

УДК 621.317.7, 621.391

**КОДИРОВАНИЕ НИВЕЛИРНОЙ РЕЙКИ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ М-ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ
И ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ
В УСЛОВИЯХ АНОМАЛЬНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ**

М.Э. Костюлин, А.А. Спектор*Новосибирский государственный технический университет*

В работе рассматривается метод кодирования нивелирной рейки на основе М-последовательностей, обладающих выраженными корреляционными свойствами и устойчивостью к шумовым воздействиям. Целью исследования является оценка применимости данных последовательностей для автоматизированных оптико-электронных систем нивелирования, а также анализ механизмов возникновения аномальных измерений превышения при наличии искажений наблюдаемого сигнала. Предложена модель корреляционного считывания рабочей кодовой комбинации, основанная на сравнении наблюдаемого фрагмента с полной опорной последовательностью. Особое внимание уделено влиянию длины рабочего окна, вероятности битовых ошибок и параметров цифровой обработки на точность идентификации. Проведено численное моделирование с использованием М-последовательности длиной 511 элементов, в рамках которого исследованы характеристики максимальных боковых лепестков взаимной корреляционной функции. Определены критические размеры рабочего окна и оценена вероятность аномальных измерений. Результаты моделирования показали, что при длине окна менее 9 элементов устойчивое определение положения рабочей комбинации невозможно. Установлено, что увеличение длины наблюдаемого фрагмента и использование схемы цифрового накопления, например «2 из 3», существенно повышают точность и надежность измерений. Результаты исследования подтверждают перспективность применения М-последовательностей в составе высокоточных электронных нивелиров, функционирующих в сложных условиях наблюдения.

Ключевые слова: М-последовательность, кодовая рейка, корреляционная обработка, помехоустойчивое кодирование, оптическое нивелирование.

DOI: 10.17212/1727-2769-2026-1-5-17

Введение

За последние десятилетия наблюдается значительный рост требований к точности и надежности оптико-электронных измерительных систем. В частности, в области геодезии и нивелирования автоматизация процесса измерения через применение оптических и электронных приборов становится все более распространенной. Традиционные методы нивелирования, основанные на визуальном отсчете нивелирной рейки или пузырькового уровня, постепенно вытесняются электронными системами, где используются кодовая рейка и автоматическое считывание положения визирной оси. По сравнению с оптическими системами электронные нивелиры

обладают преимуществами в точности определения превышений, скорости выполнении работ и исключают влияние человеческого фактора. При этом важным элементом является устойчивость измерительной цепи к внешним воздействиям – шумам, освещению, дефокусировке, частичному закрытию поля зрения и другим аномальным ситуациям. Схематическое устройство электронного нивелира изображено на рис. 1.

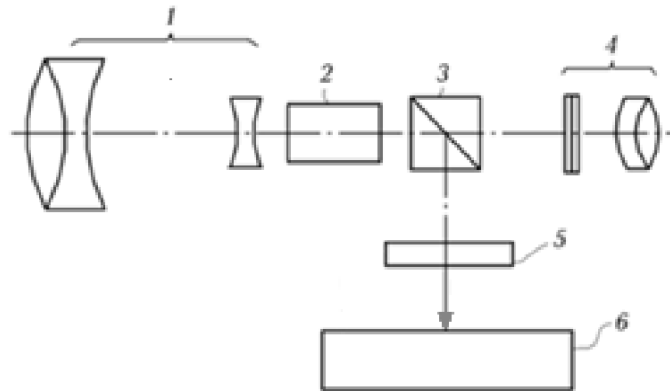


Рис. 1 – Схематическое устройство электронного нивелира

Fig. 1 – Schematic structure of the electronic leveling device

Оптическая система нивелира состоит из зрительной трубы 1, снабженной компенсатором наклона 2, обеспечивающим формирование изображения кодовой рейки. Далее изображение поступает на светоотделительный элемент 3, который разделяет входящий пучок на два идентичных световых потока. Один из них направляется на фотоприемную матрицу (ФПМ) 5, второй – после прохождения через окуляр 4 служит для визуального наведения на рейку. Электронный блок 6 проводит обработку принятого сигнала и определяет искомый отсчет на рейке и превышение.

На рис. 2 показана модель измерения превышения. В рассматриваемой модели измерительная система определяется положением нивелира и установленной в удаленной точке рейкой. Высота визирной оси нивелира над поверхностью земли обозначается h_n , высота отсчета на рейке – h_p . Горизонтальная дальность между прибором и рейкой равна R , угол обзора нивелира – α . Превышение между точками установки нивелира и рейки определяется разностью высот: $h_n = h_n - h_p$.

