УДК 681.325.3-004.388

УМЕНЬШЕНИЕ СЛУЧАЙНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ПОГРЕШНОСТИ ОТСЧЕТОВ АЦП МЕТОДОМ УМНОЖЕНИЯ ВЕРОЯТНОСТЕЙ

Багацкий В.А.

Институт кибернетики им. В.М. Глушкова НАН Украины, Киев, e-mail: bagatskijva@rambler.ru

Предложено выполнять фильтрацию случайной составляющей погрешности отсчетов АЦП методом умножения вероятностей, который реализован с помощью операций сравнения на равенство значений отсчетов, следующих подряд один за другим. Приведены результаты применения метода для уменьшения случайной составляющей погрешностей, полученных при преобразовании аналоговых сигналов двумя образцами аналого-цифровых преобразователей.

Ключевые слова: Случайные погрешности, отсчеты, аналого-цифровые преобразователи

REDUCTION A RANDOM ERROR COMPONENT ADC BY MULTIPLYING THE PROBABILITY

Bagatskiy V.A.

Glushkov Institute of Cybernetic of NAS of Ukraine, Kyiv, e-mail: bagatskijva@rambler.ru

Proposed the filtration the random part of the error of ADC by multiplying the probabilities, which is implemented by the operations of coincidence of counts, that are equal and follows one by one. The results of applying the method used to reduce the random component of the errors obtained by converting analog signals by using the two analog-digital converters are contained in this article.

Keywords: Random error, counts, analog-to-digital converters

Типичной задачей обработки сигналов является фильтрация, т.е. уменьшение случайной составляющей, наложенной на детерминированный сигнал. В основе разных методов фильтрации лежит один принцип – накопление сигнала. Накопление может производиться на различных этапах обработки.

Известны структуры преобразователей [2, 3], где обработка выполняется на уровне получения каждого разряда выходного кода АЦП, т.е. производится подсчет количества единичных и нулевых выходных сигналов компаратора при постоянном входном сигнале, и решение о значении разряда выходного кода принимается по большинству выходных сигналов компаратора. В современных интегральных схемах АЦП этот алгоритм не используется.

Широко применяются также процедуры временного и пространственного усреднения [4] на этапе получения отсчета. Общепринятые методы цифровой фильтрации [3] предполагают накопление группы отсчетов, а затем выполнения обработки на уровне группы отсчетов.

Обработка по усреднению и фильтрации ведется на программном уровне со всеми вытекающими из этого достоинствами и недостатками.

К достоинствам относятся универсальность, возможность развития методов обработки за счет совершенствования программ, а к недостаткам – большие аппаратурные затраты, низкое быстродействие, большие затраты на разработку программного обеспечения. Если группу отсчетов целесообразно обрабатывать программно, то усреднение на уровне получения одного отсчета еще возможно выполнять на аппаратном уровне.

Цель работы. Целью работы является теоретическое и экспериментальное исследования метода уменьшения случайной составляющей погрешности отсчетов АЦП с минимальным количеством операций, а именно метода умножения вероятностей.

Теоретическая модель фильтрации**.** Предположим, что есть ряд отсчетов, для которых существует симметричное одномодальное распределение вероятности их появления, причем вероятности появления каждого отсчета не зависят друг от друга.

Тогда вероятность появления подряд двух и более одинаковых отсчетов рассчитывается в соответствии с теоремой умножения вероятностей [1]. Появление подряд двух и более одинаковых значений отсчетов может быть определено с помощью операций сравнения на равенство программными или аппаратными средствами.

Предположим, что вероятность появления отсчетов такова, как это указано в табл. 1.

Таблица 1

Значения отсчетов и исходная вероятность их появления

Значение отсчета	x–2	x–1	x	x+1	x+2
Вероятность $p(x_i)$	0,05	0,15	0,6	0,15	0,05

В табл. 1 x – это значение отсчета, $x\pm1$ – значение отсчета, большее или меньшее x на один квант, $x\pm2$ – значение отсчета, большее или меньшее x на два кванта. Суммарная вероятность появления отсчетом с разными значениями равна 1.

Из соотношений $p(x)/p(x\pm1) = 2$; $p(x)/p(x\pm2) = 6$ следует, что значение x за определенный промежуток времени будет встречаться в два раза чаще, чем значения $x\pm1$, и в 6 раз чаще, чем значение x+2.

Вероятность появления подряд двух одинаковых значений отсчетов рассчитана в соответствии с теоремой умножения вероятностей [1] и приведена в табл. 2.

