

Повышение точности результатов неравноточных измерений на основе передачи данных остатками

Д.Н. Прасолов, А.П. Мороз

Технологический университет им. А.А. Леонова, г. Королев

Аннотация: Рассматривается обработка результатов неравноточных измерений, представленных двоичным кодом и остатками. Приведена методика повышения точности результатов телеизмерений при передаче данных серий из измерения остатками совместно с двоичным кодом. Остатки дублируются в полусловах в слове данных. Демонстрируются результаты применения методики при одиночных искажениях бит данных для серии из трех измерений: измерение остатками, затем измерение в двоичном коде и еще одно измерение остатками. При обработке серии из трех измерений, которая получена с шагом по шкале, равным от единицы до половины модуля сравнения, повышается точность измерений при одиночной ошибке в бите в слове с двоичным кодом и слове с остатками по сравнению с передачей двоичным кодом.

Ключевые слова: телеизмерения, неравноточные измерения, остатки данных, одиночная ошибка в бите, дисперсия погрешности.

Введение

Преобразование данных в остатки широко применяется для помехоустойчивой передачи данных, также для повышения скорости передачи данных в различных системах [1,2]. Кроме того, с помощью преобразования данных в остатки пришли к повышению точности результатов измерений [3,4]. Повышение точности результатов измерений при передаче данных решалось различными способами [5-7], однако до настоящего времени эта задача остается актуальной.

Рассмотрим способ передачи значений функционального телеметрируемого параметра словами по каналу связи следующим образом. А именно, когда текущие выборки значений телеметрируемого параметра делятся на чётные и нечётные. Для определённости полагаем, что нечетные измерения телеметрируемого параметра передаются двоичным кодом в

традиционной позиционной системе счисления, а четные измерения – двумя одинаковыми полусловами-остатками в слове данных, получаемыми при делении значения передаваемого слова на один и тот же модуль сравнения [8,9]. Рассмотрим распространенный на практике случай, когда слово состоит из восьми бит. Тогда чётные измерения будут представлены остатками от деления измеренного значения по модулю 16, и они дублируются в полусловах данных, т. е. оба полуслова в чётном слове имеют одно и то же значение. При этом соседние, четное и нечетное измерения, должны находиться в одном узком интервале шкалы измерений между точками $16n$ и $16(n+1)$ (модульный интервал). В противном случае принятое слово из остатков может быть ошибочно отнесено к другому модульному интервалу, т. е. может возникать ошибка восстановления данных, кратная числу таких модульных интервалов в зависимости от величины изменения параметра между соседними измерениями. Это обстоятельство следует учитывать при выборе частоты опроса телеметрируемого параметра, чтобы у его соседних отсчётов не было больших отличий значений измеряемой величины.

В указанном способе передачи результаты измерений, передаваемые остатками от деления на модули сравнения, имеют более высокую точность, чем измерения, передаваемые двоичным кодом. В связи с этим на приемной стороне четные и нечетные составляющие ряда измерений будут иметь неодинаковую точность. Поэтому обработку неравноточных измерений некорректно выполнять по алгоритмам, предназначенным для обработки равноточных измерений. Для реализации потенциально достижимой точности предложенного способа измерений целесообразно обработку выполнять так, чтобы более точные измерения оказывали большее влияние на конечный результат, т. е. на точность получаемых оценок.

Различную точность четных и нечетных составляющих ряда измерений предлагается учитывать при их совместной обработке путем введения вспомогательных коэффициентов, или весов неравноточных составляющих.

Чем точнее результат отдельного измерения, тем меньше его среднее квадратичное отклонение (СКО) σ^2 , и, соответственно, тем больше должен быть его вес, определяющий вклад в результирующее значение.

Поэтому в качестве веса отдельного i -го измерения будем использовать коэффициент p_i , обратно пропорциональный квадрату СКО σ_i^2 погрешности рассматриваемого измерения, который характеризует его вклад в результат обработки неравноточных измерений:

$$p_i = \frac{k}{\sigma_i^2}, \quad (1)$$

где k – некоторое, специальным образом определяемое, число. Обработка результатов измерений, с учётом веса отдельных составляющих, обеспечивает достижение двух положительных эффектов:

1. Измерение с более высокой точностью вносит больший вклад в конечный результат обработки серии из нескольких неравноточных измерений.
2. В связи с тем, что в знаменателе у коэффициента p_i стоит σ_i^2 , а не σ_i , более резко снижается вес измерений с низкой точностью. Это вполне логично, так как на практике грубые измерения нежелательны и доверие к ним при формировании выводов по результатам полученных оценок значений телеметрируемого параметра невысоко.

