

Выводы. Предложенные модели позволяют измерять и классифицировать форму распределений путем создания, в частности, иерархических структур. Эти структуры идеально приспособлены для графического представления, и поэтому сделанные на их основе выводы, гораздо легче интерпретировать, чем выводы, представленные только в числовой форме. Учитывая тот факт, что рассмотренные деревья распределений сигналов являются полностью измеряемыми, наиболее перспективно использовать их для медицинской и технической диагностики и при решении задач, связанных с обработкой больших массивов неструктурированной информации, например, в метеорологии и сейсмографии. Лингвистическая модель агрегирует процедуры идентификации, измерения, распознавания образов и анализа данных так, что в распоряжении исследователей появляется новый набор универсальных инструментов для поиска, визуализации и оценки латентных закономерностей.

Материалы исследования получены в рамках выполнения государственного контракта № 16.516.11.6091 по теме: «Проведение поисковых научно-исследовательских работ в области разработки и создания оборудования для диагностики и эксплуатации энергетического оборудования».

Л и т е р а т у р а

1. Некрасов Б. В. Основы общей химии. М.: Высшая школа, 1973.
2. Губарев В. В. Вероятностные модели: Справ. пособие. Новосибирск. Изд-во НЭТИ, 1992.
3. Методы анализа данных / Пер. с фр., под ред. С. А. Айвазяна. — М.: Финансы и статистика, 1985.

4. Прикладная статистика: Классификация и снижение размерности / Под ред. С. А. Айвазяна. М.: Финансы и статистика, 1989.

5. Боровиков В. STATISTICA: Искусство анализа данных на компьютере для профессионалов. СПб: Изд-во Питер, 2001.

6. Загоруйко Н. Г. Прикладные методы анализа данных и знаний. Новосибирск: Изд-во Ин-та математики им. С. Л. Соболева СО РАН, 1999.

7. Кликушин Ю. Н. Технологии идентификационных шкал в задаче распознавания сигналов: Монография. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2006.

8. Кликушин Ю. Н., Кошеков К. Т. Методы и средства идентификационных измерений сигналов: Монография. Петропавловск (Казахстан): Изд-во СКГУ им. М. Козыбаева, 2007.

9. Байда Л. И. и др. Электрические измерения / Под ред. А. В. Фремке, Е. М. Душина. Л.: Энергия, 1980.

10. Горшенков А. А., Кликушин Ю. Н. Представление моделей сигналов в системе идентификационных параметров // Интернет-журнал радиоэлектроники. 2010. № 9 [электрон. ресурс]. <http://jre.cplire.ru> (дата обращения 05.01.2012).

11. Губарев В. В. Алгоритмы спектрального анализа случайных сигналов. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2005.

12. Кликушин Ю. Н. Идентификационные инструменты анализа и синтеза формы сигналов: Монография. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2010.

13. Баскаков С. И. Радиотехнические цепи и сигналы. М.: Высшая школа, 2000.

Дата принятия 13.09.2012 г.

53.088

Проективные свойства широкодиапазонных измерений

О. А. ЦЫБУЛЬСКИЙ

ЗАО «ПромСервис», Димитровград, Россия, e-mail: multimer@promservis.ru

Показана необходимость применения дробно-линейной функции при описании характеристики преобразования широкодиапазонных приборов.

Ключевые слова: широкодиапазонное преобразование, метрологические характеристики прибора.

The necessity of fractional-linear function application at description of the wide-range instruments conversion characteristics is shown.

Key words: wide-range conversion, instrument metrological characteristics.

Измерительная техника, изобразительное искусство, проективная геометрия имеют общие закономерности, определяемые тем, что в каждой из перечисленных дисциплин осуществляется проецирование или отображение. В измерительной технике измеряемая величина проецируется на измерительную шкалу. Впервые аналогия между проектным и измерительным преобразованием отмечена и

применена в [1]. В изобразительном искусстве и фотографии тоже происходит проецирование отображаемого объекта на плоскость картины или фотопленки. Проективная геометрия исследует закономерности проективных преобразований. Она была предложена Ж. Дезаргом для архитектурных и инженерных проектов в XVII веке, однако теория перспективы применялась художниками гораздо раньше.

Математическая модель теории перспективы разработана уже в настоящее время академиком Б. В. Раушенбахом [2]. В рамках этой модели сделан вывод о невозможности отображения реальности на плоскость без искажений. При определенных условиях эти искажения можно минимизировать. Например, параллельная проекция небольшого предмета на плоскость будет иметь минимальные искажения, если этот предмет расположен очень близко или очень далеко от плоскости проекции [2]. В измерительной технике это соответствует измерениям в малом динамическом диапазоне. В этом случае, как правило, нормируется предельная абсолютная погрешность и соответственно применяется параллельная проекция. В остальных случаях теории перспективы используется центральная проекция, обеспечивающая меньшие искажения при проецировании на плоскость. При больших динамических диапазонах должна применяться центральная проекция измеряемого параметра на шкалу измерительного прибора. Ее аналогом в измерительной технике является дробно-линейное преобразование.

