

Многоканальное адаптивное устройство регистрации

Е. М. Антонюк¹, П. Е. Антонюк², Д. С. Гвоздев³

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

¹peterant@hotmail.com, ²peterant7@gmail.com, ³gvozdev_8@mail.ru

Аннотация. Непрерывно возрастающие потоки измерительной информации при научных исследованиях, контроле технологических процессов требует усовершенствования методов и средств регистрации. Рассматривается адаптивное устройство позволяющее регистрировать только неизбыточную информацию, что сокращает объем зарегистрированной информации. Для повышения эффективности работы адаптивной системы предлагается введения обратной связи по погрешности аппроксимации, позволяющей снизить возможную максимальную погрешность аппроксимации в несколько раз.

Ключевые слова: информационно-измерительная система; адаптация; преобразователь погрешности аппроксимации; экстраполяция; допустимая погрешность

I. ВВЕДЕНИЕ

Измерения – это получение информации об объекте, путем нахождения значений физической величины опытным путем с помощью специализированных устройств, именуемых средствами измерения. На практике для решения задачи измерения множества величин одновременно применяются комплексы измерительных устройств, которые получили название измерительные системы (ИС) – совокупность определенным образом соединенных между собой средств измерений и других технических устройств (компонентов измерительной системы), образующих измерительные каналы, реализующие процесс измерений и обеспечивающие автоматическое (автоматизированное) получение результатов измерений (выражаемых с помощью чисел или соответствующих им кодов) изменяющихся во времени и распределенных в пространстве физических величин, характеризующих определенные свойства (состояние) объекта измерений [1].

Как и любая система, измерительная имеет свои уникальные функциональные и технические возможности в зависимости от объектов измерения, для которых она создана, и структуры, из которой она создана. На сегодняшний день, развитие измерительных систем носит бурный характер, что выражается в разнообразии структур ИС, которые выполняют широкий спектр задач. По этой причине классификация таких систем на данный момент продолжается, но уже сейчас можно выделить основные категории.

В зависимости от функционального назначения измерительные системы подразделяют на следующие виды:

- измерительные системы измерения и хранения информации (информационно-измерительные);
- контрольно-измерительные (системы автоматического контроля);

- системы технической диагностики;
- системы распознавания образов;
- телеизмерительные системы.

По количеству измерительных каналов ИС делятся на:

- одноканальные;
- многоканальные.

По алгоритмическому обеспечению:

- с жестко заданным алгоритмом;
- с программируемым алгоритмом;
- адаптивные.

Современная информационно-измерительная система позволяет отслеживать сотни или даже тысячи параметров одновременно. Необходимость в этом возникает по причине усложнения технологических процессов, которые производятся на нынешних промышленных и научных объектах. Вполне очевидно, что технические возможности используемых при этом систем, позволяющих осуществлять сбор, обработку, хранение и передачу такого большого объема информации, ограничен современными технологиями производства электронных устройств. Использование большого числа источников измерительной информации требует достаточной вычислительной мощности, которую зачастую невозможно обеспечить.

Особый интерес представляет классификация систем по способу организации алгоритма функционирования системы. Измерительные системы с жестко заданным алгоритмом работы появились одними из первых и в современных условиях заняли узкоспециализированную нишу, предполагающую измерения объектов, функционирующих в постоянном режиме.

Программируемые ИС стали следующим поколением систем, в которых алгоритм работы изменяется согласно программе, составляемой с опорой на условия функционирования объекта измерения.

Адаптивные измерительные системы наиболее бурно развивающаяся область, которая позволяет изменять алгоритм и даже структуру системы относительно изменяющихся значений измеряемых величин и условий работы.

В случае адаптивных систем применимы следующие критерии классификации:

По функциональному признаку:

- системы со сжатием данных (исключение избыточной измерительной информации);

- системы с самообучением;
- системы с перестраиваемой структурой.

По принципу действия:

- системы с адаптивной коммутацией;
- системы с адаптивной дискретизацией.

Использование принципа адаптивной дискретизации оказываются плодотворными при создании ряда информационно-измерительных систем. Так, предварительная адаптивная дискретизация для каждого из каналов системы, повышает качество передачи информации за счет использования асинхронно-циклического анализа входных сигналов.

По сути, в основе такого способа организации систем лежит неравенство интервалов дискретизации (интервалов опроса каналов).

Принцип действия систем с адаптивной коммутацией заключается в выборе единой для всех измерительных каналов тактовой частоты опроса и на основе нескольких методов анализа входных воздействий, например, наибольшей погрешности аппроксимации в соответствии с принятым критерием достоверности, выбирается канал с приоритетным правом регистрации и отправки данных в канал связи.

