

УДК 681.3:004.4'273

Ф.И. Кузнецов

**КОНВЕЙЕРИЗАЦИЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ СБОРА И ОБРАБОТКИ
ИНФОРМАЦИИ ДАТЧИКОВ**

Рассматривается влияние конвейерной обработки в системах сбора и обработки информации датчиков при последовательной организации решений задач. Описывается принцип крупноблочной конвейерной обработки информации датчиков. Оценивается производительность микрокомпьютерной системы при конвейерной обработке и без конвейерной. Определяется динамическая погрешность, связанная с временными затратами на реализацию вычислительных процессов, в обоих случаях. Приводится результат моделирования организации решения задач сбора и обработки информации датчиков с конвейерной обработкой и без конвейерной.

Микрокомпьютер; конвейеризация; динамическая погрешность.

F.I. Kuznetsov

**PIPELINING SOLUTION TASKS DATA ACQUISITION AND PROCESSING
SENSORS**

In this article examines the impact of pipelining in data acquisition and processing sensors in sequential organization tasks on the tiers. Describe the principle of large-block pipelining. Estimate the microcomputer system performance in pipelined processing and the pipeline without. Determined by the dynamic error associated with the implementation of time-consuming computational processes, in both cases. Solution tasks in data acquisition and processing sensors in pipelined and the pipeline without of computer modeling, are presented.

Microcomputer; pipeline; dynamic error.

Распределенная система мониторинга и/или управления представляет собой множество разнесенных в пространстве микрокомпьютеров (персональных компьютеров различных классов, контроллеров, программируемых логических контроллеров и т.д.) и сопряженных с датчиками и/или исполнительными механизмами микропроцессорных модулей ввода и/или вывода, регуляторов и др., объединенных в единую систему, реализующую общую целевую функцию, коммуникационной (промышленной, полевой и т.п.) сетью и операционной системой реального времени.

Решаемые задачи, в зависимости от целевой функции, разделены по ярусам [1]. На ярусе 1 (Я1) решаются задачи Z_{1d} аналоговой обработки (АО) и аналого-цифровых преобразований (АЦП), на ярусе 2 (Я2) – задачи Z_{2d} первичной цифровой обработки (ПЦО) сигналов датчиков физических величин. На ярусе 3 (Я3) решаются задачи Z_{3d} первого уровня вторичной цифровой обработки (1ВЦО), к которым отнесены измерения значений физических величин в соответствующих единицах, определения состояний физических величин и их оценки и т.д.

На четвертом ярусе (Я4) решаются задачи Z_4 , условно обозначенные как задачи второго уровня вторичной цифровой обработки (2ВЦО). К группе 2ВЦО относятся задачи: концентрации входных данных, сортировка вычисления траекторий изменения состояния, оценок текущего и прогнозируемого состояния объекта, формирования информационного объекта и послышки его на более высокий уровень информационной микрокомпьютерной системы.

В рамках статьи рассматривается последовательная схема процесса сбора и обработки информации датчиков (СОИД) при организации вычислений с конвейеризацией и без конвейеризации.

4-ярусная схема S1 последовательного решения задач представлена на рис. 1.

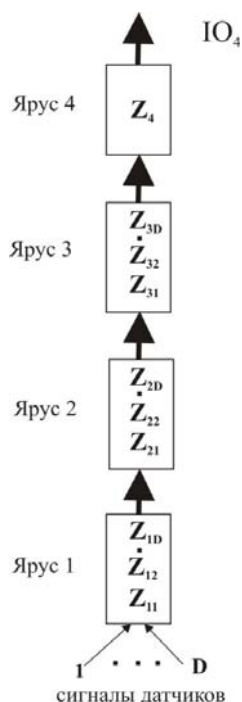


Рис. 1. Схема S1 последовательного решения задач на ярусах

К затратам времени на решения задач Z_1-Z_4 добавляются потери времени на передачу данных по сетевым каналам между ярусами.

