

(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)(11) 공개번호 10-2024-0171655
(43) 공개일자 2024년12월09일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G06N 10/60 (2022.01) G06N 10/20 (2022.01)
G06N 10/40 (2022.01) G06N 10/80 (2022.01)
G06N 20/10 (2019.01) B82Y 10/00 (2017.01)

(52) CPC특허분류

G06N 10/60 (2022.01)
G06N 10/20 (2022.01)

(21) 출원번호 10-2023-0069883

(22) 출원일자 2023년05월31일

심사청구일자 2023년05월31일

(71) 출원인

고려대학교 산학협력단

서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)

(72) 발명자

최인찬

서울특별시 성북구 안암로 73-15, 공학관 521호(안암동5가)

고광중

경기도 시흥시 산기대학로 237, 제2기숙사 923호(정왕동)

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

송인호, 윤형근, 최관락

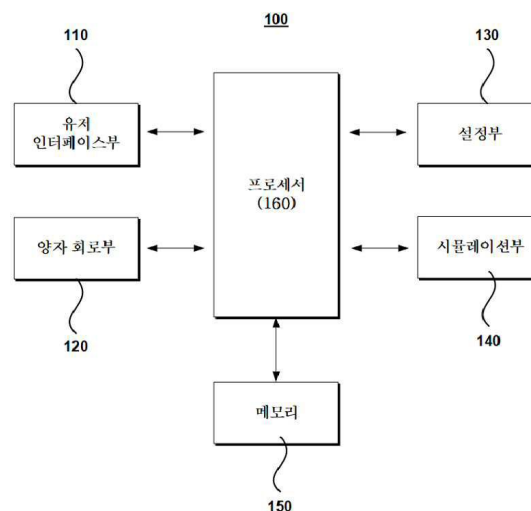
전체 청구항 수 : 총 6 항

(54) 발명의 명칭 양자 기계학습 시뮬레이션 시스템 및 그 방법

(57) 요약

양자 기계학습 시뮬레이션 시스템 및 그 방법이 개시된다. 양자 기계학습 시뮬레이션 시스템은, 복수의 양자 특징 맵 중 어느 하나를 선택받고, 양자 비트 수를 입력받으며, 상기 선택된 양자 특징 맵과 상기 결정된 양자 비트 수를 이용하여 양자 특징맵 회로를 구성하는 양자 회로부; 및 입력 데이터 셋을 전처리하여 차원 축소하고 정규화한 후 상기 양자 특징맵 회로에 적용하여 양자 기저 상태로 변환한 후, 각 양자 기저 상태간의 유사도를 계산하여 양자 커널 행렬을 생성한 후 상기 양자 커널 행렬에 대해 SVM(support vector machine) 알고리즘을 실행하여 분류 결과를 출력하는 시뮬레이터부를 포함한다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

G06N 10/40 (2022.01)

G06N 10/80 (2022.01)

G06N 20/10 (2021.08)

B82Y 10/00 (2013.01)

(72) 발명자

정태수

서울특별시 성북구 보문로29다길 31, 110동 802호
(삼선동2가, 삼선푸르지오)

강성호

경기도 군포시 곡란로74번길 16-7, 302호(산본동,
거성빌라)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711166183
과제번호	2020R1A4A3079864
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	집단연구지원
연구과제명	양자 기계학습 시뮬레이터
기 여 율	1/1
과제수행기관명	고려대학교
연구기간	2022.03.01 ~ 2023.06.30

명세서

청구범위

청구항 1

복수의 양자 특징 맵 중 어느 하나를 선택받고, 양자 비트 수를 입력받으며, 상기 선택된 양자 특징 맵과 상기 결정된 양자 비트 수를 이용하여 양자 특징맵 회로를 구성하는 양자 회로부; 및

입력 데이터 셋을 전처리하여 차원 축소하고 정규화한 후 상기 양자 특징맵 회로에 적용하여 양자 기저 상태로 변환한 후, 각 양자 기저 상태간의 유사도를 계산하여 양자 커널 행렬을 생성한 후 상기 양자 커널 행렬에 대해 SVM(support vector machine) 알고리즘을 실행하여 분류 결과를 출력하는 시뮬레이터부를 포함하는 양자 기계 학습 시뮬레이션 시스템.