В целом результирующая оценка серии неравноточных измерений, учитывающая точность каждого измерения, имеет более высокую точность, чем любое, отдельно взятое, даже самое точное измерение.

Рассмотрим методику обработки серии из n неравноточных измерений $x_1, x_2, \dots, x_n$. Полагаем, что n – нечётное число, хотя это и не принципиально. Тогда усреднённый результат выборки $\bar{x}$, привязанный к моменту опроса телеметрируемого параметра в точке $\frac{n+1}{2}$, предлагается определять в соответствии со следующим выражением:

$$\bar{x} = p_1 x_1 + p_2 x_2 + \dots + p_n x_n. \quad (2)$$

Найдём выражение для определения значений весовых коэффициентов p_i . Для этого запишем систему следующих уравнений:

$$\begin{cases} p_1 + p_2 + \dots + p_n = 1; \\ \frac{1}{\sigma_1^2} + \frac{1}{\sigma_2^2} + \dots + \frac{1}{\sigma_n^2} = a. \end{cases} \quad (3)$$

Для обеспечения первого равенства в системе уравнений (3) необходимо определить нормирующий коэффициент k , зависящий от значений дисперсий σ_i^2 оцениваемой серии неравноточных измерений. С учётом выражения (1) представим выражение (3) в следующем виде:

$$\begin{cases} \frac{k}{\sigma_1^2} + \frac{k}{\sigma_2^2} + \dots + \frac{k}{\sigma_n^2} = 1; \\ \frac{1}{\sigma_1^2} + \frac{1}{\sigma_2^2} + \dots + \frac{1}{\sigma_n^2} = a. \end{cases} \quad (4)$$

Разделим обе части второго уравнения системы (4) на a , после чего приравняем левые части обоих уравнений:

$$\frac{k}{\sigma_1^2} + \frac{k}{\sigma_2^2} + \dots + \frac{k}{\sigma_n^2} = \frac{1}{a\sigma_1^2} + \frac{1}{a\sigma_2^2} + \dots + \frac{1}{a\sigma_n^2}. \quad (5)$$

Отсюда получаем значение k :

$$k = \frac{1}{a}. \quad (6)$$

С учётом (6) выражение для усреднённого результата измерений (2) принимает следующий вид:

$$\bar{x} = \frac{1}{a} \left(\frac{x_1}{\sigma_1^2} + \frac{x_2}{\sigma_2^2} + \dots + \frac{x_n}{\sigma_n^2} \right). \quad (7)$$

Обработка для серий из трех измерений: измерение остатками, затем измерение в двоичном коде и еще одно измерение остатками

Обработку результатов будем выполнять для серий, каждая из которых состоит из трех измерений: измерение остатками, затем измерение в

двоичном коде и еще одно измерение остатками. Дисперсии измерений составляют: для измерения в двоичном коде $\sigma_{\text{дк}}^2 = 1715,3$, для измерения остатками $\sigma_{\text{ост}}^2 = 133,8$ [10]. Серия из трех измерений начинается с признака шкалы из двух остатков с номером шкалы в двоичном коде. Этот номер шкалы после приема умножается на 16 (модулю сравнения). При передаче значений измеряемого параметра может искажаться один бит в слове с двоичным кодом, так и в слове из остатков. Вычислим абсолютную погрешность, которая возникает при искажении каждого бита как в одном, так и в другом случае. Затем вычислим среднюю погрешность при искажении всех бит в слове, и дисперсию погрешности [11,12]. Найдем отношение дисперсий погрешности для указанной серии из трех измерений и для передачи значений в двоичном коде $D_{\text{дк}}/D_{\text{с}}$.

Рассмотрим случай, когда серия измерений с шагом, равным единице, начинается с признака шкалы равного нулю, $x = (0,1,2)$, затем с признаков шкалы, кратных 16-ти (модулю сравнения), до серии $x = (240,241,242)$. Таким образом уточняются значения в двоичном коде, которые следуют за признаками шкалы. Полученные дисперсии погрешности передачи данных и отношения дисперсий погрешности передачи для рассмотренной серии передачи данных приведены в таблице 1 и на рис. 1.

Рассмотрим серию из трех измерений, которая получена с шагом по шкале измерений, равным четырем. Пусть серия измерений начинается с признака шкалы, равного нулю, $x = (0,4,8)$. затем с признаков шкалы, кратных 16-ти (модулю сравнения), до серии $x = (240,244,248)$. Таким образом уточняются значения в двоичном коде, которые следуют за признаками шкалы. Полученные дисперсии погрешности передачи данных и отношения дисперсий погрешности для рассмотренной серии передачи данных приведены в таблице 2 и на рис. 1.

