УДК 621.398
DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-3-726-734
EDN XWNPJT

Применение методов представления данных образами-остатками при передаче и обработке информации в современных телекоммуникационных системах

[1]Ширяев А.А., [2]Олейник И.И., [2]Сидоренко И.А., [2]Урсол Д.В.
[1]МИРЭА – Российский технологический университет (РТУ МИРЭА),
пр-т Вернадского, д. 78, стр. 4, Москва, 119454, Россия
[2]Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
ул. Победы, д. 85, г. Белгород, 308015, Россия
a.shyriaev@mail.ru, oleinik_i@bsuedu.ru, sidorenko@bsuedu.ru, ursol@bsuedu.ru

Аннотация. Статья посвящена разработке методов нетрадиционного представления данных образами-остатками и построению единой технологии, объединяющей в непротиворечивую систему процессы представления, передачи и обработки информации в современных телекоммуникационных системах. Ранее они развивались обособленно друг от друга, однако рост числа противоречий, который связан как с усложнением техники, так и с расширением круга решаемых при её использовании задач, приводит к необходимости поиска новых резервов, обеспечивающих возможность их разрешения. Такую возможность предоставляет разработанная конструктивная теория измерений и передачи полученной информации. Её основу составляет математическая теория конечных полей, адаптированная к решению прикладных задач представления, передачи и обработки данных, принятых в условиях помех. Методологической основой данного подхода выступает конструктивная теорема об остатках, ключевыми преимуществами которой являются: существенное расширение области практического применения, снижение вычислительной сложности обработки значительных объемов данных, а также повышение устойчивости решений для некорректно поставленных задач.

Ключевые слова: расширение возможностей классической теории конечных полей, данные и погрешности измерений, искажения информации при её передаче, обработка данных, система остаточных классов, регуляризация некорректных задач

Для цитирования: Ширяев А.А., Олейник И.И., Сидоренко И.А., Урсол Д.В. 2025. Применение методов представления данных образами-остатками при передаче и обработке информации в современных телекоммуникационных системах. *Экономика. Информатика*, 52 (3): 726–734. DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-3-726-734. EDN XWNPJT

Application of Data Representation Methods Using Residue Images for Transmitting and Processing Information in Modern Telecommunication Systems

[1]Alexey A. Shiryaev, [2]Ivan I. Oleinik, [2]Igor A. Sidorenko, [2]Denis V. Ursol
[1]MIREA – Russian Technological University (RTU MIREA)
building 4, 78 Vernadsky Ave., Moscow 119454, Russia
[2]Belgorod State National Research University
85 Pobedy St., Belgorod 308015, Russia
a.shyriaev@mail.ru, oleinik_i@bsuedu.ru, sidorenko@bsuedu.ru, ursol@bsuedu.ru

Abstract. The article is devoted to the development of methods for non-traditional data representation using residue images and the construction of a unified technology that combines the processes of data representation,

© Ширяев А.А., Олейник И.И., Сидоренко И.А., Урсол Д.В., 2025

transmission, and processing in modern telecommunication systems into a consistent system. Previously, these processes were developed independently of each other, but the growing number of contradictions, which is associated with both the complexity of technology and the expansion of the range of tasks that can be solved using it, necessitates the search for new resources that can be used to resolve these issues. This is where the developed constructive theory of measurement and information transmission comes in. It is based on the mathematical theory of finite fields, which is adapted to solving applied problems of data representation, transmission, and processing in the presence of interference. The methodological basis of this approach is the constructive remainder theorem, which has the following key advantages: a significant expansion of the practical application area.

Keywords: expansion of the classical theory of finite fields, data and measurement errors, information distortion during transmission, data processing, residual class system, and regularization of ill-posed problems

For citation: Shiryaev A.A., Oleinik I.I., Sidorenko I.A., Ursol D.V. 2025. Application of Data Representation Methods Using Residue Images for Transmitting and Processing Information in Modern Telecommunication Systems. *Economics. Information technologies.* 52 (3): 726–734 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-3-726-734. EDN XWNPJT

Введение

В современных условиях быстро развивающихся информационных технологий мониторинга технического состояния сложных технических комплексов и безопасности их функционирования особую актуальность приобретает разработка новых методов измерений, передачи и обработки получаемых экспериментальных данных. Появляется комплекс проблем, касающихся различных информационных процессов и повышения их эффективности.

