

JCR system을 위한 프레임 구조 최적화

박지민, 김영훈, 유희정

고려대학교 전자정보공학과

{pgm8434, oh8643, heejungyu}@korea.ac.kr

Optimal Frame Structure for Joint Communication and Radar System

Ji Min Park, Young Hoon Kim, Heejung Yu

Department of Electronics and Information Engineering, Korea University

요약

Pilot과 data로 이루어진 통신 신호를 이용하여 레이더와 통신 기능을 동시에 수행하는 환경에서 pilot은 레이더 기능과 데이터 복조를 위한 channel estimation 기능을, data 신호는 통신 기능을 수행한다. 레이더 및 통신의 성능 지표를 CRLB와 throughput으로 나타내었다. Pilot 전력값의 변화에 따라 CRLB와 throughput의 변화를 확인하였으며, 이들의 가중치 합을 이용하여 레이더 성능과 통신 성능 간의 최적화 지점을 구하였다. 가중치를 바꾸어 가며 각각 레이더 성능과 통신 성능에 중점을 둔 경우, 레이더 성능이 우세할 경우 P_p 값은 증가하였고, 통신 성능이 우세할 경우 P_p 값이 감소하는 것으로 나타났다.

I. 서론

현재 많은 자동차에서는 여러 가지 레이더를 이용하여 차량안전에 있어 많은 편의를 제공하고 있다. 그러나 최근에는 V2X에 대한 관심이 높아지면서 자동차에 레이더뿐만 아니라 차량과 차량, 차량과 사람 등 다양한 요소들과의 통신을 위한 시스템 또한 중요도가 높아졌다. 레이더와 통신시스템을 각각 사용할 수 있지만, 하나의 파형을 이용하여 레이더 기능과 통신 기능을 동시에 수행한다면 경제적으로도, 공간적으로도 그 활용도가 높을 것이다. 이를 실현시키기 위해 IEEE 802.11ad를 기반으로 하여 통신과 레이더 기능을 동시에 수행하기 위해 활발한 연구가 이루어지고 있다.

본 논문에서는 통신 signal을 기반으로 레이더 성능과 통신성능의 최적화를 위한 pilot power와 data power간의 trade off에 대해 알아볼 것이다.

는 레이더 신호로 활용하는 V2V 통신 모델을 고려한다.

그림 2와 같이 총 전송 시간은 T 이며, pilot과 data 신호의 전송시간은 각각 T_p 와 T_d 이다. 전체 frame의 에너지는 PT 로 정의되며 pilot과 data 신호의 전력은 각각 P_p 와 P_d 로 아래의 식을 따른다.

$$T = T_p + T_d$$

$$PT = P_p T_p + P_d T_d \quad (1)$$

송신 차량과 수신차량 사이의 채널 이득 h 는 변하지 않는다고 가정한다. T_p 는 1로 고정시킨 후, P_p 와 P_d 값을 변화시키며 최적화를 고려한다. 수신 차량에서는 MMSE 추정기로 채널을 추정하며, channel estimation error를 고려한 throughput은 아래의 식을 따른다.

$$C = \frac{T_d}{T_p + T_d} \log_2 \left(1 + \frac{P_d \sigma_h^2}{1 + P_p \sigma_h^2} \right) \quad (2)$$

여기서 채널 추정 오차의 분산은 $\sigma_h^2 = \mathbb{E}[h - \hat{h}]^2 = (1/(1 + P_p T_p))$ 에 의해 주어지며, 여기서 \hat{h} 은 채널 추정치를 나타낸다.[1] 채널 추정치의 분산은 $\sigma_h^2 = \mathbb{E}[\hat{h}]^2 = (P_p T_p / (1 + P_p T_p))$ 와 MMSE 추정치에 대한 $\sigma_h^2 = 1 - \sigma_h^2$ 에 의해 결정된다.[1]

레이더 성능의 경우 CRLB를 이용하여 거리에 대한 정확도를 볼 것이며, 거리에 대한 CRLB는 아래의 식을 따른다.[2]

$$\sigma_d^2 \geq \frac{c^2}{32\pi^2 B_r^2 (1 - \alpha) TSNR_r} \quad (3)$$

여기서 c 는 빛의 속도, B_r 은 $B/\sqrt{12}$ 는 flat spectrum이 가정될 때 프리앰블의 루트 평균 제곱 대역폭이다.

