

УДК 621.391

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ВИБРАЦИЙ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА НА ФОРМУ СПЕКТРА ИНТЕРФЕРОГРАММЫ С ВЫХОДА БОРТОВОГО ФУРЬЕ-ВИДЕОСПЕКТРОМЕТРА

И.И. СИРОТКО, А.Д. ГОРБУКОВ, А.И. ГАЛКИН,
М.Н. КОТОВ*, А.А. ЧЕРНИЧЕНКО*

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
П. Бровка, 6, Минск, 220013, Беларусь*

**ОАО «Пеленг»
Макаенка, 25, Минск, 220114, Беларусь*

Поступила в редакцию 10 декабря 2017

Произведена оценка влияния вибраций летательного аппарата на форму спектра интерферограммы, получаемой с помощью бортового Фурье-видеоспектрометра.

Ключевые слова: Фурье-видеоспектрометр, спектр, интерферограмма.

Введение

Для дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) большой интерес представляют технологии спектрального анализа. Современные спектроанализирующие комплексы можно разделить на две группы: спектральные приборы, осуществляющие кодировку пространства длинами волн (интерферометры Фабри-Перо, дифракционные спектрометры и др.) и кодирующие длинами волн электрические частоты (Фурье-спектрометры и Адамар-спектрометры) [1]. Среди спектральных приборов, принадлежащих ко второй группе, наиболее успешно развиваются Фурье-спектрометры, характеризующиеся большей светосилой по сравнению с дифракционными решетками (выигрыш Жакино), одновременностью регистрации всех спектральных интервалов, большим диапазоном реализуемых спектральных разрешений, определяемых разностью хода в плечах интерферометра, большой шириной одновременно регистрируемого спектра.

Развитие Фурье-спектрометров идет по двум направлениям. Первое направление представлено динамическими Фурье-спектрометрами. Основой таких систем является интерферометр Майкельсона, в котором за счет изменения положения одного из зеркал изменяется оптическая разность хода лучей и происходит развертка интерферограммы во времени. Сигнал при этом регистрируется одноэлементным фотодетектором [2].

Второе направление связано с появлением многоэлементных фотоприемных устройств, благодаря которым стали возможны конструкции статических Фурье-спектрометров (Фурье-спектрометров), т.е. спектрометров без использования подвижных элементов. В таких системах изменение разности хода осуществляется в пространстве, в отличие от динамических Фурье-спектрометров, в которых развертка сигнала происходит во времени. Отсутствие подвижных элементов позволяет значительно уменьшить габариты спектрометра, увеличить его стойкость к вибрационным и тепловым (температурным) воздействиям. Многоэлементное фотоприемное устройство, используемое для считывания сигнала, позволяет добиться выигрыша в быстродействии и точности измерений в \sqrt{M} раз, поскольку каждый участок спектра измеряется не один, а M раз (выигрыш Фелжета) [3].

Для построения Фурье-видеоспектрометра могут использоваться двупреломляющие кристаллы (поляризационные интерферометры, реализованные на основе призм Волластона или пластин Саварта) [4–11]. Эти системы характеризуются высокой светосилой, нечувствительностью к рассеянному свету, высоким быстродействием. Недостатком таких спектрометров является малый телесный угол падающего излучения и ограничение по разрешающей способности [7]. Конструктивные преимущества Фурье-видеоспектрометра позволяют его использовать в технологиях ДЗЗ на базе малых летательных аппаратов космического и воздушного базирования. При этом качество спектральных характеристик, получаемых с помощью Фурье-видеоспектрометра, существенно зависит от линейности траектории полета летательного аппарата.

Целью работы является оценка влияния нелинейности траектории летательного аппарата на форму спектра интерферограммы, получаемой с помощью бортового Фурье-видеоспектрометра.