Если широкодиапазонное измерительное преобразование строится на основе параллельной проекции вместо центральной, то согласно выводу математической модели теории перспективы должна появиться дополнительная погрешность преобразования. Попробуем убедиться в этом. При калибровке измерительных приборов входной является аналоговая величина, значение которой задано с необходимой точностью. Выходная величина прибора — цифровой код, отражающий численное значение измеряемой аналоговой величины. После градуировки прибора между входной и выходной величинами устанавливается линейное соотношение с точностью до нормируемой предельной погрешности. Для нормирования предельной погрешности измерительного прибора с узким диапазоном измерения достаточно задать неизменную по диапазону постоянную абсолютную погрешность

$$\Delta X = \delta_a X_H = \text{const}, \quad (1)$$

где δ_a — аддитивная составляющая погрешности; X_H — нижняя граница диапазона измерения.

Для приборов с более широким диапазоном измерения необходимо задавать полосу предельной абсолютной погрешности с двумя составляющими — аддитивной δ_a и мультипликативной δ_m :

$$\Delta X = \delta_a X_H + \delta_m X, \quad (2)$$

где X — измеряемая величина.

В [3] показано, что для адекватного представления предельной погрешности широкодиапазонных приборов без разбиения на поддиапазоны требуется задавать полосу предельной погрешности в виде трехчлена:

$$\Delta X = \delta_a X_H + \delta_m X + \delta_r X^2 / X_B, \quad (3)$$

где δ_r — гиперболическая (нелинейная) составляющая предельной погрешности; X_B — верхняя граница диапазона измерения.

Формулы (1) — (3) отражают реальное изменение полосы предельной погрешности при расширении диапазона измерения. Но если с ростом диапазона изменяется полоса

погрешности, то должно меняться и уравнение измерения. Согласно [4] с увеличением диапазона по мере перехода полосы предельной погрешности от одночленной (1) к двухчленной (2) форме представления уравнение измерения также изменяется.

Для одночлена (1) уравнение измерения будет линейным с аддитивной шкалой квантования

$$(-X_H + X) / (\delta_a X_H) = N - N_H, \quad (4)$$

где N , N_H — соответственно текущее значение выходного кода линейной шкалы и его значение на нижней границе диапазона измерения.

При двухчленной форме нормирования предельной погрешности (2) уравнение измерения остается линейным, но с экспоненциальной или мультипликативной шкалой квантования:

$$(\delta_a X_H + \delta_m X) / [(\delta_a + \delta_m) X_H] = K, \quad (5)$$

где $K = e^{\delta_m(N - N_H)}$ — выходной код экспоненциальной шкалы.

В (5) измеряемая величина X присутствует только в числителе, как и в (4), т. е. вид уравнения измерения не изменился. Изменилась только шкала квантования: вместо линейной она стала экспоненциальной. Поэтому если в приборе применяется линейное аналого-цифровое преобразование, необходимо обеспечить избыток его разрядности либо использовать поддиапазоны с различными масштабирующими коэффициентами. Следует отметить, что хотя применяемая в (5) шкала квантования имеет шаг, изменяющийся по экспоненциальному закону, форма уравнения измерения остается принципиально линейной.

При дальнейшем увеличении диапазона измерения, приводящем к необходимости применения трехчленной формулы для нормирования предельной погрешности, уравнение измерения трансформируется из линейного (5) в дробно-линейное, которое в широком динамическом диапазоне измерения $D = X_B / X_H \gg 1$ и $\delta_m^2 \geq 4\delta_r \delta_a X_H / X_B$ имеет вид

$$(\delta_a X_H + \delta_m X) (\delta_r X_H + \delta_m X_B) / [(\delta_m X_B + \delta_r X) (\delta_a + \delta_m) X_H] = K. \quad (6)$$

В (6) по сравнению с (5) шкала квантования осталась экспоненциальной, но измеряемая величина X появилась также и в знаменателе, из-за чего уравнение измерения стало дробно-линейным. Кроме того, уравнение (6) получено при условии, что полоса погрешности квантования прибора должна быть пропорциональна полосе предельной погрешности, соответствующей трехчлену (3). Если задать погрешность квантования не меньше суммы прочих погрешностей, то можно полагать, что ни один квант такого прибора не будет избыточным.

Таким образом, для построения широкодиапазонных приборов, предельная погрешность которых нормируется трехчленной формулой, необходимо применять дробно-линейное уравнение измерения. Следовательно, построение широкодиапазонного измерительного прибора в соответствии с (6) минимизирует число квантов шкалы, требуемых для достижения заданного диапазона измерения, при заданной трехчленной формулой полосы предельной погрешности. Иными словами, минимизирует разрядность

применяемого аналого-цифрового преобразователя, формируя шкалу квантования, которая в любой точке диапазона измерения имеет погрешность квантования, пропорциональную предельной погрешности.

