강화학습 기반 적응형 RF filter 제어 기술

이동준, 안달, 임종식, 한상민, 조영호

순천향대학교

ycho@sch.ac.kr

Deep Reinforcement Learning-Based Adaptive RF Filter Control

Dong-Jun Lee, Dal Ahn, Jongsik Lim, Sang-Min Han, Young-Ho Cho

Soonchunhyang University

요 약

본 논문은 cognitive radio system 구현을 위해 가변 RF filter 를 제어하기 위한 강화학습 기반 제어 기술을 제안한다. RF filter 제어를 짧은 시간 안에 이루어지도록 하기 위해 최적화된 action 을 제안한다. 또한 원하는 filter 응답을 얻도록 하기 위한 reward 들을 제안하였다. 제안하는 기술을 적용하였을 때, filter 는 0.8 GHz 에서 1.2 GHz 까지 원하는 주파수 및 대역으로 제어되는 것을 확인할 수 있었다.

Ⅰ. 서 론

가변 RF Filter 는 cognitive radio 시스템 구현을 위한 필수적인 부품으로 현재 많은 연구들이 진행되고 있다 [1]. 그러나 그림 1 과 같이 입력신호의 주파수 및 대역폭에 적합하도록 가변 RF filter 응답이 대응해야 하나 이에 대한 연구들은 아직 미진한 상황이다 [2]-[7]. 따라서 본 논문에서는 가변 RF filter 가 입력신호의 중심주파수 및 대역폭에 적합하게 대응하도록 filter 를 제어하는 기술을 강화학습 기반으로 구현하는 방법에 대해 제안하고자 한다.

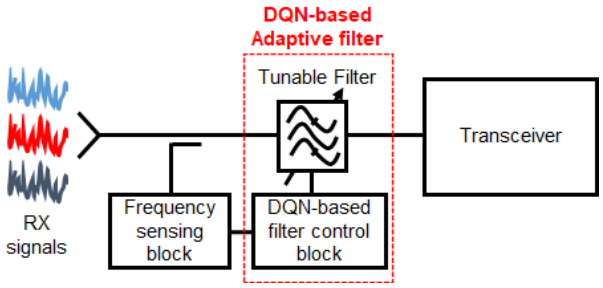

그림 1. 강화학습 기반 적응형 RF filter 제어 기술

Ⅱ. 본론

그림 1 에서와 같이 DQN 기반 filter 제어 기술은 frequency sensing block 에서 입력신호 특성을 센싱한 후, 제어기에 정보를 전달하여 filter 를 제어하도록 한다.

그림 2 에서는 강화학습 기술 중 deep-Q network (DQN) 기술을 사용한 RF filter 제어 기술의 구조이다. 총 5 개의 state (s_1-s_5)를 사용하며 4 개의 action (a_1-a_4)으로 구성하였다. Hidden layer 는 6 개의 계층으로 구성하였고 ReLU 함수를 사용하였다. State 는 filter 의 중심주파수, 대역폭, filter 제어 전압, 그리고 S_{11} 정보로 구성된다. S_{11} 정보는 필터의 중심주파수 및 대역폭 정보를 모두 포함하기 위해 filter 의 cutoff frequency 값으로 하였다.

Action 은 짧은 시간 안에 filter 를 제어하기 위해 0.5V 및 5.0V action 이 추가되었다. 이는 목적한 바이어스로 빠르게 이동하기 위해 사용된다. Reward 는 각 cutoff frequency 에서의 값을 합산하여 filter 응답이 원하는 값이 되었을 때 reward 값을 반환하도록 설계하였다.

Filter 의 중심주파수 및 대역폭은 varactor diode 를 사용하여 가변 되도록 설계하였다. 따라서 제어 전압은 V_{D1} 및 V_{12} 2 개가 필요하다.