Для их разрешения недостаточно хорошо развитого воображения и сложившегося представления. Необходимо, как свидетельствует история науки, привлечение математического аппарата для упрощения поиска наиболее подходящих решений. Основу мониторинга составляют системы измерений, сбора и обработки данных. При этом значительная роль в повышении точностных характеристик измерений отводится алгоритмическим методам.

В настоящее время они разработаны и находят расширенное применение при измерениях и передаче измерительной информации с использованием нетрадиционного представления данных образами-остатками и замещающими их проблемно-ориентированными структурно-алгоритмическими преобразованиями [Булычев, Васильев, Кукушкин, 2016].

Однако при этом недостаточно были рассмотрены вопросы обработки и анализа экспериментальных данных. В современных условиях актуальность, научный и практический интерес представляют методы прикладной теории конечных полей. [Волков, 1982].

Быстро растут объёмы данных измерений, поэтому появляется настоятельная необходимость и в реконструкции системы их обработки. Известные алгоритмические направления повышения быстродействия вычислений ЭВМ связаны с нетрадиционным представлением данных в системе остаточных классов (СОК).

Однако это многообещающее направление исследований не вышло за пределы теоретических исследований. Основное препятствие, которое так и не удалось преодолеть, было связано с алгоритмами обратного перехода от результатов вычислений с использованием образов-остатков к исходному, традиционно используемому представлению данных. Для этой цели предлагалось использование алгоритмов китайской теоремы об остатках и усовершенствованного его варианта, известного, как теорема Х.Л. Гарнера [Кнут, 1977].

Данные алгоритмы отличались повышенной сложностью вычислений, поэтому то время, которое было сэкономлено при вычислениях с использованием остатков, необходимо было истратить на заключительную процедуру перехода к исходному представлению данных.

Поэтому основная проблема обработки, как и передачи данных с использованием образов-остатков, заключалась в необходимости разработки усовершенствованных алгоритмов обратного восстановления результатов вычислений в СОК.

Была доказана конструктивная теорема об остатках (КтТО) и разработана новая технология восстановления данных в их исходном виде. Наиболее простой она стала при минимальной наполненности СОК, когда данные, сигналы и сообщения представляют двумя образами-остатками.

В этом случае появляется необходимость синтеза безызбыточных помехоустойчивых кодов и новых сигнально-кодовых конструкций (СиКК), острая необходимость в которых появлялась при разработке современных телекоммуникационных систем [Кукушкин, 1997].

В рамках такого исследования закономерно формулируется фундаментальная проблема создания современных измерительных технологий: необходимо ли преобразовывать полученные данные к их первоначальному формату, использовавшемуся в процессе измерений, или же целесообразно осуществлять обработку непосредственно в области образов?

В настоящей статье предлагается четкое решение этой дилеммы: в качестве метода представления передаваемой и принимаемой информации предлагается использовать данные в их образной форме в системе остаточных классов с последующим применением на этапе восстановления данных КтТО.

Важнейшим достоинством КтТО, образующей методологический фундамент современной прикладной теории конечных полей, является возможность обработки остатков ($b_i \in Q$) от деления чисел на модули сравнения, возникающее как следствие модификации аппарата полиномиальных вычислений, находящего широкое применение при решении разнообразных прикладных задач [Князев, Кукушкин, 2011].

Обработка результатов измерений

Обработка результатов измерений делится на непосредственные прямые или косвенные измерения. Характер деления условный. При прямых измерениях используются значения самого измеряемого параметра (или его величины $\Theta_{k)}$.

При косвенных измерениях используется только функция от некоторой выборки величин этого параметра.

Измерительные процедуры обладают дуализмом. С одной позиции, они представляют собой прямое определение значений физических параметров (таких как линейные расстояние, угловые характеристики и др.), а с другой – могут рассматриваться как величины, находящиеся в функциональной связи с измеряемым параметром. В случаях, когда исследовательская задача сводится к получению информации исключительно о целевой величине, функциональные взаимосвязи подвергаются упрощению.

