

Свиридов Вячеслав Павлович,
к.т.н., доцент, ЭСИБ СамГТУ,
Самара

Нагрецкий Богдан Игоревич,
Студент, ЭСИБ СамГТУ,
Самара

Коновалов Георгий Сергеевич,
Студент, ЭСИБ СамГТУ,
Самара

ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ БЕСКОНТАКТНОГО ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ОБЪЕКТА

Аннотация: В статье рассматриваются основные методы бесконтактного измерения скорости движения объекта

Ключевые слова: Бесконтактные измерения, автомобиль, корреляция, спектральное измерение.

Задачи прецизионного бесконтактного измерения скорости движения изображения возникают в металлургии, в полиграфической и текстильной промышленности для измерения скорости проката различных материалов, при аэрофотосъемке для оценки смаза движущегося изображения, а также для оценки характеристик вновь разработанных автомобилей и других транспортных средств

Бесконтактные системы измерения скорости движения можно разделить, по виду используемого сигнала, на радиолокационные и оптикоэлектронные системы [1-3]. Оптикоэлектронные системы (ОЭС) измерения для большинства применений представляют значительный интерес, т.к. обладают высокой точностью измерения за счет использования оптических систем и фоточувствительных приборов с высоким разрешением. Их достоинством является то, что в большинстве этих ОЭС используется пассивный метод измерения, т.е. они воспринимают отраженное излучение поверхностей и объектов без облучения их зондирующим светом, тогда как радиолокационные системы являются активными.

Методы измерения скорости в ОЭС можно разделить на четыре большие группы (рис.1):

- методы, основанные на анализе пространственных частот поверхностей;
- методы слежения за характерным участком изображения поверхности;
- корреляционные методы;
- градиентные методы.

В корреляционных методах [3,5,6] в качестве информативного отличительного признака используется функция распределения освещенности фрагмента изображения яркостного объекта. Величина смещения изображения определяется путем слежения за экстремумом взаимно корреляционной функции (ВКФ) с помощью поисковых и беспоисковых систем экстремального регулирования [8].





Рис.1 Методы измерения скорости в ОЭС

Корреляционный метод измерения скорости движения можно разделить на три группы: автокорреляционные, спектральные и взаимно корреляционные.

Основными элементами корреляционных измерителей скорости являются корреляторы, экстремальные регуляторы и блоки регулируемой задержки. Применение многоэлементных линейных фотоприёмников и ПЗС-матриц, а также цифровых корреляторов позволило расширить функциональные возможности и уменьшить погрешности корреляционных измерителей до десятых долей процента.

Сущность корреляционного метода измерения скорости можно проиллюстрировать на примере измерения скорости ленты.

Лента движется со скоростью v . На расстоянии l друг от друга установлены две оптические системы, содержащие осветители и оптико-электронные преобразователи. Выходные сигналы преобразователей усиливаются усилителями и подаются на входы коррелятора, причем сигнал с выхода одного из усилителя проходит через блок регулируемой задержки.

Неоднородность поверхности контролируемой ленты приводит к модуляции яркости сигналов, воспринимаемых оптико-электронными преобразователями, и соответственно к модуляции электрических сигналов на выходах усилителей.

Очевидно, что взаимная корреляционная функция этих сигналов

$$R(\tau) = \frac{1}{T} \int_0^T f_1(t) \cdot f_1(t - \tau) dt$$

будет иметь максимум при временном сдвиге $\tau = l/v$, равном времени прохождения лентой расстояния l между оптическими системами. Задержка сигнала с выхода усилителя на

время τ осуществляется блоком регулируемой задержки, который управляется сигналом с выхода экстремального регулятора, обеспечивающего максимальное значение сигнала на выходе коррелятора.

Корреляционный метод измерения скорости находит практическое применение в таких задачах, как измерение скорости проката, скорости движения судна (относительно дна водоёма) и т. п. При этом обеспечивается весьма высокая точность измерений. Так погрешность корреляционного измерителя скорости проката составляет 0,1%.

