

Joint Time-Frequency Analysis Method를 이용한 방적사의 불균제 해석에 관한 연구

이성웅, 정성훈
한양대학교 섬유공학과

1. 서론

방적 공정에 있어서 방적사의 불균제의 분석은 방적사 품질의 향상을 위하여 필수적이다. 그런데 일반적으로 방적사의 주기적 불균제를 분석하기 위하여서는 Fourier Transform(FT)을 사용해왔으나 FT은 시 영역 정보의 소실이라는 결정적인 단점가지고 있다. 이것은 다시 말하면 국부적으로 나타나는 변동의 정보는 소실된다는 것이다. 이 단점을 보완하기 위하여 제안된 것이 Short-Time Fourier Transform(STFT)이며 이전의 연구[1,2,3]에서는 STFT을 이용하여 방적사의 불균제를 해석하였다. 이 STFT의 기법은 시 영역을 일정한 크기로 나누어 그 각각을 FT하는 형식을 취한 것으로 주어진 데이터의 시 영역과 주파수 영역의 정보를 동시에 볼 수 있는 장점이 있다. 그러나 이 STFT는 여러 가지의 Joint Time-Frequency Analysis(JTFA)의 기본적인 한 방법일 뿐이며 이보다 더 개선된 다양한 방법이 많은 연구자들에 의하여 연구되어있다. 본 논문에서는 여러 가지로 제안된 JTFA의 다양한 방법[4]들을 사용하여 방적사의 주기적 불균제와 방적사 직경의 비정상 거동을 분석하여 보았으며 각각의 방법들을 비교·분석하였다.

2. 이론

2.1. STFT Spectrogram

STFT Spectrogram은 기본적인 STFT[1]의 제곱으로 정의되며 이것을 식으로 표현하면 다음과 같다.[2]

$$SP[m\Delta M, n] = \left| \sum_{i=0}^{N-1} s[i] \gamma[i - m\Delta M] e^{-\frac{j2\pi ni}{N}} \right|^2 \quad (1)$$

이 식에서 N 은 주파수의 개수이며, ΔM 은 샘플링 구간의 크기이다.

STFT Spectrogram은 STFT를 기반으로 하기 때문에 계산이 간단하고 빠르지만 window 효과의 영향을 받게된다.

2.2. Wigner-Ville Distribution

Wigner-Ville Distribution(WVD)을 식으로 나타내면,

$$WVD[i, k] = \sum_{m=-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} R[i, m] e^{-j\frac{2\pi km}{L}} \quad (2)$$

이때 함수 $R[i, m] = z[i+m]z^*[i-m]$ 이다.

이 WVD은 매우 좋은 해상도를 가지지만 분석을 하려는 데이터가 두 가지 이상의 구성요소를 포함할 경우 요소들간의 상호 작용으로 crossterm interference를 가지게 된다. 이 crossterm interference의 영향을 줄이기 위하여 WVD를 보완한 것이 Pseudo Wigner-Ville Distribution(PWVD)이며 다음에 나타내었다.

$$PWVD[i, k] = \sum_{m=-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} w[m] R[i, m] e^{-j\frac{2\pi km}{L}} \quad (3)$$

이 PWVD는 window 함수 $w[m]$ 를 WVD에 적용한 것이다.

2.3. Cohen's Class

1966년 Leon Cohen은 식(4)로 나타내어지는 $C[i, k]$ 를 제안하였다.

$$C[i, k] = \sum_{m=-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} \sum_n \Phi[i, m] R[i-n, m] e^{-j\frac{2\pi km}{L}} \quad (4)$$

Cohen's Class라 불리는 $C[i, k]$ 는 지금까지 알려진 STFT, WVD 등과 같은 식을 포함하는 더욱 일반적인 식이다. 식이 뜻하는 바와 같이 $\Phi[i, m]$ 는 커널 함수이다. 이 커널을 변화시킴으로 발전된 JTFA를 구현할 수 있다.

2.4. Choi-Williams Distribution

Choi-Williams Distribution(CWD)은 위에서 설명한 Cohen's Class의 커널을 다음과 같이 정의한 것이다.

$$\Phi[i, m] = \sqrt{\frac{\alpha}{4\pi m^2}} e^{-\frac{\alpha i^2}{4m^2}} \quad (5)$$

이 CWD는 crossterm의 영향을 효과적으로 줄일 수 있으나 autoterm의 영향을 피할 수 없으며 더욱이 계산의 속도가 매우 느린 단점을 가지고 있다.