Когда на ярусе j решаются задачи Z_{jd} , на которые затрачивается одинаковое время $T_{Zjd} = const$ ($d = \overline{1, D}$), время решения задач Z_1-Z_4 по последовательной схеме S1 составит

$$T_{S1} = D(T_{Z1d} + T_{Z2d} + T_{Z3d}) + \sum_{j=1}^3 T_{kj}^{(S1)} + T_{Z4}. \quad (1)$$

Временная диаграмма решения задач без конвейеризации представлена на рис. 2.

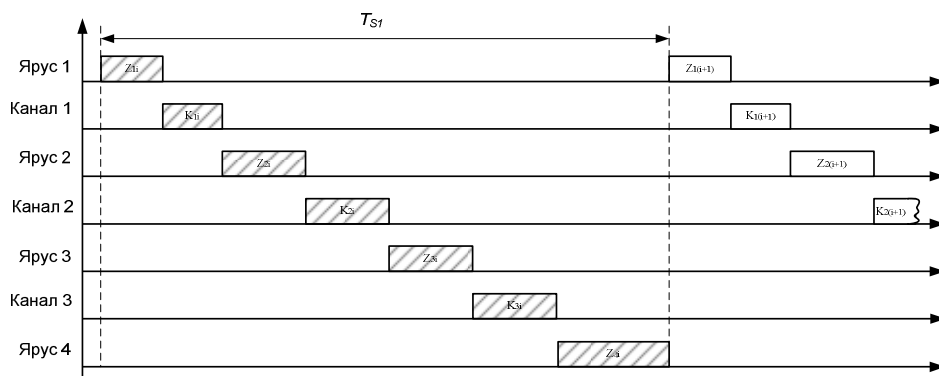


Рис. 2. Временная диаграмма решения задач без конвейеризации

Задачи СОИД выполняются последовательно. Решение задач на $(i+1)$ -м шаге начинается после выполнения всех задач на i -м шаге. При таком подходе шаг дискретизации не должен превышать время решения всех задач

$$T_{\delta} \geq T_{S1}.$$

Динамическая погрешность, связанная с временными затратами на реализацию вычислительных процессов (от момента оцифровки значения с датчика, до момента выдачи результата в сеть и/или формирования управляющего воздействия), определяется как

$$\varepsilon_{\vartheta S1} = \max_i |u(t_i + T_{S1}) - u(t_i)|, \quad (2)$$

при условии, что измеряемая переменная не имеет точек разрыва и дифференцируема, где $u(t_i)$ – значение переменной в момент времени t_i .

Временная диаграмма решения задач с конвейеризацией S1c представлена на рис. 3.