Таблица 2

Значения отсчетов и вероятность их появления после обработки

Значение отсчета	x-2	x-1	x	x+1	x+2
Вероятность $p(x_i, x_i)$	0,0025	0,0225	0,36	0,0225	0,0025

Из соотношений $p(x)/p(x\pm1) = 8$; $p(x)/p(x\pm2) = 72$ следует, что пара значений x за определенный промежуток времени будет встречаться в 8 раз чаще, чем пары значений $x\pm1$, и в 72 раза чаще, чем пары значений $x\pm2$.

Таким образом, случайная составляющая погрешности, при условии, что выходной отсчет изменяется только при равенстве значений двух подряд следующих отсчетов, а при неравенстве значение отсчета остается прежним, уменьшается в 4 раза. Расчет, выполненный для равенства трех последовательных значений отсчетов, показывает, что случайная составляющая может быть уменьшена в 12 раз.

По сравнению со стандартной процедурой усреднения отсчетов предложенный способ позволяет в несколько раз повысить быстродействие. Например, при усреднении 16 отсчетов быстродействие повышается в среднем в 5 раз.

Проверка метода на экспериментальных данных

Исходные требования к распределению случайных погрешностей, при которых метод умножения вероятностей хорошо работает, не всегда выполняются на практике.

В табл. 3 приведены экспериментальные данные, полученные при измерении двух постоянных входных напряжений (-5 В) и (+5 В) двумя АЦП типа АЦП-28. Это 12-разрядные АЦП с диапазоном преобразования –5,12 В ÷ +5,12 В и разрешающей способностью (величиной кванта) около 2,5 мВ.

Два постоянных напряжения измерялись двумя АЦП и поэтому получено четыре экспериментальных последовательности, каждая по 64 отсчета. Выходные цифровые отсчеты АЦП пересчитаны во входное напряжение.

Таблица 3

Экспериментальные данные измерений и обработки

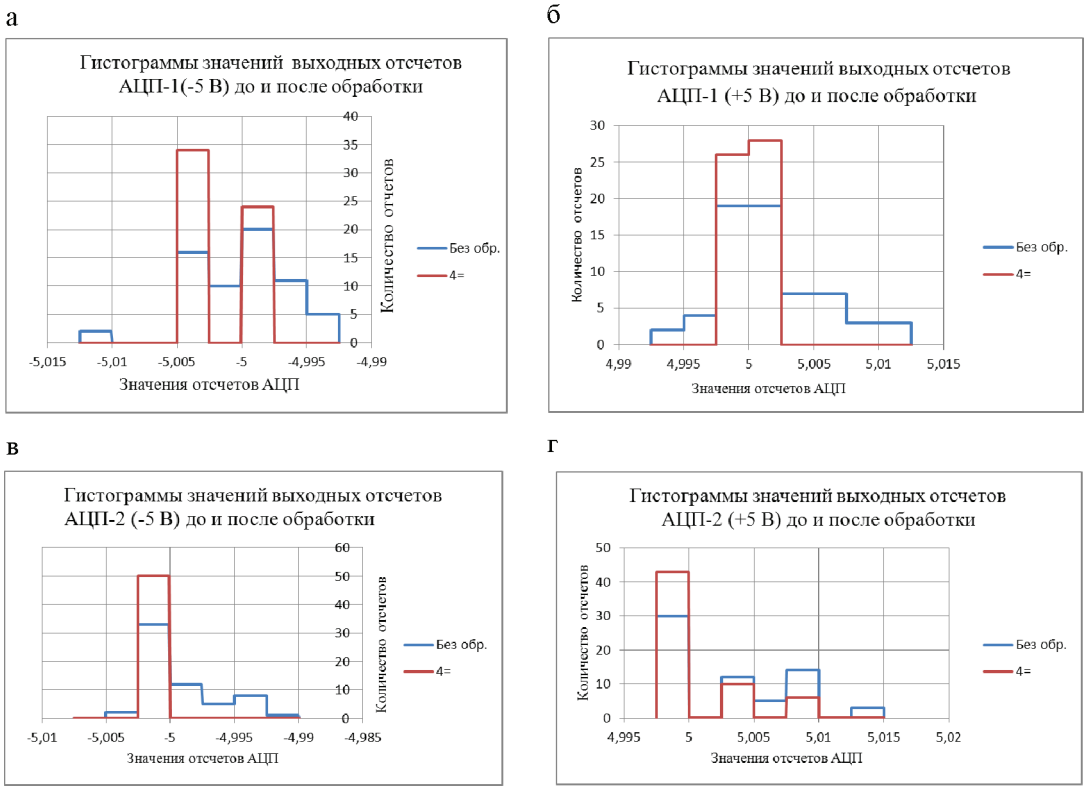
№ п/п	Выходные значения напряжения				АЦП–28–1 (–5 В)		
	АЦП–28–1		АЦП–28–2				
	(– 5 В)	(+ 5 В)	(– 5 В)	(+ 5 В)	2=	3=	4=
1	2	3	4	5	6	7	8
1	–4,998	5,003	–5,005	5,005			
2	–5	4,993	–4,995	5,005	0		
3	–5,01	5	–4,993	4,998	0	0	
4	–5,003	5	–4,995	4,998	0	0	0
5	–5,003	4,998	–5	4,998	–5,003	0	0
6	–5,003	5,003	–5	4,998	–5,003	–5,003	0
7	–5,003	5	–5	4,998	–5,003	–5,003	–5,003
8	–5,003	4,998	–4,995	4,998	–5,003	–5,003	–5,003
9	–5	4,998	–4,995	4,998	–5,003	–5,003	–5,003
10	–5	4,998	–5,003	5,005	–5	–5,003	–5,003