Существующие коммерческие системы автоматического оптического нивелирования, как правило, используют штриховое или блочное кодирование штрихов, которое накладывается на нивелирную рейку (например, решения Leica, Topcon, Sokkia) [1]. Эти методы обеспечивают определенную надежность и диапазон измерений, однако обладают рядом ограничений: чувствительность к освещению, ограниченная дальность считывания, ухудшение устойчивости при неблагоприятных условиях наблюдения (частичная видимость, наклон, тень). Например, в работе [1] предложен

способ штрихового кодирования на базе циклических кодов и кодов Рида–Соломона, позволяющий увеличить диапазон считывания за счет корректирующего кода.

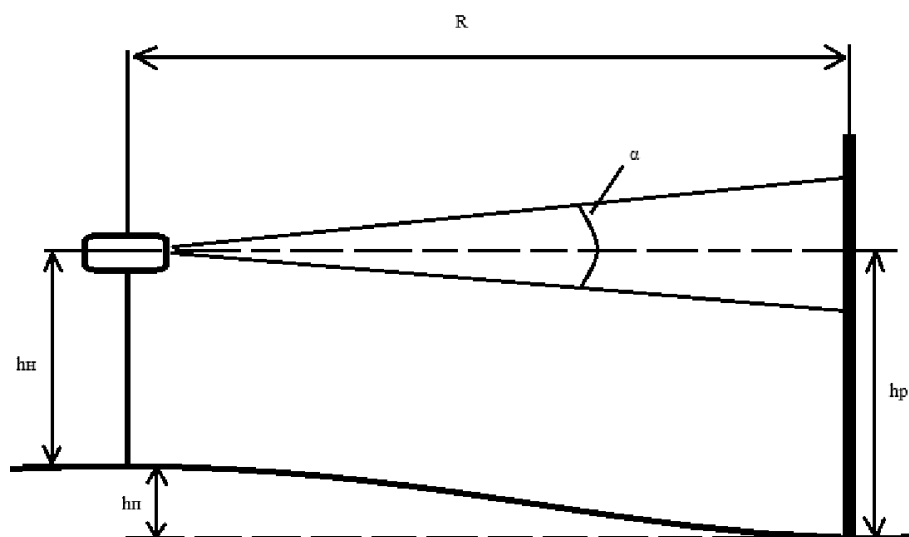


Рис. 2 – Модель измерения превышения
Fig. 2 – Height difference measurement model

Применение псевдослучайных последовательностей в кодировании нивелирной рейки является перспективным подходом. М-последовательности обладают высокой автокорреляционной селективностью. Благодаря этому при корреляционном анализе возможно надежно определять наличие наблюдаемого фрагмента даже при наличии шума или частичной видимости последовательности. Также важно, что М-последовательности совместимы с цифровыми методами обработки сигналов, что упрощает их практическую реализацию в измерительных системах. В частности, в работах по кодированию штриховых реек отмечено, что использование корреляционных методов и нестандартных кодов (например, последовательности Баркера) улучшает устойчивость к помехам [1].

Целью данной работы является исследование возможности внедрения М-последовательностей для кодирования нивелирной рейки и оценки устойчивости измерительной системы при наличии аномальных воздействий (шум, частичная видимость рейки). Задачи исследования включают теоретическое обоснование применения М-последовательностей в системах нивелирования. В рамках работы формируется корреляционная модель процесса считывания кода. Предусматривается влияние параметров окна наблюдения и вероятности битовых ошибок перепутывания символов. Выполняется проведение экспериментального моделирования с целью оценки вероятности возникновения аномальных измерений.

1. Описание предлагаемого метода

М-последовательности представляют собой двоичные псевдослучайные периодические последовательности с периодом $N = 2^n - 1$, где n – длина регистра, с помощью которого формируется М-последовательность. Автокорреляционная функция (АКФ) имеет выраженный главный пик. Уровень боковых лепестков не превышает значения $1/\sqrt{N}$. Пример АКФ М-последовательности с длиной регистра $n = 9$ приведен на рис. 3. Это свойство обеспечивает высокую устойчивость к ошибкам синхронизации и возможность обнаружения нужного фрагмента кода даже при наличии шумов.