청구항 2

제1 항에 있어서,

상기 SVM 알고리즘 실행을 위한 k-폴드 교차검증(k-fold cross validation)을 위한 k-폴드 파라미터 및 에러 허용값(C) 파라미터를 각각 설정받는 설정부를 더 포함하되,

상기 시뮬레이터부는,

상기 k-폴드 파라미터와 상기 에러 허용값 파라미터를 고려하여 상기 SVM 알고리즘을 실행하여 분류하는 것을 특징으로 하는 양자 기계 학습 시뮬레이션 시스템.

청구항 3

제1 항에 있어서,

상기 입력 데이터 셋은 PCA(principle component analysis)를 이용하여 상기 결정된 양자 비트 수만큼 차원 축소되는 것을 특징으로 하는 양자 기계 학습 시뮬레이션 시스템.

청구항 4

제1 항에 있어서,

입출력 창 영역을 가지되, 상기 양자 특징맵 회로를 테이블 형태로 시각화하여 상기 입출력 창 영역에 출력하는 유저 인터페이스부를 더 포함하는 양자 기계 학습 시뮬레이션 시스템.

청구항 5

제1 항에 있어서,

상기 시뮬레이터부는,

상기 분류 결과에 대한 산점도(scatter plot), k-폴드 양자 커널 행렬에 대한 히트맵(heatmap) 및 혼동 행렬 중 적어도 하나로 시각화하여 출력하는 것을 특징으로 하는 양자 기계 학습 시뮬레이션 시스템.

청구항 6

복수의 양자 특징 맵 중 어느 하나를 선택받고, 양자 비트 수를 입력받는 단계;

상기 선택된 양자 특징 맵과 상기 양자 비트 수를 이용하여 양자 특징맵 회로를 구성하는 단계;

입력 데이터 셋을 전처리하여 차원 축소하고, 정규화하는 단계; 및

상기 정규화된 입력 데이터 셋을 상기 구성된 양자 특징맵 회로에 적용하여 양자 기저 상태로 변환한 후 각 양자 기저 상태간의 유사도를 계산하여 양자 커널 행렬을 생성하고, 상기 양자 커널 행렬에 대해 SVM(support vector machine) 알고리즘을 실행하여 분류 결과를 출력하는 단계를 포함하는 양자 기계 학습 시뮬레이션 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 양자 기계학습 시뮬레이션 시스템 및 그 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0003] 양자 컴퓨팅은 양자 역학을 사용하여 고전적인 컴퓨터가 처리하기 어렵거나 불가능한 문제를 해결하는 것을 수반하는 분야이다. 양자 컴퓨팅은 계산을 수행하기 위해 고전적인 비트(bit) 대신 양자 비트(q-bit)를 사용한다. 고전 비트는 0 또는 1의 상태에 있을 수 있지만 양자 비트는 두 상태의 중첩 상태를 표현할 수 있다.

[0004] 이를 통해 양자 컴퓨터는 고전 컴퓨터보다 특정 계산을 훨씬 빠르게 수행할 수 있다. 양자 기계학습은 상기 양자 컴퓨팅의 성질을 이용하여 고전 컴퓨터 상에서의 기계학습이 가지는 하드웨어적 한계를 해결할 수 있다. 그러나 양자 컴퓨팅과 양자 기계학습은 매우 복잡한 분야이며, 이를 구축하고 운영하는 것 및 실제 양자 컴퓨터에서 구현하는 것의 진입 장벽이 높다.

[0005] 종래의 양자 회로 연산 시뮬레이터들은 크게 웹 베이스 또는 특정 프로그래밍 언어의 패키지로 제공되고 있다. 웹 베이스 시뮬레이터 Quirk : Quantum Circuit Simulator는 양자 컴퓨팅의 입문을 돕기 위한 양자 회로 시뮬레이터이다. 그래픽 유저 인터페이스로 게이트 및 일부 회로 구성 요소들을 드래그 앤 드롭 방식으로 편집할 수 있도록 설계되었다. 연산 가능한 최대 큐비트 수는 16개이며, 게이트의 파라미터에 따른 개별 상태 및 큐비트에 대한 확률 진폭의 변화를 애니메이션 형태로 제공한다. 이러한 웹 베이스 시뮬레이터는 인터페이스에 대한 학습이 용이하지만 가용 가능한 큐비트 수가 극히 일부이며 고등 연산을 처리하기 버겁다는 단점을 가진다.

