

베이지안 네트워크 기반 양자 가격 예측 모델

김주연*, 윤석민***, 신소영**, 김애영***

*이화여자대학교 사이버보안전공

**서울대학교 물리천문학부

***한신대학교 IT 대학

rkfqns13@ewhain.net, the_alchemist@hs.ac.kr, ssy554@snu.ac.kr, aeyoung.kim@hs.ac.kr

Quantum Price Estimation Model using Bayesian Network

Juon Kim*, Seok-Min Yun***, Soyoung Shin**, Aeyoung Kim***

*Dept. of Computer Cyber Security, Ewha Womans University

**Dept. of Physics & Astronomy, Seoul National University

***College of Information Technology, Hanshin University

요 약

본 논문에서는 변수간의 다양한 관계 분석 또는 예측 모델에 많이 적용되는 베이지안 네트워크 모델에 대한 양자 회로를 설계하고, 설계한 양자 회로를 ‘모여봐요! 동물의 숲’ 게임에서 진행되는 무 거래에 대한 무값을 예측하는 시나리오에 적용했다. 제안한 양자 가격 예측 모델은 양자 회로로 표현했으며 IBM 의 Qiskit 을 이용해 구현하였다. 구현한 회로는 시뮬레이션 백엔드 뿐만 아니라 IBM 에서 클라우드로 제공하는 실제 양자 컴퓨터 2 종의 백엔드에 실행하였고, 실행 결과와 설계한 회로를 바탕으로 제안한 모델의 성능을 분석하여 제안 모델의 효용성을 보였다.

1. 서론

최근 양자컴퓨터가 빠르게 발전함에 따라, 양자 알고리즘에 대한 다양한 연구들이 진행되고 있다. 특히 양자컴퓨터가 확률적 알고리즘을 기반으로 하므로 확률에 근거한 연구에 양자 알고리즘을 도입하려는 시도가 많다. Kukhyun Han et al 은 유전 양자 알고리즘을 개발하여 확률론적 표현으로 유전자 조작 해결책의 선형 중첩을 나타냈다[1].

오늘날 상관관계가 있는 데이터들 간의 확률을 계산하는 가장 일반적인 방법은 베이지안 네트워크 모델을 이용하는 것이다. 베이지안 네트워크란 조건부 확률 분포를 순환 그래프를 통해 나타낸 확률론적 모델이다. Parisa Tabassum et al 은 베이지안 네트워크를 이용하여 주식 가격을 예측하는 모델을 만들었고, 실제로 다른 머신러닝 알고리즘보다 정확도가 높았다[2].

그러나 베이지안 네트워크는 많은 데이터들을 입력값으로 넣어서 알고리즘을 수행할 때 시간 복잡도가 매우 크다는 단점이 있다. 따라서 본 논문에서는 베이지안 네트워크 모델에 양자를 적용하여 고속 계산이 가능한 확률 예측 양자 알고리즘 모델을 제안했다. 현재 기본적인 베이지안 네트워크에 대해서도 양자 모델이 존재하지 않기 때문에, 가장 기본적인 형태인 부모노드가 2 개이고 자식노드가 1 개인 베이지안 모델부터 접근하여 양자 모델을 제시했다. 제안한 모델

의 구현 및 실행은 IBM 의 양자 프로그래밍 API 인 qiskit 과 클라우드 기반 양자컴퓨터를 이용하였다.

본 논문에서는 양자컴퓨팅의 양자이점과 베이지안 확률 모델을 접목하여 가격을 예측하는 양자 모델을 제시했다. 또한 제시한 모델은 최근 유행하는 동물의 숲 게임 내에서 거래하는 순무에 대한 가격 예측 시나리오에 적용하여 제안한 모델의 효용성을 보였다. 본 논문의 주요 기여는 다음과 같다:

- 가격 예측을 위한 베이지안 네트워크 모델을 양자 컴퓨터에서 실행 가능하도록 양자 회로를 설계하였다.
- 제안한 양자 가격 예측 회로를 ‘동물의 숲’ 게임의 무 가격 예측에 적용한 실사례를 보였다.
- 제시한 모델에 대한 실제 양자 컴퓨터 상의 실행 결과를 보였다.

