

СПОСОБ ШТРИХОВОГО КОДИРОВАНИЯ НИВЕЛИРНОЙ РЕЙКИ

© 2010 г. Г. В. Колесников

Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск

E-mail: koshmar@ngs.ru

Кратко изложены распространенные методы кодирования реек для электронного нивелирования. Предлагается способ штрихового кодирования, основанный на использовании циклических кодов. Представлены три варианта штрихкодовой последовательности, два из которых основаны на коде Рида–Соломона, один – на двоичном циклическом коде. Приведены фрагменты разработанных штриховых кодов рейки.

Ключевые слова: электронный нивелир, кодовая рейка, автоматизированное определение превышений.

Коды OCIS: 120.0120, 350.0350

Поступила в редакцию 26.01.2010

Введение

Последние два десятилетия за рубежом активно развиваются методы автоматизации оптического нивелирования с использованием штрихкодов. Кодирование отсчетов нивелирной рейки вместе с соответствующими алгоритмами обработки позволяют улучшить качества прибора, без внесения принципиальных изменений в его конструкцию. Кодовые (электронные) нивелиры превосходят оптические по точности определения превышения, производительности, а также свободны от “человеческого” фактора. Схематичное устройство электронного нивелира изображено на рис. 1. Зрительная труба 1, снабженная компенсатором наклона 2, формирует изображение кодовой рейки, которое через све-

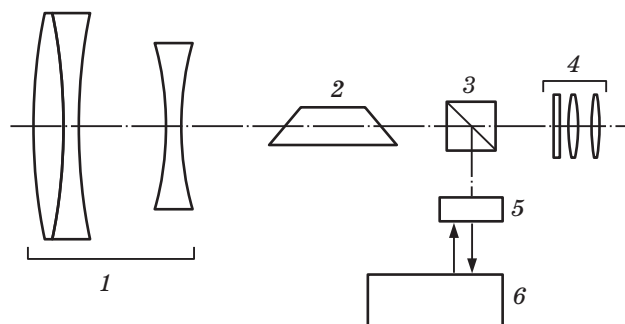


Рис. 1. Схематичное устройство электронного нивелира. 1 – зрительная труба, 2 – компенсатор наклона, 3 – светоделитель, 4 – окуляр, 5 – фотодетектор, 6 – блок обработки.

тоделитель 3 проецируется на многоэлементный фотодетектор 5. Электронный блок 6 проводит обработку принятого сигнала и определяет искомый отсчет по рейке, длину плеча и превышение на станции. Для визуального наведения на рейку инструмент снабжен окуляром 4. Важнейшие параметры прибора и, в первую очередь, точность определяются выбранными способами кодирования рейки, а также алгоритмами обработки принятого сигнала.

Известные методы кодирования

В настоящее время отечественная оптико-механическая промышленность электронные нивелиры не выпускает. Крупнейшими мировыми производителями являются компании *Trimble*, *Leica*, *Sokkia* и *Topcon*. Ниже представлено краткое описание распространенных методов кодирования нивелирных реек.

Штрихкодвая последовательность электронного нивелира *Leica* представляет собой двоичный код максимальной длины 4,05 метра [1]. Все штриховые элементы кода имеют размер, кратный базовой ширине $g = 2,025$ мм. Наибольшая встречающаяся ширина одного штриха – $15g$ (30,375 мм). Кодовая последовательность соответствует последовательности натуральных чисел, которую производитель называет псевдостохастической. Этим свойством достигается мнимая случайность, таким образом, уже относительно короткий участок кода является оригинальным.

Код нивелирной рейки *Torcon* состоит из базовых элементов трех видов: A , B и R [2]. Кодовые элементы циклически и расположены с постоянным интервалом 10 мм в последовательности $R(0), A(0), B(0), R(1), A(1), B(1)$... и т. д. Опорный кодовый элемент – эталон R для всех элементов $R(i)$ одинаковый и состоит из трех черных штрихов шириной 2 мм со светлыми промежутками в 1 мм. Общая ширина $R(i)$ при этом 8 мм. Ширина штрихов элементов кода A и B соответствует амплитудам двух функций синуса с различными периодами и изменяется от 1 до 10 мм. Значение превышения определяется по фазе кодовых элементов A и B .