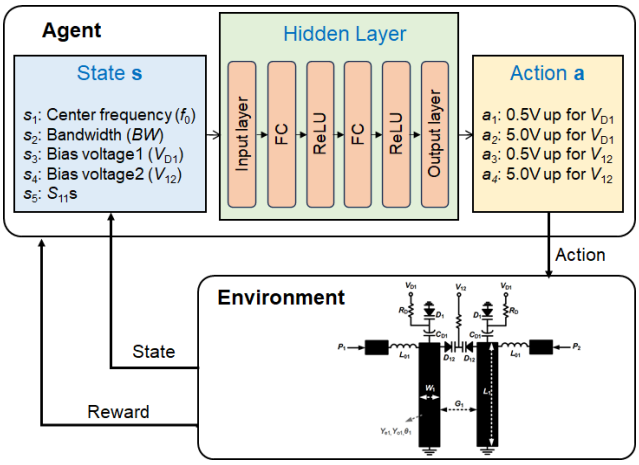

그림 2. DQN 제어 기술

그림 2 와 같이 filter 제어 알고리즘을 구현하여 filter 를 제어하였을 때 그림 3 과 같이 원하는 주파수

및 대역폭으로 filter 응답이 가변 되는 것을 확인할 수 있었다. 주파수는 0.8 GHz 부터 1.2 GHz 까지 100 MHz 의 대역폭을 가지고 가변 되었다. 뿐만 아니라 대역폭의 경우 60MHz 에서 120 MHz 까지 가변 되는 것을 확인할 수 있었다. 중심주파수의 경우에도 기존의 한 스텝씩 가변 되거나 수동으로 가변 되던 filter 와 달리 짧은 시간 안에 제안하는 action 을 통해 가변 되는 것을 확인하였다.

또한 원하는 주파수 대역에서 -15 dB 이상의 우수한 S11 특성이 나타남을 확인하였다.

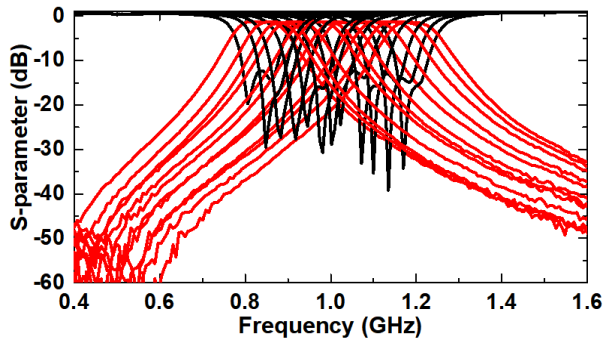

그림 3. Filter 제어 응답

Ⅲ. 결론

본 논문에서는 DQN 기반의 가변 적응형 RF filter 제어 기술을 제안한다. 기존 수동으로 제어되는 가변 filter 와 달리 제안하는 방법은 입력신호 센싱 후, 원하는 filter 특성으로 가변이 가능함을 확인하였다. Filter 는 원하는 주파수 및 대역폭으로 가변되어 cognitive radio system 구현이 가능하도록 설계되었다.

참 고 문 헌

[1] T. Yang and G. M. Rebeiz, “Tunable 1.25-2.1-GHz 4-pole bandpass filter with intrinsic transmission zero tuning,” IEEE Trans. Microw. Theory Tech., vol. 63, no. 5, pp. 1569-1578, May 2015.

[2] approach to learning human experience in tuning cavity filters,” in Proc. IEEE Int. Conf. Robot. Biomimetics, Zhuhai, China, Dec. 2015, pp. 2145- 2150.

[3] Z. Wang, Y. Ou, X. Wu, and W. Feng, “Continuous reinforcement learning with knowledge-inspired reward shaping for autonomous cavity filter tuning,” in Proc. IEEE Int. Conf. Cyborg Bionic Syst., Shenzhen, China, Oct. 2018, pp. 53- 58.

[4] E. Sekhri, R. Kapoor, and M. Tamre, “Double deep Q-learning approach for tuning microwave cavity filters using locally linear embedding technique,” in Proc. Int. Conf. Mech. Syst. Mater., Bialystok, Poland, Jul. 2020, pp. 1- 6.

[5] M. Ohira, K. Takano, and Z. Ma, “A novel deep-Q-network-based fine-tuning approach for planar bandpass filter design,” IEEE Microw. Wireless Compon. Lett., vol. 31, no. 6, pp. 638-641, Jun. 2021.

[6] P. Adhikari, K. Xia, G. Shaffer, B. Ribeiro, and D. Peroulis, “An S-band automatically tunable bandpass filter based on a machine learning approach,” in 2021 IEEE 21st Annual Wireless and Microw. Techn. Conf., Sand Key, FL, USA, Apr. 2021.

[7] M. Ohira, K. Takano, and Z. Ma, “A deep-reinforcement-learning assisted microstrip BPF design approach for multiple specifications,” in Proc Asia-Pacific Microw. Conf., Taipei, Taiwan, Feb. 2024.