Как видно из рис. 1, максимум отношения дисперсий погрешности имеет место в середине шкалы измерений, в точке признака шкалы 128, и

равен 5,1 для шага по шкале измерений, равного единице, и равен 5,1 для шага, равного четырем с ошибкой в слове с остатками. При ошибке в слове с двоичным кодом максимума отношения дисперсий погрешности нет для шага по шкале измерений, равного единице и четырем. Отношение дисперсий погрешности при этом равно примерно 3,5.

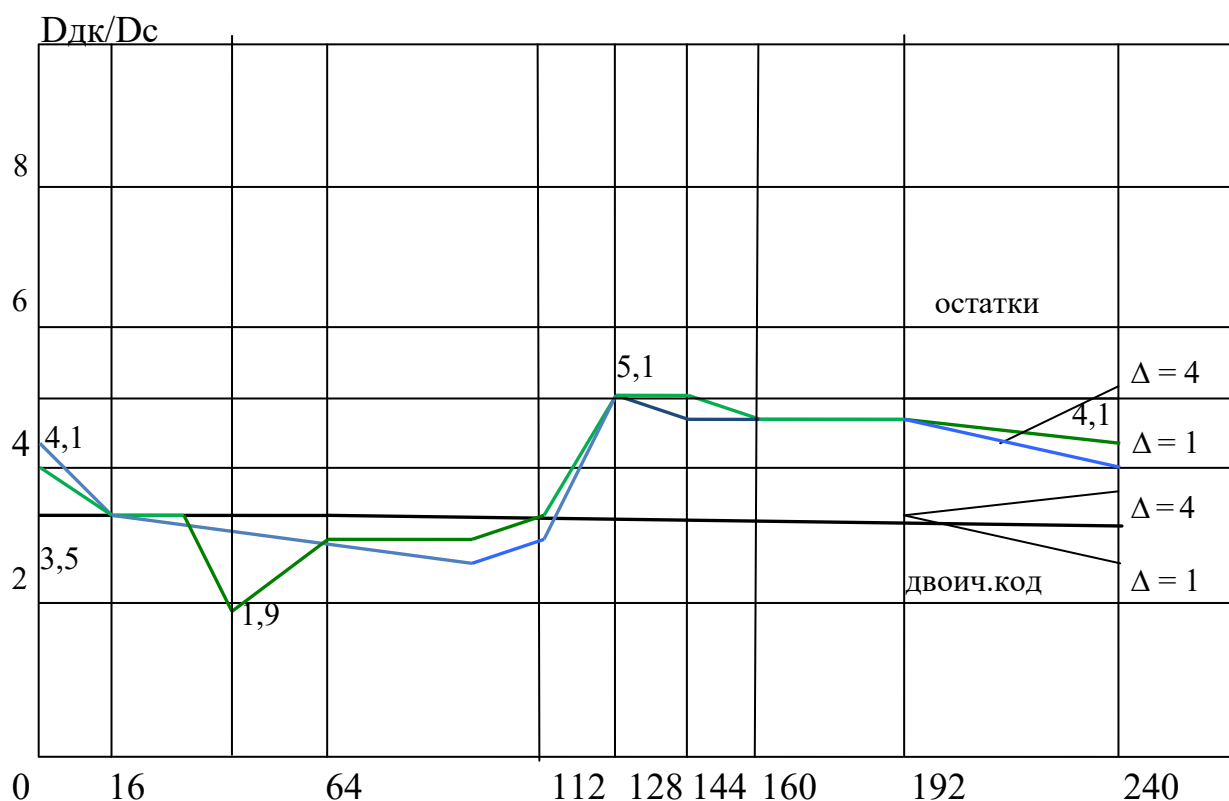


Рис.1 Отношение дисперсий погрешности передачи двоичным кодом и серий измерений для шага 1 шага 4 по шкале измерений

Рассмотрим серию из трех измерений, которая получена с шагом по шкале измерений, равным единице, затем двум. Пусть серия измерений начинается с признака шкалы, равного нулю, $x = (0,1,3)$, затем с признаков шкалы, кратных 16-ти (модулю сравнения), до серии $x = (240,241,243)$. Таким образом уточняются значения в двоичном коде, которые следуют за признаками шкалы. Полученные дисперсии погрешности передачи данных и отношения дисперсий погрешности для рассмотренной серии передачи данных приведены в таблице 3 и на рис. 2.

Рассмотрим серию из трех измерений, которая получена с шагом по шкале измерений, равным единице, затем четырем. Пусть серия измерений начинается с признака шкалы, равного нулю, $x = (0,1,5)$. затем с признаков шкалы, кратных 16-ти (модулю сравнения), до серии $x = (240,241,245)$. Таким образом уточняются значения в двоичном коде, которые следуют за признаками шкалы. Полученные дисперсии погрешности передачи данных и отношения дисперсий погрешности для рассмотренной серии передачи данных приведены в таблице 4 и на рис. 2.