В электронных нивелирах *Sokkia* используется псевдослучайный двунаправленный RAB-код [1, 3, 4]. Интервал между двумя соседними темными штрихами постоянный и составляет 16 мм. Код для грубого измерения превышения содержит только шесть различных значений ширины штриха: 3, 4, 7, 8, 11, 12 мм. Кодовая последовательность, аналогично *Leica*, выбрана так, чтобы даже короткие последовательности из 5–6 элементов были уникальными и не повторялись. Особенность кодирования у нивелира *Sokkia* состоит в том, что используют два различных алгоритма обработки:

- на близких дистанциях сравнительно мало штриховых символов четко и контрастно проецируются на приемник. Различная ширина штрихов (3, 4, 7, 8, 11 или 12 мм) может однозначно идентифицироваться программой обработки;

- при больших удалениях рейки многоэлементный фотодетектор не может уверенно различить близкие значения ширины (3 или 4, 7 или 8, 11 или 12 мм). В этом случае программа обработки рассматривает смежные элементы как одинаковые, и принятый код обрабатывается иначе, чем в ближней области.

Кодовая последовательность выбрана так, что в обоих случаях существуют уникальные кодовые фрагменты, которые позволяют выполнить однозначное сопоставление “код-высота” на рейке длиной до 10 м.

Базис кода рейки *Zeiss (Trimble)* – это регулярные интервалы длиной 20 мм [1]. Базис модулирован двухфазным кодом. Темно-светлое чередование в середине интервала базиса точно соответствует нулю, отсутствие чередования – единице. Эта информация служит для установления соответствия фрагментов рейки и высоты. Полученная кодовая последовательность повторно модулируется для измерений на дистанциях

менее 6 метров. Для считывания электронным нивелиром *Trimble DiNi* достаточно фрагмента кодовой рейки длиной 30 см, который расположен симметрично относительно визирной оси прибора.

Постановка задачи

Задача разработки методов кодирования для приборов электронного определения уровня стоит достаточно остро. Перечисленные методы кодирования осуществляют требуемые функции, однако обладают рядом существенных недостатков. Основными из них являются ограниченный диапазон возможных удалений рейки от станции и сильное влияние освещенности на работу прибора.

Целью данной работы являлась разработка способа штрихового кодирования рейки для электронного нивелирования.

Способ штрихового кодирования

Однозначное сопоставление высоты с произвольным фрагментом кода определяет требование уникальности отсчетов, а также их непрерывного расположения на рейке. Реальные условия проведения измерений: наличие препятствий между рейкой и станцией, присутствие тени на рейке или слабый контраст изображения – определяют требование к корректирующим свойствам кода.

В качестве основы кодовой последовательности рейки предлагается использовать циклический код [5, 6]. Отсчеты, соответствующие горизонтальной визирной оси нивелира, образуются с помощью циклического сдвига и арифметических операций над несколькими predetermined кодовыми комбинациями. Каждый отсчет является самостоятельной комбинацией и может быть декодирован независимо от остальных.

Разработано три варианта кодовой последовательности рейки. Вариант № 1 основан на двоичном циклическом коде: длина одной кодовой комбинации $N_1 = 7$ элементов, количество исправляемых ошибок $s_1 = 1$. Варианты № 2 и № 3 базируются на коде Рида–Соломона с параметрами $N_2 = 7$, $s_2 = 2$ и $N_3 = 15$, $s_3 = 3$ соответственно. Информационные элементы при кодировании не имеют принципиального значения и выбираются исходя из целей улучшения тех или иных характеристик. Например, для большего различия штриховых символов кодовая последовательность варианта № 2 выбрана

так, чтобы из всего алфавита на рейке присутствовало минимальное количество различных элементов кода.

Исходная кодовая комбинация штрихкода, основанного на двоичном циклическом коде (вариант № 1), была составлена так, что первые пять элементов представляют собой последовательность Баркера. Использование последовательности Баркера увеличивает эффективность корреляционных методов обработки.

Размер штрихового представления элементов кода рассчитывается с целью уверенного считывания внутри большей части рабочего диапазона расстояний до рейки. При расчетах штрихового представления были приняты следующие параметры. Характеристики зрительной трубы соответствуют серийным оптическим нивелирам, выпускаемым Уральским оптико-механическим заводом: поле зрения – $1^{\circ} 30'$, диапазон перефокусировки от 1,5 м до бесконечности, предел разрешения в центре поля зрения – $3,5''$. Размер пиксела многоэлементного приемника принят 7 мкм.