Важно отметить, что при таком методе построения системы, каждому каналу присвоен адрес, который отправляется вместе с регистрируемым сигналом в виде кода адреса в начале телеметрического кадра.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Использование одних и тех же средств обработки информации присуще системам с дискретным последовательным контролем параметров. Последовательный опрос в таких системах реализуется с помощью опроса каналов с постоянной частотой. Следовательно, отклонение от нормы контролируемых параметров фиксируется в дискретные моменты времени. Это является несомненным плюсом, так упрощает схему построения системы с технической точки зрения. Но при этом дискретный характер проведения операций снижает достоверность результатов, и для достижения заданной достоверности частоту дискретизации приходится выбирать с учетом экстремальных динамических свойств контролируемых параметров [2]. Из этого вытекает еще один недостаток таких систем – это избыточность информации, которая не позволяет предотвратить случаи, когда некоторые из параметров выйдут за пределы критических значений по причине ожидания своей очереди обслуживания, что приведет к предаварийному или аварийному режиму работы объекта из-за недостатка априорных знаний о динамических свойствах объекта или невозможности построения системы в соответствии с экстремальными динамическими свойствами объекта [2].

Такой непрерывный рост объемов измерительной информации проводит к необходимости усовершенствования методов и средств регистрации. Одной из возможностей уменьшения объема зарегистрированной информации является применение адаптивных методов, при которых отбор и соответственно регистрация осуществляется только для наиболее ценной информации, а избыточные данные,

которые в дальнейшем могут быть восстановлены без потери точности, не обрабатываются и не регистрируются.

В многоканальных информационно-измерительных системах с временным разделением каналов для осуществления адаптивных алгоритмов вместо циклических коммутаторов применяются адаптивные коммутаторы [3].

В адаптивных коммутаторах на каждом цикле опроса выбирается канал, входной сигнал которого имеет наибольшую погрешность аппроксимации, достигшую допустимое значение на данном цикле [4]. Таким образом в информационно-измерительных системах (ИИС) с адаптивными коммутаторами возникает необходимость в наличии в каждом канале устройства, вычисляющего погрешность аппроксимации, а также блока выбора канала, имеющего наибольшую погрешность аппроксимации в данный момент. Устройством, непрерывно вычисляющим погрешность аппроксимации могут служить преобразователи погрешности аппроксимации (ППА), выходной сигнал которых оказывается пропорциональным погрешности аппроксимации в соответствии с выбранным алгоритмом [3].

Блок выбора канала анализирует сигналы на выходе ППА многоканальной системы и выдает логический сигнал на подключение выходного сигнала датчика системы на выход, например, на регистратор. Как показано в [4], анализ выходных сигналов ППА может быть параллельным (т.е. одновременным в момент считывания информации), последовательный методом «перебора» и последовательно-параллельным.

Каждый из данных видов анализа принципиально отличается от других в вопросе организации опроса измерительных каналов и вычисления источника сигнала, который должен подвергнуться регистрации в первую очередь. Для каждого из них можно выделить ряд преимуществ и недостатков. Реализация структуры адаптивного коммутатор с последовательным анализом отклонений (метод «перебора») с технической точки зрения проще, тем самым экономически целесообразнее. Но время анализа погрешности в этом случае оказывается пропорционально числу каналов ИСС, зависящим также от времени запоминания и хранения информации [5], т.е. от характеристик встраиваемой буферной памяти.

Параллельный же анализ позволяет увеличить быстродействие системы, за счет исключения времени на «перебор» и сравнение данных с каналов, но такого рода системы имеют технически более сложную компоновку.

При последовательно-параллельном анализе погрешностей аппроксимации максимальное напряжение, соответствующее наибольшей погрешности аппроксимации, определяется параллельным методом, т.е. одновременно от всех ППА без запоминания, а место максимального напряжения (адрес) определяется последовательным опросом каналов. Достоинством этого способа анализа погрешностей является относительная простота (по сравнению с параллельным выбором канала) и отсутствие «памяти» (по сравнению с последовательным выбором канала). Отсутствие «памяти» позволяет значительно повышать

быстродействие выбора канала, определяемое в этом случае лишь техническими возможностями элементной базы [5].

III. СТРУКТУРНАЯ СХЕМА АДАПТИВНОГО УСТРОЙСТВА РЕГИСТРАЦИИ

Структурная схема многоканального адаптивного устройства регистрации представлена на рис. 1.

