

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПОВЕРКИ ДАТЧИКОВ, ФУНКЦИОНИРУЮЩИХ В ИНФОРМАЦИОННЫХ И УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМАХ

К.Я. Улитенко (ОАО "Союзцветметавтоматика")

Рассматриваются вопросы организации автоматической поверки датчиков, функционирующих в составе информационно-управляющих систем и АСУТП, основанные на специальной математической обработке текущих результатов измерений и поверочной информации, формируемой в доступных базах данных. Дается общая оценка некоторых вариантов математической обработки, основанных на классических методах прогнозирования временных рядов и современных нейросетевых технологиях.

Современные информационные и управляющие информационные системы включают до десятков тысяч датчиков, адекватность и точность показаний которых в существенной степени определяет эффективность функционирования таких систем. Регламент применения большинства датчиков включает периодическую поверку их как средств измерений, целью которой является приведение точности измерений к требованиям технических условий.

Значительная часть датчиков требует в ходе поверки демонтажа и специальной процедуры тарировки и градуировки на стендах, что приводит к существенным затратам и, как следствие, экономическим потерям. Поэтому разработка методов автоматической поверки датчиков в информационно-измерительных и управляющих системах представляется весьма актуальной.

Существует целый класс измерительной аппаратуры, поверка которой может быть произведена непосредственно в ходе ее эксплуатации. К таким приборам относятся приборы контроля свойств и вещественного состава технологических продуктов, приборы контроля положения материалов и исполнительных механизмов и другие. Их объединяет то, что текущие показания таких приборов могут быть проверены непосредственным измерением контролируемой величины другим независимым методом непосредственно на объекте.

Например, при измерении уровня продуктов в емкости может оказаться возможным непосредственное его измерение, проводимое параллельно контролю по прибору. При измерении характеристик вещества, например, плотности, вязкости химического состава и других проверка адекватности показаний датчиков осуществляется эпизодическим пробоотбором с последующим лабораторным анализом.

Сложнее обстоит дело с приборами контроля массового расхода. Здесь процедура независимого определения прошедшей массы или объема материала может оказаться достаточно сложной и затруднительной в производственных условиях. Однако и в этом случае часто имеется информация балансового характера, позволяющая оценить точность показаний приборов и провести их корректировку, например, по данным интегрального учета технологических потоков.

В любом случае процедура поверки требует определенного набора согласованных действий по независимому измерению требуемой величины, снятию показаний приборов, последующей обработке этой

информации и подстройке параметров датчиков по определенной методике. Данная процедура может занять достаточно много времени, поскольку при поверке часто требуется достаточно существенное изменение измеряемой величины, а иногда и всего измеряемого диапазона, что может потребовать специального введения технологических возмущений.

Суть предлагаемой методики заключается в автоматическом использовании периодически появляющейся поверочной информации для корректировки показаний датчиков и приборов в условиях функционирования измерительных и управляющих систем. Методика предполагает наличие БД поверочных измерений, доступных со стороны рассматриваемой информационно-управляющей системы. В современных системах такое требование вполне реализуемо.

С одной стороны, на предприятиях появляются достаточно развитые системы метрологического учета с широкими БД по средствам измерений [1], с другой — эти базы являются вполне доступными по заводской сети Ethernet, подключение к которой со стороны компьютера информационно-управляющей системы не является проблематичным при использовании современных технологий построения распределенных БД. Принимая во внимание, что практически в любой информационно-управляющей системе ведется архивирование показаний датчиков, использование процедуры соотнесения измерительной информации и поверочной в принципе позволяет производить автоматическую корректировку результатов измерений с целью повышения их адекватности и точности.

Для реализации предложенной методики требуется решить несколько вопросов.

Во-первых, поверочные действия, связанные с независимыми измерениями должны производиться достаточно регулярно, по крайней мере, чаще, чем в измерительном тракте накапливаются ошибки, связанные с естественным уходом показаний и существенно влияющие на точность измерений. Частота таких действий определяется метрологической службой, исходя из характеристик датчиков и условий их применения. Немаловажным фактором является проведение поверочных измерений при разных технологических условиях, охватывающих значительный диапазон изменения измеряемой величины.

Во-вторых, должна быть решена проблема синхронизации поверочных и текущих измерений. В большинстве случаев достаточно точного указания

времени независимого поверочного измерения либо момента отбора проб для такого измерения.

В-третьих, точность поверочных измерений должна быть, по крайней мере, не ниже точности измерений поверяемого прибора, что обеспечивается соблюдением соответствующих методик поверочных измерений.

В-четвертых, текущие данные поверяемого средства измерений должны быть профильтрованы в некотором временном окне, соответствующем времени поверочного измерения для снижения влияния естественного шума, присущего процессу измерения.

И, наконец, пятой задачей является разработка математической процедуры подстройки показаний прибора с учетом текущей поверочной информации.