Для рассматриваемого широкодиапазонного преобразования выражение (6) можно упростить:

$$(\delta_a X_H + \delta_m X) / \{1 + [(\delta_r X) / (\delta_m X_B)] (\delta_a + \delta_m) X_H\} = K. \quad (7)$$

Как видно, выражение (7) отличается от (5) с аддитивно-мультипликативной полосой погрешности (2) только составляющей $1 + (\delta_r X) / (\delta_m X_B)$ в знаменателе.

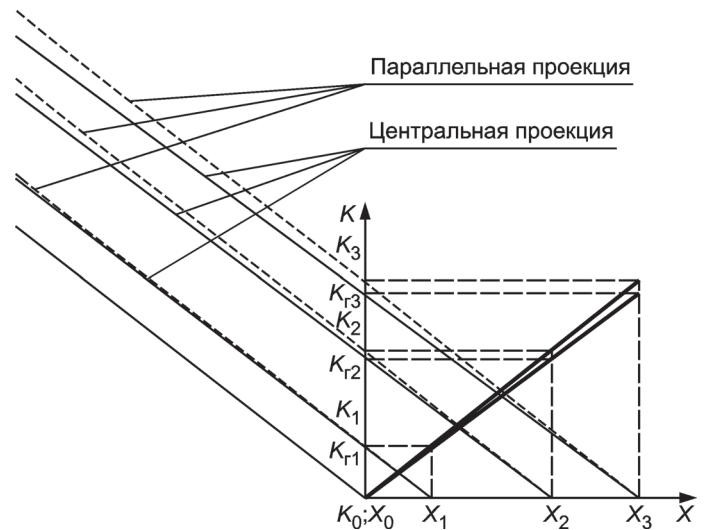
Следовательно, если с расширением диапазона измерения продолжать применять уравнение (5), то станет существенной погрешность измерения, определяемая гиперболической составляющей δ_r , которая в нем не учитывается. Эта погрешность связана с отличием представления градуировочной характеристики в линейном уравнении измерения от представления в дробно-линейной форме для одного и того же типа измерительного прибора. Разработчики приборов включают эту методическую погрешность в полосу погрешности прибора, увеличивая тем самым нормируемую предельную погрешность.

Из теории перспективы известно, что с увеличением размера объекта в глубину пространства закономерности евклидовой геометрии при изображении сменяются закономерностями проективной геометрии. В алгебраической записи это соответствует переходу от линейного уравнения к дробно-линейному. Это же происходит и с уравнением измерения при переходе от узкого к широкому диапазону измерения.

На рисунке приведены примеры формирования функции преобразования при параллельной и центральной проекциях. Преобразование, получаемое в результате центральной проекции, т. е. лучами, исходящими из удаленного центра, характеризуется равносторонней гиперболой. Поэтому третий член в (3) назван гиперболической составляющей погрешности. (Как известно, равносторонняя гипербола описывается дробно-линейной функцией.)

Метод построения приборов с дробно-линейной функцией преобразования на основе линейных аналого-цифровых преобразователей рассмотрен в [5].

Из изложенного можно сделать следующие выводы: если в широкодиапазонном приборе, предельная погрешность которого нормируется трехчленной формулой, применяется линейное уравнение измерения, то этот прибор имеет методическую погрешность преобразования, обусловленную отличием линейной модели измерения от необходимой дробно-линейной модели широкодиапазонного измерения. Какова бы ни была градуировочная характеристика широкодиапазонного прибора, с точками перегиба или нет, но если она на интервале диапазона измерения входит в предельную полосу погрешности, задаваемую трехчленным (3), то для исключения погрешности, определяемой гиперболической



Формирование функции преобразования при параллельной и центральной проекциях

составляющей, ее следует записать в виде дробно-линейной функции.

Построение широкодиапазонного измерительного прибора в соответствии с (6) позволяет минимизировать разрядность применяемого аналого-цифрового преобразователя.

Существенно сузить полосу предельной погрешности прибора можно благодаря более адекватному представлению предельной погрешности измерения и замене линейной формы уравнения измерения широкодиапазонного прибора на дробно-линейную.

Л и т е р а т у р а

1. **Мазин В. Д.** Способ повышения точности измерительных приборов и преобразователей // Измерительная техника. 1980. № 6. С. 14—15; **Mazin V. D.** Method for raising the precision of measuring instruments and transducers // Measurements Techniques. 1980. V. 23. N 6. P. 479—480.
2. **Раушенбах Б. В.** Системы перспективы в изобразительном искусстве. Общая теория перспективы. М.: Наука, 1986.
3. **Цыбульский О. А.** Погрешность широкодиапазонных измерений // Законодательная и прикладная метрология. 2010. № 4. С. 5—10.
4. **Цыбульский О. А.** Инварианты измерительного преобразования // Законодательная и прикладная метрология. 2011. № 1. С. 22—26.
5. **Цыбульский О. А.** Аналого-цифровое преобразование с гиперболической шкалой // Метрология. 1990. № 12. С. 9—19.

Дата принятия 15.06.2012 г.