2.5. Cone-Shaped Distribution

CWD와 마찬가지로 Cohen's Class의 커널을 다음과 같이 변화시킴으로 Cone-Shaped Distribution은 정의된다.

$$\Phi[i, m] = \begin{cases} e^{-\frac{\alpha m^2}{c}} & \text{for } i < |m| \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (6)$$

이 CSD의 특징은 CWD와 비교하여 crossterm과 autoterm의 억제 효과가 좋으며, 계산 속도 등의 성능의 향상이다.

2.6. Gabor Spectrogram

WVD의 window 방법을 STFT에 적용한 것이며 그 형식은 다음의 식과 같다.

$$GS_D[i, k] = \sum_{|m-m'|+|n-n'| \leq D} C_{m,n} C_{m',n'} WVD_{h,h'}[i, k] \quad (7)$$

이 GS의 특징은 기존의 STFT보다 향상된 해상도를 가지며 crossterm의 억제효과를 가지고 있다.

3. 실험 및 분석

3.1. 실험 재료 및 신호 처리

본 실험에서 사용한 방적사는 100% Mississippi cotton으로 제조된 Ne 18의 Rotor 방적사와 임의의 단주기 이상 변동을 부가하기 위하여 특별히 제조한 malflake 방적사를 사용하였다. 이 방적사의 직경 변동을 알아보기 위하여 Zweigle[®]사의 사구조 분석기인 G-580을 사용하였다(측정 속도:100m/min, 측정 간격:2mm). 그리고 사구조 분석기에서 나오는 방적사 직경 아날로그 신호를 디지털화 하여 컴퓨터에 저장시키기 위해 본 실험실에서 구축한 DAQ system을 사용하였다[1].

3.2 데이터의 분석

얻어진 방적사의 직경 변동 데이터 중 20,000개를 취하여 분석을 실시하였다.

1. Rotor 방적사에서 얻어진 직경 데이터 사이에 malflake 방적사의 데이터를 삽입하여 얻어진 가상의 방적사 직경 데이터를 사용하여 STFT Spectrogram, Pseudo Wigner-Ville

Distribution, Choi-Williams Distribution, Cone-Shaped Distribution, Gabor Spectrogram을 구하였다(Table 1).

- 가상의 방적사 직경 데이터를 diagram으로 나타내고(Fig. 1), 분석한 데이터를 가로축을 시간 세로축을 주파수로 하여 magnitude를 그래프로 나타내었다. magnitude는 명암을 이용하여 표현하였으며 백색에서 흑색으로 갈수록 더 큰 값을 나타낸다(Fig. 2~Fig. 6).

4. 결과 및 고찰

4.1. Diagram

세로축은 시간이며 가로축은 방적사 직경에 해당하는 magnitude이다. diagram에서 알 수 있듯이 균일한 rotor방적사 사이에 이상 직경 변동이 발생하였음을 알 수 있는데 이것은 삼입된 malflake 방적사에서 기인된 것이다(Fig. 1).

4.2. Short Time Fourier Transform Spectrogram

가장 기본적인 JTFA의 방법이다. STFT Spectrogram(Fig. 2)에서 주어진 직경 데이터의 이상 변동 구간을 확인 할 수 있으며, 이상 변동의 주기 또한 알 수 있다. 그러나 rotor 방적사 구간에서는 특별한 변동 주파수 값을 확인할 수 없었다.

4.3. Wigner-Ville Distribution

매우 좋은 해상도를 가진다고 알려져 있으나 데이터에 구성요소에 의한 interference가 크다. Fig. 3에서도 알 수 있듯이 상호 간섭에 의하여 방적사의 시간-주파수 정보를 잘 알아볼 수 없었다.

4.4. Choi-Williams Distribution

Crossterm interference를 효과적으로 줄인 이 CWD는 이상 직경 변동의 구간을 잘 나타내고있지만 autoterm interference의 영향으로 이상 변동 구간내의 주파수 정보가 불확실하다. 그러나 rotor 방적사 중에 있는 급격한 직경변동을 잡아내고 있다(Fig. 4).

4.5. Cone-Shaped Distribution

CWD에 비하여 상호 간섭의 영향이 적어 이상 변동을 잘 나타내주며, autoterm의 영향이 적어 구간내의 주파수 정보도 잘 보여준다. 그러나 STFT Spectrogram의 경우와 마찬가지로 rotor 방적사에 관한 정보는 확인 할 수 없었다(Fig. 5).