III. 통신 센싱 최적화

Joint Communication Radar (JCR)의 목적은 하나의 signal을 이용하여 통신 기능과 레이더 기능을 동시에 사용하기 위함이다. 본 논문에서는 JCR system의 통신 성능과 레이더 성능 간의 최적 점을 찾기 위해 통신 성능의 지

II. System Model



그림 1. System Model

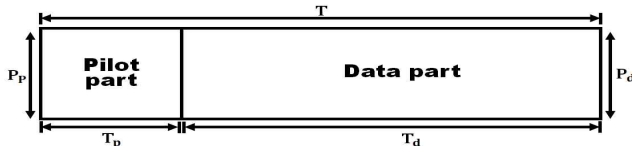


그림 2. 통신 신호 frame 구조

본 논문에서는 그림 1과 같이 송신 차량에서 수신 차량으로 통신 signal을 전송하며 이때, 송신 차량과 수신 차량은 일직선상에 있다고 가정한다. 송신 차량에서 보내는 통신 frame은 pilot과 data part로 구성되며 수신차량에서는 pilot 신호를 이용하여 channel estimation을 실시하며, 송신차량에서는 수신차량에서 반사된 에코 신호를 이용하는 수신차량의 위치, 즉 거리를 추정하

표는 (2)식을 이용하여 throughput으로 나타내며, 레이더 성능의 지표는 (3)식을 이용하여 CRLB로 나타낸다. JCR의 utility function을 throughput과 CRLB의 가중치 합으로 정의하며, 본 논문에서는 JCR utility function을 최대화 하는 것을 목적으로 하며, 시뮬레이션을 통해 최적화 지점을 관찰하고자 한다.

$$U = 0.0001BW \times C - w \log_{10}(CRLB) \quad (4)$$

여기서 BW는 signal의 bandwidth를, C와 CRLB는 식 (2)와 (3)을 이용하여 계산한 throughput과 CRLB를 나타내고 W는 가중치를 나타낸다. 즉, 가중치 값 w가 증가할수록 레이더 성능에 더욱 초점을 맞추는 방향으로 utility function을 정의하는 것이라 할 수 있다.

IV. 실험결과

통신과 레이더 성능간의 최적화 지점을 찾기 위해 T=1000, 전체 power는 100,000으로 고정 시킨 후, P_p 값을 1부터 100,000,000까지 1,000단위로 변화시켰다. 송신 차량과 수신 차량 간의 거리 d는 1m이며, 경로 손실계수 n=2인 path loss를 가정하였다.

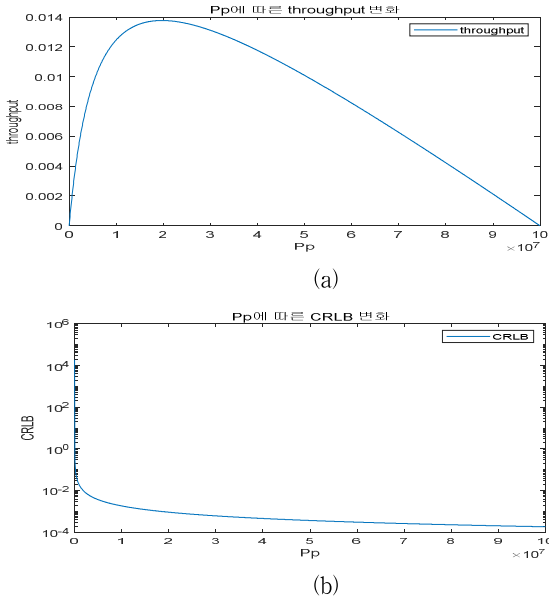


그림3. (a). P_p 에 따른 throughput 변화 (b). P_p 에 따른 CRLB 변화

그림 3은 각각 식2와 식3을 이용하여 P_p 값을 변화 시켰을 때의 throughput과 CRLB이다.