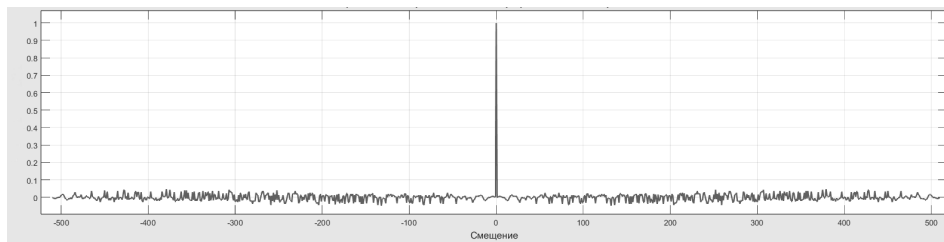


Рис. 3 – АКФ М-последовательности

Fig. 3 – Autocorrelation function of the M-sequence

Благодаря этим свойствам М-последовательности нашли широкое применение в радиолокации, системах связи и позиционирования, а также могут быть эффективно использованы для кодирования оптических измерительных шкал, включая нивелирные рейки.

В предлагаемой схеме кодирования на поверхность рейки наносится полная М-последовательность, выполняющая функции опорной кодовой комбинации (КК). При наблюдении рейки через оптическую систему нивелира прибор регистрирует лишь часть последовательности – рабочую кодовую комбинацию. Размер рабочей комбинации зависит от расстояния до рейки и угла обзора оптики прибора. Например, при расстоянии 2 м и угле обзора $1,5^\circ$ видимый диаметр окна составляет около 52 мм, что соответствует 10 элементам М-последовательности при высоте штриха 5 мм. При увеличении расстояния диаметр видимого окна возрастает.

В рабочем оптическом окне нивелир получает информацию о фрагменте кодовой комбинации, длина которой определяется расстоянием от нивелирного устройства до рейки. Положение наблюдаемого фрагмента зависит от разницы высот, на которых находятся нивелир и рейка (называемой превышением). Именно превышение является одним из основных параметров, подлежащих измерению.

Для идентификации положения рабочего окна используется корреляционная обработка полученных данных между наблюдаемым фрагментом на фотоприемной матрице (ФПМ) и опорной кодовой комбинацией. Максимум корреляционной функции указывает на позицию окна относительно опорной комбинации, что позволяет вычислить высоту визирной оси.

Нестандартное использование кодовых комбинаций М-последовательностей заметно изменяет характер корреляционных характеристик: вероятность образования ложных пиков и выбросов заметно возрастает при укорочении рабочей кодовой комбинации. На рис. 4 приведен пример возникновения опасных участков, возникших при длине рабочей кодовой комбинации в 20 элементов.

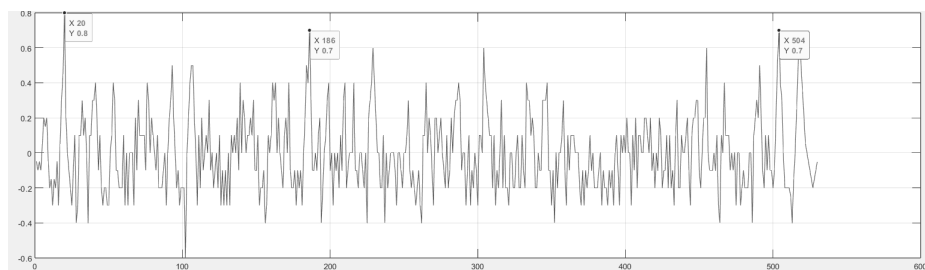


Рис. 4 – Возникновение дополнительных пиков с амплитудой, близкой к истинной

Fig. 4 – The emergence of additional peaks with an amplitude close to the true one

В данной ситуации положение рабочей кодовой комбинации определяется по максимуму ВКФ на 20-м отсчете с амплитудой 0,8, что совпадает с истинным значением. Однако существуют и другие локальные пики, сопоставимые по амплитуде основным, что обусловлено значительным сокращением длины рабочей кодовой комбинации. Подобные искажения корреляционной структуры могут привести к ошибочному определению положения комбинации и, как следствие, к некорректному определению превышения. В процессе моделирования в рабочую комбинацию вводится вероятность возникновения битовых ошибок. Наличие таких искажений приводит к формированию главного корреляционного пика, амплитуда которого отклоняется от идеального значения, равного единице, а также значительно повышается уровень боковых лепестков. В последующих пунктах подробно рассматривается влияние битовой ошибки на точность определения превышения.