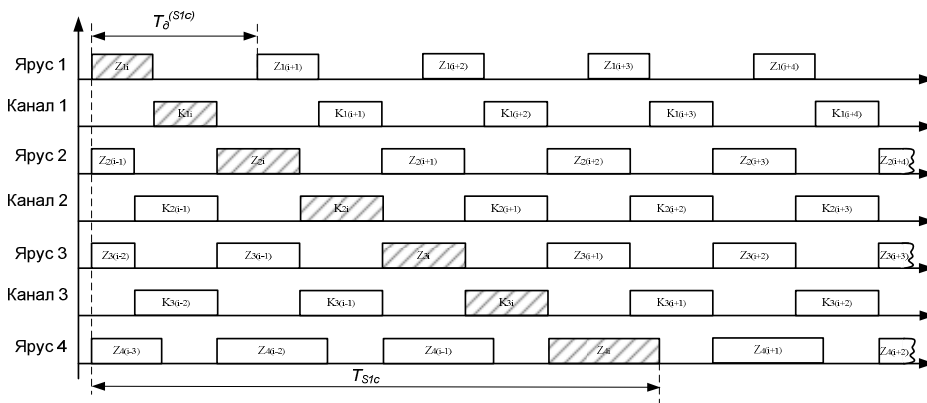


Рис. 3. Временная диаграмма решения задач с конвейеризацией

Рассматриваемый конвейер может находиться в одной из трех фаз: накачки, стабильного функционирования (поточковая обработка) и завершения (останова). Необходимость накачки обусловлена тем, что данные на входе 4-го яруса могут быть получены только тогда, когда будет завершена их последовательная во времени обработка на всех трех предыдущих ярусах. Следовательно, при тех же значениях временных затрат на организацию вычислений на ярусах и передачу данных между ними конвейер выдаст свои первые результаты через то же время T_{S1} , что и в случае структуры S1.

Фаза стабильного функционирования конвейера характеризуется тем, что когда на j -й ступени конвейера решается совокупность из D задач j -го яруса i -го шага дискретизации – $Z_{(j,d)_i}$, то одновременно на $(j+1)$ -м ярусе будет выполняться множество из D задач $Z_{((j+1),d)_{i-1}}$ $(i-1)$ -го шага дискретизации, а на $(j-1)$ -м ярусе будет выполняться множество D задач $Z_{((j-1),d)_{i+1}}$ $(i+1)$ -го шага. Таким образом, в случае максимальной загрузки конвейера одновременно и параллельно будут решаться j ярусов задач СОИД, каждый из которых обрабатывает разные потоки данных, соответствующие своему шагу дискретизации.

Фаза завершения конвейера характеризуется постепенным высвобождением ресурсов по окончании выполнения в нем каждого очередного яруса задач СОИД.

Тогда, общее время получения на всех M значений в результате выполнения M циклов решения задач СОИД составит:

$$T_M^{(S1c)} = T_{S1} + (M - 1) * T_0^{(S1c)},$$

где $T_0^{(S1c)}$ – длительность шага дискретизации аналогового сигнала по каждому из D каналов датчиков для структуры S1c. Причем, если длительность решения задач $Z_{(jd)_i}$ для каждого шага на j -м ярусе остается постоянной и независимой от номера (i) шага дискретизации, то значение длительности самого шага дискретизации $T_0^{(S1c)}$ определяется как

$$T_0^{(S1c)} = \max \left[T_{Z_4}, \max_{j=1,3} \left[\sum_{d=1}^D T_{Z_{jd}} + T_{K_j}^{(S1)} \right] \right]. \quad (3)$$

Как и в случае S1, приведенное выше в скобках выражение $\sum_{d=1}^D T_{Z_{jd}} + T_{K_j}^{(S1)}$ означает, что на каждом ярусе выполняются последовательно D процессов реализации задач Z_{jd} , после завершения которых вновь полученные результаты формируются в пакеты и отправляются на следующий верхний ярус с целью дальнейшей обработки.

Пусть на ярусе j задачи Z_{jd} выполняются за одно и тоже время $T_{Z_{jd}}$, равное $const_j$ ($d = 1, D$) при ($j = 1, 3$). Кроме того, пусть справедливо неравенство:

$$(D * T_{Z_{1d}} + T_{K_1}^{(S1)}) \leq (D * T_{Z_{2d}} + T_{K_2}^{(S1)}) \leq (D * T_{Z_{3d}} + T_{K_3}^{(S1)}) \leq T_{Z_4}.$$

Тогда для худшего случая значение T_{S1} станет равным $4T_{Z_4}$.

В результате M циклов решения задач СОИД выполнится за

$$T_M^{(S1c)} = (M + 3) T_{Z_4}.$$

Следовательно, производительность при замене последовательной схемы S1 сбора и обработки данных на крупноблочную конвейерную S1c возрастет в μ раз, где μ определяется выражением:

$$\mu = \frac{T_M^{(S1)}}{T_M^{(S1c)}} = \frac{4M}{(M + 3)}. \quad (4)$$

Время решения всех задач при конвейерной обработке остается прежним $T_{S1c} = T_{S1}$ и, следовательно, динамическая погрешность остается неизменной $\mathcal{E}_{\varphi S1c} = \mathcal{E}_{\varphi S1}$.