Как видно из рис. 2, максимум отношения дисперсий погрешности имеет место в середине шкалы измерений, в точке признака шкалы 128 и равен примерно 5,6 для шага по шкале измерений, равного единице, затем двум, и 5,5 для шага по шкале измерений, равного единице, затем четырем с ошибкой в слове с остатками в серии из трех измерений. При ошибке в слове с двоичным кодом максимум отношения дисперсий погрешности по шкале измерений не имеется, оно равно 3,5 как для шага по шкале, равного единице, затем двум, так и для шага, равного единице, затем четырем в серии из трех измерений.

Рассмотрим серию из трех измерений, которая получена с шагом по шкале измерений, равным восьми. Пусть серия измерений начинается с признака шкалы, равного нулю, $x = (0,8,16)$. затем с признаков шкалы, кратных 16-ти (модулю сравнения), до серии $x = (240,248,255)$. Полученные дисперсии погрешности передачи данных и отношения дисперсий погрешности для рассмотренной серии передачи данных приведены в таблице 5 и на рис. 3. Рассмотрим серию из трех измерений, которая получена с шагом по шкале измерений, равным единице, затем восьми. Пусть серия измерений начинается с признака шкалы, равного нулю, $x = (0,1,9)$. затем с признаков шкалы, кратных 16-ти (модулю сравнения), до серии $x = (240,241,249)$. Дисперсии погрешности передачи данных и отношения дисперсий погрешности передачи данных приведены в таблице 6 и на рис. 4.

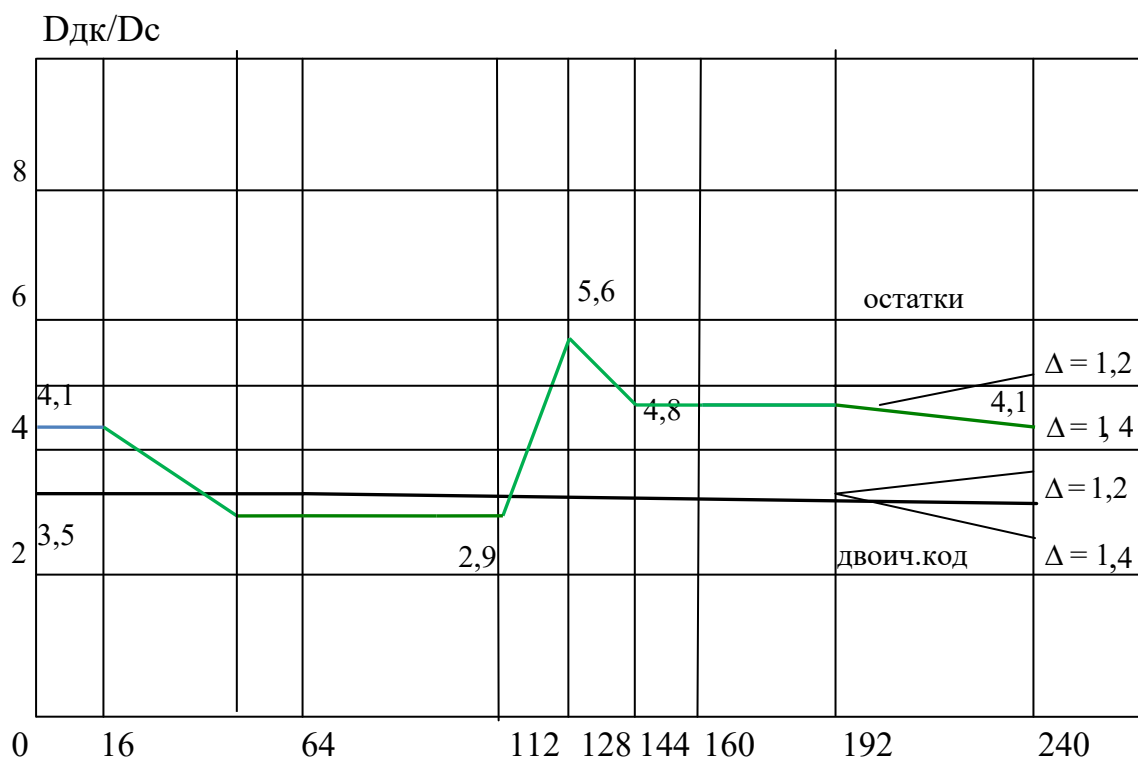


Рис.2 Отношение дисперсий погрешности передачи двоичным кодом и серий измерений для шага 1,2 и шага 1,4 по шкале измерений