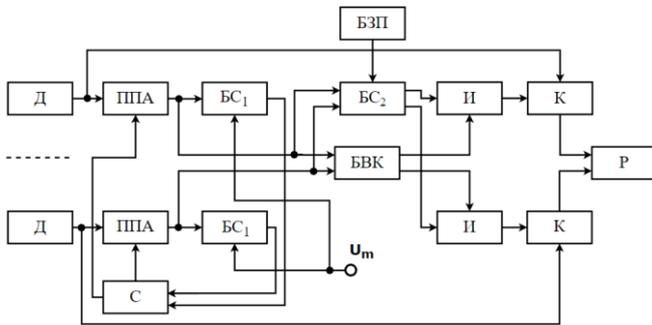


Рис. 1. Структурная схема многоканального адаптивного устройства регистрации

Обозначение на рис. 1: Д – датчик; ППА – преобразователь погрешности аппроксимации; БС₁ – блок сравнения; БС₂ – набор блоков сравнения, аналогичных БС₁; С – сумматор; И – логический элемент «И»; К – ключ; Р – регистратор; U_m – источник эталонного напряжения; БЗП – блок задания погрешности; БВК – блок выбора канала.

Устройство работает следующим образом. Параметры объекта преобразуются датчиками Д в унифицированный сигнал, например, напряжение постоянного тока, которое поступает на вход преобразователя погрешности аппроксимации ППА. ППА вычисляет текущее значение погрешности аппроксимации по выбранному алгоритму. Напряжения, пропорциональные погрешности аппроксимации в каждом канале, с выходов ППА поступают на входы блока выбора канала БВК, где осуществляется определение канала одним из рассмотренных выше методов (последовательный, параллельный, последовательно-параллельный) с наибольшей погрешностью аппроксимации в данный момент. Логический сигнал «1» появляется на выходе БВК, соответствующим выбранному каналу. Этот сигнал поступает на вход соответствующей схемы «И», на второй вход которой подается единичный сигнал с выхода блока сравнения БС₂ в том случае, если погрешность аппроксимации выбранного канала превышает заданное значение, поступающее от блока задания погрешности БЗП. Таким образом, тот или иной ключ К будет включен в том случае, если погрешность аппроксимации выбранного канала окажется наибольшей и превышающей заданную. Через ключ К сигнал выбранного датчика Д поступает на регистратор Р.

Однако при большой активности сигналов в нескольких каналах выходное напряжение в нескольких преобразователях погрешности аппроксимации ППА достигает максимального значения напряжения насыщения и блок выбора канала БВК начинает опрашивать эти каналы по очереди, что может привести к появлению недопустимо больших погрешностей в некоторых каналах. Для исключения такого рода явления

в устройстве используется обратная связь по погрешности аппроксимации, которая осуществляется следующим образом. Напряжения с ППА поступают на блок сравнения БС₁, на вторые входы которых подается максимальное напряжение U_m от источника эталонного напряжения, которое может появиться на выходе ППА (например, напряжения питания). Блоки сравнения БС₁ тех каналов, напряжение на выходах ППА которых достигло максимального значения, срабатывают так, что на их выходах появляется единичный сигнал в виде определенного напряжения. БС₁ должен обладать определенной буферной памятью (например, в виде триггеров на выходах БС₁). Напряжения с выходов сработавших БС₁ поступают на сумматор С, на выходе которого появляется напряжение, пропорциональное числу каналов, у которых напряжение на выходах преобразователя погрешности ППА достигло максимального значения. Это напряжение поступает на управляющие входы ППА так, что уменьшается наклон переходной характеристики «вход-выход» и выходное напряжение ППА выводится на линейный участок. Устройство переходит в адаптивный режим работы и начинается процесс выбора канал с действительно наибольшей погрешностью аппроксимации. После того, как определенный канал выбран, параметр его регистрируется регистратором Р, а буферная память блока сравнения БС₁ сбрасывается. Параметры обратной связи выбираются так, чтобы она начинала действовать в случае, если максимальное напряжение появится в двух и более ППА.

IV. ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ПОГРЕШНОСТИ АППРОКСИМАЦИИ

Одним из наиболее существенных элементов рассматриваемого устройства, определяющего принцип действия, прежде всего адаптивность, являются преобразователи погрешности аппроксимации ППА. Одним из перспективных вариантов построения такого рода преобразователей является устройство для адаптивной дискретизации в многоканальных системах. Структурная схема устройства представлена на рис. 2, в которой осуществляется адаптивная линейная экстраполяция входного сигнала с повышенной помехозащищенностью [6].