2. Предварительные исследования минимальной длины рабочей комбинации и условий возникновения аномальных измерений превышения

Длина рабочей комбинации является критическим параметром, определяющим устойчивость процедуры идентификации. При уменьшении окна ниже 9 элементов наблюдается практически полное совпадение уровней истинного и ложных корреляционных максимумов. На рис. 6 и 7 показано сравнение графиков максимальных уровней боковых лепестков при длине окна 8 и 9 элементов. В условиях длины рабочей комбинации 8 элементов вероятность возникновения аномальных выбросов приближается к 100 %, поскольку на графике ВКФ практически всегда наблюдается два одинаковых максимальных отсчета (рис. 5). Это делает корректное определение положения рабочей комбинации невозможным. Следовательно, использо-

вание окон размером менее 9 элементов не обеспечивает приемлемой достоверности и не позволяет проводить измерения и экспериментальные исследования.

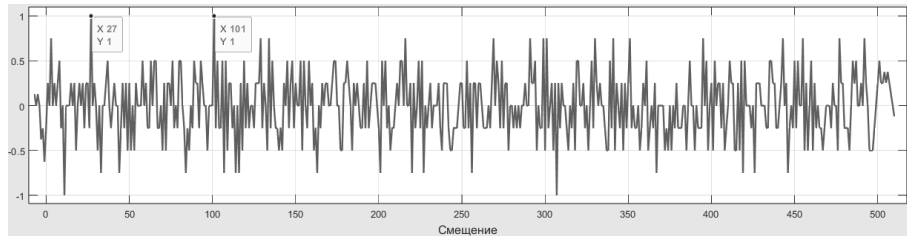


Рис. 5 – ВКФ рабочей комбинации длины 8 элементов и опорной комбинации длины 511 элементов, имеющая два одинаковых максимальных отсчета

Fig. 5 – Cross-correlation function of an 8 element work sequence and 511 element reference sequence, containing two equal maximum peaks

Оценка поведения боковых лепестков выполнялась по следующей процедуре. На первом этапе задавалась фиксированная длина рабочей комбинации, после чего ее начальное положение принималось равным нулевому отсчету. Далее вычислялась взаимная корреляционная функция для заданного положения окна. Поскольку известно истинное положение рабочего фрагмента, соответствующее значение ВКФ исключалось из анализа как заведомо максимальное. Затем фиксировался наибольший уровень боковых лепестков, который сохранялся в массиве результатов. После этого рабочее окно сдвигалось на один отсчет вдоль опорной последовательности, и процедура вычисления повторялась. Полный цикл выполняется столько раз, сколько существует допустимых положений рабочей комбинации относительно опорной последовательности. Получившийся массив результатов интерпретируется в виде графиков, представленных на рис. 6 и 7. Такой подход позволяет количественно оценить амплитуду максимальных боковых лепестков и выявить критические значения длины окна, при которых устойчивость алгоритма идентификации резко снижается. Особое внимание уделено ситуации, когда амплитуда бокового лепестка достигает положительной единицы. В этом случае боковой максимум становится неотличимым от истинного пика, что непосредственно приводит к ошибочному определению положения рабочей комбинации и, как следствие, к неверному измерению превышения.

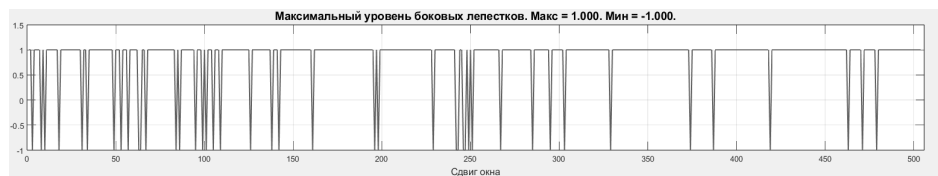


Рис. 6 – Максимальный уровень боковых лепестков ВКФ при размере окна 8 элементов

Fig. 6 – Maximum sidelobe level of the cross-correlation function for a window size of 8 elements

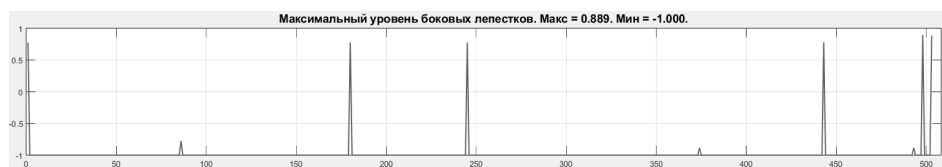


Рис. 7 – Максимальный уровень боковых лепестков ВКФ при размере окна 9 элементов

Fig. 7 – Maximum sidelobe level of the cross-correlation function for a window size of 9 elements

