

ИЗПОЛЗВАНЕ НА STFT ЗА АНАЛИЗ НА СИГНАЛИ КОИТО СЕ ПРОМЕНЯТ С ВРЕМЕТО

Борислав Георгиев, Христофор Ковачев

*TU-Габрово, ул.Хаджи Димитър 4, Габрово, България,
bgeorgiev@tugab.bg*

USING STFT TO ANALYZE TIME-VARYING SIGNALS

Borislav Georgiev, Hristofor Kovachev

*TU-Gabrovo, str. Hadji Dimitar 4, Gabrovo, Bulgaria.
bgeorgiev@tugab.bg*

Abstract

The Fourier transform is a powerful signal analysis tool that decomposes a time function (signal) into its component frequencies. This is particularly useful in signal processing where it is important to understand the frequency composition of the signal. STFT is a modification of the classical Fourier transform that analyzes the signal in small time windows. This allows changes in the frequency composition of the signal to be tracked over time.

Keywords: Fourier transform; short-time Fourier transform; time-varying signal.

ВЪВЕДЕНИЕ

Трансформацията на Фурие е мощен инструмент за анализ на сигнали, който разлага функция във времето (сигнал) на съставните ѝ честоти. Това е особено полезно при обработка на сигнали, където е важно да се разбере честотният състав на сигнала.

Трансформацията на Фурие се използва за анализ на времеви сигнали, като ги преобразува в честотната област. Това позволява идентифициране на различни честотни компоненти в сигнала. В компютърната графика и обработката на изображения, трансформацията на Фурие помага за филтриране и компресиране на изображения. В телекомуникациите, тя се използва за модулация и демодулация на сигнали, както и за анализ на спектъра.

Съществуват няколко алтернативи на трансформацията на Фурие, които се използват в различни приложения за анализ на сигнали.

Едно от тях е вълновото преобразование (Wavelet Transform) който е мощен инструмент за анализ на сигнали, който предоставя както времева, така и честотна информация. Това го прави особено полезно за анализ на нестационарни сигнали, където честотните компоненти се променят с времето. Друга алтернатива е кратковременната трансформация на Фурие (Short-Time Fourier Transform - STFT). Тя е модификация на класическата трансформация на Фурие, която анализира сигнала в малки времеви прозорци. Това позволява да се проследят промените в честотния състав на сигнала във времето.

Хилбертовата трансформация (Hilbert Transform) е друга алтернатива която се използва за извличане на аналитичния сигнал от реален сигнал, което позволява анализ на амплитудата и фазата на сигнала.

Зета трансформацията (Z-Transform) е дискретен аналог на Лапласовата транс-

формация и се използва за анализ на дискретни сигнали и системи. Тя е особено полезна в цифровата обработка на сигнали и контролни системи.

Лапласовата трансформация (Laplace Transform) се използва за анализ на непрекъснати сигнали и системи, особено в контекста на диференциални уравнения и системи за управление.

Трансформацията на Фурие преобразува функция $f(t)$ в комплексна функция $F(\omega)$, която представлява амплитудата и фазата на всяка честотна компонента.

Формулата за непрекъснатата трансформация на Фурие е:

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-j\omega t} dt \quad (1)$$

При цифровите сигнали се използва дискретната трансформация на Фурие (DFT), която преобразува дискретни точки от времевия сигнал в честотната област (фиг1). Алгоритъмът за бързо преобразуване на Фурие (FFT) е ефективен метод за изчисляване на DFT.

Кратковременната трансформация на Фурие (STFT) се използва за анализ [10,11] на това как честотното съдържание на нестационарен сигнал се променя с течение на времето. Величината на квадрат на STFT е известна като спектрограма време-честота представяне на сигнала.