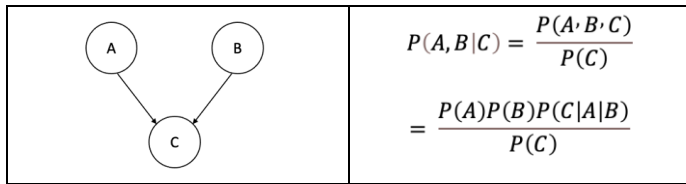
본 논문의 구성을 살펴보면, 2 장은 관련 연구를 서술했고, 3 장은 가격 예측을 위한 양자 베이지안 모델에 대해 서술하고, 게임을 이용한 가격 예측 사례를 보였고, 4 장은 결론을 맺었다.

2. 관련 연구

2-1. 가격 예측을 위한 베이지안 네트워크

베이지안 네트워크는 조건부확률 관계인 데이터들

을 그래프 형식으로 나타낸 유향 비순환 그래프다. 조건부확률로 얹혀 있는 데이터들은 영향을 주는 변수인 부모 노드와 영향을 받는 변수인 자식 노드의 관계가 에지로 표현된다.



(그림 1) 베이저안 네트워크

(그림 1)은 베이저안 네트워크의 가장 기본적인 형태로 부모 노드 A 와 B 에 의해 자식 노드 C 가 영향을 받는다. 따라서 A 와 C , B 와 C 는 종속관계이고, A 와 B 는 독립관계이다[3].

베이저안 네트워크를 이용하면 확률 변수의 일부를 사용해서 다른 변수의 확률을 추론할 수 있고 변수들간의 상관관계를 파악할 수 있다. 그러므로 다양한 분야에서 변수간의 관계를 분석할 때 베이저안 네트워크를 이용하는 경우가 많다[4][5].

2-2. 양자컴퓨터 접근을 위한 백엔드

설계한 양자 알고리즘은 백엔드 설정을 통해 기존 컴퓨터 상에서 수행되는 시뮬레이터와 IBM QX 와 같은 실제 양자 컴퓨터에서 실행할 수 있다. 실행 가능한 IBM 양자 컴퓨터는 <표 1>과 같고, 실행할 양자 알고리즘의 큐비트 수와 대기 작업 수를 고려하여 이중의 하나를 백엔드로 지정해 사용한다. 각 양자 컴퓨터의 상태 정보인 큐의 대기 작업 수와 큐비트 수는 <표 2>의 코드로 확인한다.

<표 1> IBM 의 양자컴퓨터 (2021.03.22 기준 현황)

양자 컴퓨터	큐의 대기 작업 수	큐비트 수
Ibmqx2	2069	5
Ibmq_16_melbourne	8267	15
Ibmq_armonk	29	1
Ibmq_athens	6492	5
Ibmq_santiago	4851	5
Ibmq_lima	6	5
Ibmq_belem	14	5
Ibmq_quito	460	5

<표 2> Qiskit 의 백엔드 상태 확인 코드

```
for backend in provider.backends():
    qubit_count = len(backend.properties().qubits)
```

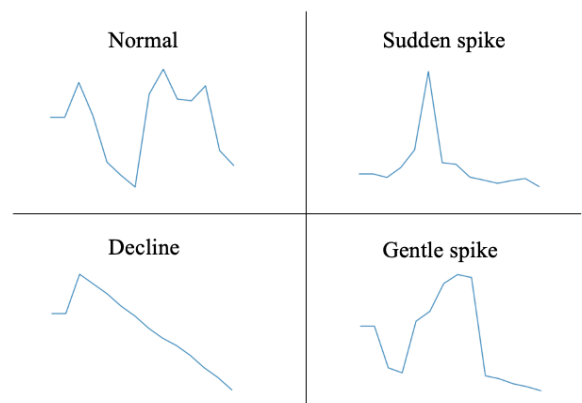
2-3. 모여봐요 동물의 숲 무트코인

‘모여봐요 동물의 숲’ 게임은 무인도에 이주하여 다

양한 사람, 동물들과 교류하는 커뮤니티 게임으로 섬을 개척하기 위해서는 재화의 획득이 필수적이다. 게임 내에서 재화를 획득하는 다양한 방법이 있는데 그중 하나가 바로 ‘무트코인’이다. ‘무트코인’은 게임 내 무의 가격 변동폭이 비트코인과 유사하다 하여 붙여진 별칭으로 무의 가격 변화에 따라 매매를 함으로써 차익을 실현하는 방법을 일컫는다.