Известно, что спектр $S(\omega)$ и корреляционная функция стационарного случайного процесса связаны друг с другом парой преобразований Фурье (теорема Хинчина-Винера) /75/:

$$S(\omega) = 2 \int_{-\infty}^{\infty} R(\tau) * e^{-i\omega\tau} * d\tau = 4 \int_0^{\infty} R(\tau) * \cos\omega\tau * d\tau$$

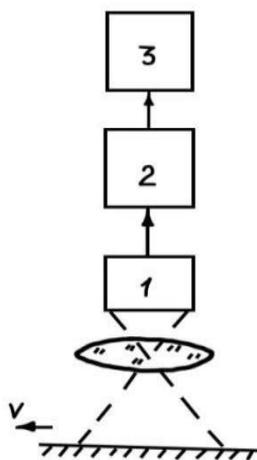
$$R(\tau) = \frac{1}{4\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S(\omega) * e^{j\omega\tau} * d\omega = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\infty} S(\omega) * \cos\omega\tau * d\omega$$

Принципы построения спектральных ОЭС аналогичны автокорреляционным. Блок-схема ОЭС определения скорости движения, измеряющей уровень одной фиксированной составляющей ω_1 частотного спектра, показана на рисунке 3, а на рисунке 4 приведены кривые, иллюстрирующие зависимость спектральной плотности $S(\omega)$ от частоты ω при различных значениях скорости движения V .

На рис.2 приведена блок-схема измерителя скорости движения проката с фиксацией уровня спектральной плотности, а на рис 3 – зависимость $S(\omega) = f(\omega)$ при различных значениях скорости движения V , иллюстрирующая принцип работы /61/.

ОЭС с фиксированной частотой ω_1 (рисунок 4) работает следующим образом. Сигнал с фотодатчика поступает на вход спектрального анализатора (либо на вход узкополосного фильтра). Выход спектроанализатора соединен с измерителем уровня частотной составляющей, по значению которого судят о скорости движения, но при этом ω_1 выбирается таким образом, чтобы прямая, параллельная оси ординат и проведенная через точку ω_1 , пересекла только восходящие или нисходящие ветви кривых $S(\omega)$.

Из сравнения схема автокорреляционных и спектральных ОЭС измерения скорости движения видно, что спектральные ОЭС в частотной области аналогичны автокорреляционным во временной области и имеют общие недостатки, основой из которых – возникновение значительных погрешностей при изменении характера подстилающей поверхности.



1 – фотоприёмник; 2 – автономный анализатор спектра, измеряющий уровень фиксированной частоты; 3 – измерительный прибор.

Рис 2. Блок-схема устройства измерения скорости движения с фиксированной частотой

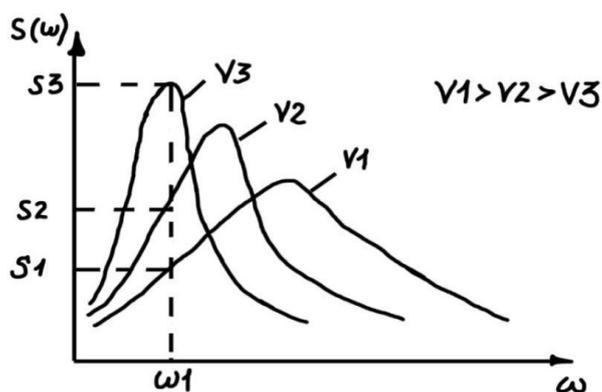
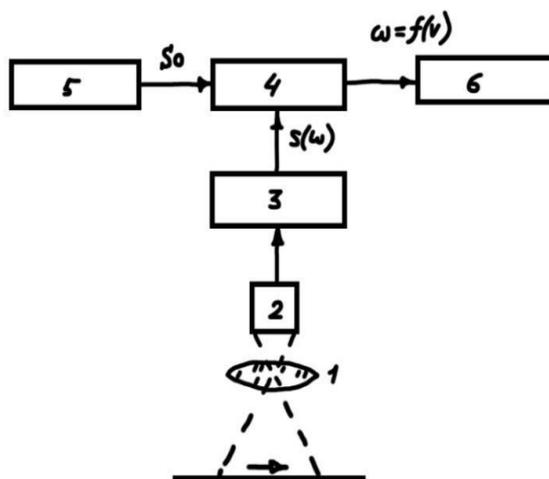


Рис.3 Зависимость выходного сигнала анализатора спектра на фиксированной частоте от скорости движения



1 – объектив; 2 – фотодатчик; 3 – спектральный анализатор; 4 – блок сравнения; 5 – блок задания уровня; 6 – индикатор.