[0006] Python 언어 기반 패키지 형태로 제공되는 IBM사의 Qiskit은 IBM사의 클라우드 양자 시스템에서의 회로 연산과 동일한 이진 컴퓨터 상에서의 양자 회로 연산 시뮬레이션 프레임 워크이다. 다양한 형태의 연산 방식을 지원하고 있으며, 기계 학습 방법론에의 적용을 지원할 수 있도록 설계되었다.

[0007] 프로그래밍 언어 기반 패키지로 제공되는 형태의 시뮬레이터들은 반대로 가용 가능한 큐비트 수에 대한 제약이 웹 베이스 시뮬레이터보다 적으며 고등 연산의 처리가 가능하도록 한다. 또한 이식성 및 활용성 측면에서 월등한 강점을 가지고 있다. 하지만 배포한 패키지의 기반이 되는 언어 및 패키지 자체에 대한 학습 용이성이 좋지 않다는 단점을 지닌다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0009] 본 발명은 양자 기계학습 시뮬레이션 시스템 및 그 방법을 제공하기 위한 것이다.

[0010] 또한, 본 발명은 사용자 친화적 그래픽 유저 인터페이스를 기반으로 양자 기계 학습에 대한 입문 장벽을 낮출 수 있는 양자 기계학습 시뮬레이션 시스템 및 그 방법을 제공하기 위한 것이다.

[0011] 또한, 본 발명은 양자 회로 수정이 용이하고 활용성이 뛰어나 다양한 과업에 적용이 가능한 양자 기계학습 시뮬레이션 시스템 및 그 방법을 제공하기 위한 것이다.

과제의 해결 수단

- [0013] 본 발명의 일 측면에 따르면, 양자 기계 학습 시뮬레이션 시스템이 제공된다.
- [0014] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 복수의 양자 특징 맵 중 어느 하나를 선택받고, 양자 비트 수를 입력받으며, 상기 선택된 양자 특징 맵과 상기 결정된 양자 비트 수를 이용하여 양자 특징맵 회로를 구성하는 양자 회로부; 및 입력 데이터 셋을 전처리하여 차원 축소하고 정규화한 후 상기 양자 특징맵 회로에 적용하여 양자 기저 상태로 변환한 후, 각 양자 기저 상태간의 유사도를 계산하여 양자 커널 행렬을 생성한 후 상기 양자 커널 행렬에 대해 SVM(support vector machine) 알고리즘을 실행하여 분류 결과를 출력하는 시뮬레이터부를 포함하는 양자 기계 학습 시뮬레이션 시스템이 제공될 수 있다.
- [0015] 상기 SVM 알고리즘 실행을 위한 k-폴드 교차검증(k-fold cross validation)을 위한 k-폴드 파라미터 및 에러 허용값(C) 파라미터를 각각 설정받는 설정부를 더 포함하되, 상기 시뮬레이터부는, 상기 k-폴드 파라미터와 상기 에러 허용값 파라미터를 고려하여 상기 SVM 알고리즘을 실행하여 분류할 수 있다.
- [0016] 상기 입력 데이터 셋은 PCA(principle component analysis)를 이용하여 상기 양자 비트 수만큼 차원 축소될 수 있다.
- [0017] 입출력 창 영역을 가지되, 상기 양자 특징맵 회로를 테이블 형태로 시각화하여 상기 입출력 창 영역에 출력하는 유저 인터페이스부를 더 포함할 수 있다.
- [0018] 상기 시뮬레이터부는, 상기 분류 결과에 대한 산점도(scatter plot), k-폴드 양자 커널 행렬에 대한 히트맵(heatmap) 및 혼동 행렬 중 적어도 하나로 시각화하여 출력할 수 있다.

[0020] 본 발명의 다른 측면에 따르면, 양자 기계 학습 시뮬레이션 방법이 제공된다.

