

МЕТОДЫ КОДИРОВАНИЯ НИВЕЛИРНЫХ РЕЕК

Г.В. КОЛЕСНИКОВ[♦]

Сформулированы основные факторы, определяющие использование штрихового кода для точного измерения превышения – электронного нивелирования. Перечислены распространенные способы кодирования нивелирных реек, их достоинства и недостатки.

Развитие измерительной техники предполагает постоянное повышение ее точности. Традиционно применяемые геодезические приборы определения разности уровня – оптические нивелиры получили дальнейшее развитие на основе технологий штрихового кодирования. Электронные, или кодовые, нивелиры значительно превосходят традиционные оптические по точности определения превышения (до 0,3 мм на км двойного хода) и дальности (точность до 10 мм на дистанциях 20–50 м) и пользуются все большим спросом в геодезии, строительстве и прецизионном мониторинге объектов.

Конструктивно оптические и электронные нивелиры сходны. Основное отличие – наличие в электронном нивелире оптического канала, служащего для проецирования изображения штрихкодовой рейки на фотоприемник, и вычислительного модуля. Так же как и оптический, электронный нивелир включает коллимационную систему для наведения визирной оси прибора на рейку. Обратная сторона штрихкодовой рейки имеет, как правило, стандартную E-разметку, поэтому при необходимости оператор может визуально считывать значение уровня, как в традиционном оптическом нивелире.

Алгоритм получения текущего превышения и дальности до рейки, заложенный в вычислительный модуль электронного нивелира, определяется выбранным способом кодирования.

Используемый штриховой код разрабатывается с учётом специфики работы прибора. Основными факторами являются:

- конечный размер поля зрения прибора. В зависимости от удаления нивелирной рейки на фотоприемник проецируется участок рейки различного размера. Характерный угловой размер поля зрения нивелира составляет 1–2°. Размер поля зрения ведет к необходимости однозначно определять уровень высоты по ограниченному участку штрихкода;

[♦] Аспирант кафедры оптических информационных технологий, магистр по направлению «Оптехника»

- ограниченное геометрическое разрешение прибора, определяемое величиной элемента приемника. ФПУ, используемые в электронных нивелирах первого поколения, имеют размер элемента около 10 мкм;
- масштаб изображения кодовой рейки, которой может меняться в значительном диапазоне;
- наличие помех различной природы. К основным источникам помех можно отнести влияние атмосферы, неоднородность излучения сторонних источников света, возможное наличие теней, препятствия, частично заслоняющие нивелирную рейку;
- необходимость измерять превышение и дальность как при прямом, так и при перевернутом положении кодовой рейки.

Решая задачу построения электронного нивелира с учетом названных факторов, каждый производитель разрабатывает свой способ кодирования рейки и метод обработки принятого изображения. Способы записи информации о превышении условно можно разделить на две группы: запись непрерывного логического сигнала вдоль всей длины рейки и запись вдоль рейки кодовых блоков, обозначающих метки уровня.

Коды первой группы используются, например, в электронных нивелирах Topcon и Leica. Как один из вариантов [1, 3] Topcon представляет организацию штрихкодовой последовательности, в которой совмещены три простых кода. Участки трех простых кодов A , B и R чередуются последовательно вдоль всей длины рейки. Расстояние между участками постоянное и составляет 10 мм. Штрихкодовые участки кодов A и B представляют собой один черный штрих, размещенный по центру участка. Ширина штриха для A и B изменяется от 2 до 10 мм пропорционально функции синуса с различными для A и B периодами (600 и 570 мм). Опорный код R представляет собой постоянный на всех своих участках триплет штрихов. Значение превышения при таком кодировании однозначно может быть определено по разности фаз кодов A и B . Параметры штрихового кода оптимизированы для анализа с использованием преобразования Фурье с целью спектрального разделения сигналов трех кодов и анализа фаз кодов. Грубое значение превышения определяется номером принятого блока трех штриховых символов A , B и R . Для точного определения уровня внутри интервала одного периода штрихов рейки (10 мм) определяется фаза положения элемента сенсора.

