

ляющая обеспечить программное изменение топологии каналов передачи и схем обработки информации в подсистеме при возникновении нештатной ситуации в каналах сбора и узлах обработки данных. Проведено моделирование процессов ситуационного управления топологией структуры подсистемы сбора и обработки информации датчиков, состоящей из трёх устройств. Моделирование показало эффективность разработанного подхода.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Котов Е.В.* Сети Петри. – М.: Наука: Гл. ред. физматлит., 1984. – 160 с.
2. *Питерсон Дж.* Теория сетей Петри и моделирование систем: Пер. с англ. – М.: Мир, 1984. – 264 с.
3. *Зайцев Д.А., Шмелева Т.Р.* Моделирование телекоммуникационных систем в CPN Tools: Учебное пособие. – Одесса: Одесская национальная академия связи им. А.С. Попова, 2006. – 60 с.
4. *Ломазова И.А.* Вложенные сети Петри: моделирование и анализ распределенных систем с объективной структурой. – М.: Научный мир, 2004. – 208 с.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор А.М. Белевцев.

Клевцов Сергей Иванович – Южный федеральный университет; e-mail: sergkmps@mail.ru; 347900, г. Таганрог, ул. Петровская, 81; тел.: 88634328025; к.т.н.; доцент.

Петров Назар Сергеевич – e-mail: kafmps@tpark.ru; кафедра микропроцессорных систем; аспирант.

Klevtsov Sergey Ivanovich – Southern Federal University; e-mail: sergkmps@mail.ru; 81, Petrovsky, Taganrog, 347900, Russia; phone: +78634328025; cand. of eng. sc.; associate professor.

Petrov Nazar Sergeevich – e-mail: kafmps@tpark.ru; the department of microprocessor system; postgraduate student.

УДК 621.81.25

Ф.И. Кузнецов

МИНИМИЗАЦИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ПОГРЕШНОСТЕЙ В ДАТЧИКОВЫХ СИСТЕМАХ МОНИТОРИНГА И УПРАВЛЕНИЯ В РЕАЛЬНОМ МАСШТАБЕ ВРЕМЕНИ

Предлагаются способы снижения динамических погрешностей в датчиковых системах мониторинга и управления, ориентированные на работу в масштабе реального времени, когда измеряемые физические величины изменяются во времени. Даются рекомендации архитектурного построения распределенных информационных микрокомпьютерных систем с минимальной динамической погрешностью. Рассматриваются модули сбора и первичной цифровой обработки информации аналоговых датчиков с точки зрения формирования в них динамических погрешностей. Даются рекомендации по архитектурному построению таких модулей, а также рекомендации по организации процесса сбора информации датчиков. Предлагается метод компенсации двух динамических погрешностей: погрешности, связанной с затратами времени на реализацию вычислительных процессов, и погрешности цифрового фильтра. Метод основан на экстраполяции отфильтрованных значений переменной. Комплексный подход к минимизации суммарной динамической погрешности повышает показатели качества систем мониторинга и управления, ориентированные на работу в масштабе реального времени.

Динамическая погрешность; датчиковая система; сбор информации датчиков; экстраполяция.

F.I. Kuznetsov

MINIMISING DYNAMIC ERRORS IN THE SENSOR SYSTEMS OF MONITORING AND CONTROL IN REAL TIME

Provides methods for reducing dynamic errors of sensor systems to monitor and control oriented to work in real time, when the measured physical value is not constant over time. Recommendations are architecture construction of the distributed information microcomputer systems with a minimum dynamic error. Considered collection modules and primary digital information processing analog sensors in terms of forming dynamic errors in them. Recommendations on the architectural construction of such modules, as well as recommendations on the organization of the data collection process of sensors. Propose a method of compensation of two dynamic errors: errors related time-consuming to implement computational processes and error digital filter. The method is based on the extrapolation of the filtered values of the variable. Integrated approach to minimizing the total dynamic error will improve indicators monitoring and control systems oriented to work in real time.

Dynamic error; sensor systems; data collection of sensors; extrapolation.

