

ОБРАБОТКА ВИДЕОПОТОКА В ЧАСТОТНОЙ ОБЛАСТИ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ КОЛЕБАНИЙ ОБЪЕКТОВ

Будилов В. Н., Воловач В. И.

Кафедра «Информационный и электронный сервис», Поволжский государственный университет сервиса
Тольятти, Российская Федерация

E-mail: neuropower@yandex.ru, volovach.vi@mail.ru

Рассмотрены результаты моделирования и экспериментального исследования метода обработки последовательности видеок кадров, позволяющего измерить частоту колебаний удаленных объектов. Получена оценка минимально допустимой амплитуды колебаний в типовых условиях применения. Экспериментальные результаты подтверждают работоспособность метода.

ВВЕДЕНИЕ

Хотя контактные методы измерения параметров колебаний широко распространены, в ряде случаев их применение затруднено [1]. Важным приложением бесконтактных методов является мониторинг состояния сооружений и конструкций. Наименее дорогими системами для этой цели являются в настоящее время видеосистемы.

В видеосистемах такого назначения хорошо исследовано применение корреляционных методов, в которых определяются векторы смещения между двумя кадрами [2, 3]. Менее изучены методы, обрабатывающие информацию многих кадров. Несмотря на более высокие вычислительные затраты, эти методы представляют интерес в связи с лучшей помехоустойчивостью.

В настоящем сообщении приведены результаты исследований одного из таких интегральных методов, основанного на обработке последовательности кадров в частотной области.

I. ИССЛЕДУЕМЫЙ МЕТОД

Видеопоток, как последовательность кадров, описывается трехмерной функцией $V(i, j, k)$, где $i = 0, 1, \dots, I - 1$, $j = 0, 1, \dots, J - 1$ – номера пикселей соответственно вдоль строки и вдоль столбца кадра; $k = 0, 1, \dots, K - 1$ – номер кадра; I, J – ширина и высота кадра в пикселях; K – количество кадров. Исследуемый метод использует $S(i, k) = V(i, j_S, k)$ – двумерное сечение видеопотока плоскостью $j = j_S$. С помощью построчной развертки сечение преобразуется в одномерный сигнал $L(n)$, где $n = i + kI$ – номер пикселя. В отсутствие колебаний $L(n)$ является периодическим с частотой $\frac{F_K}{I}$, где F_K – частота кадров. Из-за несинусоидальности спектр этого сигнала содержит гармоники с частотами, кратными $\frac{F_K}{I}$. Однако, если нет колебаний объекта, то между гармониками спектр близок к нулю.

Колебания объекта эквивалентны фазовой модуляции сигнала $L(n)$. Известно, что фазовая модуляция приводит к появлению в спектре боковых составляющих с частотами, отличающи-

мися от частоты несущей на интервалы, кратные частоте модулирующего колебания F_O . Поэтому, измеряя интервалы между боковыми составляющими можно найти частоту колебаний объекта F_O . Боковые составляющие появляются также для гармоник несущей. Это дает возможность усреднить интервалы спектра между гармониками, что повышает помехоустойчивость метода. Полученный таким образом спектр далее называется усредненным.

II. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Первоначальное исследование проводилось на синтезированных сечениях из 256×256 пикселей с 256 градациями яркости. Растеризация сечений выполнялась с помощью линейной интерполяции, то есть изменение цвета пикселя вычислялось пропорционально отношению смещения к размеру пикселя. Накладывалась помеха в виде равномерно распределенного белого шума. Полученные зависимости (рис. 1) показывают, что начиная с некоторого минимального значения амплитуды колебаний максимум боковой составляющей усредненного спектра приблизительно линейно зависит от нее и преобладает над помехами.

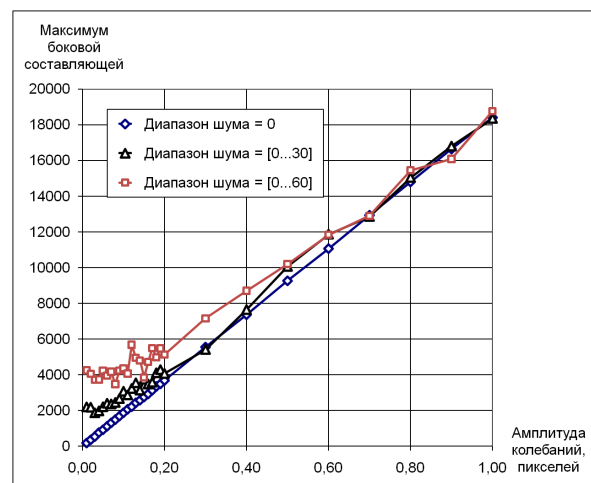


Рис. 1 – Зависимости максимума усредненного спектра от амплитуды колебаний объекта

Например, для шума с диапазоном 30 градаций яркости минимально допустимая амплитуда колебаний составляет около 0,2 пикселя.

Экспериментальная проверка метода проводилась как на лабораторных объектах (вибрирующая пластина, маятник, биологический объект, диафрагма динамика), так и в натуральных условиях. Большая часть лабораторных экспериментов была проведена на установке, показанной на рис. 2.