Обработка данных Фурье-видеоспектрометра

Последовательность кадров, формируемая видеоспектрометром для некоторого фрагмента местности, представляет собой оптический гиперкуб, где каждый кадр есть плоскость. В процессе перемещения летательного аппарата происходит удаление и добавление плоскостей оптического гиперкуба таким образом, что его объем остается постоянным. Каждая плоскость состоит из фрагментов интерференционных картин от различных участков местности. Фрагмент представляет собой строку пикселей. Кадры с выхода спектрометра в процессе перемещения летательного аппарата формируются таким образом, чтобы на каждом из них сдвиг интерференционной картины происходил ровно на один фрагмент. Интерференционная картина от одного участка местности, размер которой соответствует одной строке пикселей, может быть сформирована в результате конкатенации фрагментов интерференционных картин с различных плоскостей оптического гиперкуба (рис. 1).

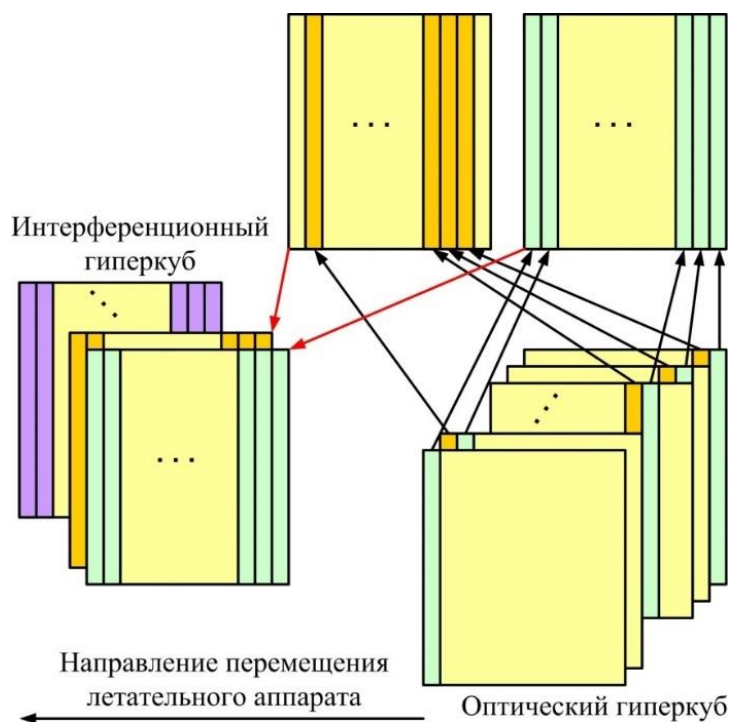


Рис. 1. Оптический гиперкуб и формирование интерференционного гиперкуба

В результате формируется одна плоскость интерференционного гиперкуба. Для ускорения процесса обработки интерферограмм целесообразно ограничить размер интерференционного гиперкуба, если это позволяет задача. Это реализуется в результате задания оператором размера и местоположения интересующего фрагмента на плоскости оптического гиперкуба. Из-за

нестабильности летательного аппарата и системы синхронизации возможны смещения плоскостей оптического гиперкуба.

Оценка искажений спектра интерферограммы при нестабильности частоты дискретизации

Если в процессе работы пространственная нестабильность системы, на которой крепится Фурье-видеоспектрометр, вызывает случайные смещения фотоприемной матрицы, то возникают смещения отсчетов интерферограммы относительно их нормального положения и искажения (размытие) ее спектра. Такую ситуацию можно смоделировать за счет случайного изменения частоты дискретизации используя опорный неискаженный сигнал. На рис. 2 и 3 приведены сигналы и их спектры при различном значении 3σ отклонения отсчетов от их нормального положения.