Принимая во внимание, что первые три вопроса без особых проблем решаются организационными мероприятиями, четвертый не представляет трудности в алгоритмическом плане практически в любой современной SCADA-системе, остановимся на последней задаче, связанной с выбором математической процедуры обработки информации.

Предположим, что в моменты времени $t, t-1, \dots, t-n$ имеются пары измеренных прибором $x_t, x_{t-1}, \dots, x_{t-n}$ и поверочных $X_t, X_{t-1}, \dots, X_{t-n}$ значений. В достаточно общем случае можно предположить, что в результате изменений характеристик прибора и измерительного тракта возникает погрешность, характеризующая аддитивной A (погрешность тарировки) и мультипликативной B (погрешность градуировки) составляющими. Если дополнительно учесть шумовую составляющую u , неизбежно возникающую в тракте приборных и поверочных измерений, связь между показаниями и поверочными измерениями в моменты времени $t, t-1, \dots, t-n$ можно выразить следующим образом:

$$\begin{aligned} X_t &= A_t + B_t x_t + u_t, \\ X_{t-1} &= A_{t-1} + B_{t-1} x_{t-1} + u_{t-1}, \\ &\dots \\ X_{t-n} &= A_{t-n} + B_{t-n} x_{t-n} + u_{t-n}. \end{aligned} \quad (1)$$

В (1) предполагается, что поверочные измерения имеют только случайную погрешность, а суммарные шумовые составляющие измерительного и поверочного трактов центрированы (имеют нулевое математическое ожидание), обладают одинаковой дисперсией, некоррелированы между собой и с измеряемой величиной. Такие предположения представляются естественными для реальных измерений.

Если предположить, что серия поверочных измерений $X_t, X_{t-1}, \dots, X_{t-n}$ производится за время $T = \{t-n, t\}$, в течение которого погрешности не успевают существенно измениться, то есть $A_t = A_{t-1} = \dots = A_{t-n} = A$, $B_t = B_{t-1} = \dots = B_{t-n} = B$, неизвестные погрешности A и B могут быть определены из (1) известными регрессионными методами, например, методом наименьших квадратов [2]. Данный метод фактически автоматизирует стандартную процедуру, прописанную в инструкциях по поверке многих промышленных

приборов контроля свойств материалов, в частности входящих в системы аналитического контроля технологических продуктов.

Недостаток предложенного способа заключается в том, что он не учитывает возможные изменения погрешностей в межповерочный период, что приводит к требованию увеличения частоты поверок, либо заставляет мириться с неопределенностью изменения погрешностей до очередной поверки.

Для устранения указанного недостатка метод модифицируется следующим образом. Составляется график разовых поверочных измерений, частота которых должна позволять оценивать динамику возможного изменения погрешностей и определяется конкретными условиями эксплуатации прибора. В соответствии с теорией прогнозирования временных рядов зависимость погрешностей A_t и B_t может быть представлена алгебраическими полиномами [2] относительно времени t :

$$A_t = \sum_{i=1}^{i=p} \alpha_i t^i; B_t = \sum_{i=1}^{i=q} \beta_i t^i. \quad (2)$$

Подставляя (2) в (1), получим оценку истинного значения измеряемой величины:

$$X_t = \sum_{i=0}^{i=p} \alpha_i t^i + \sum_{i=0}^{i=q} \beta_i t^i x_t. \quad (3)$$

Подставляя в левой части (3) значения поверочных измерений X_t для моментов времени $t, t-1, \dots, t-n$, а в правой — соответствующие этим моментам времени показания приборов x_t , получим систему уравнений, аналогичную (1), из которой известными методами регрессионного анализа найдем неизвестные коэффициенты α_i и β_i . Естественным условием определенности системы является $n > p+1+q+1$. При этом величина глубины регрессии, определяемая величиной $n - (p+1+q+1)$, должна быть достаточной для устранения влияния шумовой составляющей u_t .

Выбор величин p и q определяется предполагаемым характером трендов аддитивной и мультипликативной составляющих погрешностей. Для практических целей можно ограничиться полиномами второго порядка: $p = q = 2$.

Таким образом, после каждого поверочного измерения производится пересчет текущих значений коэффициентов α_i и β_i , и в очередной межповерочный период $T = \{t, t+1\}$ измеряемая величина x_t автоматически корректируется с учетом прогноза погрешности по формуле (3). Иными словами учитывается прогнозируемый на основе предыдущих измерений и поверок тренд погрешностей.

Отметим, что перспективной альтернативой традиционным методам прогнозирования нелинейных временных рядов является использование искусственных нейронных сетей. В наиболее распространенной схеме для прогнозирования дискретных временных рядов используются нейронные сети на основе многослойных перцептронов [3].