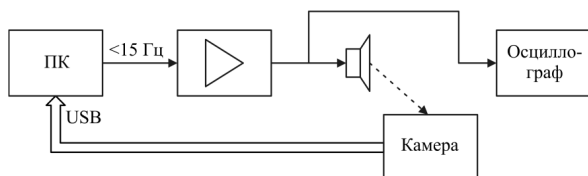


Рис. 2 – Лабораторная установка

Выход звуковой карты ПК вырабатывал синусоидальный сигнал с частотой в диапазоне 0,2...15 Гц. Усиленный сигнал подавался на динамик, на диффузоре которого была сделана метка. Камера, наведенная на диффузор сбоку, снимала колебания метки. Расстояние от объектива камеры до метки составляло 0,1 м. Запись видео велась в формате 320*240 с частотой кадров 30 Гц при 256 градациях яркости. Использовалось по 256 кадров видеопотока.

На рис. 3 показаны примеры усредненных спектров для амплитуды колебаний 12 мкм (0,05 пикселя). Три нижних графика демонстрируют разрешение по частоте приблизительно 0,2 Гц, достигнутое в условиях эксперимента. Во всех случаях положение спектрального максимума соответствовало частоте колебаний. Отношение сигнал/шум превысило 20 дБ при колебаниях с амплитудой 60 мкм (0,25 пикселя).

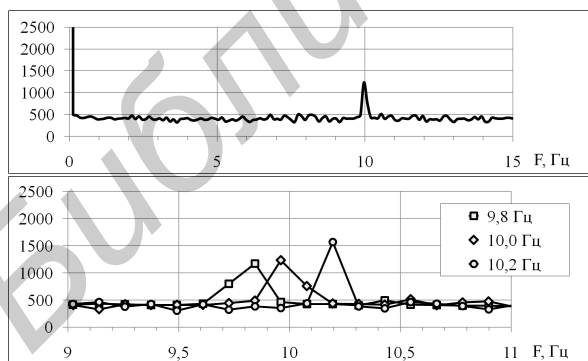


Рис. 3 – Примеры усредненных спектров

На рис. 4 показаны фрагменты кадров при съемке башенного крана с расстояния около 800 м [4]. В этом эксперименте ставилась цель измерения частоты колебаний троса. Следует отметить, что на рис. 4 контраст искусственно повышен в 5 раз по сравнению с исходными мало-

контрастными и зашумленными кадрами, на которых трос не различим визуально. В этом эксперименте потребовалась дополнительная обработка сечений: гауссовское сглаживание с радиусом 3 пикселя, инвертирование и усиление контраста в 20 раз. На рис. 5 показаны начальные участки полученных усредненных спектров. Возникновение и развитие колебаний троса привело к появлению четко различимого максимума на частоте колебаний около 1 Гц. Положение максимума совпадает с частотой, вычисленной вручную по исходным кадрам видеопотока.

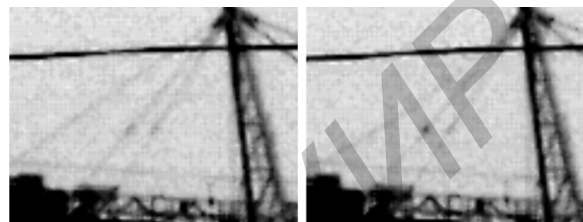


Рис. 4 – Колебания троса грузовой лебедки

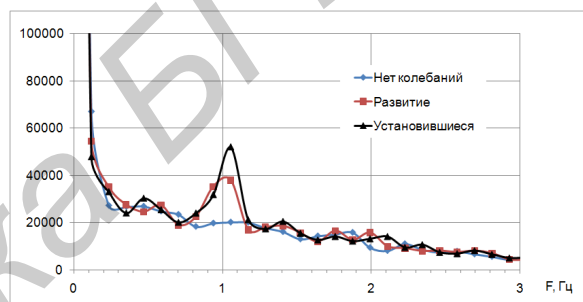


Рис. 5 – Усредненные спектры колебаний троса

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные результаты показывают, что рассмотренный метод пригоден для измерения частоты колебаний объектов при субпиксельной амплитуде колебаний. Можно надеяться на минимально допустимую амплитуду, соответствующую 0,2...0,3 пикселям изображения.

1. Волковец, А. И. Радиоволновой бесконтактный метод измерения параметров движения и вибрации / А. И. Волковец, Д. Ф. Руденко, А. В. Гусинский, А. М. Кострикин // Доклады БГУИР. – 2007. – № 4 (20). – С. 58–64.
2. Yoneyama, S. Bridge Deflection Measurement Using Digital Image Correlation / S. Yoneyama, A. Kitagawa, S. Iwata, K. Tani, H. Kikuta // Proceedings of the 2006 SEM Annual Conference and Exposition on Experimental and Applied Mechanics. – 2006. – P. 132–141.
3. Zappa, E. Vision-based Vibration Monitoring of a Large Steel Structure / G. Busca, A. Cigada, M. Vanali, E. Zappa // EVACES 2011 – Experimental Vibration Analysis for Civil Engineering Structures. – 2011. – P. 561–568.
4. Будилов, В. Н. Метод измерения частоты колебаний сооружений и конструкций с помощью цифровой видеокамеры / В. Н. Будилов // Научно-технический вестник Поволжья. – 2012. – № 1. – С. 91–94.