

강화학습을 이용한 단파 통신의 동적 주파수 선택 알고리즘

조성준, 조한신

한밭대학교

dely1038@gmail.com, hsjo@hanbat.ac.kr

Dynamic Frequency Selection Algorithm
for High Frequency Communication Using Reinforcement Learning

Seong-Jun Jo, Han-Shin Jo

Hanbat National University

요약

본 논문은 강화학습(Q-learning)을 이용하여 단파 통신의 최적 사용주파수를 선택하는 알고리즘을 제안한다. 군, 선박, 항공사 등 다양한 분야에서 사용되는 단파 통신은 전리층의 반사를 이용하는 특징이 있다. 따라서 전리층의 상태에 적합한 송신 안테나의 양각과 주파수를 사용해야 한다. 현실적으로 실시간으로 변화하는 전리층의 상태에 맞추어 안테나의 양각을 조절하는 데에는 한계가 있으므로 통신 성공 조건을 만족하는 주파수를 찾는 것이 효율적이다. 따라서 본 논문에서는 이러한 최적 주파수를 찾기 위해 강화학습의 알고리즘 중 하나인 Q-learning을 사용하여 목표 지점을 중심으로 형성되는 coverage area를 최대화하는 동적 주파수 선택 알고리즘을 제안한다.

I. 서론

단파(High Frequency, HF) 통신은 3-30 MHz의 주파수 대역을 사용하는 통신 기술로 통신 장비가 저렴하고 장거리 통신이 가능하다는 장점이 있고, 군, 선박, 항공사 등 다양한 분야에서 사용되고 있다[1]. 단파 통신은 장거리 통신을 위해 전리층의 반사를 이용한다. 전리층은 일변화, 계절 변화, 태양활동주기에 따라 상태가 변하므로 전리층의 상태에 알맞은 송신 안테나의 양각(Δ)과 주파수를 사용하여 성공적인 통신이 가능하다. 전리층은 D, E, sporadic E(E_s), F1, F2층으로 분류되는데 이중 F2층은 대부분의 단파 통신에 활용된다. 전파가 F2층에 반사되기 위해서는 E층의 스크리닝 주파수($f_{S/E}$)보다 높고 최고 사용주파수(MUF)보다 낮은 주파수를 사용해야 한다. $f_{S/E}$ 는 E층의 전자 밀도에 따라 결정되는 E층의 임계 주파수(f_oE)와 Δ 에 따라 결정되는 전리층 입사각(ψ)에 의해 계산되며, MUF는 F2층의 임계 주파수(f_oF2)와 ψ 에 의해 계산된다. 여기서 ψ 는 전리층에 따라 달라지고 지구 반지름(R_e)과 각 전리층의 최대 전자 밀도 높이(hmE , $hmF2$), Δ 에 따라 계산된다. 사용주파수가 $f_{S/E}$ 보다 작을 경우, 전파는 E층을 통과하지 못한다. 따라서 전파가 F2층에 도달하지 못하므로 $f_{S/E}$ 보다 큰 주파수를 사용해야 한다. 또한, 사용주파수가 MUF보다 클 경우, 전파가 F2층에 반사되지 않고 투과된다. 따라서 기존 단파 통신은 MUF에 85%만큼의 가중치(w)를 준 주파수(OUF)를 사용한다. 하지만 OUF를 사용하는 것은 전리층 변화에 완벽히 대응한다고 보기 어렵다. 따라서 본 논문은 사용주파수를 MUF의 w 를 85%로 고정하지 않고 w 를 변화해가며 최적 주파수를 선택하는 강화학습 기반 알고리즘을 제안한다. 또한, 단파 통신을 위한 동적 주파수 선택의 기존 연구가 전무하므로 동적 주파수 선택을 위한 기술적 자료로 활용될 수 있을 것이다.

II. 본론

2.1 통신 파라미터

f_oF2 와 $hmF2$ 는 국립전파연구원 우주전파센터의 전리층 관측데이터를 사용하였고, f_oE 와 hmE 는 [2]를 참고하여 통상적인 값을 사용하였으며, SNR 임계치는 [3]을 참고하였다.

송신 안테나 이득은 [4]의 안테나 패턴을 참고하였다. Δ 에 맞게 안테나 패턴을 적용하면 각도에 따라 ψ 가 달라지므로 $f_{S/E}$ 와 MUF가 변하여 통신 가능 여부가 달라지게 된다. 따라서 안테나 패턴은 coverage area를 결정하는 데 중요한 역할을 한다.