사용자는 매주 일요일, NPC 를 통해 무를 매입할 수 있다. 그 다음 날인 월요일부터 토요일까지는 매일 오전, 오후 가격이 변동되는데 일요일이 지난 무는 썩어서 판매할 수 없게 되므로, 일요일에 매입했던 무는 해당 주차에 반드시 처분해야 한다. 따라서 시간이 흐름에 따라 변화하는 가격을 통해 다음 날 무의 가격이 오를지 떨어질지를 예측하는 것이 중요하다. 또한 다음 날 가격이 올라도 그 다음 날 무 가격이 더 오를 것으로 예상된다면 판매를 보류하는 것이 유리하므로, 가격 변동 패턴을 예측하는 것 또한 중요한 요소이다.

동물의 숲 공식 가이드북은 4 가지의 가격 변동 패턴을 제시한다[6]. 이 패턴들은 가격이 오르고 떨어지기를 반복하는 Normal (N), 가격이 폭등했다가 다시 떨어지는 Sudden Spike (SS), 가격이 점점 떨어지는 Decline (D), Sudden Spike 만큼은 아니지만 가격이 갑자기 오르고 다시 떨어지는 Gentle Spike (GS)이며 (그림 2)와 같다. <표 3>은 4 가지 패턴에 대해 일요일에 구입한 무 가격 대비 요일(월~토)별 변화율이다.



(그림 2) 4 가지 가격 변동 패턴

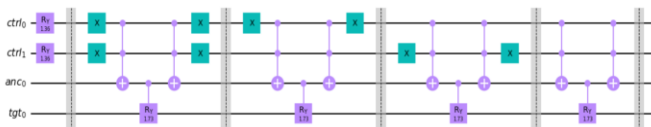
<표 3> 4 가지 패턴의 구매 가격 대비 변화 양상

패턴	요일별 변화율(%)의 예상 범위					
	월	화	수	목	금	토
N	90~140	60~80	90~140		60~80	90~140
SS	85~90		90~140	200~600	140~200	40~90
D	85~90					
GS	40~90	90~140		140~200	40~90	

3. 가격 예측을 위한 양자 베이지안 모델

3.1. 양자 베이지안 회로 설계

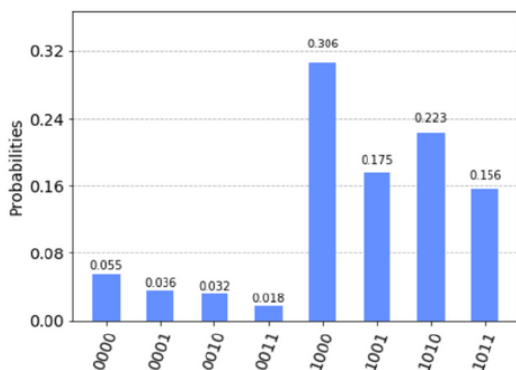
제안하는 양자 가격 예측 모델에 적용한 베이지안 네트워크는 부모 노드가 2 개이고 자식 노드가 1 개인 (그림 1)의 기본 베이지안 네트워크이다. 이 베이지안 네트워크 기반의 가격 예측을 위한 양자 회로는 (그림 3)과 같이 큐비트 4 개, CCNOT 게이트 8 개, NOT 게이트 8 개, Ry 게이트 6 개로 설계하였다. CCNOT의 제어 큐비트는 처음 2 개의 큐비트로 부모 노드의 값이 입력되며, 타겟 큐비트는 맨 끝 1 개의 큐비트로 자식 노드의 값이 입력된다. 나머지 1 개(그림 3의 세 번째)의 큐비트는 보조 큐비트이다.



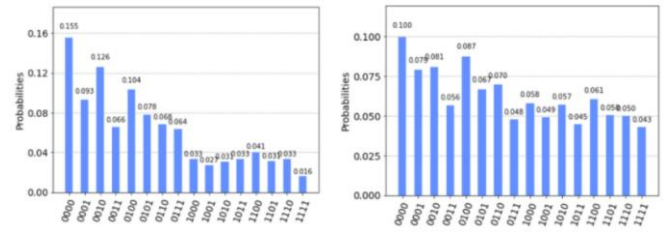
(그림 3) 양자 베이지안 회로

양자 베이지안 회로의 시작은 두 제어 큐비트에 Ry 게이트의 적용이다. Ry 게이트는 각도 θ 기반 회전 연산이므로, 확률인 부모 노드의 값은 각도로 대응시킨 값으로 변환하여 두 큐비트 및 Ry 게이트에 적용하였다. 자식노드 큐비트는 이 두 큐비트에 대해 CCNOT-Ry-CCNOT 유닛을 4 번 반복한 적용과 각 유닛마다 NOT 게이트를 차례로 4, 2, 2, 0 회 적용한 결과가 반영된다.