[0021] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 복수의 양자 특징 맵 중 어느 하나를 선택받고, 양자 비트 수를 입력받는 단계; 상기 선택된 양자 특징 맵과 상기 양자 비트 수를 이용하여 양자 특징맵 회로를 구성하는 단계; 입력 데이터 셋을 전처리하여 차원 축소하고, 정규화하는 단계; 및 상기 정규화된 입력 데이터 셋을 상기 구성된 양자 특징맵 회로에 적용하여 양자 기저 상태로 변환한 후 각 양자 기저 상태간의 유사도를 계산하여 양자 커널 행렬을 생성하고, 상기 양자 커널 행렬에 대해 SVM(support vector machine) 알고리즘을 실행하여 분류 결과를 출력하는 단계를 포함하는 양자 기계 학습 시뮬레이션 방법이 제공될 수 있다.

발명의 효과

- [0023] 본 발명의 일 실시예에 따른 양자 기계학습 시뮬레이션 시스템 및 그 방법을 제공함으로써, 사용자 친화적 그래픽 유저 인터페이스를 기반으로 양자 기계 학습에 대한 입문 장벽을 낮출 수 있는 이점이 있다.
- [0024] 또한, 본 발명은 양자 회로 수정이 용이하고 활용성이 뛰어나 다양한 과업에 적용이 가능한 이점도 있다.

도면의 간단한 설명

- [0026] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 양자 기계학습 시뮬레이션 시스템의 구성을 도시한 블록도.
- 도 2 및 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 유저 인터페이스부를 설명하기 위해 도시한 도면.
- 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 입력 데이터 셋의 전처리를 설명하기 위해 도시한 도면.
- 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 입력 데이터 셋의 정규화를 설명하기 위해 도시한 도면.
- 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 양자 특징맵 회로를 설명하기 위해 도시한 도면.
- 도 7 내지 도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 양자 기계 학습 결과의 시각화를 설명하기 위해 도시한 도면.
- 도 10은 본 발명의 일 실시예에 따른 양자 기계학습 시뮬레이션 방법을 나타낸 순서도.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0027] 본 명세서에서 사용되는 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 명세서에서, "구성된다" 또는 "포함한다" 등의 용어는 명세서상에 기재된 여러 구성 요소들, 또는 여러 단계들을 반드시 모두 포함하는 것으로 해석되지 않아야 하며, 그 중 일부 구성 요소들 또는 일부 단계들은 포함되지 않을 수도 있고, 또는 추가적인 구성 요소 또는 단계들을 더 포함할 수 있는 것으로 해석되어야 한다. 또한, 명세서에 기재된 "...부", "모듈" 등의 용어는 적어도 하나의 기능이나 동작을 처리하는 단위를 의미하며, 이는 하드웨어 또는 소프트웨어로 구현되거나 하드웨어와 소프트웨어의 결합으로 구현될 수 있다.
- [0028] 이하, 첨부된 도면들을 참조하여 본 발명의 실시예를 상세히 설명한다.