Практика экспериментальных исследований показывает, что такой распространенностью обладают именно косвенные методы определения искомых параметров.

Характерной иллюстрацией косвенных измерений служат радиотехнические методы, в рамках которых определяются такие параметры, как длительность распространения радиосигнала, разность фаз между зафиксированными сигналами и другие аналогичные характеристики [Кукушкин, 2000].

В этой связи принципиальное значение приобретает анализ необходимых методов представления информации для определения искомых результатов измерений необходимых параметров в условиях помех.

Среди распространенных методов подавления помеховых воздействий следует выделить подходы, основанные на обработке измерительной информации с обеспечением оптимального приближения интерполяционного полинома к экспериментальным точкам, содержащим погрешности [Лидл, Нидеррайтер,1988].

Важным требованием при этом является обеспечение условия, при котором максимальное отклонение значений восстанавливаемой функции f(x) по модулю и значениями P(x) не должно превышать величины ε, которая представляет из себя степень приближения с точностью до ε в узлах интерполяции $x_0, x_1, \ldots x_n,$ когда:

$$\max |f(x_i) - P(x_i)| \le \varepsilon$$
$$0 \le i \le n.$$

На практике допускается присутствие единичных аномальных позиций:$|f(x_i) - P(x_i)| \ge \varepsilon$, когда выбранному критерию соответствует оценка проведённых экспериментов с использованием наименьших квадратов:

$$\sigma = \sum_{i=0}^{n} [f(x_i) - P(x_i)]^2,$$

заключающаяся в том, чтобы подобрать коэффициенты P(x), минимизирующие σ.

Пример:

Найти многочлены $P_1(x)=a_0 + a_1 x$, $P_2(x)= a_0 + a_1 x + a_1 x^2$, приближающие наилучшим образом в среднем функцию, заданную в соответствии со значениями измерений (табл. 1).

Таблица 1
Table 1

Результаты с ошибками измерений
Results with measurement errors

x	0	1	2	3	4	5	6	7
y	1,4	1,3	1,4	1,1	1,3	1,8	1,6	2,3

При $P_1(x)=a_0 + a_1 x$, выражение для σ будет выглядеть следующим образом:

$$\sigma = \sum_{i=0}^{7} [y_i - (a_0 + a_1 x_i)]^2.$$

Таким образом, проблема сглаживания (фильтрации) экспериментальных данных заключается в поиске таких коэффициентов a_0 и a_1, при значениях которых σ минимальна.

Такое условие минимизации σ достигается уравниванием с нулем частных производных: $d\sigma/da_0$ и $d\sigma/da_1$

$$-0{,}5\, d\sigma /da_0 = \sum_{i=0}^{7} [\, y_i - (a_0 + a_1 x_i)] = 0,$$

$$-0{,}5\, d\sigma /da_1 = \sum_{i=0}^{7} [\, y_i - (a_0 + a_1 x_i)]\, x_i = 0.$$

После упрощения получим следующую систему линейных уравнений:

$$8a_0 + a_1 \sum_{i=0}^{7} x_i = \sum_{i=0}^{7} y_i,$$

$$a_0 \sum_{i=0}^{7} x_i + a_1 \sum_{i=0}^{7} x^2{}_i = \sum_{i=0}^{7} x_i y_i.$$

Таблица 2
Table 2

Результаты вычислений
Calculation results

x_i	y_i	$x_i y_i$	x^2_i	$x^2_i y_i$	x^3_i	x^4_i
0	1,4	0	0	0	0	0
1	1,3	1,3	1	1,3	1	1
2	1,4	2,8	4	5,6	8	16
3	1,1	3,3	9	9,9	27	81
4	1,3	5,2	16	20,8	64	256
5	1,8	9,0	25	45,0	125	625
6	1,6	9,6	36	57,6	216	1296
7	2,3	16,1	49	112,7	343	2401
Σ 28	12,2	47,3	140	252,9	784	4676