На рис. 4 приведен результат моделирования оценки времени решения задач СОИД. Исходные данные для моделирования:

- ◆ $N = 16$ – данные в битах, на $j = 1, 2$ каналах и $N = 32$ на 3 канале;
- ◆ $V = 0,2 \dots 1$ Мбит/с – скорость передачи между ярусами;
- ◆ $D = 16$ – число датчиков;
- ◆ $T_{Z1} = 50$ мкс, $T_{Z2} = 200$ мкс, $T_{Z3} = 500$ мкс, $T_{Z4} = 1$ мс – времена решения D задач на ярусах.

При конвейеризации шаг дискретизации равен времени решения самого длительного процесса, а именно при скорости межъярусного обмена $V = [0,2; 0,6]$ Мбит/с наиболее длительным процессом является передача в сетевой канал T_{K4} . При скоростях межъярусного обмена $V \geq 0,6$ Мбит/с наиболее длительным процессом является решения задач на ярусе 4.

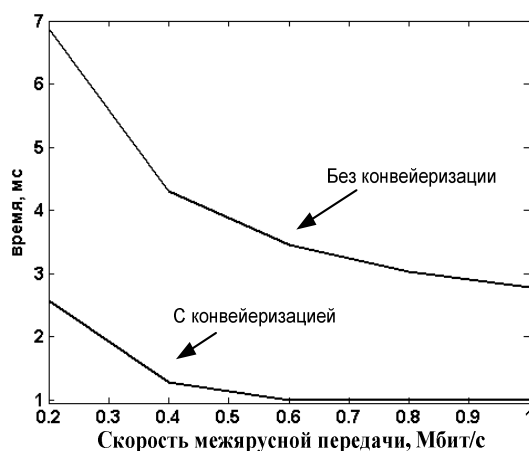


Рис. 4. Период выдачи информации без конвейеризации T_0 и с конвейеризацией $T_0^{(Slc)}$

В заключении отметим, что конвейеризация решения задач СОИД позволяет увеличить частоту выдачи вычисленной информации по сравнению с решением без совмещения (3). При этом время решения всех задач T_{Sl} остается без изменения (1) и следовательно динамическая погрешность не меняется.

Заметим, что увеличение частоты сбора информации датчиков приводит к увеличению количества цифровых отчетов, что позволяет увеличить порядок цифрового фильтра [2] и, следовательно, уменьшить помехи. В свою очередь, уменьшение помех позволяет увеличить точность экстраполяции для подавления динамической погрешности [3].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пьявченко О.Н. Особенности архитектур локальных информационных микроконтроллерных систем сбора и обработки информации датчиков физических переменных // Известия ТТИ ЮФУ-ДонНТУ. Материалы Одиннадцатого Международного научно-практического семинара «Практика и перспективы развития партнерства в сфере высшей школы». В 3-х кн. – Таганрог. Изд-во ТТИ ЮФУ. Кн. 2. – 2010. – № 10. – С. 198-204.
2. Walt Kester. Mixed Signal and DSP Design Techniques, 2003.
3. Пьявченко О.Н., Кузнецов Ф.И. Применение формул экстраполяции значений переменных для компенсации динамической погрешности // Цифровая обработка сигналов и ее применение. – Вып. XII - 1. – М., 2010. – С. 285-288.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор А.Е. Панич.

Кузнецов Филипп Игоревич – Технологический институт федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г. Таганроге; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44, ГСП-17А; тел.: +78634371656; кафедра микропроцессорных систем; аспирант.

Kuznetsov Filipp Igorevich – Taganrog Institute of Technology – Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”; e-mail: kafmps@ttpark.ru; GSP-17A, 44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634371656; the department of microprocessor systems; postgraduate student.