DOI: 10.25696/ELSYS.VC2.RU.22

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАЗЛИЧНЫХ АЛГОРИТМОВ ПОЛУЧЕНИЯ ВИБРОИЗОБРАЖЕНИЯ

В. А. Акимов, С. С. Диденко, В. А. Минкин

ООО «Многопрофильное предприятие «Элсис», Санкт-Петербург, Россия (minkin@elsys.ru).

Аннотация: Проведено экспериментальное исследование по определению виброизображения различными математическими алгоритмами. Разработаны тестовые видео изображения различного контраста, совершающие вибрации в диапазоне частот 1–10 Гц с различной дискретностью перемещения. Проведено сравнение алгоритмов (FFT и FVI) определения частоты перемещений объектов по параметрам, используемым в технологии виброизображения.

Ключевые слова: виброизображение, алгоритмы, программная обработка, производительность, точность измерения.

COMPARATIVE ANALYSIS OF VARIOUS ALGORITHMS FOR VIBRAIMAGE CAPTURING

Valery Akimov, Sergey Didenko, Viktor Minkin ELSYS Corp., St. Petersburg, Russia (minkin@elsys.ru).

Abstract: An experimental study to determine vibraimage by various mathematical algorithms has been carried out. Test video images of various contrast were developed, making vibrations in the frequency range 1-10 Hz with different displacement resolution. The comparison of the algorithms (FFT u FVI) for determining the frequency of objects movement by parameters used in the vibraimage technology is carried out.

Keywords: vibraimage, algorithms, software processing, performance, measurement accuracy.

Технология виброизображения [Минкин, Штам, 2000; Минкин, 2007, Minkin, Nikolaenko, 2008; Минкин, 2018; Minkin, 2018] преобразует потоковое видео с помощью программной обработки в две различных составляющих изображения, отражающих амплитудные и частотные характеристики вибраций и движений объектов, находящихся в кадре. Технология виброизображения использует сформированные амплитудные и частотные изображения объектов для получения дополнительной информации об объекте. В случае контроля живого объекта это могут быть различные психофизиологические характеристики, в случае контроля неживого объекта это могут быть параметры надежности. В общем случае исходное амплитудное и частотное виброизображение объекта может быть получено различным путем. Основным принципом получения виброизображения является его максимальная информативность для решения поставленной задачи при минимальных операционных затратах при его получении.

Изначально были предложены следующие формулы для получения амплитудной и частотной составляющих виброизображения. Амплитудная составляющая каждой точки виброизображения [Минкин, 2007; Minkin, Nikolaenko, 2008] определялась по формуле:

$$A_{x,y} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} \left| U_{x,y,i} - U_{x,y,(i+1)} \right|$$
(1)

где х, у — координаты точки;

 $U_{x,v,i}$ — величина сигнала в точке x, y в *i*-м кадре;

 $U_{x,y,(i+1)}^{(i+1)}$ — величина сигнала в точке x, y в (i+1)-м кадре;

 N — число кадров, по которым идет накопление амплитудной составляющей виброизображения.

Частотная составляющая каждой точки виброизображения [Минкин, 2007; Minkin, Nikolaenko, 2008] определялась по формуле:

$$F_{x,y} = \frac{F_{in}}{N} \sum_{i=1}^{N} \left\{ \begin{vmatrix} U_{x,y,i} & -U_{x,y,(i+1)} \end{vmatrix} > 0 : 1 \\ \text{иначе} : 0 \end{vmatrix} \right\}$$
(2)

где F_{in} — частота обработки телевизионного сигнала

Амплитудная и частотная составляющие виброизображения представляют собой параллельные видеопотоки, аналогичные по формату изображения исходному видео сигналу, причем каждый кадр амплитудной и частотной составляющей несет временную и пространственную информацию о прошлом этого видеопотока, ограниченную во времени числом кадров накопления межкадровой разности *N*. Технология виброизображения преобразует эти видеопотоки в первичные параметры виброизображения [Минкин, 2018], которые затем преобразуются в информативные параметры исследуемого объекта в зависимости от цели исследования.

При этом у разработчиков технологии виброизображения было четкое понимание, что предложенные формулы расчета амплитудной и частотной составляющих присущи реальному виброизображению, а не идеальному [Минкин, 2007], которое должно отражать параметры перемещения всех точек объекта. Особенно это касалось частотного виброизображения (FVI) определяемого формулой (2), которое отражало частоту фиксируемого изменения сигнала в каждом элементе, а не реальную частоту изменения сигнала во времени для каждого элемента. При похожести этих характеристик, числовые значения, полученные для каждого из этих методов, могут существенно отличаться.