Информационное запаздывание [1] – интервал времени от начала сбора данных с датчиков до окончания процесса выдачи измеренных данных в информационный канал (для систем мониторинга) или окончания процесса выдачи управляющего воздействия (для систем управления). Информационное запаздывание порождает динамическую погрешность, если измеряемая физическая переменная не постоянна во времени. Динамическая погрешность зависит от скорости изменения измеряемой переменной, от структуры и способа сбора данных, от затраченного времени на вычисления, а также от применяемых методов цифровой обработки.

Показатели качества замкнутой системы управления зависят не только от точности измерения физической переменной и типа применяемого алгоритма управления, но и от своевременности выдачи управляющих воздействий. Динамические погрешности могут привести к неправильным, запаздывающим реакциям системы управления на внешние факторы [1].

Целью настоящей работы является приведение архитектурных решений построения систем мониторинга/управления с минимальной динамической погрешностью и описание математического метода снижения динамических погрешностей в модулях сбора и первичной цифровой обработки информации датчиков в реальном масштабе времени.

Как уже было сказано, временные задержки, вносимые в систему управления процессами сбора и обработки информации датчиков, могут ухудшить показатели качества системы автоматического управления [2].

Наиболее экономичные и в то же время потенциально наименее производительные распределенные информационные микрокомпьютерные системы (ИМКС) строятся при организации в них последовательной схемы процесса решения задач [3]. Распределенная последовательная ИМКС может быть построена на основе 4-х типов информационных модулей, решающих в большинстве случаев следующие задачи:

1) аналоговая обработка, аналого-цифровое преобразование и сохранение значений D сигналов ($D \geq 1$) датчиков физических величин (задачи Z_{1d} , $d = \overline{1, D}$ яруса 1);

2) формирование достоверных значений сигналов датчиков (задачи Z_{2d} , $d = \overline{1, D}$ яруса 2) — первичная цифровая обработка;

3) измерение физических величин, определение и оценка их состояний (задачи Z_{3d} , $d = \overline{1, D}$ яруса 3);

4) определение и оценка состояния объекта наблюдения, расчет управляющих воздействий (задачи Z_4 яруса 4).

В результате соединений этих модулей межмодульными сетевыми каналами K_1, K_2, K_3 строится версия S_1 последовательной распределенной системы наблюдения, в соответствии с рис. 1. Система, построенная по такой последовательной схеме, имеет наибольшую динамическую погрешность, связанную с затратами времени на вычисления и на передачу данных между модулями по каналам связи.

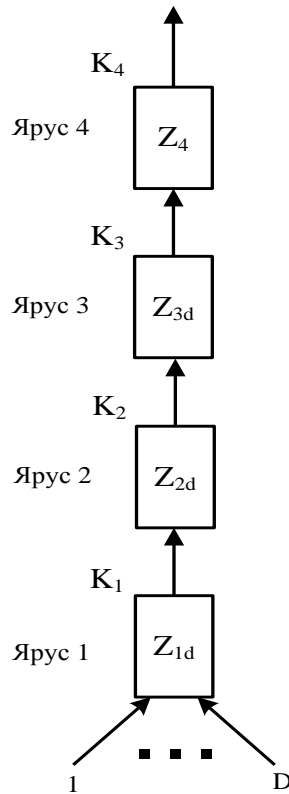


Рис. 1. Последовательная схема S_1

Основным направлением повышения производительности ИМКС (и как следствие снижение динамической погрешности) является распараллеливание на ярусах $d = \overline{1,3}$ решения задач Z_{jd} , $d = \overline{1, D}$. Высокопроизводительные ИМКС строятся по параллельно-последовательным схемам [3] (рис. 2), в которых осуществляется распараллеливание решения задач ярусов 1–3.

Таким образом, повышение вычислительной эффективности, за счет распараллеливания вычислений, снижает одну из составляющих динамической погрешности.

Рассмотрим формирование динамических погрешностей в модулях сбора и обработки информации аналоговых датчиков (СОИАД). На рис. 3 изображена одна из версий блочной структуры модуля СОИАД. В структуре отображены два способа организации сбора информации с чувствительных элементов ЧЭ $_j$: параллельный съем ($j = \overline{1, N}$) и циклический ($j = \overline{N+1, D}$). Чувствительный элемент и схема первичной аналоговой обработки (АО1) образуют датчик физических величин.