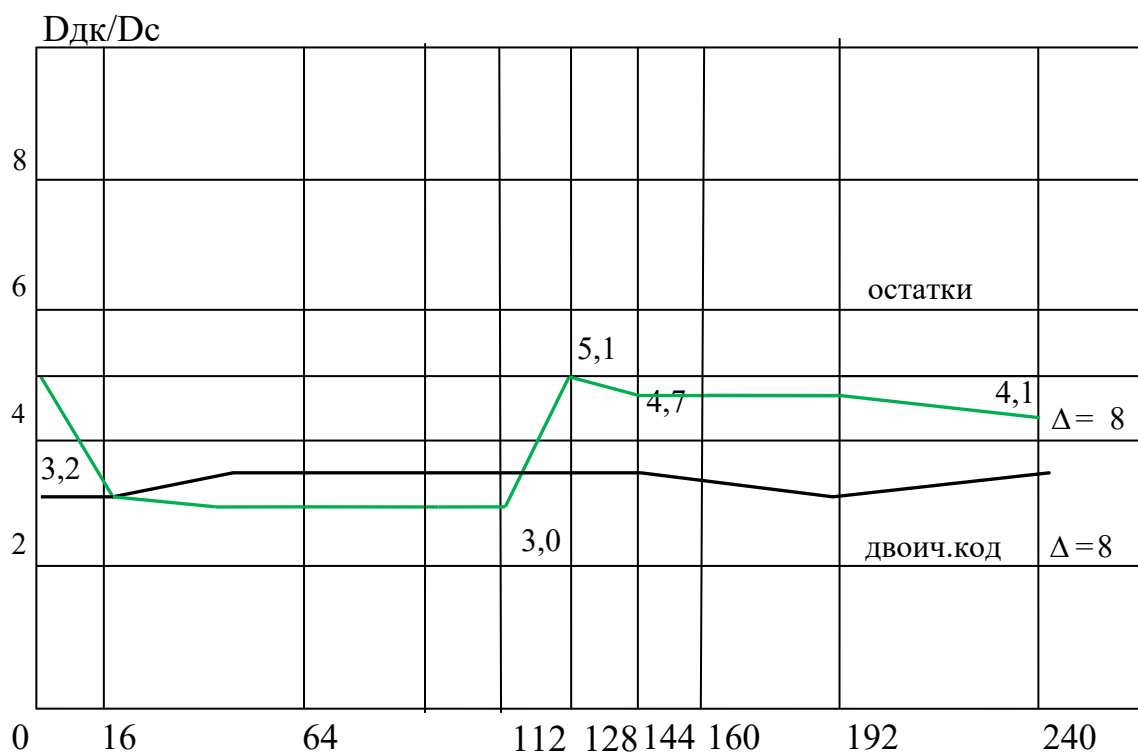


Рис.3 Отношение дисперсий погрешности передачи двоичным кодом и серий измерений для шага 8 по шкале измерений

