

К ВОПРОСУ АВТОМАТИЗАЦИИ ИЗМЕРЕНИЯ ПРЕВЫШЕНИЙ

Аспирант Г. В. Колесников

Новосибирский государственный технический университет

Аннотация. Предлагается метод штрихового кодирования для электронного нивелирования. Штрих-кодовая последовательность построена на базе циклических кодов. Представлены три варианта штрих-кодовой последовательности. Два из них основаны на коде Рида-Соломона, один — на двоичном циклическом коде. Описана схема эксперимента, проведенного для практической проверки предложенного метода. Кратко изложены результаты практической работы, а также выводы, соответствующие текущему этапу работы.

Идея автоматизировать процесс оптического нивелирования с помощью использования штрихового кода впервые была предложена проф. Цетше еще в 60-х годах прошлого века. Однако характеристики существовавших в то время фотоприемников, а также отсутствие должной элементной базы не позволили использовать их практически.

Изобретение ПЗС-технологии способствовало развитию дальнейших работ по этому направлению, и в 1990 г. фирма Leica представила первый серийный нивелир с возможностью отсчитывания по штрихкодовой рейке. Характеристики электронных нивелиров: высокая точность (ошибка определения превышения прецизионного электронного нивелира не превышает 0,3–0,4 мм на километр двойного хода [1]), производительность, а также минимизация субъективных погрешностей исполнителя работ быстро принесли им признание.

В настоящее время за рубежом электронные нивелиры разрабатывают и выпускают несколько фирм-производителей. Российские предприятия по-прежнему выпускают только оптические нивелиры, несмотря на то, что их автоматизация не требует сложного изменения конструкции прибора.

Общее устройство электронного нивелира представлено на рис. 1. Зрительная труба 1, снабженная компенсатором наклона 2, формирует изображение кодовой рейки, которое через светоделитель 3 проецируется на многоэлементный приемник 5. Электронный блок 6 производит обработку данных, полученных приемником, определяет искомый отсчет по рейке, длину плеча и превышение на станции. Для визуального наведения на рейку инструмент снабжен окуляром 4. На обратную сторону штрих-кодовой рейки, как правило, наносится E-разметка, что, в случае необходимости, позволяет исполнителю использовать электронный нивелир как оптический.

Характеристики электронного нивелира определяются, прежде всего, методами коди-

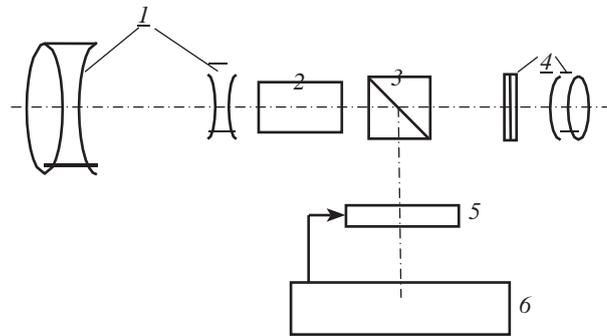


Рис. 1. Схематическое устройство электронного нивелира:

1 – зрительная труба; 2 – компенсатор наклона; 3 – светоделитель; 4 – окуляр; 5 – МФПУ; 6 – электронный блок

рования и декодирования отсчетов по нивелирной рейке. Каждый производитель по-своему решает задачу кодирования нивелирной рейки. Так, Торсон использует штрихкодовую последовательность, в которой совмещены три простых кода [2]. Два из них являются функциями синуса с различными периодами, третий служит опорным сигналом.

Нивелирные рейки Leica и Sokkia (RAB-код) используют апериодический псевдослучайный код [3–6]. Основное требование к любому коду — возможность однозначного точного считывания по нивелирной рейке, вне зависимости от масштаба изображения и величины линейного поля зрения. В качестве основы для построения штрихкодовой последовательности рейки автор предлагает использовать циклический код. Отсчеты по рейке, соответствующие горизонтальной визирной оси нивелира, образованы на основе циклического сдвига и арифметических действий над несколькими predetermined кодовыми комбинациями. Каждый отсчет является самостоятельной кодовой комбинацией, которая может быть декодирована независимо от остальных.