연산 결과는 각 큐비트에 대한 측정 통해 확보하며, 측정 값은 4 비트열로 0000 부터 1111 까지 16 경우 중 한 가지로 측정 가능하다. 이 측정 값은 입력되는 부모 노드 값에 대한 회로 적용 결과이며, 회로가 실행될 백엔드를 <표 1>의 하나 또는 QASM 시뮬레이터로 지정해 시뮬레이션을 진행하면 (그림 4) 또는 (그림 5)와 같이 각 비트열 별로 측정될 가능성을 확률로 살펴볼 수 있다.



(그림 4) 백엔드를 QASM 시뮬레이터로 지정했을 때, 양자 베이지안 회로의 측정 값 예



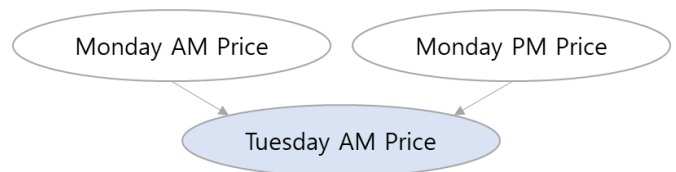
(그림 5) 백엔드를 IBM QX의 lima(좌) 및 quito(우)로 지정했을 때, 양자 베이지안 회로의 측정 값 예

(그림 4)는 백엔드를 QASM 시뮬레이터로 지정하여 실행한 시뮬레이션 결과이며, 확률이 0 인 비트열을 제외한 8 가지 비트열이 측정될 확률을 보여준다. 이 경우 측정 값은 가장 높은 확률 0.306 이 나온 1000 일 것이다. (그림 5)는 백엔드를 실제 양자 컴퓨터 중 하나인 lima 와 quito 로 지정해 실행한 시뮬레이션 결과이며, NISQ 양자 컴퓨터 특성인 심한 노이즈가 반영된 결과이다. 이 노이즈 때문에 16 가지 비트열 모두 측정될 가능성을 보이며, QASM 시뮬레이터 경우와 달리 0000 이 측정될 확률이 높다.

3.2. 양자 베이지안 회로를 적용한 가격 예측

제안하는 베이지안 네트워크 기반 양자 가격 예측 모델은 다음과 같은 단계로 구성한다.

- ① 양자 베이지안 회로의 부모 노드 큐비트에 가격 예측을 원하는 시점 직전의 두 가격을 입력
 - ② 양자 베이지안 회로의 각 게이트 및 유닛 연산을 수행하고 각 큐비트의 레지스터 측정
 - ③ 변환 기준으로 측정 값을 예측 가격으로 변환
 - ④ 예측 가격 기반 가격 변화 패턴 예측 및 결정
- 이러한 양자 가격 예측 모델은 ‘모여봐요 동물의숲’의 무 가격 예측에 적용 가능하다. 예를 들어, 화요일 오전의 무 가격 예측은 (그림 6)과 같이 부모 노드에 월요일 오전과 월요일 오후의 무 값을 입력한다.



(그림 6) 베이지안 모델에 무 값을 적용한 예

제안 모델의 단계 3의 변환 기준은 과거 무 값 데이터로 단계 1과 단계 2의 반복 적용하여 학습한 결과이다. <표 4>는 무 가격에 대한 데이터베이스를 기반으로 양자 베이지안 모델을 측정하는 시뮬레이션을 여러 번 돌려서 나온 측정 결과값과 실제 무 가격을 비교한 것의 일부이다. 이 데이터베이스의 모든 데이터에 대해 시뮬레이션을 수행하여 <표 5>과 같이 측

정 결과값에 따른 실제 무 가격 구간화를 통해 생성된 무 가격 범위를 변환 기준으로 적용한다. 단계 2의 측정 값이 (그림 3) 사례의 1000 이라면 <표 5>에 의해 예상 무 가격 범위는 '81 이상 100 이하'이다.