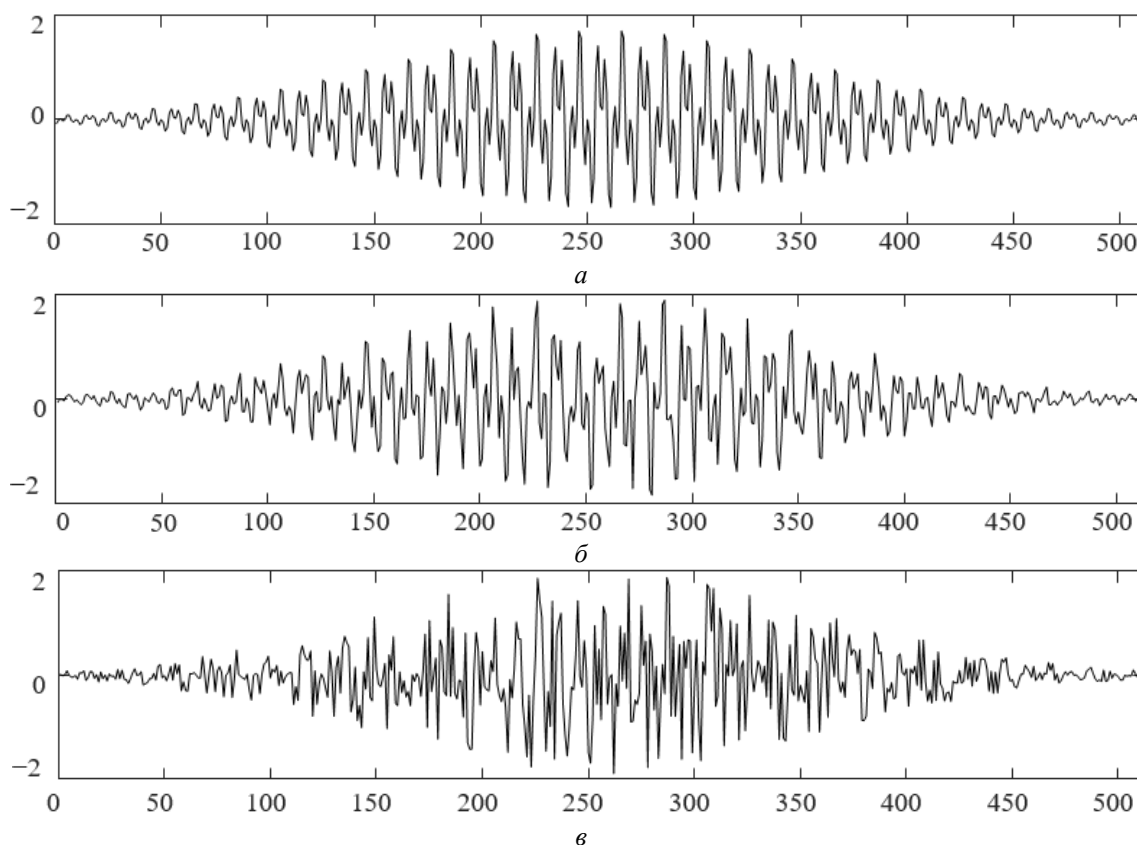


Рис. 2. Сигналы при различном значении 3σ отклонения отсчетов от их нормального положения:
 $a - 3\sigma = 0$; $b - 3\sigma = 1$; $v - 3\sigma = 5$

На рис. 4 приведены зависимости усредненных абсолютных уровней основной E_M и боковых E_S спектральных составляющих сигнала от отклонения отсчетов от их нормальных положений для различных частот дискретизации, выраженных в пикселях на период сигнала. Частоты дискретизации, выраженные в отсчетах (пикселях) на период имеют следующие значения: 1 – 2 пикс/Т; 2 – 4 пикс/Т; 3 – 6 пикс/Т; 4 – 8 пикс/Т; 5 – 10 пикс/Т.

Из рис. 4 следует, что для уменьшения искажения спектра интерферограммы необходимо повышать частоту ее дискретизации. В этом случае увеличение отклонения отсчетов от их нормальных позиций приводит к меньшей потере энергии главной составляющей спектра и меньшему росту боковых составляющих. При минимальной частоте дискретизации наблюдаются значительные искажения в спектре даже при незначительном отклонении отсчетов.