Предложенный метод кодирования имеет ряд преимуществ перед существующими методами. Основные из них — корректирую-

щая способность и высокая степень отличия штрихкодовых фрагментов, что в конечном итоге увеличит максимальную дальность работы прибора.

Элементы кодовых комбинаций на рейке выражаются символами одномерного штрихкода. Геометрические параметры штрихового представления рассчитываются для уверенного считывания внутри большей части рабочего диапазона расстояний до рейки — длин плеч. Для отсчитывания по рейке в «ближней» зоне, когда в поле зрения прибора помещается фрагмент кода меньше одной комбинации, основная последовательность модулируется дополнительным кодом. Символы дополнительного кода имеют значительно меньшие размеры, чем элементы основного кода, и не разрешаются прибором вне «ближней» зоны. Однозначное отсчитывание по дополнительному коду происходит по нескольким черно-белым переходам. Максимальное удаление, на котором штрихкод еще считывается нивелиром, определяется уровнем освещенности, параметрами регистрирующего прибора и корректирующими свойствами предложенного кода.

Для практической проверки предложенного метода были разработаны три варианта штрихкодовой последовательности: один основан на двоичном циклическом коде (вариант №3), два других — на коде Рида-Соломона (поле Галуа $GF(2^4)$ — вариант №1, поле Галуа $GF(2^3)$ — вариант №2) [7, 8] (табл. 1).

Информационные элементы не играют определяющей роли и выбираются из соображений улучшения тех или иных характеристик всего кода. Например, исходная комбинация для двоичного циклического кода была принята «1 1 1 0 1 0 0». Нетрудно видеть, что первые пять элементов слова представляют собой последовательность Баркера. Использование такой последовательности значительно повышает эффективность корреляционных методов.

Для практической проверки предложенного метода кодирования был собран стенд (рис. 2). Предложенные штрихкоды 2, напечатанные на фотошаблоне, крепились на металлическую пластину 3. Геометрическая длина каждого штрихкода составляла 380–420 мм, пластина 3 снабжена отсчетным микровинтом для прецизионного смещения вдоль направления штрихкода.

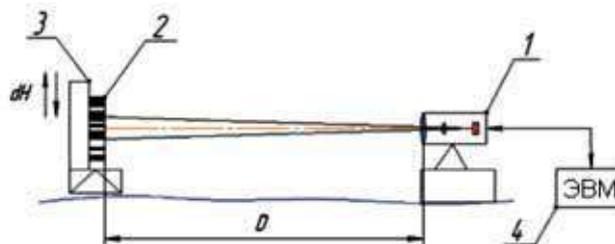


Рис. 2. Схема стенда:

1 — прибор регистрации; 2 — штрихкод; 3 — пластина;
4 — компьютер

Главной задачей опытов было определение относительного смещения пластины по анали-

Параметры предложенных кодов

Т а б л и ц а 1

Код — параметры	Вариант №1	Вариант №2	Вариант №3
Длина кодовой комбинации, N (элементов кода)	15	7	7
Количество информационных элементов, K (элементов кода)	9	3	4
Порождающий полином $g(x)$	Вычислялся программно как $g(x) = (x - \alpha)(x - \alpha^2) \dots (x - \alpha^{p-1})$, где α — примитивный элемент поля GF		$g(x) = x^3 + x + 1$
Количество исправляемых ошибок S (элементов кода)	3	2	1
Представление элементов основного кода	Представление элементов кода штрихкодовыми рисунками с постоянным интервалом между центрами черных штрихов		Представление элементов кода штрихкодовыми рисунками постоянной длины
Уменьшение размера оригинального интервала кода для работы в ближней зоне	Модуляция основного кода		

зу штрихкода и сравнение его с истинным. За истинное значение смещения в эксперименте принималось показание шкалы микровинта (цена деления шкалы 5 мкм). В качестве прибора для регистрации I использовалась видеокамера «Koson 380С» с фотографическим телеобъективом Гелиос-44. Сигнал камеры оцифровывался устройством видеозахвата в составе ЭВМ 4. Обработка полученных изображений штрихкода и дальнейшие вычисления производились также на ЭВМ.

