

ОПТИЧЕСКИЕ И ЛАЗЕРНЫЕ ДАТЧИКИ СКОРОСТИ И ДЛИНЫ

С.Ф. Растопов (ООО «Сенсорика-М»)

Приводится краткий обзор принципов измерения скорости и пройденного пути (длины) бесконтактными лазерными и оптическими датчиками и демонстрируются технические параметры этих приборов на примере продукции предприятия ООО «Сенсорика-М» (г.Москва).

Ключевые слова: измерение скорости, измерение пройденного пути, бесконтактные лазерные датчики, бесконтактные оптические датчики.

Рассмотрим сначала лазерный датчик, как наиболее простой. Итак, есть движущийся объект, осветитель этого объекта (иначе ничего не увидим) и оптическая система, регистрирующая отраженный сигнал (просто линза и фотодетектор — ФД). Объект неоднороден по яркости и шероховатости, поэтому при движении ФД будет регистрировать сигнал, частота которого пропорциональна скорости. Характерное значение этой частоты определяется линейным размером области регистрации ФД и временем пересечения этой области элементом объекта. В принципе задача решена, но очень неточно. Это так называемый низкочастотный сигнал.

Для увеличения точности измерений необходимо сузить спектр частот, генерируемый движущимся объектом. И для этого есть радикальное средство — пространственный фильтр. Это термин из области оптических растровых датчиков. В случае лазерных датчиков — это просто создание интерференционной картины, то есть периодической модуляции освещенности объекта в пределах лазерного пучка (область детектирования). Это возможно благодаря свойству когерентности лазерного излучения, — все фотоны в пучке сфазированы. Достаточно разделить исходный пучок на два и свести их под углом к другу. Это и есть в данном случае пространственный фильтр. Теперь любой перепад профиля или яркости объекта, пересекающий эту периодическую структуру, даст отраженный сигнал, интенсивность которого промодулирована с частотой «период освещенности» — «скорость его пересечения». При этом, чем больше число созданных периодов, тем уже спектр сигнала, — единичный перепад профиля или яркости объекта будет генерировать не один импульс, а множество (цуг) импульсов, число которых определяется числом периодов интерференционной картины. На практике, например, при диаметре пучка на объекте 5 мм и периоде интерференции 0,05 мм получаем 100 штрихов интенсивности цугов сигнала, то есть спектр сузился примерно в 100 раз по сравнению с вышеописанным низкочастотным сигналом (который теперь малоинформативный, более того мешает и так и называется — паразитный). Отметим, что достаточно 20...30 штрихов для достижения точности измерений лучше 0,1%. В случае оптических датчиков объект освещается однородным источником (просто лампочка или светодиод), а периодическая структура (растр) находится внутри датчика. При этом он получается гораздо более защищенным

(как в спорте — санки и бобслей), но возникает множество проблем, основная из которых — зависимость частотного отклика (коэффициент пропорциональности между частотой регистрируемого сигнала и скоростью объекта в Гц/(м/с)) от расстояния до объекта. Забегая вперед, отметим, что сейчас эта проблема решена кардинально.

Подробный обзор по лазерным и оптическим датчикам скорости (способы создания пространственных фильтров, методы обработки сигналов и т.д.) представлены в монографии [1].

Производителей реальных бесконтактных датчиков в мире не так много — порядка десятка фирм выпускают лазерные датчики, еще меньше — оптические. В данной статье рассмотрим подробнее датчики обоих типов, производимые российской фирмой «Сенсорика-М». Поскольку фирма недавно вышла на этот рынок, при создании датчиков использовались самые последние достижения как в области «железа», так и в математических алгоритмах обработки сигнала, а также оригинальные технические решения, созданные совместно со специалистами Института общей физики РАН. Например, оригинальный оптический моноблок для лазерного датчика, основанный на принципе деления пучка по волновому фронту обеспечивает стабильную интерференционную картину, нечувствительную к изменениям температуры, с нулевой разностью хода пучков, что обеспечивает максимальный контраст штрихов в большом диапазоне расстояний до объекта. При этом отсутствуют какие-либо юстировки оптического блока. Оптическая схема приемной растровой системы оптического датчика полностью устраняет зависимость измеренной скорости от расстояния до объекта при сохранении высокой светосилы оптики. На данное техническое решение получены патенты России и Германии [2].