4.6. Gabor Spectrogram

Fig. 6은 Gabor Spectrogram을 나타낸 것으로 주어진 방적사 데이터의 이상 구간을 정확하게 나타내고 있으며, 구간내의 주파수 정보 또한 명확하다. 그리고 rotor 방적사의 구간의 정보도 뚜렷이 보여주고 있으며, rotor 방적사 중에 있는 급격한 직경변동도 잘 잡아내고 있다. 기존의 STFT에 WVD의 window를 적용하여 해상도가 향상됨을 알 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 기존의 Short Time Fourier Transform을 포함하는 다양한 Joint Time-Frequency Analysis 방법 중 STFT Spectrogram, Pseudo Wigner-Ville Distribution, Choi-Williams Distribution, Cone-Shaped Distribution, Gabor Spectrogram을 방적사의 주기 불균제 분석을 위하여 적용하여 보았다.

결과를 보면 Gabor Spectrogram이 가장 뛰어난 분석 능력을 보여줌을 알 수 있다. 각각의 분석 방법은 분석 알고리즘에 따라 특징이 다르기 때문에 사용한 방법 중 Pseudo Wigner-Ville Distribution, Cone-Shaped Distribution은 분석에 적당치 못했다. 또한 STFT Spectrogram과 Choi-Williams Distribution은 정확한 분석이 힘들었다.

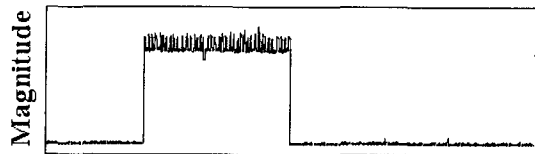
결론적으로 방적사의 주기 불균제의 분석에 가장 적당한 방법은 STFT에 WVD의 window를 적용한 Gabor Spectrogram임을 알 수 있었다.

참고 문헌

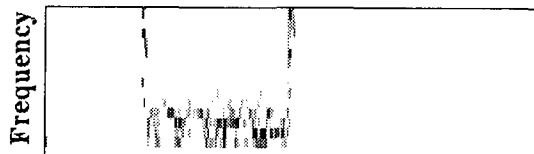
1. 박장규, Short-Time Fourier Transform을 이용한 방적사의 불균제 해석, 석사논문, 한양대학교, 1997
2. 강구탁, The Analysis of Short-Term Periodic Unevenness of Spun Yarn with Wavelet Transform, 석사논문, 한양대학교, 1998
3. 이성웅, 방적사 단주기 불균제도 해석에 관한 연구, 학술발표회 논문집, pp 340~343, 한국섬유공학회
4. National Instruments, "Joint Time-Frequency Analysis Toolkit Reference Manual", pp 3-1~3-13, National Instruments, Austin Texas, 1998

Table 1. Parameters Setting in this analysis

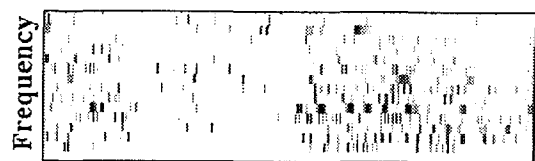
	분 석 방 법	분 석 조 건
1	Short Time Fourier Transform	window type : rectangular window size : 256
2	Pseudo Wigner-Ville Distribution	Gauss window Var : 1,0000
3	Choi-Williams Distribution	parameter α : 5
4	Cone-Shaped Distribution	parameter α : 5
5	Gabor Spectrogram	window size : narrowband order D : 2



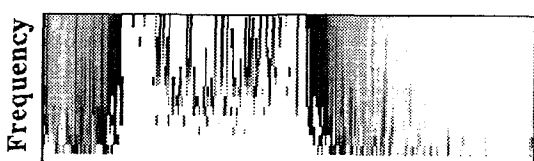
Time
Fig. 2 Diagram of Yarn Diameter



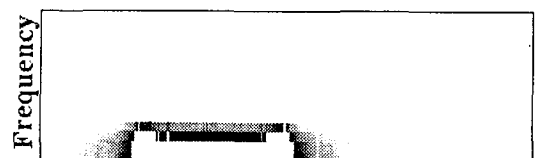
Time
Fig. 4 Short Time Fourier Transform Spectrogram



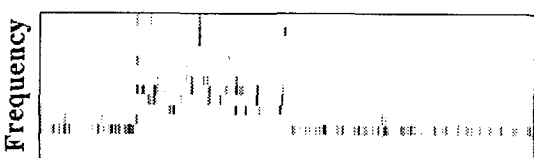
Time
Fig. 6 Wigner-Ville Distribution



Time
Fig. 8 Choi-Williams Distribution



Time
Fig. 11 Cone-Shaped Distribution



Time
Fig. 12 Gabor Spectrogram