Под аномальным измерением превышения (АИП) будем понимать ситуацию, когда система ошибочно идентифицирует положение рабочего окна на опорной последовательности. При этом допустимые небольшие отклонения пика ВКФ относительно истинного положения считаются нормальными и не приводят к нарушению измерительного процесса. Вероятность АИП определяется длиной рабочего окна и вероятностью битовых ошибок в наблюдаемой последовательности. При короткой длине окна (10...20 элементов) возрастает число ложных корреляционных максимумов. На рис. 8 приведен пример, в котором возникают два выброса одинаковой амплитуды при длине окна 10 элементов и вероятности битовой ошибки $p = 10^{-2}$. Истинное положение соответствует 20-му отсчету, однако из-за наличия нескольких равнозначных пиков алгоритм идентифицирует последний из них, что приводит к выбору аномального результата.

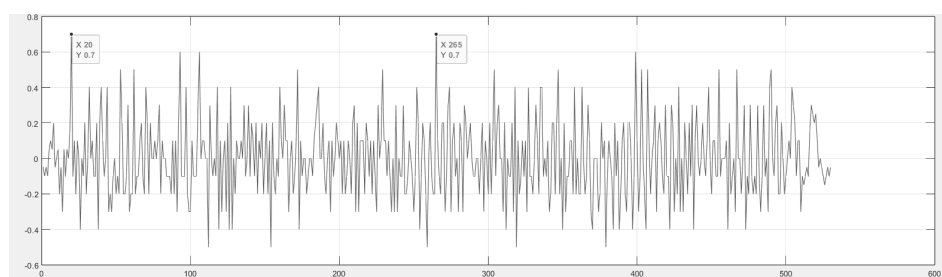


Рис. 8 – Пример возникновения ложного корреляционного максимума, амплитуда которого совпадает с истинным

Fig. 8 – Example of a false correlation peak matching the amplitude of the true one

3. Методика и алгоритм моделирования

В экспериментальной части используется М-последовательность длиной 511 элементов. Расстояние между прибором и рейкой варьируется от 2 до 100 м, что приводит к изменению видимой длины окна наблюдения от 10 до максимального количества элементов. Такое варьирование позволяет исследовать влияние длины рабочего окна на корректность считывания и на вероятность возникновения аномальных измерений.

Модель реализуется следующим образом. Сначала формируется опорная М-последовательность заданной длины. Затем из нее выделяется рабочая комбинация – «скользящее окно» фиксированного размера, равного числу элементов кода, видимых прибором при заданных угле обзора оптики и расстоянии. В процессе моделирования окно последовательно перемещается вдоль опорной последовательности с шагом, равным высоте одного элементарного штриха. Такое перемещение имитирует изменение относительного положения рабочей комбинации на рейке при варьировании высоты установки прибора или нивелирной шкалы. В модель вводятся ошибки битовых значений с заданной вероятностью p (например, 10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-4}), что позволяет симулировать условия зашумления и искажения сигнала. Далее рассчитывается взаимная корреляционная функция (ВКФ) между наблюдаемым фрагментом (с ошибками) и опорной последовательностью и определяется позиция максимума ВКФ как оценка положения окна. Если найденная позиция не совпадает с истинной – это считается аномальным измерением. Этот подход позволяет надежно выявлять слабые сигналы даже при низком отношении сигнал/шум [2].

Для повышения надежности результатов введена процедура цифрового накопления: выполняется n независимых экспериментов, и, если совпадает не менее m результатов, измерение признается корректным, иначе фиксируется отказ. Такой метод уменьшает вероятность ошибочной корреляции и повышает устойчивость к шуму. Аналогичные подходы применяются в задачах радиотехнических измерений и оптических сенсоров [3].

Результаты моделирования показали, что при рабочей длине окна порядка 10 элементов ВКФ часто имеет несколько пиков, близких по амплитуде к главному, что ведет к повышенной вероятности ложного определения максимума. При увеличении окна до 20 и более элементов главный пик становится значительно выше боковых лепестков, вероятность ошибки снижается. Это подтверждает теоретическое ожидание, что рост длины фрагмента улучшает корреляционную селективность.