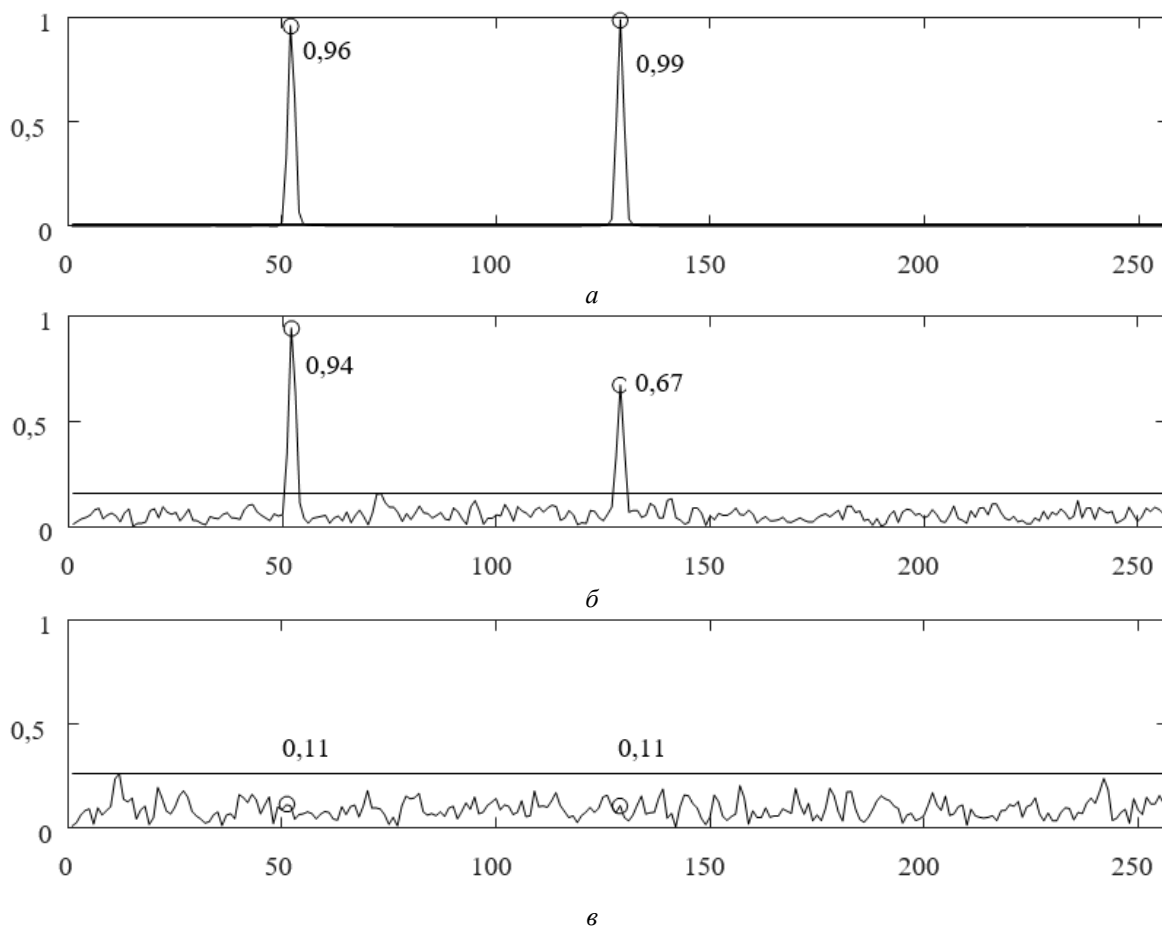


Рис. 3. Спектры при различном значении 3σ отклонения отсчетов от их нормального положения:
 $a - 3\sigma = 0$; $b - 3\sigma = 1$; $e - 3\sigma = 5$