Конечно, разработчикам технологии виброизображения известно, что можно измерить частоту изменения сигнала в каждой точке изображения методом быстрого преобразования Фурье [Heideman et al., 1984], например, по формуле 3.

$$X_{k} = \sum_{n=0}^{N-1} x_{n} e^{-i2\pi kn/N} = \sum_{n=0}^{N-1} x_{n} w^{-kn}, \quad k = 0, ..., N-1.$$
(3)

При настройках, по умолчанию за период 100 отсчетов с кадровой частотой 30 Гц, соответствующий времени 3 секунды, измеренная частота сигнала в выбранной точке X (например, определенная быстрым преобразованием Фурье,

Tof mano 4

FFT или DFT) должна иметь значение не более 15 Гц (в соответствии с теоремой Котельникова-Шенона-Найквиста [Nyquist, 1928; Котельников, 1933; Shannon, 1949], например, 10 Гц при периоде сигнала 0,1 с. Расчет для таких же настроек частоты изменения сигнала элемента по формуле (2) может дать другое значение, так как частота изменения сигнала зависит не от периода сигнала, а от того сколько раз зафиксировано изменение сигнала, т. е. от отношения сигнал-шум фотоприемника. При этом нельзя сказать какой из алгоритмов расчета более правильный, так как и тот, и другой алгоритм имеют свои ограничения. Зато можно определенно сказать, что алгоритм (2) менее затратный для больших форматов изображения. Именно большая операционная затратность алгоритма FFT определила выбор разработчиков технологии виброизображения на формулах (1) и (2) при разработке технологии виброизображения 20 лет назад. Однако, прогресс компьютерной техники не стоит на месте и то, что 20 лет назад было практически невозможно, в настоящее время становится осуществимо. Целью данной работы является сравнение возможностей формул (2) с (3) для получения виброизображения, максимально приближенного к идеальному.

Метод и эксперимент

Для проведения тестирования различных алгоритмов получения виброизображения было разработано несколько тестовых видео с вибрирующими объектами, имеющими различный оптический контраст, различную частоту и амплитуду вибраций. Тестовый объект представляет собой прямоугольник размером 50×30 элементов, имеющий равномерно нарастающий градиент контраста на краях и равномерно серую середину. Фон вокруг прямоугольника в тестовом видео равномерный и близкий к белому (яркость 200). Полный размер тестового видео 160 × 120 элементов, данные о частоте, смещении и градиенте тестовых объектов приведены в таблице 1. Длительность тестовых видео файлов 120 секунд.

				таолица т
Файл	Градиент [120; 2130; 3150]	Контраст фона	Смещение, тчк	Частота, Гц
test_b_g5d1f010.avi	+5; 0; –5	245	1	1
test_b_g5d3f010.avi	+5; 0; –5	245	1	3
test_b_g5d3f030.avi	+5; 0; –5	245	3	3

В ходе эксперимента созданные тестовые объекты были загружены в программу Vibraimage 10 PRO [Vibraimage10, 2019] и обработаны различными алгоритмами обработки (2) и (3), обратив основное внимание на соответствие реального виброизображения идеальному и загрузку процессора Intel Core i7-5600U CPU 2,6 GHz.

Результаты эксперимента

Рассмотрим полученное виброизображение разработанных тестовых видео объектов алгоритмом (2) на рисунках 1–3 при запуске в программе Vibraimage 10 PRO.



Рис. 3. test_b_g5d3f030

где: VI — внутренне виброизображение;

AV — внешнее виброизображение на внутреннем (аура-вибра);

AR — внешнее виброизображение на реальном (аура на реальном).

Соответствующие частотные гистограммы для трех указанных тестовых видео с виброизображением, определенным по формуле (2), представлены на рисунке 7.

Рассмотрим полученное виброизображение разработанных тестовых видеообъектов алгоритмом FFT на рисунках 4–6.



Рис. 6. test_b_g5d3f030



Рис. 7. Частотные гистограммы тестовых видео при обработке алгоритмом (2)



test_b_g5d1f010

test b g5d3f010



Рассмотрим соответствующие частотные гистограммы для трех указанных тестовых видео с виброизображением, определенным по формуле FFT на рисунке 8.

В таблице 2 приведена зависимость загрузки процессора от формата изображения для получения виброизображения программой Vibraimage PRO 10 для обоих алгоритмов при идентичных программных настройках.

Та	бյ	пΝ	ца	2
----	----	----	----	---

Размер кадра Алгоритм	160 × 120	320 × 240	640 × 480
FVI	12%	15%	23%
FFT	33%	70%	> 100%

Обсуждение полученных результатов

Рассмотрим полученные рисунки 1–8. Для первого тестового видео (частота 1 Гц, смещение 1 элемент) наблюдаются практически идентичные виброизображения для обоих алгоритмов получения виброизображения (2) и (3). При этом и частотные гистограммы достаточно похожи, однако стабильность виброизображения по формуле (2) значительно выше стабильности изображения FFT. Стабильность получаемого виброизображения характеризует кадровое СКО, которое составляет 0,07 Гц (рис. 7) для алгоритма (2) и 2,5 Гц (рис. 8) для алгоритма FFT.

