

Алгоритмическое обеспечение адаптивной системы автоматического контроля с последовательно-параллельным анализом отклонений

Е. М. Антонюк¹, И. Е. Варшавский²
Санкт-Петербургский государственный
электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И. Ленина (Ульянова)
Санкт-Петербург, Россия
¹peterant@hotmail.com, ²varshavskiyie@gmail.com

П. Е. Антонюк
Высшая школа технологий и энергетики Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна
Санкт-Петербург, Россия
peterant7@gmail.com

Аннотация. Рассматривается алгоритм функционирования многоканальной системы автоматического контроля, предназначенный для сокращения избыточной информации. Сокращение избыточной информации позволяет уменьшить количество отсчетов сигналов поступающих от множества датчиков, отбор информации осуществляется по заранее заданным критериям. Достоверность контроля системы с временным разделением каналов, построенной на основе предлагаемого адаптивного алгоритма стремится к достоверности контроля систем с непрерывным опросом.

Ключевые слова: система автоматического контроля; информационно-измерительная система; сжатие данных; адаптивные алгоритмы; достоверность контроля

I. ВВЕДЕНИЕ

Достижения науки и техники последних лет определили направление развития современных информационно-измерительных систем. Усложнение промышленных и технических объектов сформировало необходимость одновременного измерения множества параметров величин, характеризующих текущее состояние объекта. Множество источников измерительных сообщений формируют постоянно растущие потоки измерительной информации.

Удалённость объектов контроля от основных вычислительных мощностей предприятий и лабораторий сформировало необходимость в беспроводной передаче измеренной информации, что в свою очередь обеспечило необходимость построения телеизмерительных систем [1].

Одновременная, непрерывная беспроводная передача информации от множества источников измерительных сообщений требует использования широкой полосы частот канала связи, а обработка и анализ полученных потоков измеренной информации высоких вычислительных мощностей.

Для рационального использования канала связи и сокращения вычислительных мощностей принимающей стороны были разработаны многоканальные телеизмерительные системы с временным разделением каналов. Повышение метрологических характеристик таких систем обеспечивается адаптивным принципом действия, например, формированием приоритета каналов без участия оператора или автоматической отправкой к выходу системы информации, характеризующей наиболее важный в текущий момент времени параметр объекта.

Для решения задач управления и регулирования в условиях необходимости опроса множества источников измерительных сообщений, постоянно растущих объёмов измерительной информации, необходимости отправки телеметрии и сокращения вычислительных мощностей был разработан ряд адаптивных алгоритмов [2] для многоканальных информационно-измерительных систем, отбирающих информацию по заранее заданному критерию – адаптивных систем автоматического контроля (АСАК).

Адаптивные системы автоматического контроля с постоянным периодом следования могут работать на основе равномерной дискретизации или с использованием адаптивной коммутации.

Для эффективного использования АСАК с равномерной дискретизацией необходимо иметь широкие сведения об объекте контроля, что не всегда возможно. Более высокие метрологические характеристики АСАК обеспечивает адаптивная коммутация.

САК с адаптивной коммутацией могут быть реализованы на основе нескольких способов анализа входных воздействий или их параметров, например, отклонений от номинального значения.

При модульном подходе к построению систем на основе процессорной или микропроцессорной техники способы опроса влияют на сложность реализации самой системы.

Наиболее простым в реализации является последовательный способ опроса, а наиболее сложным – параллельный. Промежуточную сложность представляет последовательно-параллельный анализ входных величин.

В данной работе рассматривается алгоритмическое обеспечение для многоканальной АСАК с последовательно-параллельным анализом отклонений. Анализ отклонений необходим для использования САК в составе системы автоматического управления и(или) регулирования.

II. АЛГОРИТМ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ

Алгоритм представлен в операторной форме, где заглавными буквами F обозначены операции, а верхний индекс обозначает номер канала, в котором данная операция выполняется. В квадратных скобках показаны операции выполнения которых должно осуществляться в параллельном или псевдопараллельном режиме. Математические и логические операции показаны справа от аргументов.

На рис. 1 показан алгоритм функционирования АСАК с последовательно-параллельным анализом отклонений.

$$\left(\begin{array}{c} F_C^1 \\ A \end{array} \right) - \left(\left[F_P^1 \left[\begin{array}{c} F_M^1 \\ F_M^2 \\ \dots \\ F_M^N \end{array} \right] \geq \left(1 \left(F_{HMC}^1 \left(\left(F_{BK}^1 \right) \cdot \left(F_H^1 \right) \right) \right) 0 \right) \right) \right) \\ \dots \\ \left(\begin{array}{c} F_C^N \\ A \end{array} \right) - \left(\left[F_P^N \left[\begin{array}{c} F_M^N \\ F_M^{N-1} \\ \dots \\ F_M^1 \end{array} \right] \geq \left(\left[\begin{array}{c} F_{HMC}^1 \\ F_{HMC}^2 \\ \dots \\ F_{HMC}^{N-1} \\ F_{HMC}^N \end{array} \right] \vee \left(\left(F_{BK}^N \right) \cdot \left(F_H^N \right) \right) \right) \right) \right) \\ \left(\sum_N F_H^N \left(F_\Sigma \left(F_M^{F_\Sigma} \right) \geq \left(1 \left(F_P^{F_\Sigma} \left(F_{OO} \right) \right) 0 \right) \right) \right)$$

Рис. 1. Алгоритм функционирования АСАК с последовательно-параллельным анализом отклонений

Работа САК начинается со сбора измерительной информации F_C^N . Разность F_P^N между информацией, поступившей от датчиков или АЦП и номинальным значением A формирует анализируемое в дальнейшем отклонение.