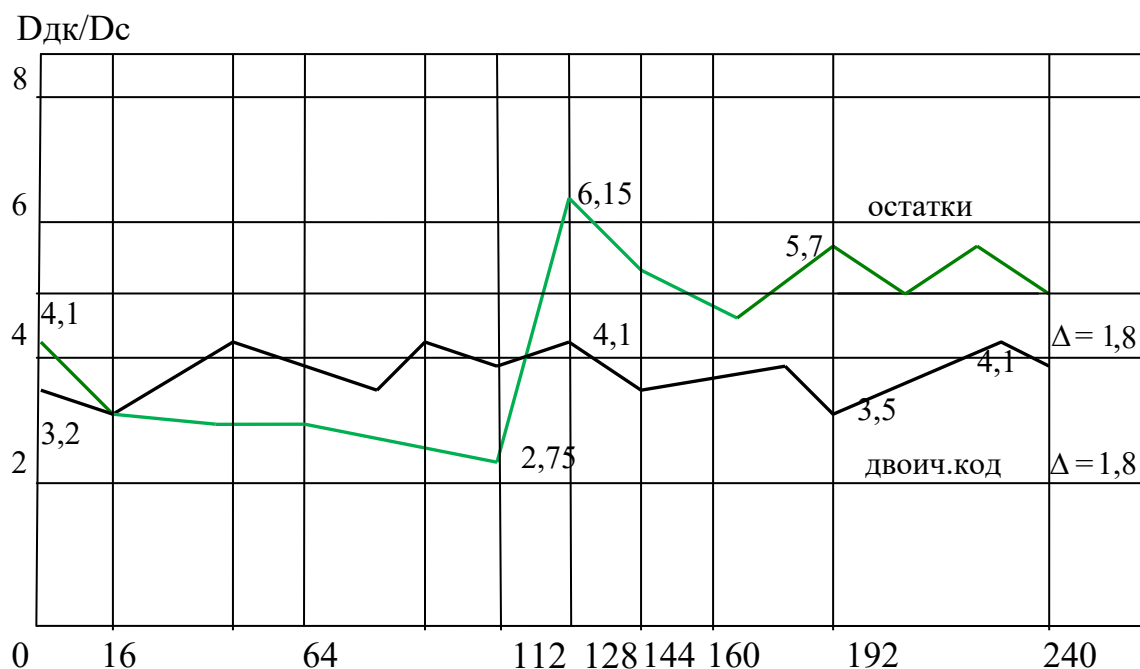


Рис.4 Отношение дисперсий погрешности передачи двоичным кодом и серий измерений для шага 1,8 по шкале измерений

Выводы

При обработке серии из трех измерений, которая получена с шагом по шкале для слов 8-ми бит, равным от единицы до восьми, повышается точность измерений при одиночной ошибке в бите слова с двоичным кодом и слова с остатками по сравнению с передачей данных двоичным кодом. Максимум отношения дисперсий погрешности имеет место в середине шкалы измерений, равен 6,15 при ошибке в бите слова с остатками, и 4,11 при ошибке в бите слова с двоичным кодом. Таким образом, наибольшее уточнение результата в двоичном коде серий из трех измерений получается в середине шкалы измерений.

Таблица №1

Дисперсии погрешности передачи и их отношение для шага по шкале 1

Серия измерений с шагом по шкале 1	Среднее значение погрешности для ошибки в остатке-признаке шкалы	Дисперсия погрешности для ошибки в остатке-признаке шкалы	Отношение дисперсий погрешности для двоичного кода и остатка - признака шкалы	Среднее значение погрешности для ошибки в слове двоичного кода	Дисперсия погрешности для ошибки в слове двоичного кода	Отношение дисперсий погрешности для двоичного кода и слова двоичного кода
(0,1,2)	14,44	424,5	4,07	15,21	469	3,66
(16,17,18)	26,83	513,8	3,34	15,69	482,5	3,55
(64,65,66)	21,2	565,5	3,03	15,5	480	3,5
(112,113,114)	22,26	483	3,6	15,78	485,5	3,53
(128,129,130)	20,88	339,3	5,1	15,55	486,2	3,53
(144,145,146)	21,34	337,1	5,1	15,73	483,5	3,52
(192,193,194)	15,23	352,32	4,87	15,69	483,6	3,55
(240,241,242)	15,23	417,4	4,11	16,23	488,2	3,51

Таблица №2

Дисперсии погрешности передачи и их отношение для шага по шкале 4

Серия измерений с шагом по шкале 4	Среднее значение погрешности для ошибки в первом остатке-признаке шкалы	Дисперсия погрешности для ошибки в первом остатке-признаке шкалы	Отношение дисперсий погрешности для двоичного кода и первого остатка-признака шкалы	Среднее значение погрешности для ошибки в слове двоичного кода	Дисперсия погрешности для ошибки в слове двоичного кода	Отношение дисперсий погрешности для двоичного кода и слова двоичного кода
(0,4,8)	14,39	418,6	4,1	15,57	484	3,54
(16,20,24)	27,57	476,8	3,6	15,55	483,4	3,55
(64,68,72)	25,84	559,25	3,07	15,59	480,9	3,57
(112,116,120)	22,24	599,15	2,86	15,77	477,51	3,59
(128,132,136)	20,86	339,79	5,05	15,52	486,13	3,53
1	2	3	4	5	6	7

1	2	3	4	5	6	7
(144,148,152)	20,14	364,2	4,71	15,74	483	3,55
(192,196,200)	17,27	372,35	4,61	16,34	514,86	3,33
(240,244,248)	18,24	431,1	3,98	16,29	486,15	3,52

Таблица №3

Дисперсии погрешности передачи данных и их отношение для шага по шкале 1, затем 2

Серия измерений с шагом по шкале 1, затем 2	Среднее значение погрешности для ошибки в остатке-признаке шкалы	Дисперсия погрешности для ошибки в остатке-признаке шкалы	Отношение дисперсий погрешности для двоичного кода и остатка признака шкалы	Среднее значение погрешности для ошибки в слове двоичного кода	Дисперсия погрешности для ошибки в слове двоичного кода	Отношение дисперсий погрешности для двоичного кода и слова двоичного кода
(0,1,3)	14,86	413,63	4,15	15,57	484	3,54
(16,17,19)	24,59	367,37	4,67	15,55	483,5	3,55
(64,65,67)	18,23	308,21	5,57	15,59	481	3,57
(112,113,115)	20,69	390,97	4,39	15,77	478	3,59
(128,129,131)	18,23	308,21	5,57	15,52	486,1	3,53
(144,145,147)	17,7	284,6	6,03	15,76	482,34	3,56
(192,193,195)	15,27	348,22	4,93	15,57	487,7	3,52
(240,241,243)	14,73	418,7	4,1	15,79	483,6	3,51