В приемной аналоговой электроники и в части аппаратной обработки сигнала также используются самые современные микросхемы и микроконтроллеры с сигнальными процессорами, что позволяет измерять скорость с высокой частотой и реализовывать различные выходные сигналы — аналоговые, частотные, цифровые. Выпускается широкая линейка датчиков обоих типов с номинальными расстояниями до объекта от 15 до 130 см и диапазоном измеряемых скоростей от 0,01 до 100 м/с для самых различных применений в промышленности и на транспорте (подробнее можно посмотреть на сайте компании).



Оптический датчик ИСД 3 и лазерный ИСД 5, закрепленные на автомобиле во время тестовых заездов

1 м/с данные текущей длины будут иметь квант $(1 \text{ м/с}) / (0,02 \text{ с}) = 2 \text{ см}$, чего может быть недостаточно. Однако есть также импульсный выход длины с коэффициентом, например 1000 Гц на 1 м/с или 1000 импульсов на метр. Частота на этом выходе обновляется 50 раз в секунду, так что при любой скорости квант измеренного пути равен 1 мм. Очевидно, можно выставить и 10 тыс. имп./м, и считать точность измерений длины идеальной, а конечная точность ограничивается уже механикой режущего механизма.

Приведем несколько примеров применения датчиков с оценкой точности и повторяемости измерений.

Тест лазерного датчика ИСД-5 для дорожных применений

Высота установки датчика — примерно 50 см (допустимо 35...65 см). Частота измерений: 54,2 Гц, пределы измерения скорости: 0,02...110 Км/ч. Проезд по замкнутой траектории длиной около 1 км (в условиях города, день, солнечно, температура -7°С). Движение с переменной скоростью (0...50 км/ч) с несколькими остановками. Результаты измеренного пути по трем заездам: 1055,740 м, 1056,244 и 1055,33 м, то есть повторяемость измерений составила <0,05%, причем сюда входит и неидеальность повторения траектории.

Прохождение дистанции с использованием двух датчиков (оптический и лазерный параллельно)

Оба датчика устанавливались на автомобиле, как это представлено на рисунке.

Номинальная высота оптического ИСД-3—50 см, лазерного ИСД-5 —130 см, но установлен он на высоте 100 см. На прямом участке асфальтовой дороги проведено 4 заезда (по 2 в каждую сторону) примерно одинаковой длины, и сравнивалась относительная разность показаний датчиков. Результаты представлены в таблице.

Таким образом, реальное качество измерений обоих датчиков в дорожных применениях одинаково и относительная повторяемость измерений составляет сотые доли процента. При этом отметим, что вообще для дорожных применений предпочтительно использовать оптический датчик, поскольку он значительно более устойчив к внешним неблагоприятным условиям, как это упоминалось выше (температура, снег, дождь), в частности, он малочувствителен к загрязнениям входной оптики. Это как фотоаппарат — объектив может быть совсем грязным, но фотографировать в принципе не мешает. В то же время попадание, например, капли воды на выходную оптику лазерного датчика может сильно исказить интерференционную картину на объекте.

Таблица. Результаты параллельного измерения одного и того же пути датчиками ИСД-3 и -5

Номер заезда	ИСД-316, м (изм 23,6 Гц)	ИСД-505, м (изм 40,6 Гц)	Отн. Разница, % $(V_3/V_5 - 1) * 100$
1	1345,68	1345,01	- 0,05
2	1394,01	1395,08	0,07
3	1382,51	1382,73	0,016
4	1345,14	1343,06	-0,15
Средняя относительная разница			0,03 ± 0,1 %

В 2014 г. лазерный датчик внесен в Госреестр СИ (средств измерений), оптический датчик будет внесен в Госреестр в 2018 г.

Отметим, что оба типа датчиков измеряют пройденный путь (длину, которая обычно и требуется на практике) по измеренной скорости (интеграл скорости по времени). При этом техническая точность измерений (возможности датчика в смысле повторяемости измерений) уже достигла своего практического предела и превышает обычные потребности практики. Например, в технических данных приводится точность измерений длины <0,1% — это некоторая условность, поскольку зависит от самой длины и возможностей независимой проверки этой точности (реально это может быть гораздо точнее, см. примеры измерений далее). Поэтому теперь основной упор делается на надежность измерений, то есть отсутствие сбоев при самых различных условиях и типах поверхностей.

