (η_{Σ}) существенно превышает число датчиков (N):

$$\eta_{\Sigma} = f_{\Sigma} / f_{min}. \quad (4)$$

Особенностью программного опроса является тот факт, что отдельные датчики в цикле опрашиваются несколько раз. В дальнейшем в работе рассматривается в основном программный опрос как более общий.

Количество опросов i -го датчика в цикле (η_i) может быть определено как

$$\eta_i = f_i / f_{min}. \quad (5)$$

При этом необходимо выполнять условие равенства η_i интервалов опроса датчика внутри цикла. Нетрудно видеть, что

$$\eta_{\Sigma} = \sum_{i=1}^N \eta_i. \quad (6)$$

При использовании программного опроса возможно дополнительное увеличение требуемой частоты ввода информации в цифровую систему управления и контроля. Это увеличение связано с двумя процессами:

- 1) процедурой приведения количества опросов в цикле к целым числам ($f_{\Sigma 1}$);
- 2) процедурой размещения программы опроса внутри цикла ($f_{\Sigma 2}$).

Реально количество опросов одного датчика может быть только целым числом. Обозначим это число опросов как η_{i1} . Тогда формула (5) должна быть записана в виде

$$\eta_{i1} = \left[\frac{f_i}{f_{min}} \right]. \quad (7)$$

Знак $\left[\right]$ означает, что берется ближайшее большее целое число.

Число тактов опроса в цикле $\eta_{\Sigma 1}$, в отличие от η_{Σ} из (6) будет равно

$$\eta_{\Sigma 1} = \sum_{i=1}^N \eta_{i1}. \quad (8)$$

Это приводит к тому, что частота работы аналогового интерфейса для опроса N датчиков f_{Σ} увеличится по сравнению со значением (1) до значения $f_{\Sigma 1}$:

$$f_{\Sigma 1} = f_{min} \cdot \sum_{i=1}^N \eta_{i1}. \quad (9)$$

Из (7) и (9) можно получить в явном виде возможное увеличение частоты опроса датчиков в аналоговом интерфейсе

$$f_{\Sigma 1} \leq f_{\Sigma} + N f_{min} . \tag{10}$$

Импульсы опроса каждого датчика должны располагаться в цикле через одинаковое число тактов. Это условие можно записать в виде

$$\eta_{\Sigma 1} / \eta_{i1} = n_i \quad \text{где } n_i = 1, 2, 3, 4, \dots \tag{11}$$

Если условие (11) не выполняется, то отдельные интервалы опроса внутри цикла необходимо корректировать. Это производится путем увеличения $f_{\Sigma 2}$.

Проблема составления оптимальной программы опроса датчиков в аналоговом интерфейсе заключается в решении комбинаторной задачи полного перебора всех возможных вариантов. Даже для сравнительно небольшого числа датчиков чаще всего такой подход неприемлем из-за большого объема работ и трудностей логического описания задачи.

Результаты проведенных исследований показали, что специальное завышение величины f_{min} позволяет оптимизировать значение требуемой частоты ввода информации аналогового интерфейса после процедуры приведения количества опросов в цикле к целым числам, приближая его к f_{Σ} . При реализации этого алгоритма необходимо увеличивать значение f_{min} с определенным шагом. Искусственное завышение f_{min} существенно изменяет величину $f_{\Sigma 1} / f_{\Sigma}$. В табл. 1 приведен пример расчетов $f_{\Sigma 1}$ для системы с шестью датчиками при различных значениях f_{min} . Частоты дискретизации датчиков соответствуют произвольному набору: $f_1 = 13$, $f_2 = 27$, $f_3 = 27$, $f_4 = 30$, $f_5 = 40$, $f_6 = 60$.