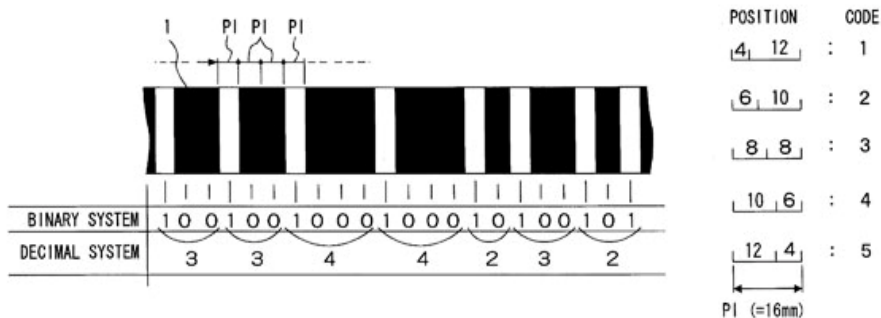
В качестве основы одного из используемых методов кодирования Leica взят апериодичный псевдослучайный двоичный код [4], который также можно отнести к первому типу организации штрихкода. Представленные в виде штриховых символов с размером элемента около 2 мм фрагменты данного кода размером более 30 мм уникальны. Определение превышения

производится двухэтапной корреляцией принятого сигнала с сигналом, сохраненным в памяти прибора. Высокая точность расчета коэффициентов корреляции накладывает жесткие требования к вычислительному блоку нивелира.

Недостатком данного метода являются необходимость предварительного определения масштаба, для чего в первые модели приборов в фокусирующий механизм встраивали датчик положения. К недостаткам такого метода кодирования можно отнести и значительное снижение эффективности корреляционного метода при работе с низкоконтрастными изображениями штрихкода, что часто наблюдается, например, при слабом освещении.

Коды, в которых метки превышений представлены в виде меток уровня, выраженных блоками штриховых символов, используются в электронных нивелирах Sokkia, Trimble (ранее – Zeiss), а также Leica.

Компания Sokkia использует RAB-код (Random Bidirectional Code) – штрихкод, составленный из шести типов кодовых комбинаций, соответствующих шести типам чисел [6]. На участок кода одинаковой ширины $PI=16$ мм черного цвета нанесен тонкий белый штрих. Этот штрих делит ширину участка на две части с заданным соотношением. Числам от 1 до 5 соответствуют отношения 4:12, 6:10, 8:8, 10:6 и 12:4. Ноль обозначается белым штрихом шириной также 16 мм с нанесенным по центру тонким черным штрихом (пропорция 8:8). На ближних дистанциях до рейки прибор разрешает тонкие штрихи и производит прямое декодирование меток высоты. На дальних дистанциях кодовые последовательности чисел «1»–«5» сливаются, образуя черные штрихи, разделенные белыми штрихами «нулевой» кодовой последовательности (см. рисунок).



RAB код Sokkia на большой дальности

При этом исходный код преобразуется в определенный двоичный неравномерный код с постоянным весом. Комбинациями полученного кода соответствуют десятичные числа, которые также обозначают метки превышений для работы на больших дистанциях. Грубое определение превышения осуществляется независимо от дальности сравнением принятого кода с кодом из постоянной памяти прибора. Недостатком кода является низкая, по сравнению с аналогами, точность (1 мм на километр двойного хода для нивелира SDL 30).

С целью увеличения плотности записи информации в штрихкоде наряду с развитием кодирования черно-белыми элементами предпринимаются попытки спектрально разделить элементы штриховой последовательности. Так, патентный документ Leica [9] раскрывает способ организации штрихкода, в котором наряду с черными штрихами на белом фоне используются штрихи пурпурного, голубого и желтого цветов. При измерениях прибор идентифицирует кодовые блоки по цвету, ширине штрихов и интервалов между ними. Одним из недостатков использования цветных штриховых символов является требование высокой освещенности рейки, так как при недостаточном уровне подсветки цвета штрихов трудно разрешимы.