Получаем следующую систему уравнений:

$$8a_0 + 28a_1 = 12{,}2,$$
$$28a_0 + 140a_1 = 47{,}3,$$

решение которой приводит к данным результатам:

$$\det A = \begin{vmatrix} 8 & 28 \\ 28 & 140 \end{vmatrix} = 336;$$

$$\det A_0 = \begin{vmatrix} 12{,}2 & 28 \\ 47{,}3 & 140 \end{vmatrix} = 383{,}6;$$

$$\det A_1 = \begin{vmatrix} 8 & 12{,}2 \\ 28 & 47{,}3 \end{vmatrix} = 36{,}8.$$

В результате вычислений получаем: $a_0 = 383{,}6/336 = 1{,}142$; $a_1 = 36{,}8/336 = 0{,}110$.

Сглаживание данных, полученных экспериментальным путем на основе теории конечных полей и конструктивной теоремы об остатках

Системы уравнений, при использовании модулей сравнений $m_1 = 19$ и $m_2 = 20$ приводятся к виду:

$$8a_0 + 9a_1 = 12{,}2 \pmod{19};$$
$$9a_0 + 7a_1 = 9{,}3 \pmod{19};$$
$$8a_0 + 8a_1 = 12{,}2 \pmod{20};$$
$$8a_0 + 9a_1 = 7{,}3 \pmod{20};$$

$$\det A_{(19)} = \begin{vmatrix} 8 & 9 \\ 9 & 7 \end{vmatrix} = -25 \equiv -6 \pmod{19};$$

$$\det A_{0(19)} = \begin{vmatrix} 12{,}2 & 9 \\ 9{,}3 & 7 \end{vmatrix} = 1{,}7 \pmod{19};$$

$$\det A_{1(19)} = \begin{vmatrix} 8 & 12{,}2 \\ 9 & 9{,}3 \end{vmatrix} = -35{,}4 \equiv -16{,}4 \pmod{19};$$

$$\det A_{(20)} = \begin{vmatrix} 8 & 8 \\ 8 & 0 \end{vmatrix} = -64 \equiv -4 \pmod{20};$$

$$\det A_{0(20)} = \begin{vmatrix} 12{,}2 & 8 \\ 7{,}3 & 0 \end{vmatrix} = -58{,}4 \equiv -18{,}4 \pmod{20};$$

$$\det A_{1(20)} = \begin{vmatrix} 8 & 12{,}2 \\ 8 & 7{,}3 \end{vmatrix} = -39{,}2 \equiv -19{,}2 \pmod{20}.$$

Алгоритм восстановления с применением КтТО.

1. Для первой системы сравнений:

$$\det A_{(19)} \equiv -6 \pmod{19};$$
$$\det A_{(20)} \equiv -4 \pmod{20};$$

получим: $n_{12} = 1$; $\Delta_{12} = -6 - (-4) = -2$;

$$\det A_{(3\ 80)} = m_1(m_2 + \Delta_{12}) + b_1 = m_2(m_1 + \Delta_{12}) + b_2 = 19\times18 - 6 = 20\times17 - 4 = 336.$$

2. При решении второй системы:

$$\det A_{0(19)} \equiv 1{,}7 \pmod{19};$$
$$\det A_{0(20)} \equiv -18{,}4 \pmod{20};$$

получаем результат: $n_{12} = 1$; $\Delta_{12} = 1{,}7 - (-18{,}4) = 20{,}1$;

$$\det A_{0(3\ 80)} = m_1 \Delta_{12} + b_1 = m_2 \Delta_{12} + b_2 = 19\times20{,}1 + 1{,}7 = 20\times20{,}1 - 18{,}4 = 383{,}6.$$

3. При решение третьей системы:

$$\det A_{1(19)} \equiv -16{,}4 \pmod{19};$$
$$\det A_{1(20)} \equiv -19{,}2 \pmod{20};$$

получаем результат: $n_{12} = 1$; $\Delta_{12} = -16{,}4 - (-19{,}2) = 2{,}8$;

$\det A_{1(3\ 80)} = m_1 \Delta_{12} + b_1 = m_2 \Delta_{12} + b_2 = 19\times2{,}8 - 16{,}4 = 20\times2{,}8 - 19{,}2 = 36{,}8$.