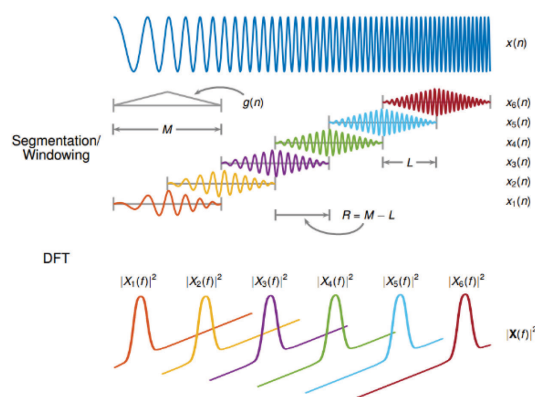
STFT е модификация на класическата трансформация на Фурие, която анализира сигнала в малки времеви прозорци. Матрицата на STFT има колони, където N_x е дължината на сигнала $x(n)$. Броят на редовете в матрицата е равен на N_{DFT} , броят на DFT точките за центрирани и двустранни трансформации и нечетно число, близко до $N_{DFT}/2$ за едностранни трансформации на сигнали с реална стойност.

$$k = \left\lfloor \frac{N_x - L}{M - L} \right\rfloor \quad (2)$$

M-тата колона на матрицата $X(f)=[X_1(f) X_2(f) X_3(f) \dots X_k(f)]$ съдържа

DFT на прозоречните данни, които са центрирани около времето mR :

$$X_m(f) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x(n) g(n - mR) e^{-j2\pi f n} \quad (3)$$



Фиг. 1. Дискретна трансформация на Фурие

ПРИЛОЖЕНИЕ НА STFT

Кратковременната трансформация на Фурие (STFT) има множество приложения в различни области. Често се използва за обработка на аудио сигнали като например за шумопотискане, идентифициране и премахване на шум от аудио записи, анализ на времевите и честотните характеристики на речевни сигнали за подобряване на разпознаването на говор.

Анализ на музикални сигнали е друго приложение. Извличане на музикални характеристики като тоналност, ритъм и тембър. Преобразуване на аудио записи в музикална нотация.

Анализ на ЕЕГ и ЕКГ сигнали за изследване на мозъчни и сърдечни сигнали за диагностика и мониторинг на здравословни състояния. Откриване на епизоди на апнея чрез анализ на дихателни сигнали.

Обработка на радарни сигнали и идентифициране на движещи се обекти и анализ на техните характеристики.

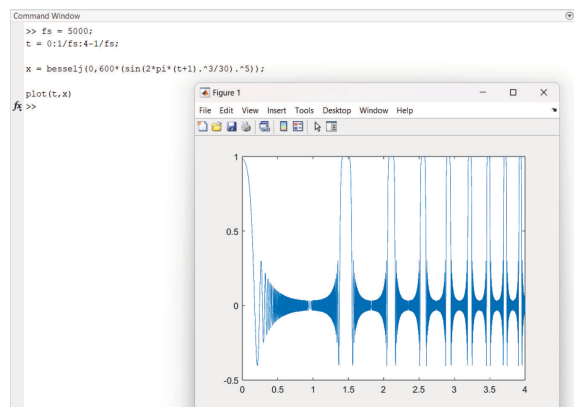
Анализ на подводни сигнали за откриване и класификация на обекти. Анализ на модулирани сигнали за предаване на информация. Също така изследване на честотния състав на сигнали за оптимизация на предаването.

Друго приложение на STFT за премахване на шум и подобряване на качеството на изображения както и за намаляване на размера на изображения без значителна загуба на качество.

STFT[6, 7, 8, 9] е изключително полезен инструмент за анализ на сигнали, които се променят с времето, и намира приложение в много различни области.