Таблица №4

Дисперсии погрешности передачи данных и их отношение для шага по шкале 1, затем 4

Серия измерений с шагом по шкале 1, затем 4	Среднее значение погрешности для ошибки в остатке-признаке шкалы	Дисперсия погрешности для ошибки в остатке-признаке шкалы	Отношение дисперсий погрешности для двоичного кода и остатка признака шкалы	Среднее значение погрешности для ошибки в слове двоичного кода	Дисперсия погрешности для ошибки в слове двоичного кода	Отношение дисперсий погрешности для двоичного кода и слова двоичного кода
(0,1,5)	15,83	418,63	4,1/4,1	16,97	485,23	3,54
1	2	3	4	5	6	7

1	2	3	4	5	6	7
(16,17,21)	28,13	412	4,16	15,55	483,4	3,55
(64,65,69)	25,85	509,94	3,36	15,59	480,9	3,57
(112,113,117)	18,62	631,28	2,72	15,77	477,51	3,59
(128,129,133)	21,84	315,57	5,44	16,2	483,57	3,5
(144,145,149)	20,62	354,14	4,84	16,04	465,46	3,68
(192,193,197)	18,18	357,05	4,8	15,98	457,16	3,75
(240,241,245)	14,6	409,16	4,19	15,79	483,6	3,51

Таблица №5

Дисперсии погрешности передачи и их отношение для шага по шкале 8

Серия измерений с шагом по шкале 8	Среднее значение погрешности для ошибки в первом остатке-признаке шкалы	Дисперсия погрешности и для ошибки в первом остатке-признаке шкалы	Отношение дисперсий погрешности для двоичного кода и первого остатка-признака шкалы	Среднее значение погрешности для ошибки в слове двоичного кода	Дисперсия погрешности и для ошибки в слове двоичного кода	Отношение дисперсий погрешности и для двоичного кода и слова двоичного кода
(0,8,16)	27,8	605,9	2,83	14,92	541,9	3,17
(16,24,32)	24,9	568,5	3,02	16,27	524,5	3,27
(64,72,80)	23,98	544,2	3,15	15,92	469,2	3,66
(112,120,128)	20,9	338,9	5,06	15,73	494,5	3,47
(128,136,144)	20,15	300,2	5,71	15,65	482,9	3,55
(144,152,160)	19,8	383,03	4,48	15,84	482,7	3,55
(192,200,208)	16,47	390,1	4,4	15,73	494,8	3,47
(240,248,255)	-	-	-	16,59	479,1	3,58

Таблица №6

Дисперсии погрешности передачи данных и их отношение для шага по шкале 1, затем 8

Серия измерений с шагом по шкале 1, затем 8	Среднее значение погрешности для ошибки в остатке-признаке шкалы	Дисперсия погрешности для ошибки в остатке-признаке шкалы	Отношение дисперсий погрешности для двоичного кода и остатка - признака шкалы	Среднее значение погрешности для ошибки в слове двоичного кода	Дисперсия погрешности для ошибки в слове двоичного кода	Отношение дисперсий погрешности для двоичного кода и слова двоичного кода
(0,1,9)	17,82	418,6	4,1	16,58	428,8	4,0
(16,17,25)	30,24	510,5	3,36	17,81	519,7	3,3
(64,65,73)	27,3	506,9	3,38	17,92	461,4	3,72
(112,113,121)	22,8	623,3	2,75	16,34	442,3	3,88
(128,129,137)	18,54	263,63	6,15	17,76	417,2	4,11
(144,145,153)	18,31	284,28	6,03	16,9	448,4	3,83
(192,193,201)	18,61	295,9	5,8	15,73	494,8	3,47
(240,241,249)	14,46	351,2	4,88	15,57	413,8	4,15

Литература

1. Калмыков И.А. Ефименков И.Д., Чистоусов Н.К., Духовный Д.В. Структурная модель помехоустойчивой системы с ортогональным частотным разделением каналов, использующая модулярные турбокоды СОК.// Инженерный вестник Дона, 2024, №8. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n8y2024/9430.
2. Калмыков И.А., Чистоусов Н.К, Калмыкова Н.И., Духовный Д.В. Ортогональная обработка сигналов с использованием математических моделей целочисленных вейвлет-преобразований, реализованных в модулярных кодах классов вычетов // Инженерный вестник Дона, 2023, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/ archive/n3y2023/8273.