Для второго тестового видео (частота 1 Гц, сдвиг 3 элемента) виброизображения определяемое по формулам (2) и (3), имеют значимые различия. Несмотря на то, что реальная частота для этого тестового видео осталась 1 Гц, для алгоритма (2) произошло кажущееся смещение частоты виброизображения в сторону увеличения, из-за того, что реальный сдвиг объекта составил 3 элемента, а не один, так как кадровая частота опроса составляла 15 Гц, и в течение 15 отсчетов каждый элемент тестового объекта совершал движение в одну и другую сторону, возвращаясь на свое место. Таким образом частота изменения сигнала (8 Гц, рис. 7) заметно превышала реальную частоту движения объекта (1 Гц, рис. 8). Только на краях тестового объекта виброизображение, определенное по алгоритму FVI, совпадало с виброизображением, определенным FFT.

Для третьего тестового видео наблюдалось аналогичное расхождение результатов алгоритма FVI и FFT, причем опять величина виброизображения, полученного по алгоритму FVI, превышает величину виброизображения, полученного по алгоритму FFT. При этом отметим, что оба алгоритма выявляют движение только оптически контрастных объектов. Середина тестового объекта, не имеющая контрастных деталей (равномерный серый фон), оказалась невидимой для обоих алгоритмов.

Заключение

Виброизображение, полученное алгоритмом FFT, показало большую точность определения реальной частоты перемещения объекта, чем традиционный алгоритм FVI. При этом программные затраты на поддержку алгоритма FFT существенно превышают традиционный алгоритм FVI. Лля полноформатной работы с FFT надо иметь процессоры с мощностью примерно в 100 раз превышающей Intel Core i7-5600U CPU 2,6 GHz использованный в данной работе. Развитие процессорной техники позволяет надеется, что такие процессоры будут доступны на массовом рынке электронных устройств примерно через 6-8 лет. Однако, точное знание частоты движений не гарантирует большей точности определения психофизиологического состояния технологией виброизображения, так как количество выявляемых элементов виброизображения алгоритмом FVI и FFT практически одинаково, а точность определения параметров ПФС определяется именно количеством выявленных элементов виброизображения и функциональной связью между параметрами ПФС и параметрами виброизображения. Остается открытым вопрос, какое виброизображение информативней в плане детекции ПФС, традиционное или FFT. Ответ на этот вопрос можно будет получить в скором времени, так как процессоры с мощностью в 100 раз более і7 уже доступны на современном рынке, например процессор і9. Но исследование информативности различных виброизображений — предмет другого исследования.

Литература:

- Heideman et al. Gauss and the history of the fast Fourier transform (PDF) // IEEE ASSP Magazine. 1984. Vol. 1 (4). P. 14–21. DOI: 10.1109/MASSP.1984.1162257.
- Minkin V. A., Nikolaenko N. N. Application of Vibraimage Technology and System for Analysis of Motor Activity and Study of Functional State of the Human Body // Biomedical Engineering. 2008. Vol. 42, No. 4. P. 196–200. DOI: 10.1007/s10527-008-9045-9.
- Minkin V. A. The history and future of vibraimage technology // The 1st International Open Science Conference Modern Psychology. The Vibraimage technology. Conference proceedings. Saint Petersburg, 2018. P. 125–129.
- Nyquist H. Certain topics in telegraph transmission theory // Trans. AIEE. 1928. Vol. 47 (2). DOI:10.1109/t-aiee.1928.5055024.
- Shannon C. E. Communication in the presence of noise // Proc. Institute of Radio Engineers. 1949. Vol. 37, No. 1. P. 10–21.
- Vibraimage PRO. Emotion Recognition and Behavior Detection System Manual [Electronic resource]. Saint Petersburg: Elsys Corp. publishing, 2019. URL: http://www.psymaker.com/ downloads/VI10_ManualEng.pdf (access date: 06.05.2019).
- Котельников В. А. О пропускной способности эфира и проволоки в электросвязи Всесоюзный энергетический комитет // Материалы к I Всесоюзному съезду по вопросам технической реконструкции дела связи и развития слаботочной промышленности. 1933. Репринт. воспр.: УФН. 2006. № 176 (7). С. 762–770.
- 8. Минкин В. А. Виброизображение. СПб.: Реноме, 2007. 108 с.
- Пат. RU 2187904, МПК Н04N 5/14. Способ и устройство преобразования изображения / В. А. Минкин, А. И. Штам, ООО «МП «Элсис». Заявл. 19.12.2000; Опубл. 20.08.2002.
- Пат. RU 2017109920, МПК А61В 5/11. Способ оценки психофизиологического состояния человека / В. А. Минкин, ООО «МП «Элсис». Заявл. 24.03.2017; Опубл. 24.09.2018, Бюл. № 27.