그림 3a.에서 보는 것과 같이 최대 throughput을 가질 때는 P_p 값이 19722001일 때 최대 값을 가진다. P_p 값이 증가하게 되면 P_d 값은 줄어들지만 channel estimation error가 좋아져 throughput이 증가하게 된다. 하지만 일정 수준의 P_p 값 이상 되면 P_d 값의 감소가 더 크게 영향을 미쳐 throughput은 감소하게 되는 것을 볼 수 있다.

그림 3b.의 CRLB 그래프의 경우 P_p 값에만 영향을 받으므로 P_p 값이 증가할수록 감소하며 성능이 좋아지는 것을 볼 수 있다.

그림 4.의 경우 식 (4)를 이용하여 throughput과 CRLB간의 최적화 곡선을 나타냈으며 가중치 w=1000이다.

그림 4.에서 보는 것과 같이 P_p 값이 25845001인 지점에서 가장 최적화가 잘 되는 것을 알 수 있다.

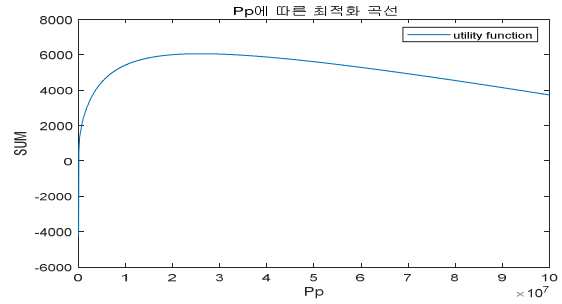


그림4. P_p 값에 따른 최적화 곡선

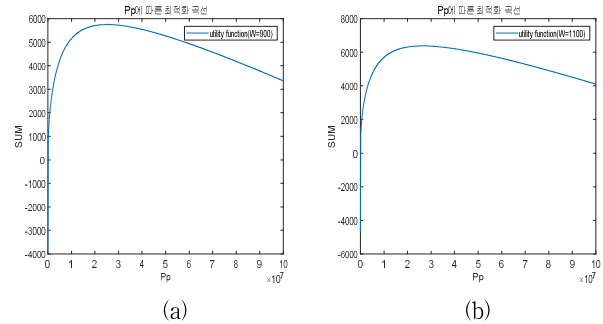


그림5. (a). w=900일 때 opt값 (b). w=1100일 때, opt값

그림 5의 경우 W값을 조절하여 각각 통신과 레이더 성능에 중점을 둔 것이다. 각각 가중치 w = 900, 1100일 때를 나타내며, 그림 5a는 통신 성능에, 그림 5b는 레이더 성능에 중점을 둔 것이다.

각각 P_p 값이 25211001, 26483001일 때 최적화 되는 것을 알 수 있으며, 통신 성능에 중점을 둘수록 최적화 되는 P_p 값이 작아지는 것을 볼 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 pilot part와 data part로 이루어진 통신 파형을 가정하여 실험을 진행하였다. 레이더와 통신 성능 지표인 CRLB와 throughput 사이의 가중치합을 최적화하는 프레임 구조를 제안하였다. 모의 실험을 통하여 여러 환경에서의 프레임 구조를 최적화함으로써 통신 및 레이더 성능 사이의 최적점을 찾을 수 있음을 보였다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임. (2019R1A2C1083988)

참고 문헌

- [1] H. Yu, Y. Sung and Y. H. Lee, "On optimal operating characteristics of sensing and training for cognitive radios," IEEE ICASSP 2008, pp. 2785-2788.
- [2] P. Kumari, D. H. N. Nguyen and R. W. Heath, "Performance trade-off in an adaptive IEEE 802.11AD waveform design for a joint automotive radar and communication system," IEEE ICASSP, 2017, pp. 4281-4285.