

# Underlay 인지 무선 시스템을 위한 Sparse OTFS 방식 연구

류관웅, 최성웅, 김혁제, 김준석, 김청섭, 최권휴\*  
한국전자통신연구원, \*영남대학교

kwryu0730@etri.re.kr

## Sparse OTFS method study for cognitive wireless system

Kwanwoong Ryu, Sung Woong Choi, Hyuk-Je Kim, Junseok Kim, Chung-Sup Kim,  
Kwonhue Choi\*

Electronics and Telecommunication Research Institute (ETRI), \*Yeungnam Univ.

### 요약

본 논문에서는 PU(primary user)로 SC-FDMA(single-carrier FDMA), SU(secondary user)로 Sparse OTFS(orthogonal time frequency space)을 사용하는 underlay 방식의 인지 무선(cognitive radio) 시스템을 제안한다. Sparse OTFS는  $N_s$  개의 정보 심볼을 DD(delay-Doppler)도메인에 sparse 하게 맵핑한다. 여기서  $N_s$ 는  $M \times N$  DD도메인 그리드 보다 작으므로 다양한 맵핑 패턴에 따라 DD도메인 그리드에 맵핑될 수 있다. 실험결과 여러가지 sparse 패턴 중 'diagonal' 과 'max distance'가 가장 우수한 성능을 가짐을 보인다.

### I. 서론

최근에 시변 무선 채널의 심각한 도플러 편이에 대해 강력한 성능을 제공하는 직교 시간 주파수 변조(OTFS, Sparse orthogonal time frequency space)라는 새로운 다중 반송파 변조방식이 제안되었다[1]-[4]. OTFS는 DD(delay-Doppler)도메인의 모든 정보 심볼들을 최대 효율 다이버시티를 달성하기위해서 TF(time-frequency)도메인에 대해 확산하는 새로운 2차원(2D) 변조 기법이다. 즉 2차원(2D) 변환을 사용하여 OTFS 프레임의 모든 정보 심볼 각각이 전체 TF다이버시티를 활용할 수 있도록 전체 TF도메인에 분산된다. 또한, OTFS 변조를 사용하면 이중 선택 채널이 DD영역에서 몇 가지 매개변수로만 표현될 수 있으므로 상대적으로 안정적이고 희박한 채널 모델을 제공하여 수신기 설계가 용이하다[1]-[4].

본 논문에서는 이러한 OTFS 방식을 underlay 방식의 무선인지 시스템에 적용하기위해 DD영역에서 Sparse하게 배치하여 사용하는 Sparse OTFS 방식을 제안한다.

### II. 본론

그림 1은 primary 사용자(PUs)은 SC-FDMA(single-carrier FDMA)방식을 사용하고 secondary 사용자(SU)는 Sparse OTFS 방식을 사용하는 언더레이 S-OTFS 시스템의 개념도를 보여준다.

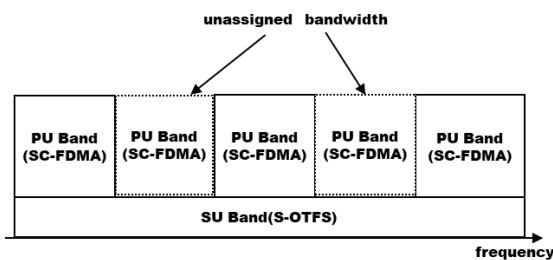


Fig. 1 언더레이 Sparse OTFS 시스템

여기서 PU 사용자들은 기존 4G 혹은 5G와 같은 무선통신의 업링크 전송방식인 SC-FDMA를 사용한다고 가정한다.

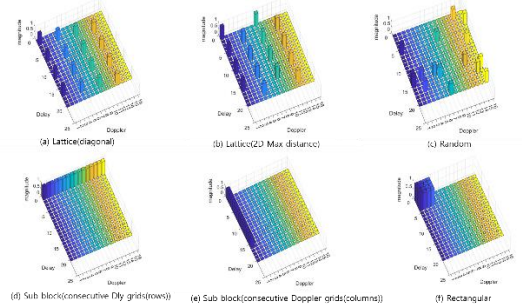


Fig. 2 S-OTFS의 DD 맵 Sparse 패턴(lattice(diagonal))

Sparse OTFS는 OTFS의 DD(delay doppler)맵에서 정보심볼을 Sparse하게 배치함으로써 TF(time frequency)영역에서 낮은 전력으로 확산하게 된다. 그림 2는 SU로 사용가능한 다양한 Sparse 패턴을 보여준다. 각 Sparse 패턴의 특징을 다음과 같다.