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8
11	–4,995	4,998	–5,003	5,008	–5	–5,003	–5,003
12	–4,998	4,998	–5,003	5,003	–5	–5,003	–5,003
13	–4,998	5	–4,99	5,003	–4,998	–5,003	–5,003
14	–5	5	–4,998	5,008	–4,998	–5,003	–5,003
15	–4,993	5,005	–5,003	5,013	–4,998	–5,003	–5,003
16	–4,993	5,01	–5,003	5,008	–4,993	–5,003	–5,003
17	–4,998	5,005	–5,003	4,998	–4,993	–5,003	–5,003
18	–4,998	5,01	–5,003	5,003	–4,998	–5,003	–5,003
19	–4,995	5,005	–5,003	5,008	–4,998	–5,003	–5,003
20	–4,998	5	–5,003	5,005	–4,998	–4,998	–5,003
21	–4,998	5	–5,003	4,998	–4,998	–4,998	–4,998
22	–5	5	–4,995	4,998	–4,998	–4,998	–4,998
23	–5	5	–5,003	4,998	–5	–4,998	–4,998
24	–5,003	4,998	–5	4,998	–5	–4,998	–4,998
25	–5,003	5	–5	4,998	–5,003	–4,998	–4,998
26	–5,003	4,998	–4,998	4,998	–5,003	–5,003	–4,998
27	–5,003	4,995	–5	5,008	–5,003	–5,003	–5,003
28	–5	4,995	–5,003	5,003	–5,003	–5,003	–5,003
29	–4,995	4,998	–5,003	5,003	–5,003	–5,003	–5,003
30	–4,998	4,998	–5,003	5,005	–5,003	–5,003	–5,003
31	–4,995	5	–5,003	4,998	–5,003	–5,003	–5,003
32	–4,993	5,005	–4,995	5,008	–5,003	–5,003	–5,003
33	–4,995	5,005	–5,003	4,998	–5,003	–5,003	–5,003
34	–4,995	4,998	–4,998	5,008	–4,995	–5,003	–5,003
35	–4,995	5	–5,003	4,998	–4,995	–4,995	–5,003
36	–4,998	5	–5,003	5,013	–4,995	–4,995	–5,003
37	–4,998	5,003	–5,003	5,008	–4,998	–4,995	–5,003
38	–4,998	5,005	–5,003	5,003	–4,998	–4,998	–5,003
39	–4,998	4,998	–5,003	5,003	–4,998	–4,998	–4,998
40	–4,998	5	–5,005	4,998	–4,998	–4,998	–4,998
41	–4,995	5	–4,998	4,998	–4,998	–4,998	–4,998
42	–5,003	5	–4,995	4,998	–4,998	–4,998	–4,998
43	–5,003	5	–5	4,998	–5,003	–4,998	–4,998
44	–5,01	4,998	–4,995	4,998	–5,003	–4,998	–4,998
45	–5,003	4,998	–5	4,998	–5,003	–5,003	–4,998
46	–5,003	4,998	–5	5,008	–5,003	–5,003	–5,003
47	–4,998	4,995	–5,003	5,008	–5,003	–5,003	–5,003
48	–4,998	5,003	–5,003	4,998	–4,998	–5,003	–5,003
49	–4,998	4,998	–5,003	5,008	–4,998	–4,998	–5,003
50	–4,993	4,998	–4,993	5,008	–4,998	–4,998	–5,003
51	–4,995	5,008	–5,003	5,003	–4,998	–4,998	–5,003
52	–4,995	4,998	–5,003	5,003	–4,995	–4,998	–5,003
53	–4,993	5,01	–4,993	5,003	–4,995	–4,998	–5,003
54	–4,998	5,008	–5,003	5,013	–4,995	–4,998	–4,998
55	–4,998	5,003	–5,003	5,008	–4,998	–4,998	–4,998
56	–5	5,005	–5,003	5,003	–4,998	–4,998	–4,998
57	–5	5,003	–5,003	5,008	–5	–4,998	–4,998
58	–4,998	5,008	–5,003	5,003	–5	–4,998	–4,998
59	–4,998	5,003	–5,003	4,998	–4,998	–4,998	–4,998
60	–4,995	4,995	–5,003	4,998	–4,998	–4,998	–4,998
61	–5	4,993	–5	4,998	–4,998	–4,998	–4,998
62	–5,003	5	–5	4,998	–4,998	–4,998	–4,998
63	–5,003	5	–4,998	4,998	–5,003	–4,998	–4,998
64	–5,003	4,998	–5	4,998	–5,003	–5,003	–4,998