2.2 SNR 계산

수신 전력(dBW)은 다음과 같이 계산한다.

$$P_r = P_t + G_t + G_r - FSL, \quad (1)$$

여기서 사용된 FSL은 자유 공간 손실이며 다음과 같이 계산한다.

$$FSL = 32.4 + 20 \times \log_{10}(f) + \log_{10}(l), \quad (2)$$

여기서 사용된 l (km)은 전파의 총 경로 길이이며 다음과 같이 계산한다.

$$l = 2R_e \frac{\sin(\theta)}{\sin(\psi)}, \quad (3)$$

여기서 사용된 θ 는 송수신기 사이 지구 중심각이며 다음과 같이 계산한다.

$$\theta = 180 - 90 - \Delta - \psi \quad (4)$$

최종적으로 SNR(dB)은 다음과 같이 계산한다.

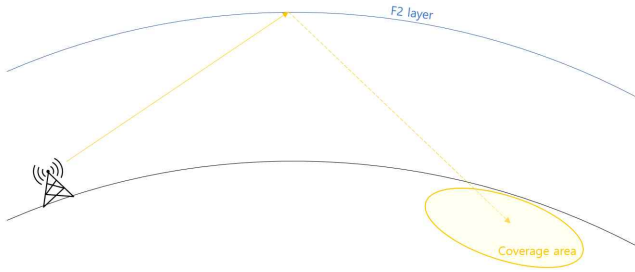
$$SNR = P_r - F_a - 10 \log_{10}(b) + 204, \quad (5)$$

여기서 사용된 F_a 는 외부 잡음이며 다음과 같이 계산한다.

$$F_a = 52 - 23 \log_{10}(f) \quad (6)$$

2.3 Q-learning 및 통신 시나리오

강화학습은 학습의 주체인 에이전트가 환경과 상호작용하여 주어진 state(s)에서 reward(R)를 최대화하는 방향으로 action(a)을 선택하는 policy(π)를 학습하는 알고리즘이다. 본 논문에서는 강화학습의 알고리즘



〈그림 1〉 단파 통신 시나리오

중 모델에 대한 정보가 없어도 학습을 진행할 수 있는 Q-learning을 사용한다. Q-learning은 Q-value를 time step(t)마다 업데이트하여 s 에서 할 수 있는 actions(A) 중 Q-value를 최대화하는 a 를 선택하는 π 를 학습한다. Q-value는 (8)로 계산하고 (9)로 업데이트한다. (9)의 α 는 learning rate, γ 는 discount factor이다.

$$Q_{\pi}(s, a) = E_{\pi}[R_{t+1} + \gamma R_{t+2} + \gamma^2 R_{t+3} + \dots | S_t = s, A_t = a] \quad (7)$$

$$Q(s_t, a_t) \leftarrow Q(s_t, a_t) + \alpha (R_t + \gamma \max_a Q(s_{t+1}, a) - Q(s_t, a_t)) \quad (8)$$

본 논문에서 제안하는 알고리즘에서의 에이전트는 송신기이고 환경은 전리층이며 a 는 $-0.05, 0, +0.05$ 총 세 개이고, 가중치를 s (0에서 1 사이 값)로 받는다. 초기 s 는 0이며 a 를 하여 R 을 받아 Q-value를 업데이트한다. R 은 다음의 통신 시나리오를 따른다.

수신기는 송신기와 1000 km 떨어진 지점의 반경 500 km 영역 내에 분포한다고 가정한다. 따라서 coverage area는 지정한 영역 내에 SNR 임계치를 만족하는 영역을 의미하며 이러한 coverage area를 R 로 받는다. coverage area 계산은 다음과 같이 진행한다. 수직 수평 방사 패턴의 간격인 1° 마다 통신 거리(km)가 다음과 같이 산출된다.

$$d = 2R\theta \quad (9)$$

산출된 d 에 해당하는 SNR을 계산하고 SNR 임계치를 만족하는 d 를 데카르트 좌표로 변환한다. 그 후 같은 수평각을 갖는 좌표들을 이어 선으로 만든 후 지정한 영역에 들어오는 선의 길이를 합하여 coverage area를 계산한다. Q-learning을 진행하기 전에 f_oF2 와 $hmF2$ 를 각각 8 MHz, 300 km로 가정하여 coverage area를 최대화하는 Δ 를 찾아 16° 로 고정하였고, 이후 $f = MUF \times w$ 에 따른 최적 주파수를 선택한다.

