

적은 큐비트로 실세계 문제해결 GIST, 새롭고 독창적인 양자 접근법 제시

- 파인만 경로 적분으로 현실세계 문제에 유효한 양자 접근법 제시... 큐비트 사용량을 최소화하면서도 복잡한 최적화 문제에 대해 효율적인 양자 연산 능력 확보
- 자율주행, 제약, 금융, 물류 등 산업 전 분야에 걸쳐 큰 변화 불러올 것... 국제학술지 'IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems'에 게재

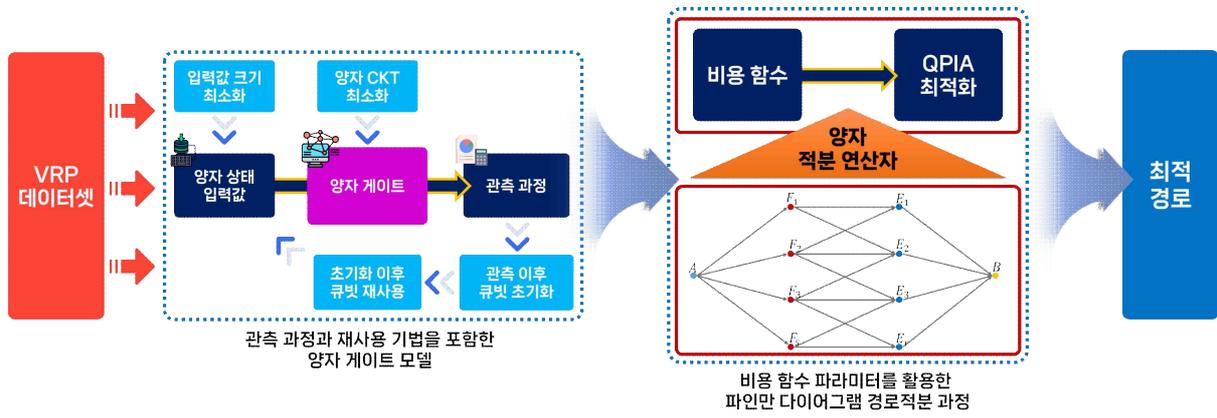


▲ (왼쪽부터) AI대학원 전기전자컴퓨터공학부 김준석 박사과정생, AI대학원 안창욱 교수. 차량 경로 최적화 문제 예시와 제안 양자 접근법에 대한 양자회로도 및 시뮬레이터 실행 결과 예시
국내 최초 인공지능(AI) 작곡가 '이봄(EvoM)'을 개발한 안창욱 교수 연구팀이 미래 산업의 3대 게임체인저 기술로 각광받고 있는 양자 이론을 활용해 현실세계 문제를 해결하기 위한 새로운 접근 방식을 제안했다.

광주과학기술원(GIST, 총장 임기철)은 AI대학원 안창욱 교수 연구팀이 양자역학적 현상을 설명하는 파인만 경로 적분법(Feynman Path Integral)*을 활용해 차량 경로 문제(Vehicle Routing Problem)*를 효율적으로 해결하는 양자 알고리즘을 설계하는데 성공했다고 밝혔다.

* 파인만 경로 적분법: 양자역학에서 입자의 이동 경로를 계산하기 위해 입자가 시작점에서 끝점까지 이동할 수 있는 모든 가능한 경로를 고려하여 각 경로에 대한 확률 진폭을 계산해 가장 가능성이 높은 경로를 찾아냄.

* 차량 경로 문제(Vehicle Routing Problem): 여러 대의 차량을 사용하여 최소 비용으로 고객들에게 최적의 순서로 상품을 배송하는 경로를 찾는 문제로, 실제 물류, 운송, 배달 서비스 등 다양한 산업에서 중요한 역할을 함.



▲ 제안하는 양자 경로 적분법을 활용한 차량 경로 최적화 기법 구조: 양자 근사 방법과 함께 사용되는 경로 적분법은 제한된 큐비트만으로 양자 컴퓨팅의 슈뢰딩거 파동 방정식을 활용하여 최적 차량 경로에 대한 확률 진폭 분포를 점진적으로 증폭시켜 계산한다.

양자역학은 물질과 에너지의 가장 기본적인 성질을 설명하는 물리학의 한 분야로, 이러한 원리를 이용해 정보를 처리하는 양자 컴퓨팅*은 그 잠재력에 대한 높은 기대에도 불구하고, 상용화 단계에 도달하려면 오류 교정 등 여러 기술적인 문제를 해결해야 하는 탓에 실용적인 알고리즘 개발에 많은 어려움을 겪고 있다.

양자 연산의 잠재적 성능을 최대한 이끌어 내기 위해서는 양자 특성에 기인한 고유한 동작 원리를 가진 순수 양자 알고리즘의 개발이 필요하다. 하지만, 대부분의 연구가 기존 컴퓨팅 알고리즘을 양자 컴퓨터에서 모사하는 접근법을 시도하고 있어 이른바 실제적 양자 이득*을 얻기 어려울 뿐만 아니라 문제 해결을 위해 요구되는 큐비트(양자비트) 수가 일반적으로 문제의 크기에 제곱 승으로 증가하는 문제가 있다.

한 예로, IBM은 올해 초에 세계 최초로 1,100여 개 큐비트를 갖춘 양자 프로세스를 개발했지만, 이런 독보적인 프로세스로도 고작 30여 개 도시로 구성된 차량 경로 문제의 해결이 가능한 정도이다.

* 양자 컴퓨팅: 불규칙성, 확률성, 중첩과 얽힘이라는 양자 속성을 이용해 기존 컴퓨터보다 훨씬 빠른 속도로 복잡한 문제를 해결할 수 있으며, 큐비트(Qubit)이 기본 단위임.