- [0030] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 양자 기계학습 시뮬레이션 시스템의 구성을 도시한 블록도이고, 도 2 및 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 유저 인터페이스부를 설명하기 위해 도시한 도면이고, 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 입력 데이터 셋의 전처리를 설명하기 위해 도시한 도면이며, 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 입력 데이터 셋의 정규화를 설명하기 위해 도시한 도면이고, 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 양자 특징맵 회로를 설명하기 위해 도시한 도면이며, 도 7 내지 도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 양자 기계 학습 결과의 시각화를 설명하기 위해 도시한 도면이다.
- [0031] 도 1을 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 양자 기계학습 시뮬레이션 시스템(100)은 유저 인터페이스부(110), 양자 회로부(120), 설정부(130), 시뮬레이터부(140), 메모리(150) 및 프로세서(160)를 포함하여 구성된다.
- [0032] 유저 인터페이스부(110)는 양자 기계 학습을 위한 데이터를 입력받고, 시뮬레이션 결과를 출력하기 위한 수단이다.
- [0033] 도 2 및 도 3에 도시된 바와 같이, 유저 인터페이스부(110)는 양자 기계 학습을 위한 다양한 데이터, 파라미터 등을 입력하거나 수정할 수 있는 입출력 창 영역(210)과 양자 기계학습을 위한 다양한 기능을 제공하는 네비게이션 바 영역(220)으로 구성된다.
- [0034] 입출력 창 영역(210)은 도 3에 도시된 바와 같이, 테이블 형태로 제공된다.
- [0035] 본 발명의 일 실시예에서는 이해와 설명의 편의를 도모하기 위해 양자 기계 학습 시뮬레이션 시스템이 엑셀에 컴포넌트 형태로 추가된 일 예를 가정하여 이를 중심으로 설명하나, 이로 제한되는 것은 아니다.
- [0036] 입출력 창 영역(210)은 사용자에게 의해 선택된 양자 특징 맵 회로가 출력되며, 해당 출력된 양자 특징 맵 회로 중 적어도 일부를 수정하기 위한 영역이다. 또한, 입출력 창 영역(210)은 시뮬레이터부(140)에 의한 시뮬레이션 수행 결과를 시각화하여 출력할 수도 있다.
- [0037] 네비게이션 바 영역(220)은 양자 기계 학습 시뮬레이션을 위한 다양한 기능들을 제공하기 위한 영역으로, File UI 영역, 양자 회로 UI 영역, 파라미터 UI 영역, 시뮬레이터 UI 영역을 포함한다.
- [0038] File UI 영역은 기정의된 확장자 파일을 입력받거나 선택받기 위한 수단이다. 예를 들어, csv 확장자 파일을 입력받거나 미리 정의된 UCI 데이터 셋을 선택할 수 있다. 또한, File UI 영역은 도 2에 도시된 바와 같이, 현재 작업 중인 양자 회로의 파일 명을 입력하고, 이를 저장하기 위한 인터페이스를 제공할 수 있다.
- [0039] 양자 회로 UI 영역은 미리 정의된 복수의 양자 특징 맵 중 어느 하나를 선택하기 위한 유저 인터페이스를 제공한다.
- [0040] 예를 들어, 양자 회로 UI 영역은 Z-양자 특징 맵, ZZ-양자 특징 맵 등과 같이 복수의 양자 특징 맵 선택을 위한 드롭박스 메뉴 UI를 제공한다. 해당 드롭박스 메뉴 UI를 통해 사용자는 미리 정의된 복수의 양자 특징 맵 중 어느 하나를 선택할 수 있다.
- [0041] 또한, 양자 회로 UI 영역은 양자 비트 수 설정을 위한 UI를 제공하며, 해당 양자 비트 수 설정을 위한 UI를 통해 양자 비트 수를 입력받을 수 있다.
- [0042] 이어, 양자 회로 UI 영역은 특징맵 생성 UI를 제공하며, 해당 특징 맵 생성 UI가 선택되면, 양자 회로부(120)는 양자 회로 UI 영역을 통해 선택된 양자 특징 맵과 결정된 양자 비트 수를 이용하여 양자 특징 맵 회로를 생성하