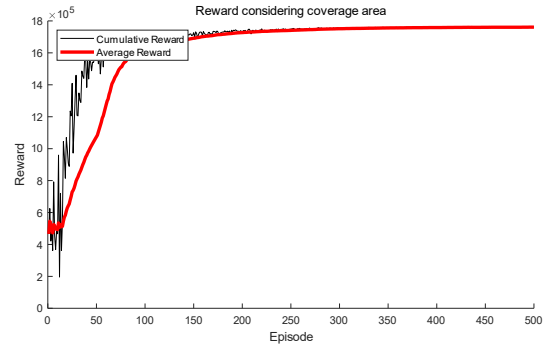
2.4 시뮬레이션 결과

본 시뮬레이터에 임의의 관측 데이터(2019.03.01., 11:00, 제주)를 사용하여 시뮬레이션을 진행하였다. 〈그림 2〉를 보면 에피소드가 진행할 때마다 누적 R 가 증가하여 충분한 학습 후에는 누적 R 가 수렴하는 것을 볼 수 있다. 이는 학습이 잘 진행되어 최적의 w 를 찾아 최적 주파수를 선택하고 있음을 의미한다.

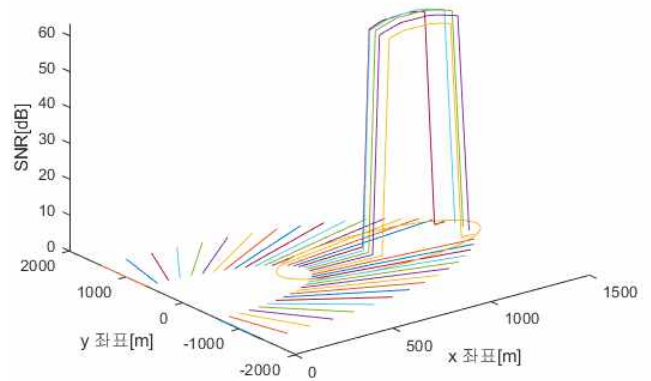
시뮬레이션을 통해 찾은 w 는 0.55이며, 따라서 최적 주파수는 $f = MUF \times w = 7.97 \text{ MHz}$ 로 선택할 수 있다. 〈그림 3〉은 선택한 최적 주파수를 사용하여 출력한 결과이다. 지정한 영역 내의 SNR이 SNR 임계치(60dB)를 만족하는 것을 볼 수 있다.

III. 결론

본 논문에서는 단파 통신의 최적 주파수 선택을 위한 강화학습 기반 시뮬레이터를 제안하였다. 현실적으로 전리층의 변화에 맞게 안테나 양각을 조절하는 것은 한계가 있으므로 적절한 주파수를 찾는 것이 효과적이라고 판단하여 이러한 연구를 진행하였다. 결과적으로 강화학습을 통해 전리층



〈그림 2〉 학습 에피소드의 증가에 따른 누적 R 의 변화



〈그림 3〉 송신기의 위치(0,0)를 기준으로 한 수신기의 위치에 따른 수신 SNR

상태의 변화에 따라 그에 알맞은 최적 주파수를 선택할 수 있음을 확인하였다. 본 시뮬레이터를 통해 통상적으로 사용되는 OUF보다 좋은 성능을 내는 주파수를 찾을 수 있었으므로 본 연구의 의의가 크다고 생각한다. 또한, 강화학습을 통신 문제에 접목시켜 통신 문제를 완벽히 해결했기 때문에 앞으로 다양한 통신 분야에 강화학습을 접목할 수 있음을 확인하였다. 향후 다양한 통신 분야에 강화학습을 접목하는 연구를 진행할 것이고, 특히 본 논문에서 사용된 Q-learning뿐만 아니라 Deep Q-Networks 및 Policy Gradient 등의 심층 강화학습을 적용하는 연구를 수행할 계획이다.

ACKNOWLEDGMENT

본 성과물은 중소벤처기업부에서 지원하는 2020년도 맞춤형 기술파트너 지원사업(No. S2993642)의 연구수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다.

참 고 문 헌

- [1] 국립전파연구원, “국제표준 전리층 최신모델 검증 및 국내 적용기준 마련 연구”, Dec, 2013.
- [2] 국립전파연구원, “우주전파환경 관측자료 데이터 연계방안에 관한 연구”, Dec, 2012.
- [3] “Bandwidths, signal-to-noise ratios and fading allowances in HF fixed and land mobile radiocommunication systems”, ITU-R F.339-8, Feb. 2013.
- [4] “Transmitting antennas in HF broadcasting”, ITU-R BS.80-3, Apr. 1990.