- ✓ Fig.2(a) Lattice (Diagonal): DD 영역에서 사선방향으로 배치:  $N_s$  개의 정사각형(또는 최대한 근접한) 격자 생성 후 Delay 축으로 정사각형 한 변에 등 간격으로 Skewing 하여 사선 배치.
- ✓ Fig.2(b) Lattice (2D max distance): DD 영역에서 각각의 심볼사이 거리가 최대 거리를 가지도록 설정한 배치 방법:  $N_s$  개의 정사각형(또는 최대한 근접한) 격자 생성 후, Delay 축으로 정사각형 한변의 절반만큼 엇갈리게 Circular Shift
- ✓ Fig.2(c) Random: 난수를 적용하여 DD 영역의 임의의  $N_s$ 개 위치에 배치
- ✓ Fig.2(d) Sub block (consecutive delay grids (rows)): DD 행렬에서 이웃한 행들로 이루어진  $N_s$  크기의 블록에 배치
- ✓ Fig.2(e) Sub block (consecutive Doppler grids (columns)): DD 행렬에서 이웃한 열들로 이루어진  $N_s$  크기의 블록에 배치

- ✓ Fig.2(f) Rectangular: DD 영역을  $N_s$  개의 정사각형(또는 최대한 근접함 직사각형)으로 분할하고 각 정사각형의 정해진 위치에 하나씩 배치

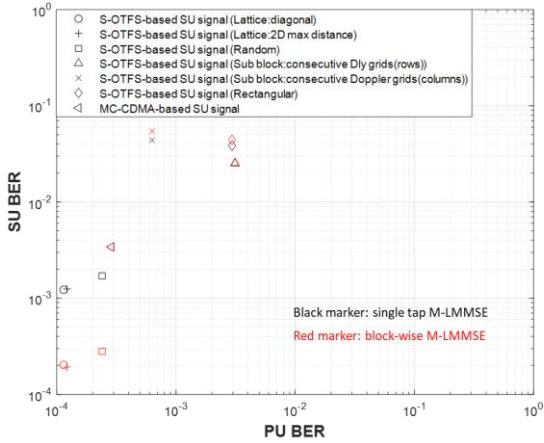


Fig. 3 PU(SC-FDMA)와 SU(Sparse OTFS)의 동시 BER 성능(PU=2, M=64, N=16,  $N_s=64$ , Z=CP=8, EVA channel model, 이동속도=500 km/h)

그림 3는 PU는 SC-FDMA와 SU는 Sparse OTFS를 사용하는 경우, 이동속도 500 km/h인 EVA(Extended Vehicular A) 채널모델에서 PU와 SU의 동시 BER 성능을 나타낸다. 여기서 PU는 전체 주파수대역 중 25%( $PUs=2$ )를, SU들은 전체 주파수대역을 사용함으로써 SU와 전체 주파수대역 중 25%를 공유한다. 여기서 등화기로서 PU의 간섭저감 방식이 적용된 시간영역 block-wise M-LMMSE와 single-tap M-LMMSE를 사용한다. 그림 3에서 보는 것과 같이 Sparse 패턴 중 'lattice(diagonal)', 'lattice(max distance)', 그리고 'Random'이 SU로 MC-CDMA를 사용하는 방식에 비해 PU 및 SU BER이 우수한 성능을 나타내었다. 가장 우수한 성능을 보인 패턴은 'lattice(diagonal)' 혹은 'lattice(max distance)'임을 알 수 있다.

### III. 결론

본 논문에서는 인지 무선(cognitive radio) 시스템을 위한 PU로는 SC-FDMA, SU로 Sparse OTFS 방식을 사용하는 underlay 방식을 제안했다. 실험결과 SU의 여러가지 sparse 패턴 중 'diagonal'과 'max distance'일 때 PU 및 SUBER이 가장 우수한 성능을 나타냄을 알 수 있었다.

### ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2024년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.2022-0-00024, 민군 공유주파수 환경기반 적용형 간섭 저감기술 개발)

### 참고 문헌

[1] R. Hadani et al., "Orthogonal time frequency space modulation," in Proc. IEEE Wireless Commun. Netw. Conf. (WCNC), San Francisco, CA, USA, Mar. 2017, pp. 1-6.

[2] Y. Hong, T. Thaj, and E. Viterbo, Delay-Doppler Communications: Principles and Applications. London, U.K.: Academic Press, 2022.

[3] T. Thaj and E. Viterbo, "Low complexity Iterative Rake Decision Feedback Equalizer for Zero-Padded OTFS systems," in IEEE Trans. Veh. Tech., vol. 69, no. 12, pp. 15606-15622, Dec. 2020, doi: 10.1109/TVT.2020.3044276.

[4] P. Raviteja, Y. Hong, E. Viterbo, and E. Biglieri, "Practical pulse-shaping waveforms for reduced-cyclic-prefix OTFS," IEEE Trans. Veh. Technol., vol. 68, no. 1, pp. 957-961, Jan. 2019.