Несмотря на весьма ограниченный диапазон дальностей работы электронных нивелиров, высокая точность измерений позволяет им занять свою нишу среди геодезических приборов определения уровня. Основные параметры электронных нивелиров сведены в таблицу.

Условие достаточного и равномерного освещения нивелирной рейки любого кода ведет к существенному ограничению области использования электронных нивелиров.

Таким образом, основными недостатками существующих электронных нивелиров можно считать ограниченную дальность работы, которая составляет 1,5–110 м, и сильную зависимость прибора от уровня освещения рейки. Точности измерения превышений электронными нивелирами составляют десятые доли миллиметра, что требует обязательного учета влияния атмосферы и термического расширения носителя кода.

Названные недостатки существующих нивелиров доказывают актуальность разработки методов кодирования для приборов электронного определения уровня. Принципиально новый алгоритм получения уровня, не требующий существенного изменения конструкции прибора, позволит значительно расширить область использования электронных нивелиров, в первую очередь по характеристикам дальности работы и доступности цены.

Основные параметры электронных нивелиров

Нивелир / параметры	DL 101 C Topcon	DiNi07 Trimble	Sprinter 250 Leica	DNA03 Leica	SDL 30Sokkia
Точность измерения превышения, мм/км двойного хода					
Инваров. рейка	0,4	0,7	0,7	0,3	1,0
Обычная рейка	1	1,3	1	1	–
Точность определения расстояния	3–5 мм ($D=10$ м)	25 мм ($D>20$ м)	10 мм ($D>10$ м)	10 мм ($D=20$ м)	0,1%D ($D=10\dots50$ м)
Рабочий диапазон дальности, м	2–100 (2–60 со стекловолоконной рейкой)	1,5–100	2–100	1,8–110	1.6–100
Увеличение оптической системы	32x	26x	24x	24x	32x
Кодирование	Три составляющих кода, два из которых базируются на синусе с различными периодами	Двухфазная модуляция кода, основанного на базовом элементе 20 мм	Псевдослучайный аперiodический код с элементом от 2 мм	–	RAV-код, основанный на базовом постоянном интервале
Обработка сигнала	Детектирование краев штрих-кода, БПФ, полное кодирование	–	Двухступенчатая корреляция	–	Детектирование краев, различное кодирование для ближней и дальней дистанций

- [1] Патент EP 0 576 004 /Topcon.
- [2] Feist W., Guertler K., Marold T. et al. H. Die neuen Digitalnivelliere DiNi10 und DiNi20. Vermessungswesen und Raumordnung, Heft 2, 1995.
- [3] Bernd B. Anwendungen der Digitalen Bildverarbeitung in der geodaetischen Messtechnik.
- [4] Ingensand. H. Die Entwicklung von Digitalnivellieren und Codelatten. AVN 6 / 2005.
- [5] Ingensand H. Neue digitale Nivellier Techniken und ihre Anwendungen // Vermessung Photogrammetrie Kulturtechnik. – 1995. – Nr. 4.
- [6] Патент US 5.887.354 /Sokkia.
- [7] Патент US 6.167.629 /Sokkia
- [8] Патент US 6.512.859 /Sokkia
- [9] Патент EP 1 593 935 A1 / Leica Geosystems
- [10] Патент EP 1 593 934 A1 /Leica Geosystems.
- [11] Fuhrland M. Die leuchtende Nivellierlatte – Praezision ohne Invarband. ZfV Heft 2 / 2006.
- [12] Casott N. Erfassung des Einflusses der «turbulenten Refraktion» auf optische Richtungsmessungen mit CCD-Sensoren: dis. zur Erlang. des Grades Doktor-Ingenieur. – Bonn, 1999.