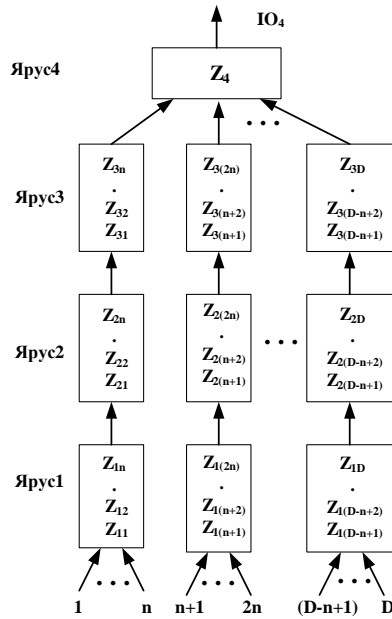


Рис. 2. Параллельно-последовательная схема S2

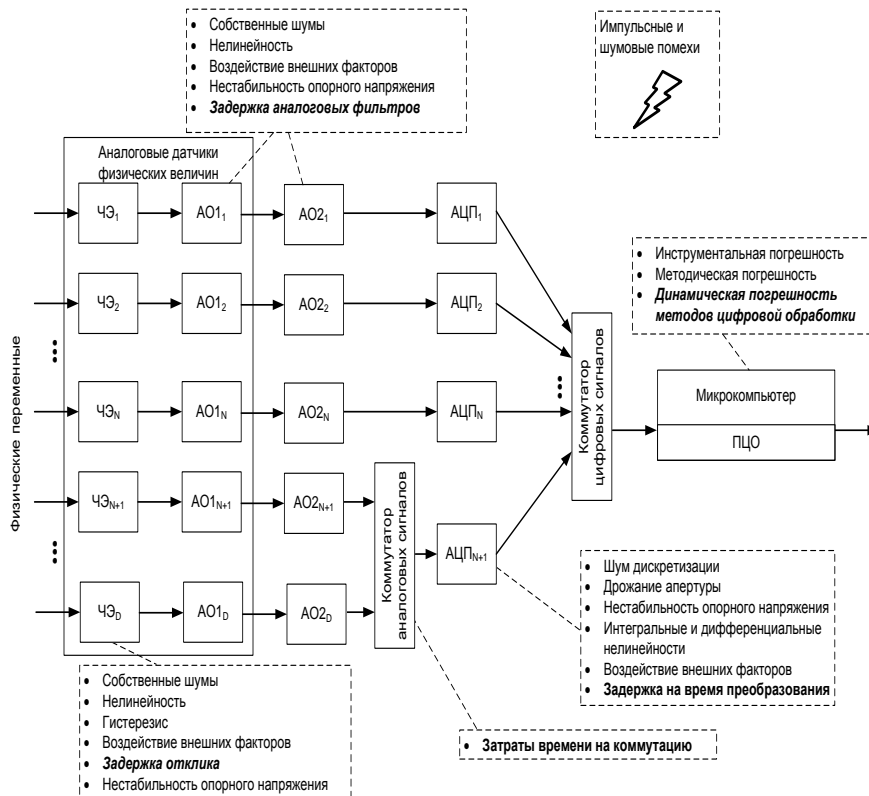


Рис. 3. Блочная структура модуля сбора и первичной цифровой обработки информации аналоговых датчиков

Сигнал с датчика содержит как собственные шумы, так и внешние помехи, накладываемые на полезный сигнал. С целью масштабирования, линеаризации и фильтрации сигнала с датчика применяют аналоговую обработку (АО).

Если сбор информации датчиков происходит в реальном масштабе времени и измеряемая величина не постоянна во времени, то появляются динамические погрешности. Основные динамические погрешности образуются на следующих участках модуля СОИАД (рис. 3):

1. Задержка отклика чувствительного элемента.
2. Задержка аналогового фильтра на время, соответствующее ФЧХ применяемого фильтра.
3. При циклическом опросе информации датчиков ($j=N+1, D$). При этом, чем больше число датчиков, тем больше динамическая погрешность последнего опрошенного датчика $j=D$ относительно первого $j=N+1$.