Результаты полученных решений наглядно показывают расширенный потенциал КтТО.

В отличие от классических теорем об остатках, которые применимы исключительно для целочисленных значений, КтТО позволяет получать общее решение даже для дробных значений остатков [Ширяев, 2023]. Единственное ограничение касается выбора модулей сравнения и состоит в требовании равенства единице абсолютной величины их разности ($n_{12} = 1$).

Полином, обеспечивающий наилучшее среднеквадратическое приближение экспериментальных данных, может быть представлен в форме:

$$P_1(x) = 1{,}142 + 0{,}11x.$$

Система при $P_2(x) = a_0 + a_1 x + a_1 x^2$ преобразовывается к виду:

$$8a_0 + a_1 \sum_{i=0}^{7} x_i + a_2 \sum_{i=0}^{7} x^2{}_i = \sum_{i=0}^{7} y_i$$

$$a_0 \sum_{i=0}^{7} x_i + a_1 \sum_{i=0}^{7} x^2{}_i + a_2 \sum_{i=0}^{7} x^3{}_i = \sum_{i=0}^{7} x_i y_i$$

$$a_0 \sum_{i=0}^{7} x^2{}_i + a_1 \sum_{i=0}^{7} x^3{}_i + a_2 \sum_{i=0}^{7} x^4{}_i = \sum_{i=0}^{7} x^2{}_i y_i.$$

При подстановке соответствующих значений коэффициентов, взятых из таблицы, получим:

$$8a_0 + 28a_1 + 140a_2 = 12{,}2$$
$$28a_0 + 140a_1 + 784a_2 = 47{,}3$$
$$140a_0 + 784a_1 + 4676a_2 = 252{,}9$$

Проанализировав системы ЛУ, можно сделать вывод о том, что увеличение степени аппроксимирующего полинома влечет за собой возрастание порядка соответствующих систем сравнений, а также существенное увеличение разрядности чисел-коэффициентов, входящих в их состав [Ширяев,24].

Очевидно, что применение КтТО существенно упрощает процедуру восстановления данных из области образов при выполнении условия минимизации параметра n_{12}, определяемого как модуль разности выбранных модулей:

$$\min \{n^{(i)}{}_{12}\},\ n_{12} = |m_1 - m_2|,$$

$$n^{(i)}{}_{12} - \text{var}.$$

При рассмотрении примера оптимизации процесса восстановления класс-решений можно отметить следующее. Решение достигается с использованием стратегии выбора модулей сравнения (m_1=17, m_2=18, m_3=19, m_4=20) и группированием их в пары: (m_1, m_4), (m_2, m_3). С использованием указанных модулей определяем:

$$\det A_{(18)} = \begin{vmatrix} 8 & 10 & 14 \\ 8 & 14 & 10 \\ 14 & 10 & 14 \end{vmatrix} = 8 \begin{vmatrix} 4 & 5 & 7 \\ 4 & 7 & 5 \\ 7 & 5 & 7 \end{vmatrix} = 8 \begin{vmatrix} 4 & 5 & 7 \\ 0 & 2 & -2 \\ 3 & 0 & 0 \end{vmatrix} = 24 \begin{vmatrix} 5 & 7 \\ 2 & -2 \end{vmatrix} = -576 \equiv 0 (\text{mod } 18)$$

В результате получены системы сравнений:

$$\det A_{(17)} \equiv 8 \ (\text{mod } 17),$$
$$\det A_{(20)} \equiv 8 \ (\text{mod } 20),$$
$$\det A_{(18)} \equiv 0 \ (\text{mod } 18),$$
$$\det A_{(19)} \equiv 18 \ (\text{mod } 19).$$

Алгоритмы восстановления с применением КтТО:

1) $n_{23} = 1$; $\Delta_{23} = 0 - 18 = -18$;

