

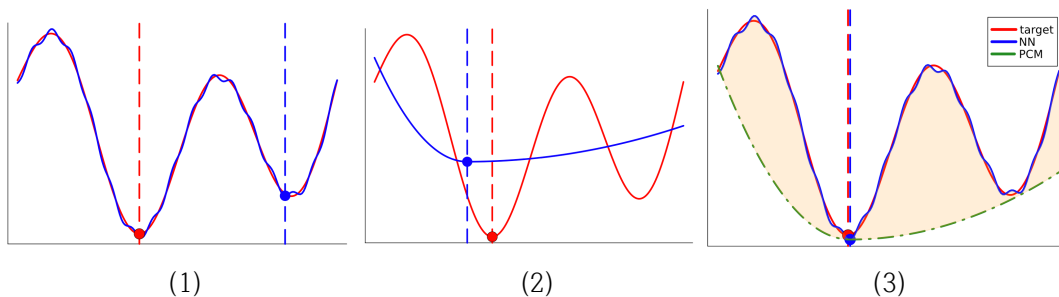
Universal Convex Approximation for Learning Objective Function in Amortized Optimization

김진래

본 학위 논문은 분할상환 최적화(amortized optimization) 목적함수 학습을 위한 보편 컨벡스 근사화에 대한 연구이다. 매개화된(parametric) 최적화는 주어진 매개변수에 대해 최적화를 수행하는 것으로, 항공우주 및 로봇공학과 같이 다양한 공학 분야에서 볼 수 있는 최적제어, 경로계획, 강화학습 등 수많은 의사결정 문제는 매개화된 최적화 문제로 간주될 수 있다. 일반적으로 매개화된 최적화 문제는 비-컨벡스(non-convex)로, 효율적으로 전역해를 구할 수 없어 실시간 의사결정이 어렵다. 분할상환 최적화는 신경망(neural network)으로 사전에 목적(objective) 함수 혹은 최소해(minimizer) 함수 등을 학습하여 온라인에서 필요한 계산량을 줄이는 기법으로, 온라인에서 요구되는 계산량을 오프라인으로 분할상환하여 실시간 의사결정을 가능케 한다.

일반적으로 분할상환 최적화에서 목적함수를 학습할 때 두 가지 목표가 상충한다: 1) **신경망의 표현력(expressiveness)** 및 2) **호환되는 전역 최적화 기법의 효율성(efficiency)**. 신경망이 다양한 목적 함수를 학습할 수 있으려면 표현력이 높아야 하지만, 이 경우 신경망은 비-컨벡스하여 효율적으로 전역 최적화를 수행하기 어렵다. 신경망에 컨벡스 성질을 부여하면 효율적으로 전역 최적화를 수행할 수 있으나, 표현력이 제한된다.

본 학위논문은 위의 서로 다른 특성의 두 신경망을 더하여 **전역해를 효율적으로 얻을 수 있으면서도 뛰어난 표현력을 지닌 신경망을 목표로 한다**. 첫째로, 매개화된 컨벡스 성질을 갖는 PLSE 신경망을 제안한다. PLSE 신경망은 매개화된 컨벡스 성질을 지니면서도, 해당 성질을 갖는 임의의 함수를 근사할 수 있는 표현력을 지닌다. 둘째로, 일반적인 신경망을 변형하여 격차 신경망을 제안한다. 격차 신경망은 늘 음이 아니며, PLSE 신경망의 최소해에서 영의 값을 갖는다. 마지막으로 두 신경망을 합한 EPLSE 신경망을 제안한다. 제안한 EPLSE 신경망은 전역 최소해를 단 한번의 컨벡스 최적화로 도출할 수 있으며, 약한 가정 하에서 임의의 연속함수를 근사할 수 있는 표현력을 지닌다. 해당 특성을 입증하기 위해 수치 시뮬레이션을 수행하였으며, wing-rock 모델의 추종 제어를 위한 **비선형 모델 예측 제어의 전역해를 효율적으로 도출할 수 있음**을 보였다.



신경망 별 분할상환 최적화 목적 함수 학습 차이. (1) 표현력이 높지만 전역해를 찾을 효율적인 알고리즘 결여. (2) 효율적 전역최적화가 가능하나 제한된 표현력. (3) 높은 표현력 및 효율성을 지닌 제안하는 EPLSE 신경망