Исследование влияния вероятности ошибок на результаты обработки показали, что при вероятности ошибок $p = 10^{-2}$ вероятность АИП для короткого окна (10 элементов) достигала 0,1...0,12. При $p = 10^{-3}$ и $p = 10^{-4}$ она уменьшается на порядок и более. Кроме того, применение схемы накопления «2 из 3» позволило практически устранить ошибки при $p = 10^{-2}$. На рис. 9–11 представлены результаты серии вычислительных экспериментов, включающих по 1000 попыток определения превышения в каждом наборе. Истинное положение рабочей комбинации задавалось равным нулевому отсчету, поэтому корректным результатом во всех опытах должно являться значение, равное нулю. Однако, как видно из рис. 9, в одном из 1000 экспериментов был зафиксирован ошибочный отсчет,

соответствующий превышению, эквивалентному 480 элементам. Подобные ошибки возникают вследствие наличия высоких боковых пиков, амплитуда которых сопоставима с основным максимумом взаимной корреляционной функции (см. рис. 8), что создает угрозу ошибочной идентификации положения рабочей комбинации.

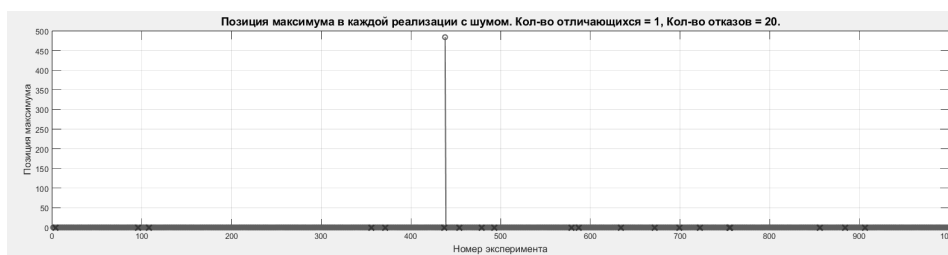


Рис. 9 – Применение схемы накопления «2 из 3» по объему 1000 экспериментов при $p = 10^{-2}$ и размере рабочей комбинации 10 элементов

Fig. 9 – Application of the 2-out-of-3 accumulation scheme over 1000 experiments with a $p = 10^{-2}$ and a working sequence length of 10 elements

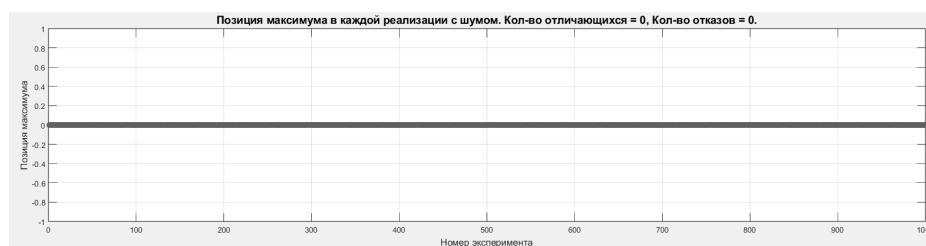


Рис. 10 – Применение схемы накопления «2 из 3» по объему 1000 экспериментов при $p = 10^{-2}$ и размере рабочей комбинации 20 элементов

Fig. 10 – Application of the 2-out-of-3 accumulation scheme over 1000 experiments with a $p = 10^{-2}$ and a working sequence length of 20 elements

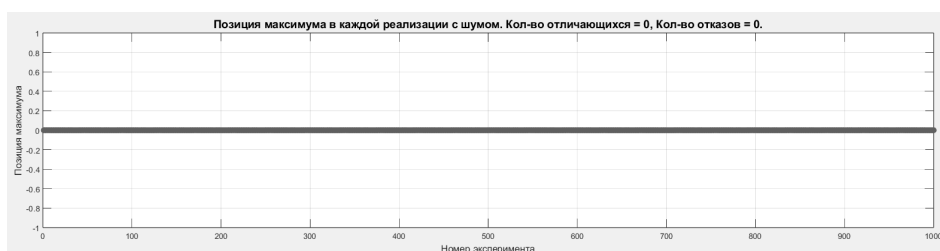


Рис. 11 – Применение схемы накопления «2 из 3» по объему 1000 экспериментов при $p = 10^{-3}$ и размере рабочей комбинации 20 элементов

Fig. 11 – Application of the 2-out-of-3 accumulation scheme over 1000 experiments with a $p = 10^{-3}$ and a working sequence length of 10 elements

В отличие от классических штриховых и RAB-кодов, М-последовательности обеспечивают уникальность даже коротких фрагментов и высокую корреляционную селективность. Это позволяет реализовать более надежное измерение высоты на больших дистанциях и при меньших требованиях к качеству изображения рейки. Метод демонстрирует устойчивость к шумам и потенциально может увеличить рабочий диапазон электронных нивелиров.