СИМУЛИРАНЕ НА STFT

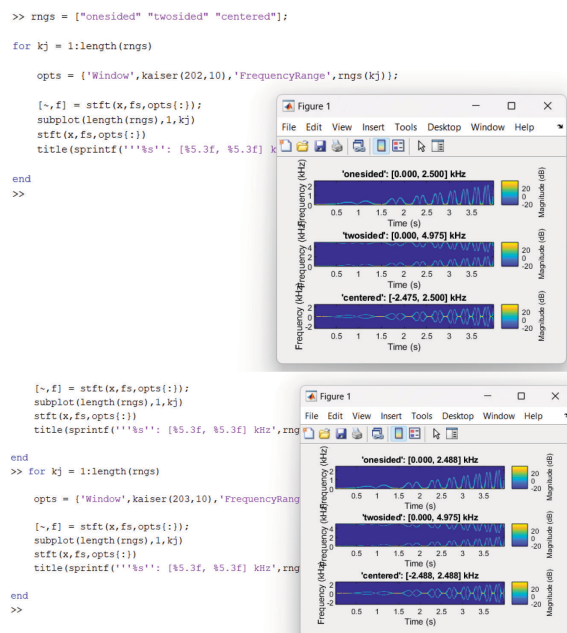
Нека генерираме сигнал[12], семплиране при 5 kHz за 4 секунди. Сигналът се състои от набор от импулси с намаляваща продължителност, разделени от области с осцилираща амплитуда и колебателна честота с нарастваща тенденция(фиг. 2).



Фиг. 2. Генериран сигнал, при 5 kHz

За да изчислим едностранните, двустранните и центрираните кратковременни трансформации на Фурие на сигнала трябва във всички случаи да използваме прозорец на Kaiser с 202 проби с коефициент на форма $\beta=10$, за да видим сегментите на сигнала. Като покажем честотния диапазон, използван за изчисляване на всяка трансформация(фиг. 3).

Като повторим изчислението променейки дължината на прозореца на Kaiser на 203, двустранният честотен интервал не се променя. Другите два честотни интервала стават отворени в горния край (фиг. 3).



Фиг. 3. Резултатен генериран сигнал

Можем да генерираме триканален сигнал, състоящ се от три различни чуруликания, семплиране при 1 kHz за една секунда.

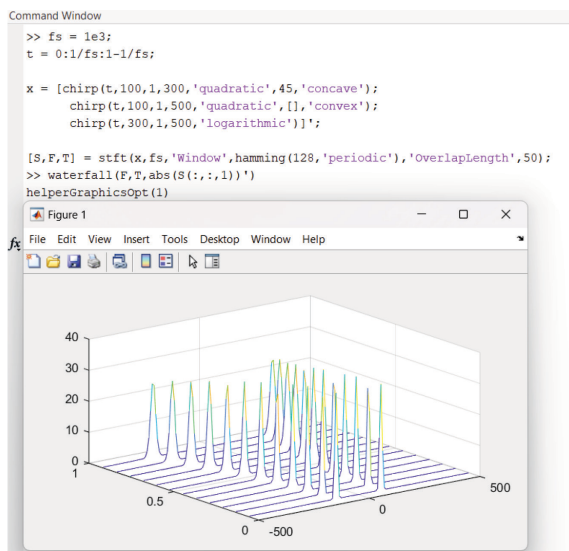
Първият канал се състои от вдлъбнат квадратичен чирп с моментна честота 100 Hz при $t = 0$ и пресича 300 Hz при $t = 1$ секунда. Има начална фаза, равна на 45 градуса.

Вторият канал се състои от изпъкнал квадратичен чирп с моментна честота 100 Hz при $t = 0$ и пресича 500 Hz при $t = 1$ секунда.

Третият канал се състои от логаритмичен чирп с моментна честота 300 Hz при $t = 0$ и пресича 500 Hz при $t = 1$ секунда.

Изчисляваме STFT на многоканалния сигнал, като използваме периодичен прозорец на Hamming с дължина 128 и дължина на припокриване от 50 проби.

Резултата е видим на следващата фигура 4 по-долу.



Фиг. 4. Многоканален STFT сигнал

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Краткосрочното преобразуване на Фурие (STFT) е мощен инструмент за анализ на сигнали в машиностроенето. То позволява разглеждането на времевите и честотните характеристики на сигнала едновременно, което е особено полезно при обработката на нестационарни сигнали, които променят своите характеристики във времето.

В машиностроенето STFT се използва за диагностика и мониторинг на състоянието на машините, анализ на вибрации, откриване на дефекти и аномалии в работата на машините и оптимизация на технологичните процеси. Чрез STFT могат да се идентифицират специфични честотни компоненти, които са свързани с определени механични проблеми, като износване на лагери, дисбаланс на ротори и други.