Анализ полученных параметров входных сигналов необходимо осуществлять над беззнаковыми величиной, для чего разностный сигнал берётся по модулю F_M^N .

На основе сравнения взятых по модулю разностных сигналов в каждом канале формируется параллельный код номера канала F_{HMC}^N .

Если в каждом канале сформируется максимальный по модулю разностный сигнал, то для повышения достоверности контроля необходимо выбрать канал, который будет опрошен в первую очередь. В алгоритме, показанном на рис. 1, предлагается осуществлять приоритет опроса по номеру канала, то есть к дальнейшему анализу будет отправлено значение вычисленного параметра от канала с наименьшим номером. Приоритетное обслуживание осуществляется с помощью логического выражения, основанного на операциях логического «НЕ» и «ИЛИ» [3].

Для удобства дальнейшего анализа номер выбранного канала F_{BK}^N переводится в последовательный F_H^N , для каждого канала в отдельности. Поскольку логическое выражение для выбора номера канала предполагает, что только в одном канале будет сформировано значение номера канала не равное нулю, итоговый номер канала F_Σ можно вычислить с помощью суммы найденных.

Так как важно подать к выходу САК величину, которая вышла или скоро выйдет за пределы допустимого отклонения ε_d , то производится сравнение анализируемого параметра с ε_d . Если взятый по модулю отсчёт разностного сигнала больше или равен допустимого отклонения, то к выходу системы поступает разностный сигнал от соответствующего канала, в противном случае начинается новый цикл опроса источников измерительных сообщений.

III. МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Одними из важных метрологических характеристик многоканальных АСАК являются погрешность, возникающая от многоканальности [4], достоверность контроля и коэффициент сжатия [5].

Расчёт характеристик АСАК с последовательно-параллельным анализом проводился на основе имитационной модели [6], выполненной в среде программирования Simulink и предназначенной для работы в режиме реального времени (External mode).

Данные для расчёта характеристик имитируют работу системы в стандартном режиме, когда в заранее не известный момент времени возникает предаварийная ситуация – требования к опросу появляются во всех каналах одновременно, через некоторый, минимально возможный промежуток времени методами управления и(или) регулирования предаварийная ситуация устраняется и возникает вновь через некоторый промежуток времени.

Эксперименты проводились при подаче к входам модели САК псевдослучайных величин с равномерным ($F_C^N \in [-1;1]$), нормальным ($F_C^N \in [-1;1]$) и экспоненциальным ($F_C^N \in [0;1]$) законами распределения.

Номинальное значение для удобства проведения эксперимента было принято нулевым, $A=0$. Быстродействие модели САК при использовании решателя на основе ode5 не превышает 0.0001 с.

А. Достоверность контроля

Достоверность контроля многоканальной АСАК — это вероятность того, что система отправит к своему выходу сигнал или параметр сигнала требования к опросу которого сформировались в текущий момент времени.

Тогда для расчёта достоверности контроля АСАК D_K , алгоритм функционирования которой представлен на рис. 1, можно использовать формулу:

$$D_K = \frac{\sum_i P_{\text{в}}^i (F_M^{F_{\text{в}}} \geq \varepsilon_D)}{\sum_{N,i} P_P^i (F_M^N \geq \varepsilon_D)}, \quad (1)$$

где $P_{\text{в}}^i$ — вероятность срабатывания условия $F_M^{F_{\text{в}}} \geq \varepsilon_D$ при каждой итерации работы САК, получаемая на основе экспериментальных данных; P_P^i — вероятность срабатывания условия $F_M^N \geq \varepsilon_D$, получаемая на основе расчёта или априорных сведений о входных величинах, где сравнение производится для каждого канала в отдельности, при каждой итерации работы САК.

Кривые, характеризующие достоверность контроля представленной АСАК в зависимости от допустимого отклонения показаны на рис. 2.