4. Практические рекомендации

Минимально возможная длина рабочей кодовой комбинации должна составлять 9 элементов кода.

Вероятность ошибок p должна быть минимизирована аппаратными средствами (оптика, освещение).

Использование цифрового накопления (повторные измерения) значительно улучшает надежность.

Заключение

В настоящей работе рассмотрен подход к кодированию нивелирной рейки на основе М-последовательностей, обладающих выраженными корреляционными свойствами. Проведен анализ применимости данных последовательностей для задач автоматизированного оптического нивелирования, а также исследованы механизмы возникновения аномальных измерений при воздействии шумов и искажений наблюдаемого сигнала.

Результаты моделирования показали, что использование М-последовательностей позволяет реализовать устойчивую процедуру сопоставления опорной и рабочей комбинаций при различной длине окна наблюдения. Выявлено, что сокращение длины рабочего окна приводит к увеличению вероятности появления ложных корреляционных пиков и, как следствие, к росту вероятности аномальных измерений высоты. Напротив, увеличение длины окна обеспечивает выраженное улучшение корреляционной селективности и снижение ошибок идентификации.

Экспериментальные данные подтвердили высокую чувствительность метода к вероятности битовых ошибок. При вероятности искажения символов порядка 10^{-2} наблюдается значительное увеличение вероятности аномальных измерений, в то время как при снижении вероятности ошибок до $p = 10^{-3} - p = 10^{-4}$ ошибки практически устраняются. Дополнительное применение цифрового накопления обеспечивает повышение устойчивости метода за счет статистического подавления случайных выбросов и некорректных корреляционных максимумов.

Таким образом, использование М-последовательностей в качестве кодовой структуры нивелирной рейки обеспечивает сочетание компактности представления с высокой помехоустойчивостью и возможностью одно-

значного определения пространственного положения. Предложенный подход демонстрирует потенциал для практического применения в составе электронных и оптико-электронных систем нивелирования, предназначенных для работы в сложных условиях наблюдения.

Дальнейшее развитие работы видится в направлении разработки аппаратных средств формирования и считывания М-последовательностей, адаптивных алгоритмов фильтрации корреляционных функций и интеграции методов машинного обучения для повышения точности идентификации при частичной видимости и в условиях динамических аномалий оптического сигнала.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Колесников Г.В.** Способ штрихового кодирования нивелирной рейки // Оптический журнал. – 2010. – Т. 77, № 7. – С. 34–37.
2. **Бобровский В.В.** Особенности корреляционной обработки шумоподобных сигналов в электроразведочной аппаратуре // Геофизические исследования. – 2022. – Т. 23, № 2. – С. 39–54.
3. **Romanov O.M., Kotiubin V.Yu.** Periodicity search algorithms in digital sequences with block coding by their correlation properties // Radio Electronics, Computer Science, Control. – 2021. – N 2. – P. 7–18. – DOI: 10.15588/1607-3274-2021-2-1.
4. Патент № 2516031 Российская Федерация. Кодовая рейка для электронного нивелира: № 2012125505/28: заявл. 19.06.2012; опубл. 20.05.2014, Бюл. № 14 / Колесников Г.В. Гибин И.С.
5. **Колесников Г.В., Гибин И.С.** Кодовая рейка для электронного нивелира. Патент РФ номер 2516031, 2012.
6. **Pereira J., Ferreira H.** Perfect sequences based on Golay codes for communication systems // Digital Technologies Research and Applications. – 2024. – Vol. 3 (1). – P. 24–43. – DOI: 10.54963/dtra.v3i1.312.

ENCODING OF A LEVELING ROD USING M-SEQUENCES AND ASSESSMENT OF THE STABILITY OF MEASUREMENTS UNDER ANOMALOUS CONDITIONS

Kostyulin M.E., Spector A.A.

Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia

This study investigates the application of m-sequences as a coding structure for leveling rods used in electronic and optoelectronic leveling systems. Owing to their deterministic pseudorandom nature and pronounced autocorrelation properties, m-sequences provide a strong discrimination capability even when only short fragments of the code are visible within the optical field of view. A computational model of the measurement process has been developed, incorporating the effects of the observation window length, bit error probability, and signal distortion on the accuracy of height-difference estimation. Special attention is given to the formation of false correlation peaks, which may lead to incorrect identification of the working fragment and, consequently, to anomalous

measurement outcomes. A series of numerical experiments using a 511-element m-sequence demonstrates the critical dependence of system robustness on the size of the observed fragment: windows shorter than nine elements exhibit a near-total loss of correlation selectivity. The study further shows that digital accumulation schemes, such as the 2-out-of-3 decision rule, significantly reduce the likelihood of erroneous results in noisy conditions. The obtained findings confirm that m-sequences represent a promising tool for enhancing the reliability of electronic leveling instruments operating under degraded visibility or partial occlusion.

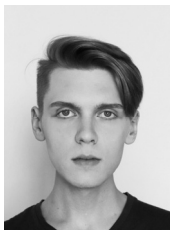
Keywords: M-sequence, coded rod, correlation processing, error-resisting coding, optical leveling.

DOI: 10.17212/1727-2769-2026-1-5-17

REFERENCES

1. Kolesnikov G.V. Sposob shtrikhovogo kodirovaniya nivelirnoi reiki [Method of bar coding a leveling rod]. *Opticheskii zhurnal = Journal of Optical Technology*, 2010, vol. 77, no. 7, pp. 34–37. (In Russian).
2. Bobrovsky V.V. Osobennosti korrelyatsionnoi obrabotki shumopodobnykh signalov v elektrorazvedochnoi apparature [Peculiarities of correlation processing of pseudonoise signals in electrical prospecting equipment]. *Geofizicheskie issledovaniya = Geophysical Research*, 2022, vol. 23, no. 2, pp. 39–54.
3. Romanov O.M., Kotiubin V.Yu. Periodicity search algorithms in digital sequences with block coding by their correlation properties. *Radio Electronics, Computer Science, Control*, 2021, no. 2, pp. 7–18. DOI: 10.15588/1607-3274-2021-2-1.
4. Kolesnikov G.V., Gibin I.S. *Kodovaya reika dlya elektronnoy nivelira* [Code rack for electronic level]. Patent RF, no. 2516031, 2012.
5. Pereira J., Ferreira H. Perfect sequences based on Golay codes for communication systems. *Digital Technologies Research and Applications*, 2024, vol. 3 (1), pp. 24–43. DOI: 10.54963/dtra.v3i1.312.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ



Костюлин Максим Эдуардович – родился в 2001 году, аспирант кафедры теоретических основ радиотехники Новосибирского государственного технического университета. Область научных интересов: локационные, навигационные и инфокоммуникационные технологии, цифровые статистические методы обработки сигналов и изображений. (Адрес: 630073, Россия, Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20. E-mail: maks.kostyulin@yandex.ru).

Kostyulin Maksim Eduardovich (b. 2001) – a postgraduate student at the department of radio engineering fundamentals in the Novosibirsk State Technical University. His research interests are currently focused on location, navigation, and information communication technologies, digital statistical methods of signal and image processing. (Address: 20, Karl Marx Av., Novosibirsk, 630073, Russia. E-mail: maks.kostyulin@yandex.ru).



Спектор Александр Аншелевич – родился в 1946 году, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой теоретических основ радиотехники Новосибирского государственного технического университета. Область научных интересов: локационные, навигационные и инфокоммуникационные технологии, цифровые статистические методы обработки сигналов и изображений. Опубликовано около 200 научных работ. (Адрес: 630073, Россия, Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20. E-mail: spectoraa@mail.ru).

Spector Alexander Anshelevich (b. 1946) – Doctor of Sciences (Eng.), professor, head of the department of radio engineering fundamentals in the Novosibirsk State Technical University. His research interests are currently focused on location, navigation, and information communication technologies, digital statistical methods of signal and image processing. He is the author of about 200 scientific papers (Address: 20, Karl Marx Av., Novosibirsk, 630073, Russia. E-mail: spectoraa@mail.ru).

Статья поступила 05 декабря 2025 г.

Received December 05, 2025

To Reference:

Kostyulin M.E., Spector A.A. Kodirovanie nivelirnoi reiki s ispol'zovaniem M-posledovatel'nostei i otsenka ustoichivosti izmerenii v usloviyakh anomal'nykh vozdeistvii [Encoding of a leveling rod using M-sequences and assessment of the stability of measurments under anomalous conditions]. *Doklady Akademii nauk vysshei shkoly Rossiiskoi Federatsii = Proceedings of the Russian Higher School Academy of Sciences*, 2026, no. 1 (70), pp. 5–17. DOI: 10.17212/1727-2769-2026-1-5-17.