Еще об измерении длины в стандартных промышленных задачах, а именно: имеется некоторый длинномерный движущийся объект (металлическая полоса, стеклянное полотно, текстиль и др.), который нужно нарезать на куски определенной длины. Датчик должен выдать сигнал на исполнительный механизм по достижении этой длины. Пусть имеется цифровой выход (Ethernet, USB и т. д.), с которого можно считать текущую измеренную длину. Например, при частоте измерений 50 Гц и скорости объекта

Данные датчики используются и в промышленности. Приведем только один яркий демонстрационный пример: измерение длины стекла. Объект: вращающийся диск из полированного стекла с максимально чистой поверхностью. Измеритель — лазерный, с номинальным рабочим расстоянием 130 см (в реальности стекло горячее, поэтому требуются измерения с больших дистанций). На диске нанесена метка — начало и конец измерений окружности, которая считывалась датчиком. Длина измеряемой окружности — 2,173 м. Проведено две серии измерений по 7 и 11 измерений. Средняя измеренная длина составила 2,1732 и 2,1733 м при стандартном отклонении 0,034 и 0,036%.

Из последних разработок ООО «Сенсорика-М» можно также упомянуть двумерные лазерные датчики, позволяющие, в частности, измерять поступательную скорость вращающейся на рольгангах

трубы — актуальная задача на участках нанесения изоляции на трубопрокатных заводах. И уж совсем экзотика — измерение скорости подводных аппаратов относительно среды (экспериментальный образец демонстрировался на форуме «Морская индустрия России»).

Таким образом, «наши» бесконтактные датчики пути — скорости ни в чем не уступают мировым аналогам, а зачастую и превосходят их. При этом стоят на данный момент в несколько раз дешевле.

Список литературы

1. *Y. Aizu T. Asakura*. Spatial Filtering Velocimetry, Fundamentals and Applications, Springer Series in Optical Sciences (Book 116), 2005, 212p.
2. *Растопов С.Ф.* Способ растрового оптического измерения скорости объекта. Патент РФ № 2482499 и Патент DE 11 2011 102 253 B4. 2013.

*Растопов Станислав Федорович — канд. физ-мат. наук, технический специалист
ООО «Сенсорика-М» (Москва).*

*Контактные телефоны (499) 753-39-90, (499) 487-03-63.
E mail: info@sensorika.com*



Новая версия 8.0 среды автоматизированного тестирования Cantata

Среда автоматизированного модульного и интеграционного тестирования Cantata фирмы QA Systems (Германия) предназначена для тестирования программного обеспечения на языке C/C++ встраиваемых систем, подлежащих сертификации по стандартам безопасности ПО.

Новый основной релиз 8.0 включает ряд новых функций, главными из которых являются Code Change Analysis (управление внесением изменений в тесты при изменениях в исходном коде) и Target Deployment Switching (адаптация одного и того же набора тестов в случае использования ПО на различных аппаратных платформах с различными

инструментальными средствами). Полное описание What's New in Cantata 8.0 и форма заказа пробной версии на странице <http://www.qa-systems.com/tools/cantata/>.

Новая версия 8.0 будет доступна с мая 2018 г. Как и предыдущие версии 7.x, она будет вскоре после выпуска сертифицирована SGS-TuV Saar GmbH на соответствие стандартам безопасности IEC 61508 (промышленное оборудование), EN 50128 (железнодорожные системы), IEC 60880 (системы безопасности атомных станций), ISO 26262 (автоэлектроника), IEC 62304 (медицинская техника). Так же как версии 7.x, 8.0 будет сопровождаться комплектом квалификационных материалов по требованиям DO-178C (авионика). Среда Cantata применяется также при разработке ПО космических систем по требованиям ECSS-E-40 и NASA-8719.13C.

Среда Cantata имеет более чем 20-летнюю историю. Она является развитием среды IPL Cantata ++, интеллектуальная собственность на которую была приобретена компанией QA Systems у компании IPL в 2012 г.

Дистрибьютор компании QA Systems в России — компания «АВД Системы», поставщик средств разработки программного обеспечения критически важных для безопасности сертифицируемых встраиваемых компьютерных систем.

[Http://www.avdsys.ru/test](http://www.avdsys.ru/test)