3. Айерлэнд К., Роузен М. Классическое введение в современную теорию чисел /Пер. с англ. – М.: Мир, 1987. – 416 с.
4. Макклеллан Дж., Рейдер Ч. Применение теории чисел в цифровой обработке сигналов /Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1983. – 376 с.
5. Мороз А.П. Устройство защиты от помех. Авторское свидетельство SU 938409 A1, 23.06.1982. Заявка № 2973791 от 12.08.1980.
6. Мороз Александр Петрович. Селектор импульсов минимальной длительности. Авторское свидетельство № 1051699. СССР. H03K5/19. Заявка №3458974 от 29.06.1982. Опубликовано 30.10.1983. Бюллетень №40. elibrary.ru/item.asp?id=40365153
7. Кукушкин С.С. Теория конечных полей и информатика. – В 2-х т. – Т.1. Методы и алгоритмы, классические и нетрадиционные, основанные на использовании конструктивной теоремы об остатках. – М.: Минобороны России, 2000. – 237 с.
8. Кукушкин С.С. Повышение помехоустойчивости передачи телеметрической информации на основе представления результатов телеизмерений гомоморфными образами. //Измерительная техника. - М.: Стандарты, 1995. – №7. – С. 9.
9. Кукушкин С.С. Теоретические основы построения перспективных систем телеизмерений, сбора и обработки телеметрической информации // Измерительная техника. – М.: Стандарты, 1995. – №12. – С. 34.
10. Прасолов Д.Н. Способы представления данных полусловами-остатками для повышения достоверности передачи информации // Информационно- технологический вестник, 2019. Т. 19. №1. С. 37 - 47.
11. Смирнов Н.В., Дунин-Барковский И.В. Курс теории вероятностей и математической статистики для технических приложений. – М.: Наука, 1965. – 512 с.
12. Математическая статистика. М.: Высш. шк., 1981. – 386 с.

References

1. Kalmykov I.A. Efimenkov I.D., Chistousov N.K., Duhovnyj D.V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2024, №8. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n8y2024/9430.
2. Kalmykov I.A., Chistousov N.K., Kalmykova N.I., Duhovnyj D.V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2023, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2023/8273.
3. Aerland K., Rouzen M. Klassicheskoe vvedenie v sovremennuy teoriyu chisel. [Classical introduction in the modern theory of numbers]. Per. s angl. M.: Mir, 1987. 416 p.
4. Maklellan J., Reider Ch., Primenenie teorii chisel v tsifrovoy obrabotke signalov. [Application of the theory of numbers in digital processing signals]. Per. s angl. M.: Radio i svyaz, 1983. 376 p.
5. Moroz A.P. Ustroistvo zashiti ot pomech. [The device of protection against handicapes]. Avtorskoe svidetel'stvo SU 938409 A1, 23.06.1982. Zayavka № 2973791. elibrary.ru/item.asp?id=40182744
6. Moroz A.P. Selektor impulsov minimalnoi dlitelnosti [The Selektor of impulses of the minimal duration]. Avtorskoe svidetel'stvo № 1051699. SSSR. H03K5/19. Zayavka №3458974 ot 29.06.1982. Opublikovano 30.10.1983. Byulleten' №40. elibrary.ru/item.asp?id=40365153
7. Kukushkin S.S. Teoriya konechnich poley i imformatika. In 2 v. V1. Methodi i algoritmi, classicheskie i netraditsionnie, osnovannie na primenenii konstruktivnoi theoremi ob ostatkach.[Methods and algorithms, classical and nonconventional, based on use of the constructive theorem of the rests]. M.: Ministerstvo oboroni Rossii, 2000. 237 p.
8. Kukushkin S.S. Izmeritelnaya tehnika. M.: Standarti, 1995. №7. p. 9.

9. Kukushkin S.S. Izmeritelnaya tehnika. M.: Standarti, 1995. №12. p.34.
10. Prasolov D.N. Informatsionno-technologicheskii vestnik. 2019 T.19. №1. pp. 37-47.
11. Smirnov N.V., Dunin-Barkovskij I.V. Kurs teorii veroyatnostej i matematicheskoy statistiki dlya tekhnicheskikh prilozhenij [Rate of probability theory and mathematical statistics for technical appendices]. M.: Nauka, 1965. 512 p.
12. Matematicheskaya statistika [Mathematical statistics]. M: Vishsaya shkola., 1981. 386 p.

Дата поступления: 9.04.2025

Дата публикации: 25.06.2025