4. При цифровой обработке. Цифровые фильтры так же, как и аналоговые, имеют свои ФЧХ. Некоторые методы подавления импульсных помех (например, медианный фильтр) также имеют динамические погрешности.

5. Временные затраты на реализацию вычислительных процессов.

Для снижения задержки отклика ЧЭ необходимо либо выбирать ЧЭ с наименьшей инерцией (при сохранении требуемой точности самого ЧЭ), либо учитывать данную задержку при компенсации динамических погрешностей в первичной цифровой обработке (ПЦО). Для снижения динамической погрешности аналогового фильтра рекомендуется применять его только в качестве антиалиасного фильтра [4].

При циклическом опросе датчиков начало опроса и преобразования первого датчика $d=1$ привязывается к моменту времени t_i , идентифицирующему начало шага времени решения целевых задач. Процедура сбора завершается после $d = N$ цикла. Таким образом, в точке t_i определяется значение только первого аналогового сигнала. Значения остальных сигналов формируются со сдвигами по времени для точек

$$t_{id} = t_i + (T_{АЦ} + T_{АК}) (d - 1), \quad d = \overline{1, D}.$$

Для снижения данной динамической погрешности рекомендуется использовать параллельный съем информации с датчиков. При параллельном опросе значения с датчиков считываются одновременно.

Увеличение производительности микрокомпьютера позволит снизить затраты времени на вычислительные процессы, что приведет к снижению динамической погрешности. Но такой подход не всегда приемлем из-за финансовых ограничений либо из-за не возможности замены уже существующего модуля СОИАД. В этой связи предлагается применять дополнительные математические методы по борьбе с динамическими погрешностями.

В работе [5] предлагается экстраполяционный метод компенсации двух динамических погрешностей: погрешности, связанной с затратами времени на реализацию вычислительных процессов $\varepsilon_{\varphi g}$, и погрешности цифрового фильтра $\varepsilon_{\varphi \tau}$.

В данном методе вычисляется баланс между уменьшением шумовой составляющей цифровым фильтром, и количеством шагов, на которое необходимо экстраполировать отфильтрованную переменную для компенсации динамических погрешностей. Другими словами, цифровой фильтр уменьшает шум, но увеличивает динамическую погрешность, а погрешность экстраполяции переменной напрямую зависит от того какой уровень шума на входе экстраполятора, и от того, на какое число шагов необходимо экстраполировать.

При компенсации двух динамических погрешностей $\varepsilon_{\varphi g}$ и $\varepsilon_{\varphi \tau}$ необходимо экстраполировать переменную на $k = k_g + k_\tau$ шагов. В свою очередь количество шагов для компенсации динамической погрешности, связанной с затратами времени на вычисления, определяется выражением

$$k_g = \frac{t_{\text{выч}}}{\Delta T} \approx \frac{t_{i+1} - t_i}{\Delta T} = 1,$$

а количество шагов для компенсации динамической погрешности цифровой фильтрации определяется как

$$k_\tau = \left\{ \frac{\tau}{\Delta T} \right\}^{1/2},$$

где $\{\bullet\}^{1/2}$ – операция округления по 1/2; τ – групповая задержка фильтра, вычисляется через производную ФЧХ фильтра.

Общая формула многошаговой экстраполяции первого типа на основе полинома Лагранжа [6] по отфильтрованным значениям $u_{i\phi}$ определяется выражением

$$u_{1r(i+k)}^* = \sum_{j=0}^r C_j u_{(i+(j-r)k)\phi}, \quad C_j = (-1)^{r-j} \frac{(r+1)!}{j!(r+1-j)!}.$$

Результатом вычислений будет отфильтрованное значение переменной с компенсацией динамической погрешности.