<표 4> 측정 값과 실제 무 가격 예

부모 노드	측정 값	실제 가격
3/30 오전 & 3/30 오후	1000	101
3/30 오후 & 3/31 오전	1011	157
4/1 오전 & 4/1 오후	0001	48
4/2 오후 & 4/3 오전	0001	34

<표 5> 측정 값에 따른 예상 무 가격 범위 예

측정 값	예상 무 가격 범위
0000	20 이하
0001	21 이상 40 이하
0010	41 이상 60 이하
0011	61 이상 80 이하
1000	81 이상 100 이하
1001	101 이상 120 이하
1010	121 이상 140 이하
1011	141 이상

획득한 예상 무 가격 범위(모델의 단계 3)은 <표 6>의 요일별 변화율 예상 범위와 함께 무 매매 결정에 사용한다. 기존 무 값 예측기는 직전 일주일간의 무 값인 14 개의 데이터를 입력하여 무 값을 예측하고 <그림 2>에 대한 <표 3>을 통해 매매를 결정했으나, 본 모델에서는 직전 2 개의 무 값을 이용하기 때문에 단계 3의 측정 결과 기반으로 재가공한 요일별 변화율의 예상 범위를 이용한다. 패턴은 <표 6>과 다음과 같은 노드 차이 계산 모델로 계산한다.

부모노드간 차이

$$= (\text{부모노드(좌)} - \text{부모노드(우)}) / \text{부모노드(우)} * 100 + 100$$

<표 6> 재가공된 구매 가격 대비 변화 예

패턴	요일별 변화율(%)의 예상 범위					
	월	화	수	목	금	토
N	90~140	20~90	110~180		20~90	110~180
SS	85~90		100~155	160~610	-360~100	-60~50
D	85~90					
GS	40~90	100~200	100~210		-60~50	

(그림 7)은 양자 베이지안 모델을 무트코인 가격 예측에 적용할 때의 사용자 인터페이스 부분을 구현한 결과이다. 예측하고자 하는 시점 이전의 두 무 값을 입력하면 예측되는 가격 범위와 일주일간의 가격 변

화 패턴을 출력한다. 이와 같이, 제안하는 베이지안 네트워크 기반 양자가격 예측 모델의 이용은 기존의 무 값 예측 프로그램보다 더 적은 수의 무 값 입력으로 빠르고 정확하게 무 값과 주간 변동을 예측하여 무 매매의 중요 지표로 활용하는 것이 가능하다.

(그림 7) 양자 베이지안 모델 기반 무 값 예측기 사례

4. 결론

본 논문은 상관관계가 있는 변수들의 확률값을 계산하는 베이지안 네트워크를 활용한 가격 예측 모델을 양자 컴퓨터에서 실행하여 양자 이점을 얻을 수 있는 양자 모델을 제안한다. 설계한 양자 베이지안 회로는 실제 양자 컴퓨터에서 실행하여 시뮬레이터에서 실행한 결과와 비교해보고, 이 설계한 회로 기반의 양자 가격예측 모델을 ‘동물의 숲’의 무 시장에 적용하였다. 아직은 노이즈가 심한 양자 컴퓨터 대신에 QASM 시뮬레이터에 적용한 결과, 더 적은 데이터로 효율적인 가격 예측이 가능해 제안 모델의 효용성을 보였다. 향후 연구는 게임에서의 무 값이 아니라 주식과 같은 현실적인 시장에서의 가격 예측이 가능하도록 양자 베이지안 회로를 확장하고 실제적인 시나리오에 적용하는 것이다.

Acknowledgement

이 논문은 2020년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (No. NRF-2020R1I1A1A01071768)

참고문헌

- [1] Kukhyun Han, Jonghwan Kim, “Genetic Quantum Algorithm and its Application to Combinatorial Optimization Problem”, 2000.7.
- [2] Parisa Tabassum, Mita Halder, “Stock Price Forecasting Using Bayesian Network”, 2018.8.
- [3] Todd A. Stephenson, “An Introduction to Bayesian Network Theory and Usage”, 2000.2.
- [4] Jinyu Wu, Lihua Yin, Yunchuan Guo, “Cyber Attacks Prediction Model Based on Bayesian Network”, Proceedings of the 2012 IEEE 18th International Conference on Parallel and Distributed Systems, 2012, p730-731.
- [5] Daniel-loan Curiac et al, “Bayesian Network Model for Diagnosis of Psychiatric Diseases”, 2009.6.
- [6] “Animal Crossing: New Horizons Official Companion Guide”, USA, Futurepress.