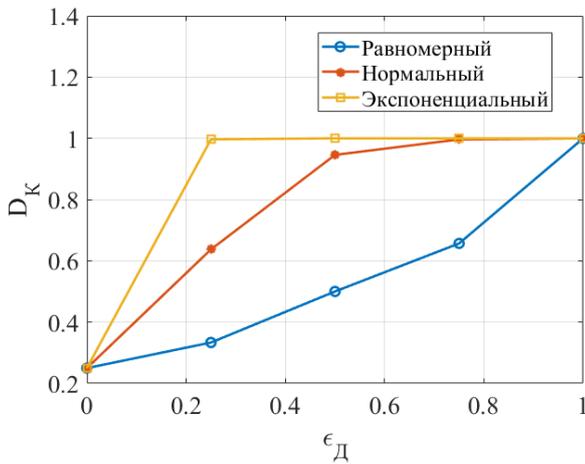


Рис. 2. График зависимости достоверности контроля от допустимого отклонения

Вариативность значений достоверности контроля (1) наблюдаемая на рис. 2, объясняется особенностями соответствующих законов распределения, а именно близостью первого и второго начальных моментов входных величин. Чем ближе начальные моменты входных величин, тем вероятней достижение максимальной достоверности контроля. Наименьшая достоверность контроля возможна при аварийном режиме работы объекта, в таком случае, без применения методов для повышения достоверности контроля [7], $D_K = 1/N$, где N — число каналов САК.

В. Коэффициент сжатия

В качестве оценки, характеризующей уменьшение количества избыточной информации с помощью представленного алгоритма, можно принять коэффициент сжатия по отсчётам $k_{\text{сж}}$:

$$k_{\text{сж}} = \frac{n_{\text{вх}}}{n_{\text{вых}}}, \quad (2)$$

где $n_{\text{вх}}$ — суммарное количество отсчётов, поступивших к входу САК, $n_{\text{вых}}$ — суммарное количество не нулевых отсчётов, поступивших к выходу САК.

Значения коэффициента сжатия в зависимости от закона распределения и допустимого отклонения, рассчитанного по экспериментальным данным представлены в табл. 1:

ТАБЛИЦА I ЗНАЧЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА СЖАТИЯ

Закон распределения	Допустимое отклонение ε_D			
	0	0.25	0.5	0.75
Равномерный	4	4	4	6.1
Нормальный	4	5.3	29	604
Экспоненциальный	4	791	9230	42857

Вариативность значений $k_{\text{сж}}$ объясняется теми же особенностями законов распределения что и в случае с достоверностью контроля (рис. 2).

Стоит отметить, что при выборе квазиоптимальной [8] структуры САК которая предполагает приближение наиболее значимых характеристик системы к области Парето, коэффициент сжатия (2) и достоверность контроля (1) не будут ортогональны, что важно для выполнения основных функций системы.

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанный адаптивный алгоритм системы автоматического контроля с последовательно-параллельным анализом позволяет достигать достоверности контроля, приближенной к достоверности контроля САК с непрерывным опросом при $\varepsilon_D > 0.4$, где $\varepsilon_D \in [A, F_C^N / \max(F_C^N)]$ при экспоненциальном и нормальном законах распределения входных величин.

Рассматривая разработанный алгоритм как алгоритм для построения инвариантных, в отношении входных величин, систем стоит задаться $\varepsilon_D > 0.8$, где $\varepsilon_D \in [A, F_C^N / \max(F_C^N)]$.

Получить высокие значения коэффициента сжатия по отсчётам (табл. 1) можно при входных величинах, распределённых по нормальному и экспоненциальному закону при $\varepsilon_D > 0.8$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Telemetry system with adaptive commutation / Antonyuk E.M., Varshavskiy I.E., Kolpakova I.S., Minina A.A., Antonyuk P.E. // В сборнике: Proceedings of the 2016 IEEE North West Russia Section Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering Conference, EIConRusNW 2016. 2016. С. 389-391.
- [2] Algorithmic Support for an Adaptive Automatic Monitoring System / E.M. Antonyuk, I.E. Varshavskiy, N.V. Orlova, P.E. Antonyuk // В сборнике: Proceedings of the 2020 IEEE North West Russia Section Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering Conference, EIConRusNW 2020. 2020. С. 91-95.
- [3] Антонюк Е.М., Варшавский И. Е. Адаптивный коммутатор с параллельным анализом погрешности аппроксимации // Известия СПбГЭТУ ЛЭТИ. 2015. № 8. С. 76-79.
- [4] On minimization of total errors in measurement systems with adaptive commutation / Antonyuk E.M., Varshavskiy I.E., Minina A.A., Antonyuk P.E. // В сборнике: Proceedings of the 2018 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, EIConRus 2018. 2018. С. 167-169.
- [5] Адаптивные телеизмерительные системы / Б.Я. Авдеев, Е.М. Антонюк, С.Н. Долинов, Л.Г. Журавин, Е.И. Семенов, А.В. Фремке; под ред. А.В.Фремке. Л.: Энергоатомиздат, 1981. 248 с.
- [6] Адаптивная система автоматического контроля с последовательно-параллельным анализом информации Антонюк Е.М., Антонюк П.Е., Варшавский И.Е. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2019661339, 27.08.2019. Заявка № 2019660215 от 13.08.2019.
- [7] Multichannel systems of automatic control with adaptive polling channels / Antonyuk E. M., Varshavsky I. E., Kolpakova I. S., Antonyuk P. E. // В сборнике: Proceedings of the 19th International Conference on Soft Computing and Measurements, SCM 2016. 2016. С. 414-415.
- [8] Антонюк Е.М. О выборе структуры адаптивной системы автоматического контроля // Известия СПбГЭТУ ЛЭТИ. 1995. № 479. С. 15.