Разработанные варианты основной кодовой последовательности имели различное штриховое представление. Двоичные элементы кода варианта № 1 были представлены черными и белыми штрихами одинаковой ширины 22 мм. Для представления недвоичных элементов вариантов последовательности, основанных на коде Рида–Соломона, использовали штриховые символы переменной ширины 12–24 мм, расположенные с постоянным интервалом 30 мм.

Для работы в ближней зоне, когда в поле зрения прибора помещается фрагмент кода меньше одной комбинации, основная последовательность модулируется дополнительным кодом. Штриховые символы дополнительного кода имеют значительно меньшие размеры, чем символы основной кодовой последовательности, и не разрешаются прибором вне ближней зоны. Отсчитывание по дополнительному коду происходит по нескольким черно-белым переходам.

Использование корректирующего кода в качестве основы последовательности рейки позволяет увеличить максимальное удаление, на котором штрихкод еще считывается прибором. За счет этого могут быть снижены требования к уровню освещенности рейки.

Фрагменты разработанных штриховых кодов рейки представлены на рис. 2. и рис. 3.

Для проверки работоспособности изложенного способа штрихового кодирования был собран экспериментальный стенд. При различных уда-

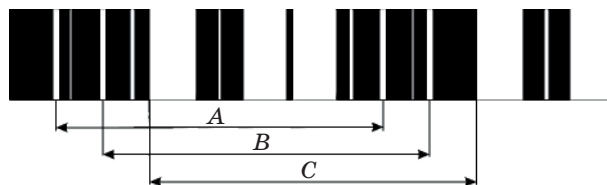


Рис. 2. Фрагмент разработанного штрихкода, вариант 1. А, В, С – отсчеты (кодвые комбинации).

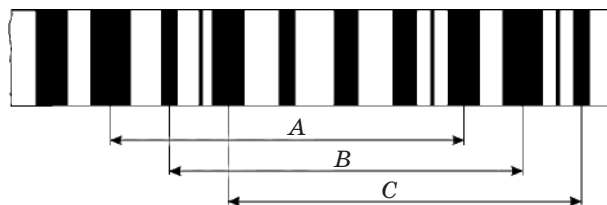


Рис. 3. Фрагмент разработанного штрихкода, вариант 2. А, В, С – отсчеты (кодвые комбинации).

лениях регистрирующего прибора определялось смещение пластины, снабженной разработанными штрихкодами. Точное определение смещения декодированного отсчета производилось с помощью разложения Уолша, по ортогональным функциям черно-белых штриховых символов. Полученное значение смещения сравнивалось с истинным, за которое принималось показание отсчетного микровинта.

Практический эксперимент подтвердил работоспособность изложенного способа кодирования. Среднеквадратичная ошибка определения смещения на длине плеча 1,8 м составляла 9,5 мкм, что в плоскости используемого фотоприемного устройства соответствовало менее одной десятой пиксела.

Заключение

Предложен способ штрихового кодирования, предназначенный для автоматизации процесса оптического нивелирования. Отсчеты рейки закодированы одномерным штрихкодом, в котором совмещены основной и дополнительный коды. Основной код построен на базе циклических двоичного кода или кода Рида–Соломона. Дополнительный код предназначен для работы в ближней зоне, когда поле зрения прибора меньше размера комбинации основной кодовой последовательности.

Описанный способ кодирования имеет ряд преимуществ перед существующими методами.

Главные из них – корректирующая способность и высокая степень отличия штрихкодовых фрагментов, что, в конечном результате, позволит увеличить максимальную дальность работы прибора.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Deumlich F., Steiger R.* Instrumentenkunde der Vermessungstechnik. Heidelberg. Herbert Wichmann Verlag, 2002. 180 s.
 2. *Kawashima Shinji, Kumagai Kaoru, Furuya Kiichi, Ontomo Fumio.* Electronic leveling apparatus and leveling staff used with the same // Patent EP 0 576 004. 1993.
 3. *Takashi Nagao.* Electronic level and leveling rod for use in electronic level // Patent US 5.887.354. 1999.
 4. *Minoru Chiba.* Electronic level and a leveling rod for use in combination with the same // Patent US 6.167.629. 2001.
 5. *Берлекэмп Э.* Алгебраическая теория кодирования: Пер. с англ. М.: Мир, 1971. 380 с.
 6. *Мак-Вильямс Ф.Дж., Слоен Н.Дж.А.* Теория кодов, исправляющих ошибки: Пер. с англ. М.: Связь, 1979. 744 с.
-