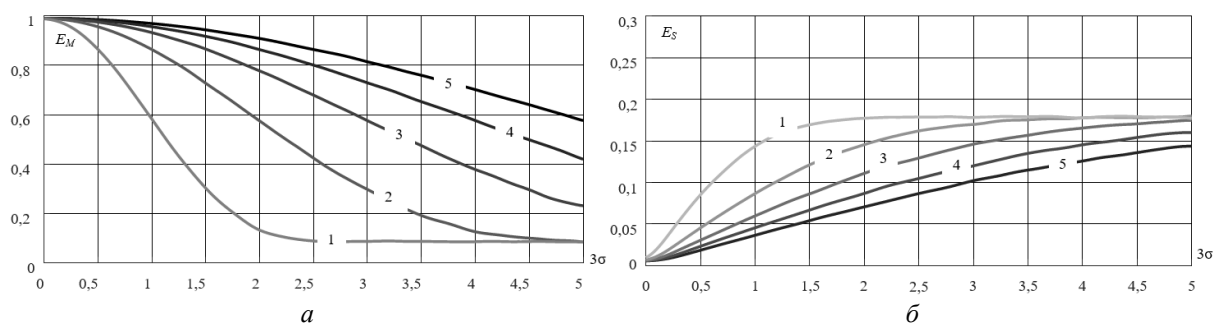


Рис. 4. Зависимости усредненного абсолютного уровня основной E_M (а) и боковых E_S (б) спектральных составляющих сигнала от случайного отклонения отсчетов 3σ для различных частот дискретизации

Из рис. 4 следует, что для уменьшения искажения спектра интерферограммы необходимо повышать частоту ее дискретизации. В этом случае увеличение отклонения отсчетов от их нормальных позиций приводит к меньшей потере энергии главной составляющей спектра и меньшему росту боковых составляющих. При минимальной частоте дискретизации наблюдаются значительные искажения в спектре даже при незначительном отклонении отсчетов.

Заключение

Выполнена оценка влияния вибраций летательного аппарата на форму спектра интерферограммы, получаемой с помощью бортового Фурье-видеоспектрометра. Установлено, что для повышения устойчивости результатов спектральной обработки интерферограмм земной поверхности необходимо повышать частоту их дискретизации.

EVALUATION OF INFLUENCE OF AIRCRAFT VIBRATIONS ON THE FORM OF INTERFEROGRAM SPECTRUM FROM OUTPUT OF FOURIER-VIDEOSPECTROMETER

I.I. SIROTKA, A.D. HARBUKOU, A.I. GALKIN,
M.N. KOTAU, A.A. CHERNICHENKO

Abstract

An evaluation of the effect of the aircraft flight path on the shape of the interferogram spectrum obtained by means of an onboard Fourier-videospectrometer is made.

Keywords: Fourier-videospectrometer, spectrum, interferogram.

Список литературы

1. Горбунов Г.Г. // Научно-технический вестник. 2004. №13. С. 151–155.
2. Белл Р.Дж. Введение в Фурье-спектроскопию. М., 1975.
3. Морозов А.Н., Светличный С.И. Основы Фурье-спектрометрии атмосферы М., 2006.
4. Harvey A.H., Fletcher-Holmes D.W. // Optics Express. 2004. Vol. 12, №22. P. 5368–5374.
5. Zhang C., Xiangli B., Zhao B. // Institute of physics publishing. J. Opt. A: Pure Appl. Opt. 2004. №6. P. 815–817.
6. Дричко Н.М., Егорова Л.В., Таганов О.К. // Опт. журнал. 2006. Т. 73, №12. С. 51–56.
7. Ebizuka N. et al. // Applied Optics. 1995. Vol. 34, №34. P. 7899–7906.
8. Padgett M.J. et al. // Applied Optics. 1994. Vol. 33, №25. P. 6035–6040.
9. Hashimoto M., Kawata S. // Applied Optics. 1992. Vol. 31, №28. P. 6096–6101.
10. Carole C., Montarou T., Gaylord T. // Applied Optics. 2000. Vol. 39, №31. P. 5762–5767.
11. Courtial J. et al. // Applied Optics. 1997. Vol. 36, №13. P. 2813–2817.