Кроме этого, в табл. 3 приведены результаты обработки в среде Excel одной последовательности из 64 отсчетов для АЦП-28-1 (-5 В) при равенстве значений двух последовательных отсчетов (2=) , трех последовательных отсчетов (3=) и четырех последовательных отсчетов (4=).

Исходные гистограммы распределений четырех последовательностей отсчетов без применения процедуры фильтрации и гистограммы после обработки с четырьмя последовательно равными значениями отсчетов (4=) приведены на рис. 1 а, б, в, г.



Гистограммы значений выходных отсчетов до и после обработки

Практически все гистограммы несимметричны, среди них есть многомодальные.

Результаты обработки четырех последовательностей экспериментально полученных отсчетов приведены в табл. 4.

Таблица 4

Результаты обработки экспериментальных отсчетов

Номера АЦП и входные сигналы	Без обработки	2=	3=	4=
АЦП-28-1 (-5 В)				
Среднее значение	-4,999 В	-4,9995 В	-5,0002 В	-5,0009 В
Макс. разброс, кванты	8	5	4	3
АЦП-28-1 (+5 В)				
Среднее значение	5,0006 В	4,9992 В	4,999 В	4,999 В
Макс. разброс, кванты	8	5	2	2
АЦП-28-2 (-5 В)				
Среднее значение	-5,0004 В	-5,002 В	-5,0025 В	-5,003 В
Макс. разброс, кванты	7	4	2	1
АЦП-28-2 (+5 В)				
Среднее значение	5,0024 В	5,0013 В	5,000 В	4,9998 В
Макс. разброс, кванты	7	5	5	5

Выводы

1. Метод умножения вероятностей хорошо отсекает «крылья» распределений и увеличивает их максимум.

2. Метод не изменяет (в пределах одного кванта) среднего значения последовательности отсчетов.

3. Максимальный разброс значений отсчетов после обработки уменьшается от 1,4 раза до 7 раз и зависит от формы исходного распределения.

4. Если при обработке последовательное увеличении количества равных значений отсчетов не изменяет максимальный разброс, то это может означать, что в составе погрешности велика систематическая составляющая, например, на рис.1 а,г видна погрешность из-за пропуска кодов в АЦП.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гнеденко Б.В., Хинчин А.Я. Элементарное введение в теорию вероятностей. – М.: Наука, 1976. – 176 с.

2. Кондалев А.И., Фабричев В.А., Аналого-цифровой преобразователь: А.с. № 661783 СССР. 1979. Бюл. № 17.

3. Микроэлектронные цифроаналоговые и аналого-цифровые преобразователи информации / В.Б. Смолов, Е.П. Угрюмов, В.К. Шмидт и др. – Л.: Энергия, 1976. – 336 с.

4. Оппенгеймер А.В., Шафер Р.В. Цифровая обработка сигналов. – М.: Наука, 1976. – 416 с.

5. Орнатский П.П. Теоретические основы информационно-измерительной техники. – Киев: Вища школа, 1976. – 432 с.