Таблица 1

Результаты расчета тактирующей частоты работы интерфейса как функции минимальной частоты дискретизации датчиков

№	f_{min}	$\left\lceil \frac{13}{f_{min}} \right\rceil$	$\left\lceil \frac{27}{f_{min}} \right\rceil$	$\left\lceil \frac{27}{f_{min}} \right\rceil$	$\left\lceil \frac{30}{f_{min}} \right\rceil$	$\left\lceil \frac{40}{f_{min}} \right\rceil$	$\left\lceil \frac{60}{f_{min}} \right\rceil$	f_{Σ}	$f_{\Sigma 1}$	$\frac{f_{\Sigma 1}}{f_{\Sigma}}$	η_{Σ}
1	13	1	3	3	3	4	5	197	247	1,25	19
2	13,5	1	2	2	3	3	5	197	216	1,1	16
3	14	1	2	2	3	3	5	197	224	1,14	16
4	14,5	1	2	2	3	3	5	197	232	1,18	16
5	15	1	2	2	2	3	4	197	210	1,06	14
6	16	1	2	2	2	3	4	197	224	1,14	14
7	17	1	2	2	2	3	4	197	238	1,2	14
8	20	1	2	2	2	2	3	197	240	1,22	12
9	30	1	1	1	1	2	2	197	240	1,22	8
10	60	1	1	1	1	1	1	197	360	1,87	6

На графике (рис. 1) сплошной линией показана зависимость $f_{\Sigma 1} / f_{\Sigma}$ от f_{min} .

На графике можно выделить минимумы отношения $f_{\Sigma 1} / f_{\Sigma}$. Оптимальные значения получаются при выборе минимальной частоты из условия:

$$f_{min} = 0,5 \cdot f_i \text{ при } i > 1 . \tag{12}$$

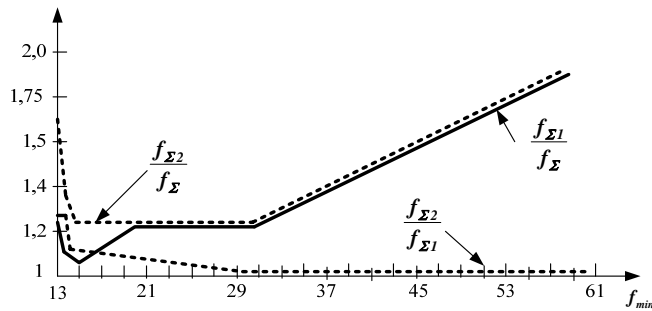


Рис. 1. Зависимость тактирующих частот интерфейса от значения минимальной частоты дискретизации датчиков

Параметры аналогового интерфейса, соответствующие этим минимумам, можно считать потенциально близкими к оптимальным. В табл. 1 эти варианты f_{min} выделены жирным шрифтом. Для принятия решения об оптимальном варианте необходимо дополнительно решить задачу составления программы опроса для выделенных вариантов.

Процедура размещения программы опроса внутри цикла дает увеличение частоты работы аналогового интерфейса до значения $f_{Σ2}$ по двум причинам:

1) отношение $\frac{\eta_{Σ1}}{\eta_i} = n_i$ не является целым числом;

2) при размещении необходимо в программе опроса смещать импульс опроса с оптимального места в связи с тем, что оно занято импульсом другого датчика, который распределялся ранее.

Для варианта 10 коэффициенты $\frac{f_{Σ2}}{f_{Σ1}}$ и $\frac{f_{Σ2}}{f_{Σ}}$ могут быть получены автомати-

чески, так как при циклическом опросе, которому соответствует этот вариант, программа опроса распределяется в цикле без потерь:

$$\frac{f_{Σ2}}{f_{Σ1}} = 1.$$

Решение задачи размещения программы опроса для первого варианта при $\eta_{Σ} = 19$ приведено на рис. 2.

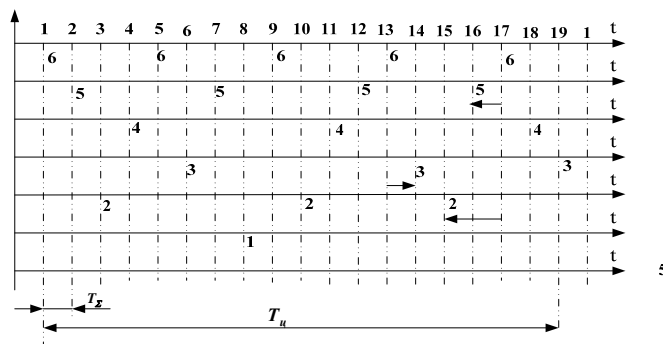


Рис. 2. Размещение импульсов опроса для первого варианта

Таблица 2

Результаты размещения первого варианта

№ датчика	Требуемый интервал опроса датчика в тактах $\frac{\eta_{\Sigma 1}}{\eta_i} = n_i$	Максимальный интервал опроса датчика в тактах $n_{i \max}$	Необходимое увеличение суммарной частоты интерфейса в результате решения задачи размещения $\frac{f_{\Sigma 2}}{f_{\Sigma 1}} = \frac{n_{i \max}}{n_i}$
6	3,8	4	1,05
5	4,75	5	1,05
4	6,33	7	1,1
3	6,33	8	1,26
2	6,33	7	1,1
1	19	19	1