* 양자 이득(Quantum Gain): 양자 기술이 기존의 기술보다 더 뛰어난 성능을 제공할 때 발생하는 이점으로, 일반적으로 양자 컴퓨터가 기존 컴퓨터보다 특정 문제를 훨씬 더 빠르게 해결할 수 있는 능력을 의미함.

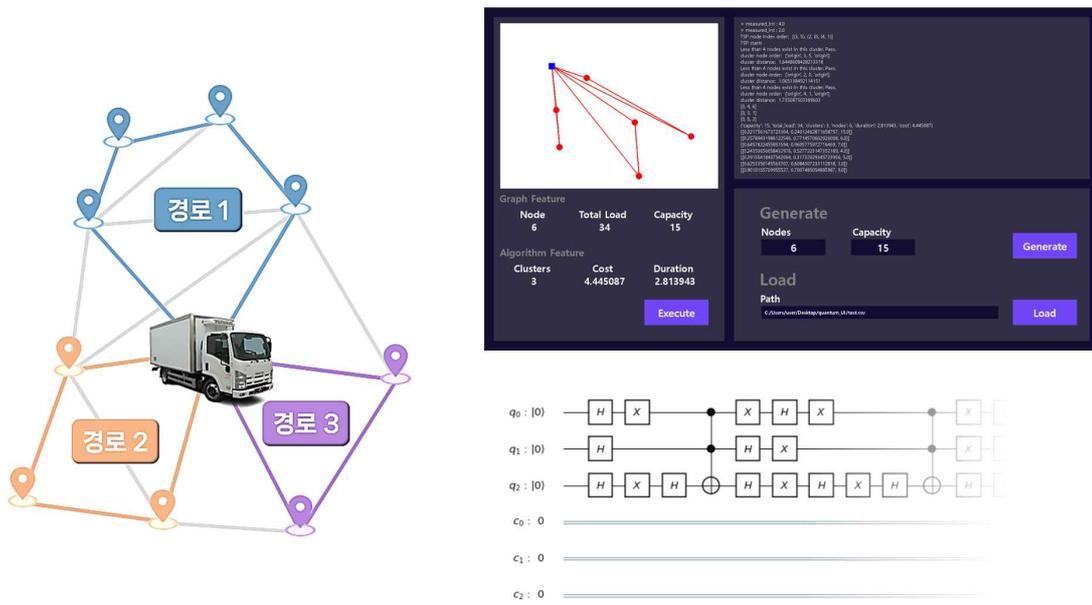
연구팀은 양자 연산의 원리에 기존 양자역학에서 다루는 파인만 경로 적분법을 결합하여 차량 경로 문제 최적화를 위한 새롭고 독창적인 양자 경로 적분법 (Quantum Path Integral Approach)을 개발하였다.

이 방법은 슈뢰딩거의 파동함수*로 표현되는 양자계를 참조하고, 이를 활용해 각각 최적화 경로를 표현하는 양자 상태들의 확률 진폭 분포를 계산하는 과정으로 이루어져 있다.

* 슈뢰딩거 파동함수(Schrödinger Wave Function): 양자역학에서 물질의 입자(예: 전자, 원자)나 시스템의 상태를 설명하는 수학적 함수로, 특정 입자나 시스템이 특정 위치에서 어떤 상태에 있을 확률을 나타내는 진폭(amplitude)의 모음을 통해 입자의 위치, 운동 상태 등의 물리적 특성을 예측할 수 있음.

연구팀은 제안 접근법을 현실세계의 복잡한 문제들과 그 속성을 공유하고 있는 차량 경로 문제에 대해 다양한 실험을 진행했고, 최적화된 경로를 성공적으로 찾아낼 수 있음을 확인함으로써 제안 기법이 현실세계의 다양한 문제에 실용적으로 적용될 수 있음을 입증했다.

특히 N개 도시를 갖는 차량 경로 최적화 문제의 해결을 위해 필요로 하는 큐비트 사용량을 기존 N^2 에서 N으로 기하급수적으로 감소시키면서도 해를 찾을 수 있는 효율적인 양자 능력을 확보할 수 있음을 확인했다.



▲ 제안 접근법에 대한 시뮬레이터 및 회로 구조: 차량 경로 최적화 문제에 대한 예시, 제안 접근법에 대한 양자 회로도 및 시뮬레이터의 실행 결과를 표시한다.

안창욱 교수는 “이번 연구 성과는 적은 큐비트를 활용하여 현실세계의 다양한 문제 해결을 위한 양자 접근법을 제시했다는 데 의의가 있다”며 “실제적 양자 이득의 실현은 우리 실생활과 밀접한 자율주행, 제약, 금융, 물류 등 산업 전 분야에 걸쳐 큰 변화를 불러올 것이며, 아울러 양자컴퓨팅 시대를 앞당기는데 크게 기여할 것으로 기대된다”고 말했다.

이번 연구는 정보통신기획평가원(IITP) 인공지능대학원 사업의 지원을 받아 수행되었으며, 연구 성과는 운송시스템 분야 상위 2.5% 국제학술지 IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems에 최근 게재되었다.

논문의 주요 정보

1. 논문명, 저자정보

- 저널명 : IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems
(IF: 7.9, JCR2023 기준 Civil Engineering(운송시스템 분야 상위 2.5%))
- 논문명 : Quantum Path Integral Approach for Vehicle Routing Optimization With Limited Qubit
- 저자 정보 : 쿠마르 가우탐 (제1저자, GIST AI대학원 박사후연구원),
안창욱 (교신저자, GIST AI대학원, 교수)