В рассматриваемом применении нейронная сеть может быть использована для прогнозирования погрешности прибора $\Delta x_t = X_t - x_t$ в момент времени t на основе измеренных x_{t-1}, \dots, x_{t-n} и поверочных X_{t-1}, \dots, X_{t-n} значений в моменты времени $t-1, \dots, t-n$. Нейронная сеть предварительно обучается на массиве предшествующих выборок временного ряда измерений и проверок методом параметрической оценки весов элементов нейронной сети известным методом обратного распространения ошибки. В качестве обучающих используются пары измеренных и поверочных значений с критерием минимума квадрата отклонения прогнозной ошибки от фактической в моменты проверки. Глубина выборки n и предшествующие обучающие выборки могут быть выбраны на основе известных критериев оценки качества обучающих выборок [4]. С накоплением новых массивов поверочной информации может производиться дообучение или переобучение нейронной сети.

Следует заметить, что для простого применения нейросетевые методы могут оказаться громоздкими в вычислительном плане и не иметь заметного преимущества в эффективности, по сравнению с классическим методом, описанным выше. Кроме этого, для учета временных трендов погрешностей, строго говоря, нейронная сеть дополнительно должна учитывать время поверочных измерений. Если добавить, что временные ряды поверочных измерений могут оказаться нерегулярными, то есть не иметь фиксированного времени между проверками, то задача оказывается далеко нетривиальной.

С другой стороны, использование нейронных сетей может иметь заметное преимущество при учете дополнительных факторов, влияющих на погрешности приборов. Например, на показания датчиков может влиять нелинейным и не всегда аналитически известным образом температура. Датчики вещественного состава могут иметь дополнительную взаимную погрешность в зависимости от концентрации анализируемых элементов состава и других свойств технологической среды.

Характер таких влияний часто заранее неизвестен, но может быть учтен искусственной нейронной сетью в ходе обучения. Для этого в процессе обучения и последующей работы сети используются дополнительные входы, на которые подаются показания датчиков, характеризующих дополнительные параметры влияния. Для программирования нейронной сети, оптимального выбора ее параметров и проверки работоспособности может использоваться известный пакет Natural Network в пакете Statistica.

Отметим, что дополнительным преимуществом описанного подхода является то, что проверка производится по всему тракту прохождения измерительной информации от датчика до контроллера. Это в определенной степени решает вопрос проверки каналов ввода информации контроллеров, поскольку в данном случае производится сквозная проверка всего измерительного тракта.

Вместе с тем применение метода может быть ограничено рядом факторов. Во-первых, процедура автоматической проверки не выглядит простой в математическом отношении, и ее реализация накладывает определенные требования на вычислительные ресурсы используемых технических средств.

Во-вторых, описанные процедуры весьма чувствительны к возможным ситуациям с потерей работоспособности или отказам датчиков. Если ситуация неработоспособности не распознана вовремя, алгоритм оценки погрешности может привести к ее существенному увеличению. Поэтому автоматическая проверка должна производиться на фоне алгоритмов оценки работоспособности датчиков [5], что дополнительно усложняет алгоритмы и ПО.

Наконец, в-третьих, предложенный способ, строго говоря, законодательно не регламентирован. Это может сдерживать его применение в случаях, когда использование датчиков требует строгой метрологической проверки, например, в процессах, регламентированных современными системами управления качеством ISO2000/9000.

В то же время, определенные преимущества описанного подхода позволяют надеяться, что указанные трудности не являются непреодолимыми и метод или его модификации могут найти применение в практике разработки информационно-управляющих систем и АСУТП.

Список литературы

1. *Волоцкий Д.М.* Автоматизация метрологии промышленного предприятия // Автоматизация в промышленности. 2004. №10.
2. *Андерсон Т.* Статистический анализ временных рядов. М.: Изд. Мир. 1976.
3. *Каллан Р.* Основные концепции нейронных сетей. М.: Издательский дом "Вильямс". 2001.
4. *Тарасенко Р.А., Крисилов В.А.* Предварительная оценка качества обучающей выборки для нейронных сетей в задачах прогнозирования временных рядов // Тр. Одес. политехн. универс. Одесса. 2001. Вып. 1.
5. *Улитенко К.Я.* Контроль и обеспечение надежности функционирования информационной среды в современных АСУТП // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2006. №1.

*Улитенко Константин Яковлевич — канд. техн. наук,
первый заместитель ген. директора ОАО "Союзцветметавтоматика".
Контактные телефоны: (495) 489-14-09, 489-10-85. E-mail: ulitenko@scma.ru*

Уважаемые читатели! Начинается подписка на журнал "Автоматизация в промышленности" на 2007 г.
Оформить подписку Вы можете:

В любом почтовом отделении

Индексы в каталоге "Роспечать" – 81874,

в Объединенном каталоге "Пресса России" – 39206

В редакции и

Сети Интернет по адресу: www.avtprom.ru