Решение задачи размещения программы опроса для второго варианта при $\eta_{\Sigma} = 16$ приведено на рис. 3.

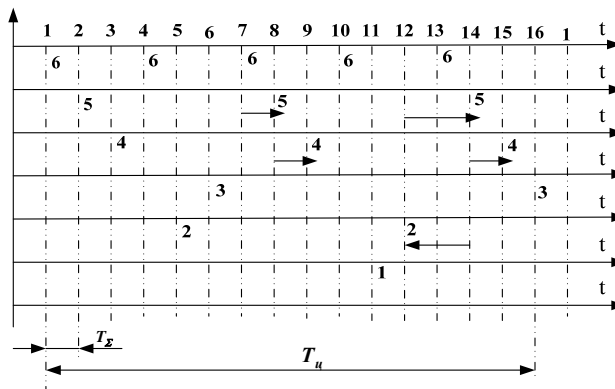


Рис. 3. Размещение импульсов опроса для второго варианта

Результаты размещения сведены в табл. 3, которая по структуре аналогична табл. 2

Таблица 3

Результаты размещения второго варианта

№ датчика	Требуемый интервал опроса датчика в тактах $\frac{\eta_{\Sigma 1}}{\eta_i} = n_i$	Максимальный интервал опроса датчика в тактах $n_{i \max}$	Необходимое увеличение суммарной частоты интерфейса в результате решения задачи размещения $\frac{f_{\Sigma 2}}{f_{\Sigma 1}} = \frac{n_{i \max}}{n_i}$
6	3,2	4	1,25
5	5,3	6	1,13
4	5,3	6	1,13
3	8,0	10	1,25
2	8,0	9	1,125
1	14	14	1

Из табл. 3 следует, что второй вариант для задачи размещения требует увеличение частоты опроса в 1,25 раза.

Решение задачи размещения для пятого варианта показано на рис. 4, а итоговые результаты сведены в табл. 4.

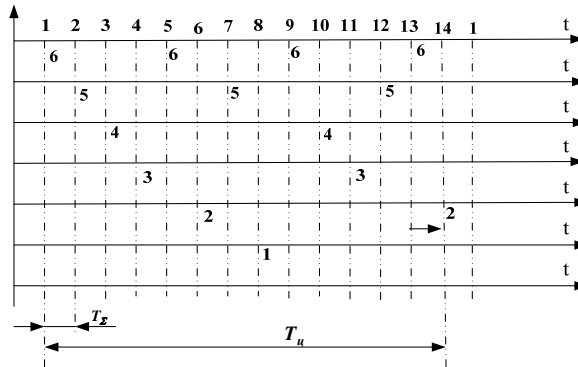


Рис. 4. Размещение импульсов опроса для пятого варианта

Таблица 4

Результаты размещения пятого варианта

№ датчика	Требуемый интервал опроса датчика в тактах $\frac{\eta_{\Sigma 1}}{\eta_i} = n_i$	Максимальный интервал опроса датчика в тактах $n_{i \max}$	Необходимое увеличение суммарной частоты интерфейса в результате решения задачи размещения $\frac{f_{\Sigma 2}}{f_{\Sigma 1}} = \frac{n_{i \max}}{n_i}$
6	3,5	4	1,14
5	4,33	5	1,15
4	7	7	1,0
3	7	7	1,0
2	7	8	1,14
1	14	14	1,0

Из табл. 4 следует, что пятый вариант требует для решения задачи размещения программы опроса увеличение частоты опроса в 1,15 раза.

Нетрудно показать, что для девятого варианта программа опроса размещается без потерь, т.е. $\frac{f_{\Sigma 2}}{f_{\Sigma 1}} = 1$.