$\det A_{1(342)} = m_2 \Delta_{23} + b_2 = m_3 \Delta_{23} + b_3 = 18(19 - 18) + 0 = 19(18 - 18) + 18 = 18 (\text{mod } 342)$;

2) $n_{14} = 3$; $\Delta_{14} = 8 - 8 = 0$;

3) $\det A_{1(340)} = m_1 \Delta_{14} + b_1 = m_4 \Delta_{14} + b_4 = 17 \times 0 + 8 = 20 \times 0 + 8 = 8 \ (\text{mod } 340)$

При решении система сравнений преобразовывается к следующему виду:

$$\det A_{(340)} \equiv 8 \ (\text{mod } 340),$$
$$\det A_{(342)} \equiv 18 \ (\text{mod } 342).$$

Дальнейшее решение ЛУ с использованием метода Крамера приводит к решению задачи с нахождением определителя следующего вида:

$$\det A_0 = \begin{vmatrix} 12{,}2 & 28 & 140 \\ 47{,}3 & 140 & 784 \\ 252{,}9 & 784 & 4676 \end{vmatrix} \cong 49 \times 16 \begin{vmatrix} 12{,}2 & 1 & 5 \\ 47{,}3 & 5 & 28 \\ 252{,}9 & 28 & 167 \end{vmatrix} = -784 \begin{vmatrix} 12{,}2 & 5 & 1 \\ 47{,}3 & 28 & 5 \\ 252{,}9 & 167 & 28 \end{vmatrix} \cong$$

$$\cong 784 \begin{vmatrix} 0 & 0 & 1 \\ -13{,}7 & 3 & 5 \\ -88{,}7 & 27 & 28 \end{vmatrix} = -784 \begin{vmatrix} -13{,}7 & 3 \\ -88{,}7 & 27 \end{vmatrix} = -784 \times 3 \begin{vmatrix} -13{,}7 & 1 \\ -88{,}7 & 9 \end{vmatrix} = 2352 \times 24{,}6 = 81379{,}2.$$

Следовательно, $a_0 = \det A_0 / \det A = 81379{,}2 / 56488 = 1{,}442$.

Аналогичным образом находятся и остальные оставшиеся коэффициенты:

$$a_1 = \det A_1 / \det A = -0{,}190;\ a_2 = \det A_2 / \det A = 0{,}043,$$
$$P_2(x) = 1{,}442 - 0{,}190\,x + 0{,}043\,x^2.$$

Заключение

Продемонстрировано применение современной теории конечных полей для решения задачи фильтрации (сглаживания) экспериментальных данных.

Показано, что применение современной теории конечных полей, основанной на адаптивных алгоритмах конструктивной теоремы об остатках (КтТО), позволяет достичь значительного упрощения вычислительных процедур и повышения эффективности обработки значительных массивов измерительных данных.

Список литературы

Булычев Ю.Г., Васильев В.В., Кукушкин С.С. и др. 2016. Информационно-измерительное обеспечение натурных испытаний сложных технических комплексов. М.: Машиностроение, Полёт: 440.

Волков Е.А. 1982. Численные методы. М, Наука: 256–258.

Кнут Д. 1977. Искусство программирования для ЭВМ т. 2. Получисленные алгоритмы. М., Мир: 724.

Князев В.В., Кукушкин С.С. 2011. Математические и методические основы использования конструктивной теоремы об остатках при обработке результатов телеизмерений. М.: *Научный Интернет-журнал: Технологии техносферной безопасности* (http://ipb.mos.ru/ttb/2011-6/2011-6.html), вып. 6 (40):6.

Князев В.В., Кукушкин С.С. 2011. Применение конструктивной теоремы об остатках при решении некорректных задач обработки результатов телеизмерений. Научно-технический сборник. Известия № 248. М.: ВА РВСН им. Петра Великого: 78.

Кукушкин С.С. 2000. Конечные поля и информатика (монография): в 2-х томах, т. 1. Методы и алгоритмы, классические и нетрадиционные, основанные на использовании конструктивной теоремы об остатках. М.: МО РФ: 260.