Для обеспечения точности изготовления печать фотошаблона со штрихкодом была выполнена с помощью лазер-гравера. Измерения на микроскопе показали, что неровность каждого черно-белого перехода составляет менее 2–3 мкм. По предварительным оценкам, используемые алгоритмы вычисления смещения более зависят от контраста изображения штрихового кода, чем от ошибок нанесения отдельных штриховых элементов.

Для различных удалений штрихкода D проводилось его прецизионное смещение микровинтом. Каждое смещение фиксировалось серией снимков ПЗС-матрицей прибора регистрации I (см. рис. 1). В основу расчета величины смещения макета штрихкода положен двухэтапный алгоритм. С помощью корреляционных методов вычислялся точный масштаб изображения и «грубое» значение смещения. Точное значение смещения определялось на основе разложения Уолша [9], по ортогональным функциям черно-белых штриховых элементов.

Всего было проведено восемь серий измерений, при удалении D от 1,6 до 7,5 м. Результаты измерений с помощью двухэтапного алгоритма, для удаления 5,5 м представлены на рис. 4.

По рис. 4 видно, что реализованный корреляционный метод, используемый на первом этапе определения смещения, дает результат с точностью до одного элемента МФПУ. Полученное «грубое» значение смещения уточняется на втором этапе алгоритма. Абсолютная ошибка определения смещения для данной серии не превышала 140 мкм, что соответствовало четверти элемента используемого фотоприемника.

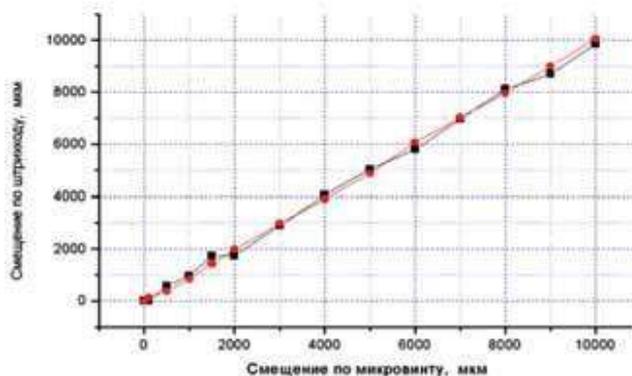


Рис. 4. График смещений, вычисленный корреляционным методом (первый этап) и конечный результат (второй этап)

По итогам проведенных экспериментов можно сделать следующие выводы:

предложенный метод кодирования и расчета смещения работоспособен и после доработки может использоваться в проведении дальнейших работ по разработке электронного нивелира;

при удалении $D = 1,8$ м среднеквадратичная ошибка определения смещения составляла 9,5 мкм, что соответствовало менее 0,1 элемента МФПУ регистрирующего устройства;

ошибки определения смещения имели выраженное знаковое «распределение», что указывает на неучтенный источник погрешности методического характера.

ЛИТЕРАТУРА

1. Колесников Г.В. Методы кодирования нивелирных реек: Сборник научных трудов НГТУ, 2009,- Вып. 2 (56). -168 с.
1. Патент EP 0 576 004 /Topcon.
2. Патент US 5.887.354 /Sokkia.
3. Патент US 6.167.629 /Sokkia.
4. Патент EP 1 593 935 A1 / Leica Geosystems.
5. Патент EP 1 593 934 A1 /Leica Geosystems..
6. Постников М.М. Теория Галуа. М.: Факториал Пресс, 2003. –304 с.

Поступила 20 октября 2009 г.
Рекомендована кафедрой оптических информационных технологий НГТУ