Рис.4. Блок-схема измерителя скорости проката с фиксацией уровня спектральной плотности

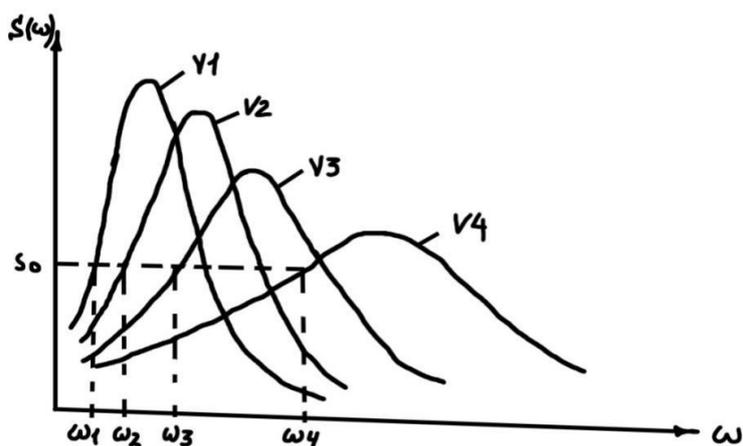


Рис.5. Сигналы на выходе спектроанализатора при различных скоростях движения

То в связи с развитием электроники и микропроцессорной техники возможно применение спектральной ОЭС для применения при движении над поверхностями с похожими свойствами.

Список литературы:

1. Изнар А.Н., Павлов А.В., Федотов В.Ф. Оптико-электронные приборы космических аппаратов. – М.: Машиностроение, 1972. – 366 с. – Режим доступа: <https://oep-ka.narod.ru/>
2. Катус Г.П. Оптико-электронная обработка информации. – М.: Машиностроение, 1973 – 448 с. – Режим доступа: <https://libcats.org/book/346861>
3. Козубовский С.Ф. Корреляционные экстремальные системы. – Киев: Наукова думка, 1973. – 223 с. – Режим доступа: <https://djvu.online/file/fzZRkTmSlw5Mr>
4. Боркус М.К., Черный А.Е. Корреляционные измерители путевой скорости и угла сноса летательных аппаратов. – М., Сов. Радио, 1973 – 168с. – Режим доступа: <https://z-library.sk/book/11968263/8cfcad/-Корреляционные-измерители-путевой-скорости-и-угла-сноса-летательных-аппаратов.html>
5. А.С. 1233190 (СССР) Устройство для определения составляющих вектора скорости движения изображения. /Е.М. Карпов, В.В. Сбродов, В.П. Свиридов, С.В. Соков, И.В. Тихомиров, С.А. Шанин. – Оpubл. в Б.И., 1986, №19. – Режим доступа https://yandex.ru/patents/doc/SU1233190A1_19860523
6. А.С. 994993 (СССР) Устройство для определения параметров движения изображения. /И.И. Волков, В.К. Семенычев В.В. Сбродов, В.П. Свиридов. – Оpubл. в Б.И., 1983, №5.
7. Белоглазов И.Н., Тарасенко В.П. Корреляционно- экстремальные системы. – М.: Советское радио, 1974. – 392 с. – Режим доступа https://yandex.ru/patents/doc/SU994993A1_19830207
8. Красовский А.А., Белоглазов И.Н., Чигин Г.П., Теория корреляционно-экстремальных навигационных систем. – М.: Наука, 1979. – 408 с. – Режим доступа: <https://djvu.online/file/a2Sy1qYjHP2t6>