여 입출력 창 영역에 출력할 수 있다.

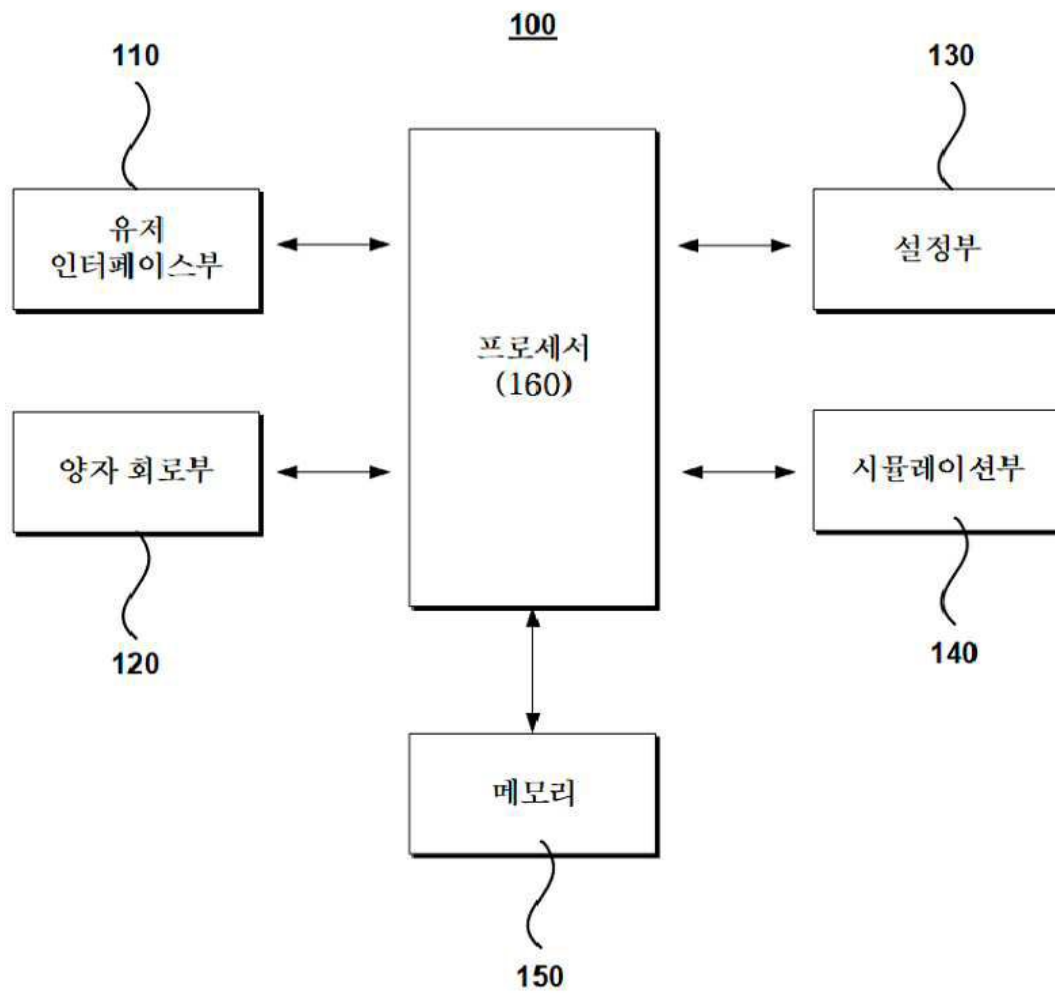
- [0043] 도 3에 양자 특징 맵 회로가 입출력 창 영역에 출력된 일 예가 도시되어 있다.
- [0044] 파라미터 UI 영역은 양자 기계 학습을 위한 파라미터를 설정받기 위한 영역이다.
- [0045] 예를 들어, 파라미터 UI 영역은 k-폴드 교차검증(k-fold cross validation)을 위한 k-폴드 파라미터 및 에러 허용값(C) 파라미터를 각각 설정받을 수 있다.
- [0046] 시뮬레이터 UI 영역은 양자 기계 학습을 실행 명령을 입력받기 위한 영역이다.
- [0047] 양자 회로부(120)는 양자 회로 UI 영역을 통해 복수의 양자 특징 맵 중 어느 하나를 선택받고, 양자 비트 수를 입력받으며, 해당 선택된 양자 특징 맵과 입력된 양자 비트 수를 이용하여 테이블 형태의 양자 특징맵 회로를 구성하기 위한 수단이다.
- [0048] 양자 회로부(120)에 의해 구성된 양자 특징맵 회로는 도 3에 도시된 바와 같이, 입출력 창 영역을 통해 출력될 수 있다. 입출력 창 영역을 통해 출력된 양자 특징맵 회로는 해당 입출력 창 영역을 통해 수정될 수 있으며, 사용자는 입출력 창 영역을 통해 출력된 양자 특징맵 회로를 수정하여 커스터마이징할 수 있다.
- [0049] 양자 회로부(120)는 입출력 창 영역을 통해 수정된 회로 정보를 반영하여 양자 특징맵 회로를 재구성할 수 있음은 당연하다.
- [0050] 설정부(130)는 SVM 알고리즘 실행을 위한 k-폴드 교차검증을 위한 k-폴드 파라미터 및 에러 허용값(C) 파라미터를 등을 설정하기 위한 수단이다.
- [0051] 시뮬레이터부(140)는 입력 데이터 셋을 전처리하여 차원 축소하고 정규화한 후 양자 특징맵 회로에 적용하여 양자 기저 상태로 변환할 수 있다. 여기서, 시뮬레이터부(140)는 입력 데이터 셋을 전처리하여 차원 축소함에 있어, 결정된 양자 비트 수만큼 입력 데이터 셋을 차원 축소할 수 있다. 예를 들어, 결정된 양자 비트 수가 2인 경우, 입력 데이터 셋은 2차원으로 축소될 수 있다.
- [0052] 이어, 시뮬레이터부(140)는 각 양자 기저 상태간 유사도를 계산하여 양자 커널 행렬을 생성한 후 SVM(support vector machine) 알고리즘을 실행하여 분류 결과를 시각화하여 출력하기 위한 수단이다.