Симулацията на процесите позволява инженери и специалисти да анализират и оптимизират различни аспекти на машините и технологичните процеси без да се налага да извършват скъпи и отнемачи много време физически експерименти.

Откриване на потенциални проблеми и дефекти в ранните етапи на проекти-

ране. Оптимизация [1, 2, 3, 4, 5] на параметрите на машините и процесите за постигане на по-висока ефективност и надеждност. Анализ на динамичните характеристики на машините и системите. Оценка на въздействието на различни фактори върху работата на машините, като например вибрации, температурни промени и натоварвания са други предимства при използването на симулации в производството.

Симулациите също така позволяват провеждане на виртуални тестове и експерименти, които могат да бъдат повторени многократно при различни условия, което води до по-добро разбиране на поведението на системите и по-добри решения за тяхното проектиране и експлоатация.

Това изследване е финансирано от Европейския фонд за регионално развитие в рамките на ОП „Научни изследвания, иновации и дигитализация за интелигентна трансформация“ 2021-2027 г., Проект BG16RFPR002-1.014-0005 Център за компетентност „Интелигентни мехатронни, еко- и енергоспестяващи системи и технологии“.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Komarski, D., Diakov, D., Nikolov, R., Analysis of the Transfer Curve, and the Center of Rotation of Elastic Micro-Positioning Module with Optimized Butterfly Flexures, (2022) 32nd International Scientific Symposium Metrology and Metrology Assurance, MMA 2022, DOI:10.1109/MMA55579.2022.9993338
- [2] Diakov, D., Komarski, D., Nikolova, H., Optimization of Butterfly Flexures for Angular Positioning (2021) 31st International Scientific Symposium Metrology and Metrology Assurance, MMA 2021, DOI:10.1109/MMA52675.2021.9610833
- [3] Diakov, D., Komarski, D., Micro-positioning Module for Angular Orientation Position of

- the Axis of Rotation Analysis, (2021) 31st International Scientific Symposium Metrology and Metrology Assurance, MMA 2021, DOI: 10.1109/MMA52675.2021.9610873
- [4] Komarski D., Diakov D., Nikolova H., Vassilev V., Analysis of the Impact of the Central Connecting Element Stiffness on the Accuracy Characteristics of Micro-Positioning Elastic Module with 'Butterfly' Flexures, 33rd International Scientific Symposium Metrology and Metrology Assurance, MMA 2023, (2023), DOI: 10.1109/MMA59144.2023.10317907
- [5] Georgiev B., Karadzhov T. "Comparative analysis of geometric deviations in contact measuring instruments for control and laser contactless scanning. Environment. Technology. Resources. Rezekne, Latvia, Proceedings of the 14th International Scientific and Practical Conference. Vol- 3, 306-310(2023)
DOI:10.17770/etr2023vol3.7182
- [6] Z. Peng et al. An integrated approach to fault diagnosis of machinery using wear debris and vibration analysis Wear (2003)
- [7] J. Campos Development in the application of ICT in condition monitoring and maintenance Comput. Ind. (2009)
- [8] P. Castellini et al. Laser Doppler Vibrometry: development of advanced solutions answering to technology's needs Mech. Syst. Signal Process. (2006)
- [9] A.K. Jardine et al. A review on machinery diagnostics and prognostics implementing condition-based maintenance Mech. Syst. Signal Process. (2006)
- [10] M.L. Fugate et al. Vibration-based damage detection using statistical process control Mech. Syst. Signal Process. (2001)
- [11] Z.Y. Chen et al. Evolutionary strategy for classification problems and its application in fault diagnostics Eng. Appl. Artif. Intell. (2003)
- [12] [5] Eric Peasley, An Introduction to Using Simulink Department of Engineering Science, University of Oxford, Adapted and updated by Dr I. F. Mear using MATLAB 2017b and MATLAB 2018b.
- © 1994-2023 The MathWorks, Inc.