Таким образом, для снижения динамической погрешности систем мониторинга/управления возможно применение таких решений, как архитектурные (распараллеливание решения задач и параллельный сбор информации с датчиков), аппаратные (применение более быстродействующих АЦП, вычислителей и менее инерционных датчиков), и применение математических методов цифровой обработки информации датчиков (методов с минимальной динамической погрешностью либо путем компенсации запаздывания – методом экстраполяции переменной). Предложенный экстраполяционный метод компенсации динамических погрешностей уменьшает погрешность в 2–3 раза. Комплексный подход к минимизации динамической погрешности позволит повысить показатели качества систем мониторинга/управления.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Крушель Е.Г., Степанченко И.В. Информационное запаздывание в цифровых системах управления: Монография. – Волгоград, 2004. – 124 с.
2. Крушель Е.Г., Степанченко И.В. О влиянии информационного запаздывания на качество управления // Актуальные проблемы развития г. Камышина: Тезисы докладов региональной межвузовской научно-практической конференции. – Камышин, 1998. – С. 169-171.
3. Пьявченко О.Н. Структурные особенности организации сбора и обработки информации датчиков в распределенных информационных микрокомпьютерных системах реального времени // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2012. – № 5 (130). – С. 12-20.
4. Кестер У. Проектирование систем цифровой и смешанной обработки сигналов. – Техносфера, Analog Devices, Inc., 2010. – 328 с.
5. Кузнецов Ф.И. Экстраполяционный метод компенсации динамических погрешностей в модуле сбора и первичной цифровой обработке информации аналоговых датчиков // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2013. – № 5 (142). – С. 190-195.
6. Пьявченко О.Н. Многошаговая экстраполяция значений переменных на основе полинома Лагранжа // Известия ТРТУ. – 2005. – № 9 (53). – С. 31-35.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор А.А. Зори.

Кузнецов Филипп Игоревич – Южный федеральный университет; e-mail: kfi@yandex.ru; 347900, г. Таганрог, ул. Петровская, 81; тел.: 89515296293; кафедра микропроцессорных систем; аспирант.

Kuznetsov Filipp Igorevich – Southern Federal University; e-mail: kfi@yandex.ru; 81, Petrovskaya street, Taganrog, 347900, Russia; phone: +79515296293; the department of microprocessor systems; postgraduate student.

УДК 65.014.1

В.А. Петраков

СИСТЕМНЫЙ СИНТЕЗ РЕСУРСА УПРАВЛЕНИЯ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫМ ПРОЕКТОМ

Проведена классификация проектов по индикаторам и исследованы ресурсы управления ими, в том числе для слабоструктурированного высокотехнологического проекта поставлена и решена задача системного синтеза управления из заданного класса допустимых ресурсов, принадлежащих нижней границе множества Парето, построенной на основе решения многокритериальной задачи оптимизации. Синтез профессиональных компетенций проведен с использованием кластерного анализа. Приведен алгоритм разбиения объектов на кластеры, включающий выбор их числа и записей, которые служат начальными центрами. Для каждой записи исходной выборки определяется ближайший к ней центр кластера. При этом записи, «притянутые» определенным центром образуют начальные кластеры. Вычисляются центроиды кластеров, центр кластера смещается в его центроид. На каждой итерации происходит изменение границ кластеров и смещение их центров. В результате минимизируется расстояние между элементами внутри кластеров. Остановка алгоритма производится, когда границы кластеров и расположения центроидов не перестанут изменяться.

Высокотехнологичный проект; управление; многокритериальность; множество Парето; социотехническая система; системный синтез; кластер; анализ; центроид; итерация; алгоритм.

V.A. Petrakov

RESOURCE MANAGEMENT SYSTEM SYNTHESIS OF HIGH-TECH PROJECT

The idea of work is to provide management of a weakly-structured project as a design system of high-tech object and its resource in the form of professional competence by adapting their structure and properties to the demand characteristics of the design object. For this purpose, the classification of projects by indicators was carried out and their management resources were investigated, including posing of poorly structured high-tech project and solving the problem of system synthesis management of a given class of admissible resources, taking their values in the positive area belonging to the lower boundary of the Pareto set, built on the basis of solving of multiobjective optimization problem. The synthesis of professional competences is conducted with cluster analysis. The algorithm of object fragmentation including selection quality and elements which are initial centers is considered. The nearest center of cluster is defined for each element. The initial center is the element attracted definite center. The centroid of cluster is calculated, the center of cluster removes in the centroid. In conclusion the distance between elements into clusters is minimized. The break of algorithm is when the border of clusters and location of centroids do not alter.

High-tech project; management; multicriteriality; Pareto set; socio-technical system; synthesis system; cluster; analysis; centroid; iteration-tion; algorithm.