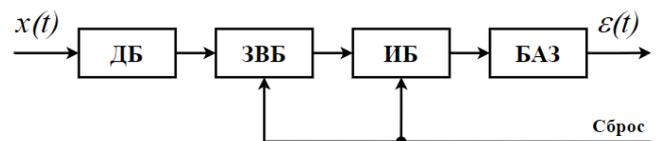


Рис. 2. Структурная схема преобразователя погрешности аппроксимации

Обозначение на рис. 2: ДБ – дифференцирующий блок; ЗВБ – запоминающе-вычитающий блок; ИБ – интегрирующий блок; БАЗ – блок абсолютных значений; $x(t)$ – входной сигнал; $\varepsilon(t)$ – текущая погрешность аппроксимации.

Схема работает следующим образом. Входной сигнал $x(t)$ (напряжение) поступает на дифференцирующий блок ДБ, на выходе которого появляется напряжение, пропорциональное первой производной от входного сигнала. Это напряжение подается на запоминающе-вычитающий блок ЗВБ, где происходит запоминание первой производной входного сигнала в начале интервала дискретизации (в точке отсчета) и вычисление

разности между зафиксированным значением первой производной сигнала и ее текущим значением. Эта разность поступает на интегрирующий блок ИБ, где происходит интегрирование разности в соответствии с выражением (1)

$$\varepsilon(t) = k \int_0^{\Delta t} \Delta x'(t) dt, \quad (1)$$

где $\varepsilon(t)$ – текущая погрешность аппроксимации, k – коэффициент пропорциональности, который учитывается при построении схем; $\Delta x'(t)$ – разность первых производных сигнала в моменты времени начала и окончания интервала дискретизации Δt . Так как погрешность аппроксимации может быть как положительной, так и отрицательной, то и сигнал на выходе ИБ может иметь как положительный, так и отрицательный знак. В связи с этим выходной сигнал ИБ подается на специальный блок абсолютных значений БАЗ, на выходе которого появляется сигнал, пропорциональный погрешности аппроксимации одного знака.

В качестве ДБ и ИБ могут быть использованы дифференцирующие и интегрирующие операционные усилители. Запоминающе-вычитающий блок ЗВБ в простейшем случае может представлять собой конденсатор (запоминающее устройство) с логическим ключом, позволяющим конденсатору разряжаться и заряжаться, тем самым осуществляя процесс записи и стирания информации. Блок модуля также может быть построен на основе операционного усилителя [7].

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение отметим, что введение обратной связи по погрешности аппроксимации в адаптивное устройство регистрации повышает точность регистрации параметров многоканального объекта. Выигрыш в точности зависит от числа каналов устройства, от вида аппроксимации, от закона распределения входных сигналов и его производных и может быть определен при использовании формул теории массового обслуживания.

Так, при числе каналов равном 10, линейной экстраполяции, нормальной закона распределения сигналов, при изменении наклона передаточной характеристики в два раза, возможная максимальная погрешность аппроксимации уменьшается более чем в три раза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] МИ 2438-97 ГСИ. Системы измерительные. Метрологическое обеспечение. Основные положения. М.: ВНИИМС, 1997. 15 с.
- [2] Антонюк Е.М., Варшавский И.Е., Кривохвост О.А., П.Е. Антонюк Асинхронно-циклические системы автоматического контроля // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2017. с. 66-70.
- [3] Авдеев Б.Я., Антонюк Е.М., Долинов С.Н., Журавин Л.Г., Семенов Е.И., Фремке А.В. Адаптивные телезмерительные системы / под ред. А.В. Фремке Л.: Энергоатомиздат, 1981. 248 с.
- [4] Antonyuk E.M., Antonyuk P.E., Gvozdev D.S. Control Device for Low-Active Parameters in Adaptive Systems with Time Devision of Channels. // Proceedings of the 2022 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (ElConRus), 2022, pp. 46-50.
- [5] Антонюк Е.М., Антонюк П.Е., Брусаков И.Ю., Колпакова И.С. Многоканальные информационно-измерительные системы со сжатием данных // Приборы. 2014. №11. с. 22-26.
- [6] Antonyuk E.M., Antonyuk P.E., Varshavskiy I.E., Orlova N.V. Device for Adaptive Sampling of Signals in Multichannel Information-Measurement System. // Proceedings of the 2021 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (ElConRus), 2021, pp. 86-88
- [7] Гутников В.С. Интегральная электроника в измерительных устройствах. Л.: Энергоатомиздат, 1988. 304 с.