- [0053] 예를 들어, 시뮬레이터부(140)는 도 4에 도시된 바와 같이, 입력 데이터 셋의 차원을 PCA(principle component analysis)를 이용하여 차원 축소할 수 있다. 본 발명의 일 실시예에서는 이해와 설명의 편의를 도모하기 위해 PCA를 이용하여 입력 데이터 셋을 각 행 단위로 차원 축소한 것을 가정하고 있으나, PCA 이외에도 입력 데이터 셋 각각의 차원을 축소할 수 있는 알고리즘(예를 들어, scaler 등)인 경우 제한 없이 적용될 수 있다.
- [0054] 시뮬레이터부(140)는 입력 데이터 셋을 전처리하여 차원 축소한 후 도 5에 도시된 바와 같이, 데이터 범위를 지정된 특정 범위로 정규화한다.
- [0055] 시뮬레이터부(140)는 전처리된 입력 데이터 셋을 구성된 양자 특징맵 회로에 적용할 수 있다. 도 3에 테이블 형태로 시각화된 양자 특징맵 회로는 도 6에 도시된 바와 같이 두개의 큐비트를 사용하여 구성될 수 있다.
- [0056] 시뮬레이터부(140)는 해당 양자 특징맵 회로에 전처리된 입력 데이터 셋을 반영하여 양자 기저 상태로 변환하고, 각 양자 기저 상태들간의 유사도를 계산하여 양자 커널 행렬을 생성할 수 있다(도 6 참조).
- [0057] 시뮬레이터부(140)는 해당 양자 커널 행렬에서 SVM을 이용하여 각 클래스의 지지 벡터간 마진이 최대화되는 초평면을 생성하여 분류 결과를 출력할 수 있다.
- [0058] 도 7에는 양자 커널 행렬을 시각화한 일 예가 도시되어 있고, 도 8에는 분류 결과를 시각화한 일 예가 도시되어 있으며, 도 9에는 분류 결과에 대한 혼동 행렬을 시각화한 일 예가 도시되어 있다.
- [0059] 도 9의 혼동 행렬은 실제 레이블과 예측 레이블에 따라 예측 성공 및 실패가 얼마나 많은지 각 클래스별로 보여준다. 도 8은 Scatter plot 기반으로 각 데이터의 분포 및 분류 결과를 시각적으로 도시하고 있으며, 도 7은 k-폴드 교차 검증하는 동안 생성된 양자 커널 행렬을 히트맵(heatmap) 방식으로 시각화하여 나타낸 것이다. 이와 같이 시각화된 결과를 통해서 사용자가 하여금 손쉽게 결과 해석이 가능케 할 수 있는 이점이 있다.
- [0060] 메모리(150)는 본 발명의 일 실시예에 따른 양자 기계학습 시뮬레이션 방법을 수행하기 위한 다양한 명령어들을 저장한다.
- [0061] 프로세서(160)는 본 발명의 일 실시예에 따른 양자 기계학습 시뮬레이션 시스템(100)의 내부 구성 요소들(예를