Полученная в результате решения задачи размещения программ внутри цикла информация занесена в табл. 5, в которой приведены выделенные варианты.

На графике (см. рис. 1) показаны общие результаты формирования программы опроса. Как видно из итогового графика $f_{\Sigma 2} / f_{\Sigma}$, имеется явно выраженный минимум. Варианты формирования программы опроса, находящиеся в зоне этого минимума, будут оптимальными.

Из табл. 5 и графика (см. рис. 1) следует, что оптимальности пятого и девятого вариантов практически равноценны. Можно рекомендовать выбрать девятый вариант, который имеет меньшее число импульсов опроса (8 импульсов) и более наглядную программу размещения импульсов опроса внутри цикла (кратную степени двойки).

Таблица 5

Итоговые значения вариантов размещения программ опроса

№	f_{min}	$\left\lceil \frac{13}{f_{min}} \right\rceil$	$\left\lceil \frac{27}{f_{min}} \right\rceil$	$\left\lceil \frac{27}{f_{min}} \right\rceil$	$\left\lceil \frac{30}{f_{min}} \right\rceil$	$\left\lceil \frac{40}{f_{min}} \right\rceil$	$\left\lceil \frac{60}{f_{min}} \right\rceil$	$\frac{f_{\Sigma 1}}{f_{\Sigma}}$	η_{Σ}	$\frac{f_{\Sigma 2}}{f_{\Sigma 1}}$	$\frac{f_{\Sigma 2}}{f_{\Sigma}}$
1	13	1	3	3	3	4	5	1,25	19	1,26	1,58
2	13,5	1	2	2	3	3	5	1,1	16	1,25	1,38
5	15	1	2	2	2	3	4	1,06	14	1,15	1,21
9	30	1	1	1	1	2	2	1,22	8	1	1,22
10	60	1	1	1	1	1	1	1,87	6	1	1,87

В рассмотренном примере при использовании циклического опроса (десятый вариант) частота опроса в аналоговом интерфейсе увеличивается по сравнению с выбранным оптимальным девятым вариантом в $1,87/1,22=1,53$ раза. В рассмотренном примере разброс между f_{min} и f_{max} не очень большой (примерно 4 раза). При больших разбросах между f_{min} и f_{max} частота опроса в аналоговом интерфейсе при использовании циклического опроса увеличивается в разы по сравнению с оптимальным вариантом.

Выводы. При программном опросе тактовая частота работы аналогового интерфейса существенно выше частоты дискретизации, которая требуется с точки зрения частотных свойств датчиков, погрешности дискретизации-восстановления и условий восстановления информации. Увеличение определяется следующими факторами:

- 1) отношения частот дискретизации датчиков к их минимальной частоте дискретизации не являются целыми числами;
- 2) отношения числа импульсов опроса в цикле к числам импульсов опроса датчиков не являются целыми числами;
- 3) при размещении программы опроса необходимо смещать импульсы опроса в связи с тем, что этот такт опроса уже занят другим датчиком.

Искусственное завышение минимальной частоты дискретизации датчиков позволяет получить оптимальную программу опроса.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Самойлов Л.К.* Информационно-измерительные системы: Учебное пособие. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2010. – 140 с.
2. *Баранов Л.А.* Квантование по уровню и временная дискретизация в цифровых системах управления. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 304 с.
3. *Самойлов Л.К., Палазюк А.А., Сарычев В.В., Ткаченко Г.И.* Дискретизация сигналов по времени (практика, алгоритмы): Монография. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2000. – 81 с.
4. *Сарычев В.В., Ткаченко М.Г., Ткаченко Г.И.* Программный опрос в медицинских информационно-измерительных системах // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2008. – № 5 (82). – С. 108-112.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор В.Е. Золотовский.

Самойлов Леонтий Константинович – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Южный федеральный университет»; e-mail: samoilov@tti.fep.sfedu.ru; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел.: 8634311193; кафедра автоматизированных систем научных исследований и экспериментов; зав. кафедрой; профессор.

Samoilov Leonty Konstantinovich – Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”; e-mail: samoilov@tti.fep.sfedu.ru; 44, Nekrasovsky, Taganrog, 347928, Russia; phone: +786343111193; the department of automated research systems; head the department; professor.