Кукушкин С.С. 1997. Использование конструктивной теоремы об остатках для повышения эффективности вычислений в системах передачи и обработки телеметрической информации. Измерительная техника. М.: «Стандарты», № 4: 13.

Лидл Р., Нидеррайтер Г. 1988. Конечные поля. В 2-х томах. Пер с англ. М.: Мир: 884.

Ширяев А.А. 2023. Анализ методов повышения эффективности систем передачи данных в беспроводных информационных коммуникациях. Сборник статей Межвузовского международного конгресса «Высшая школа: научные исследования», Москва: 138.

Ширяев А.А. 2024. Разработка методов обеспечения помехоустойчивости космических инфокоммуникаций на основе кодирования в системе остаточных классов. Материалы диссертации, изд-во НИУ БелГУ: 103.

References

Bulychev Yu.G., Vasilyev V.V., Kukushkin S.S. 2016. Information and Measurement Support for Field Tests of Complex Technical Systems, Moscow: Mashinostroenie-Polet: 440 (in Russian).

Volkov E.A. 1982. Numerical Methods. M: Nauka: 256 (in Russian).

Knuth D. 1977. The Art of Computer Programming, Vol. 2, Semi-Numerical Algorithms, Moscow: Mir: 724 (in Russian).

Knyazev V.V., Kukushkin S.S. 2011. Mathematical and Methodological Foundations of Using the Constructive Remainder Theorem in Processing Telemetry Results, Moscow, *Scientific Internet Journal: Technologies of Technosphere Safety* (http://ipb.mos.ru/ttb/2011-6/2011-6.html), Issue 6 (40): 6 (in Russian).

Knyazev V.V., Kukushkin S.S. 2011. Application of the constructive remainder theorem in solving ill-posed problems of processing telemetry results, Scientific and Technical Collection. Izvestiya No. 248. Moscow: Peter the Great Strategic Missile Forces Academy: 78 (in Russian).

Kukushkin S.S. 2000. Finite Fields and Computer Science (Monograph): in 2 volumes, vol. 1. Methods and Algorithms, Classical and Non-Traditional, Based on the Use of the Constructive Remainder Theorem. Moscow: Ministry of Defense of the Russian Federation: 260 (in Russian).

Kukushkin S.S. 1997. Using the constructive remainder theorem to improve the efficiency of calculations in telemetry information transmission and processing systems. Measurement Techniques. Moscow: Standards, No. 4: 13 (in Russian).

Lidl R., Niederreiter H. 1988. Finite Fields. In 2 volumes. Translated from English. Moscow, Mir: 884.

Shiryaev A.A. 2023. Analysis of Methods for Improving the Efficiency of Data Transmission Systems in Wireless Information Communications. Collection of Articles from the Interuniversity International Congress «Higher Education: Scientific Research», Moscow: 138 (in Russian).

Shiryaev A.A. 2024. Development of methods for ensuring the noise immunity of space information communications based on coding in the residual class system. Dissertation materials, Belgorod State University:103 (in Russian).

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.
Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

Поступила в редакцию 01.08.2025
Поступила после рецензирования 04.09.2025
Принята к публикации 05.09.2025

Received August 01, 2025
Revised September 04, 2025
Accepted September 05, 2025

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Ширяев Алексей Александрович, кандидат технических наук, доцент кафедры электротехнических систем Института радиоэлектроники и информатики, Российский технологический университет (РТУ МИРЭА), г. Москва, Россия

Олейник Иван Иванович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой информационно-телекоммуникационных систем и технологий, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

Сидоренко Игорь Александрович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, доцент кафедры информационно-телекоммуникационных систем и технологий, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

Урсол Денис Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры информационно-телекоммуникационных систем и технологий, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Alexey A. Shiryaev, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Electrical Engineering Systems at the Institute of Radioelectronics and Computer Science, Russian Technological University (RTU MIREA), Moscow, Russia

Ivan I. Oleinik, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Information and Telecommunication Systems and Technologies, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

Igor A. Sidorenko, Candidate of Technical Sciences, senior researcher, associate professor of the department of information and telecommunication systems and technologies, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

Denis V. Ursol, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Information and Telecommunication Systems and Technologies, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia