

## Advances in Dynamic Optimization through Evolutionary Algorithms: A Research Trend Analysis

Ji Eun Park and Tae Jong Choi\*

Chonnam National Univ.

### 요약

이 논문은 진화 알고리즘을 이용한 동적 최적화의 최신 동향을 소개한다. 동적 최적화는 시간이 지남에 따라 변화하는 환경에서 최적의 해결책을 찾는 중요한 문제이다. 많은 연구자들은 이러한 동적 최적화 문제를 효과적으로 해결하기 위해, 시간의 흐름에 따라 변화하는 상황에 빠르게 적응하며 새로운 최적해를 탐색할 수 있는 진화 알고리즘을 활용해 왔다. 특히, 다양성 기반 기법, 메모리 기법, 예측 기법과 같은 여러 동적 최적화 기법이 진화 알고리즘을 기반으로 제안되어 왔다. 본 연구에서는 동적 최적화에서 진화 알고리즘의 성능을 개선하기 위해 제안된 최신 접근법들을 논의하고, 향후 연구의 방향성을 제시한다.

### I. 서론

실질적인 시스템과 환경의 모습은 일정하지 않고 대부분의 경우 시간의 흐름에 따라 변한다. 시간과 환경에 따라 끊임없이 변하는 동적인 특성은 문제의 제약 조건의 변화를 일으키게 되며, 그 변화의 과정은 최적해의 변화까지 불러온다. 시간의 흐름과 동시에 최적해까지 변하고 움직이는 동적인 환경에서는 고정된 최적해만으로 해결할 수 없다. 이를 해결하기 위해 동적 최적화 알고리즘(Dynamic Optimization Algorithm, DOA)의 필요성이 대두되었다.

동적 최적화 알고리즘은 시간의 흐름과 환경의 변화에 맞춰 최적의 결정을 내리기 위한 방법론이다[1,2]. 예를 들어, 내비게이션 시스템에서 목적지까지 최적 경로를 계산할 때, 교통 체증이 심해지는 출퇴근 시간대이거나 갑자기 일어나는 주변의 교통사고 혹은 공사로 인한 상황이 변하면, 동적 최적화 알고리즘은 기존 경로를 수정하여 새로운 경로를 찾는다. 이처럼 동적 최적화 알고리즘은 변화하는 시간과 환경에 적응하여 지속적으로 최적해를 탐색하는 것을 의미하며, 이러한 문제를 동적 최적화 문제(Dynamic Optimization Problems, DOPs)라고 한다.

복잡한 동적 최적화 문제를 해결하려면, 알고리즘이 변화에 빠르게 적응하고 새로운 최적해를 탐색하는 능력이 필요하다[3]. 진화 알고리즘은 이러한 요구를 충족할 수 있는 여러 강점을 지니고 있어, 많은 연구에서 동적 최적화 문제 해결에 활용되고 있다. 진화 알고리즘은 자연 진화 과정을 모방한 최적화 기법으로, 다양한 후보 해를 생성하고 이를 반복적으로 진화시켜 최적해를 찾는다. 또한, 개체군 기반 탐색을 통해 여러 해를 동시에 유지할 수 있어, 변화가 잦고 노이즈가 많은 동적 최적화 문제 해결에 특히 적합하다[3].

여러 진화 알고리즘 중 입자 군집 최적화(Particle Swarm Optimization, PSO)[4]와 차분 진화 알고리즘(Differential Evolution, DE)[5]이 동적 최적화 문제 해결에 가장 많이 사용되었다(그림 1). 이러한 알고리즘을 바탕으로, 많은 연구자들이 다양성 유지 기법, 메모리 기법, 예측 기법 등 다양한 동적 최적화 기법을 제안해왔다. 다음 섹션에서는 이러한 기법들을 자세히 소개한다.

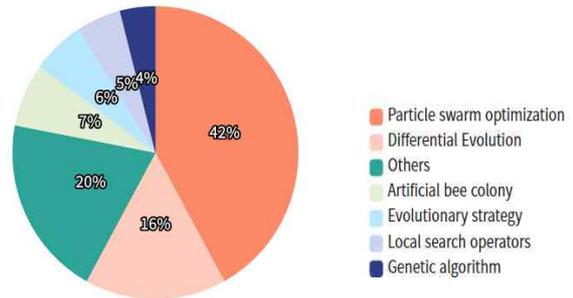


그림 1. 진화적 동적 최적화 알고리즘 사용 비율. [2]에서 발췌.

### II. 진화적 동적 최적화 알고리즘의 최신 연구 동향

진화적 동적 최적화 알고리즘은 진화 알고리즘과 동적 최적화 기법을 결합하는 데 중점을 둔다. 동적 최적화 기법은 두 가지로 분류할 수 있다.

- **예측 기반 기법:** 예측 기반 기법은 동적 최적화 문제에서 최적해의 변화가 특정 규칙에 따라 예측 가능할 때 활용할 수 있는 방법이다. 이 기법은 이전 세대에서 발견된 최적의 후보 해를 바탕으로 새로운 최적의 후보 해를 예측하고, 이를 통해 개체군을 초기화한다[1-3].
- **다양성 기반 기법:** 이 기법은 최적해의 변화를 예측하기 어려운 동적 최적화 문제에 더 적합하다. 최적해의 변화가 발생하면, 개체군에 다양성을 추가하거나 개체군을 여러 그룹으로 나누어 동시에 여러 최적해를 탐색하는 방법 등이 있다[1-3].

다음 섹션에서는 세 가지 최신 진화적 동적 최적화 알고리즘을 분석한다.

#### II-1 CDE-AP (Cooperative Differential Evolution with an Attention-Based Prediction Strategy)

CDE-AP[6]는 동적 다목적 최적화(Dynamic Multiobjective Optimization) 문제를 해결하기 위해 개발된 DE 확장 알고리즘이다. 이 문제 유형에서는 파레토 전선(Pareto front, PF)이 시간이 지남에 따라 달라진다. 기존의 알고리즘은 일부 목표 함수가 다른 함수보다 최적화하기 어려워 파레토 전선을 제대로 균형 있게 근사하지 못하는 경우가 많다. 또한, 이러한 알고리즘들은 예측을 수행하기 위해 추가적인 매개변수를 필요

표 1. 최신 진화적 동적 최적화 알고리즘 비교

	CDE-AP [6]	TPSO [7]	IPSO [8]
최적화	● 동적 다목적 최적화	● 대규모 동적 최적화	● 대규모 동적 최적화
진화 알고리즘	● 차분 진화 알고리즘	● 입자 군집 최적화	● 입자 군집 최적화
동적 최적화 기법	● 여러 개의 개체군을 활용하여 공진화 수행 ● 어텐션 기반 예측 전략에 따라 개체군 업데이트 수행	● 여러 개의 저장소를 활용하여 최적해 저장 ● 해 진이 예측 전략에 따라 개체군 업데이트를 수행	● 여러 개의 저장소를 활용하여 최적해 저장 ● 재결합 기반 샘플링 전략에 따라 개체군 업데이트를 수행

으로 한다. CDE-AP는 여러 개의 개체군을 활용하여 다중 목표를 최적화 하며, 각 개체군은 공동 진화를 위해 새로운 융합 기반 변이 전략을 사용한다. 환경 변화가 감지되면, 개체군은 목표 함수의 과거 변동을 기반으로 한 새로운 어텐션 기반 예측 전략에 따라 업데이트된다. 이를 통해 각 개체군은 변화하는 환경에서 자신이 집중하는 목표의 변화를 효과적으로 따라갈 수 있게 된다. 저자들은 CDE-AP의 성능을 15개의 문제에서 평가했으며, 비교 알고리즘들에 비해 우수한 성능을 보였다.

### II-2 TPSO (Transfer-based Particle Swarm Optimization)

TPSO[7]는 대규모 동적 최적화 문제(Large-scale Dynamic Optimization)를 해결하기 위해 설계된 PSO 확장 알고리즘이다. 이러한 문제 유형에서는 독립변수를 어떻게 그룹화하고 최적해를 어떻게 추적하느냐에 따라 알고리즘의 성능이 크게 달라진다. TPSO는 시간에 따라 목적함수의 변화가 감지되면, 변수 상호작용의 변화 정도에 맞춰 기존의 그룹을 재조정한다. 또한, 연속적으로 변화하는 환경에서 하위 문제들 간의 유사성을 고려하여, 해 진이 전략을 통해 차원 매핑을 사용하여 이전 해로부터 새로운 해를 생성한다. 여러 개의 군집이 생성되어 하위 문제의 다양한 영역을 탐색한다. 저자들은 TPSO의 성능을 1,000개의 독립변수를 포함한 12개의 문제에서 평가했으며, 그 결과 TPSO는 비교 알고리즘보다 뛰어난 성능을 보였다.

### II-3 IPSO (Incremental Particle Swarm Optimization)

IPSO[8]는 TPSO와 마찬가지로 대규모 동적 최적화 문제를 해결하기 위해 개발된 PSO 확장 알고리즘이다. IPSO는 시간이 지나면서 목적함수의 변화가 감지되면, 과거의 독립변수 그룹화에서 상호작용 그래프의 간선을 축소하여 새로운 변수 그룹화를 형성한다. 또한, 재결합 기반 샘플링 전략을 사용하여 이전 해로부터 새로운 해를 생성하고, 이를 통해 새로운 하위 문제의 여러 영역을 탐색한다. 저자들은 IPSO의 성능을 1,000개의 독립변수를 포함한 18개의 문제에서 평가했으며, 그 결과 비교 알고리즘보다 뛰어난 성능을 보였다.

## III. 결론

이 논문에서는 진화 알고리즘을 기반으로 한 동적 최적화 기법의 최신 동향을 살펴보았다. 진화 알고리즘은 많은 연구에서 동적 최적화 해결을 위해 활용되었으며 최근 연구에서는 진화 알고리즘과 동적 최적화를 결합한 기법이 제안되고 있다. 이는 진화적 동적 최적화 기법으로 논문에서는 최신 기법인 CDE-AP, TPSO, IPSO를 소개하였다. 진화적 동적 최적화 기법은 크게 예측 기반 기법과 다양성 기반 기법으로 나뉘며 최신 기법은 두 가지 기법을 동시에 적용하고 있다. 이는 보다 복잡한 문제 해결을 위해 활용되고 있으며 특히, 대규모 혹은 다목적 동적 최적화 문제 해결을 위해 활용되고 있다. 논문에서 소개된 최신 기법 중 CDE-AP는 다목적 동적 최적화 문제 해결에, TPSO와 IPSO는 대규모 동적 최적화 문제 해

결에 중점을 두었다. 이러한 연구는 동적 최적화 문제 해결에 좋은 활용 가능성을 보여 주었으나 최근 연구에서는 매우 빠르게 변화하는 환경에서의 최적화에 대한 필요성 또한 대두되고 있다. 따라서 전보다 빠르게 변화하는 환경에서의 문제를 효율적으로 해결하기 위해 새로운 접근법에 대한 중요성이 커지고 있다[3]. 이를 바탕으로 향후 연구에서는 아카이브를 활용하여 빠르게 변화하는 환경에서도 안정적으로 최적해를 발견하는 접근법을 연구할 계획이다.

## ACKNOWLEDGMENT

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(RS-2023-00214326 및 RS-2023-00242528).

## 참고 문헌

- [1] Yazdani, Danial, et al. "A survey of evolutionary continuous dynamic optimization over two decades—Part A." IEEE Transactions on Evolutionary Computation 25.4 (2021): 609–629.
- [2] Yazdani, Danial, et al. "A survey of evolutionary continuous dynamic optimization over two decades—Part B." IEEE Transactions on Evolutionary Computation 25.4 (2021): 630–650.
- [3] Lu, Xiaofen, et al. "Dynamic optimization in fast-changing environments via offline evolutionary search." IEEE Transactions on Evolutionary Computation 26.3 (2021): 431–445.
- [4] Kennedy, James, and Russell Eberhart. "Particle swarm optimization." Proceedings of ICNN'95—international conference on neural networks. Vol. 4. iee, 1995.
- [5] Storn, Rainer, and Kenneth Price. "Differential evolution - a simple and efficient heuristic for global optimization over continuous spaces." Journal of global optimization 11 (1997): 341–359.
- [6] Liu, Xiao-Fang, Jun Zhang, and Jun Wang. "Cooperative Differential Evolution With an Attention-Based Prediction Strategy for Dynamic Multiobjective Optimization." IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems (2023).
- [7] Liu, Xiao-Fang, Zhi-Hui Zhan, and Jun Zhang. "Transfer-Based Particle Swarm Optimization for Large-Scale Dynamic Optimization With Changing Variable Interactions." IEEE Transactions on Evolutionary Computation (2023).
- [8] Liu, Xiao-Fang, Zhi-Hui Zhan, and Jun Zhang. "Incremental particle swarm optimization for large-scale dynamic optimization with changing variable interactions." Applied Soft Computing 141 (2023): 110320.