들어, 유저 인터페이스부(110), 양자 회로부(120), 설정부(130), 시뮬레이터부(140), 메모리(150) 등)을 제어하기 위한 수단이다.

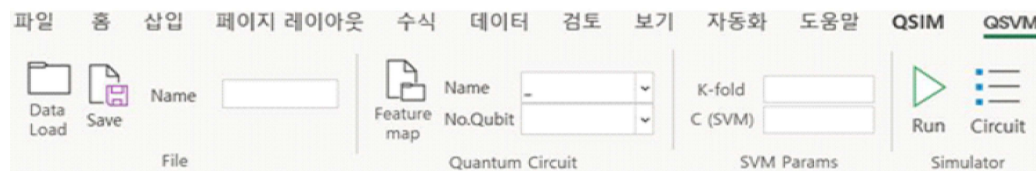
- [0063] 도 10은 본 발명의 일 실시예에 따른 양자 기계학습 시뮬레이션 방법을 나타낸 순서도이다.
- [0064] 단계 1010에서 양자 기계학습 시뮬레이션 시스템(100)은 데이터 셋을 입력받는다.
- [0065] 단계 1015에서 양자 기계학습 시뮬레이션 시스템(100)은 복수의 양자 특징 맵 중 어느 하나를 선택받고, 양자 비트 수를 각각 입력받는다.
- [0066] 단계 1020에서 양자 기계학습 시뮬레이션 시스템(100)은 양자 기계 학습을 위한 파라미터들(예를 들어, k-폴드 파라미터와 에러 허용값 파라미터)을 입력받는다.
- [0067] 단계 1010 내지 단계 1020은 반드시 순차적으로 수행되는 것은 아니며, 병렬적으로 동시에 수행될 수도 있다.
- [0068] 단계 1025에서 양자 기계학습 시뮬레이션 시스템(100)은 선택된 양자 특징 맵과 상기 결정된 양자 비트 수를 이용하여 양자 특징맵 회로를 구성하고, 해당 양자 특징맵 회로를 테이블 형태로 시각화하여 출력한다.
- [0069] 단계 1030에서 양자 기계학습 시뮬레이션 시스템(100)은 입력 데이터 셋을 전처리하여 차원 축소하고, 정규화한다.
- [0070] 이어, 단계 1035에서 양자 기계학습 시뮬레이션 시스템(100)은 전처리 및 정규화된 데이터 셋을 구성된 양자 특징맵 회로에 적용하여 양자 기저 상태로 변환하고, 양자 기저 상태간의 유사도를 계산하여 양자 커널 행렬을 생성하며, 해당 양자 커널 행렬에서 SVM 알고리즘을 실행하여 분류 결과를 생성한다.
- [0071] 단계 1040에서 양자 기계학습 시뮬레이션 시스템(100)은 분류 결과를 시각화하여 출력할 수 있다.
- [0073] 본 발명의 실시 예에 따른 장치 및 방법은 다양한 컴퓨터 수단을 통하여 수행될 수 있는 프로그램 명령 형태로 구현되어 컴퓨터 판독 가능 매체에 기록될 수 있다. 컴퓨터 판독 가능 매체는 프로그램 명령, 데이터 파일, 데이터 구조 등을 단독으로 또는 조합하여 포함할 수 있다. 컴퓨터 판독 가능 매체에 기록되는 프로그램 명령은 본 발명을 위하여 특별히 설계되고 구성된 것들이거나 컴퓨터 소프트웨어 분야 통상의 기술자에게 공지되어 사용 가능한 것일 수도 있다. 컴퓨터 판독 가능 기록 매체의 예에는 하드 디스크, 플로피 디스크 및 자기 테이프와 같은 자기매체(magnetic media), CD-ROM, DVD와 같은 광기록 매체(optical media), 플롭티컬 디스크(floptical disk)와 같은 자기-광 매체(magneto-optical media) 및 롬(ROM), 램(RAM), 플래시 메모리 등과 같은 프로그램 명령을 저장하고 수행하도록 특별히 구성된 하드웨어 장치가 포함된다. 프로그램 명령의 예에는 컴파일러에 의해 만들어지는 것과 같은 기계어 코드뿐만 아니라 인터프리터 등을 사용해서 컴퓨터에 의해서 실행될 수 있는 고급 언어 코드를 포함한다.
- [0074] 상술한 하드웨어 장치는 본 발명의 동작을 수행하기 위해 하나 이상의 소프트웨어 모듈로서 작동하도록 구성될 수 있으며, 그 역도 마찬가지이다.
- [0075] 이제까지 본 발명에 대하여 그 실시 예들을 중심으로 살펴보았다. 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자는 본 발명이 본 발명의 본질적인 특성에서 벗어나지 않는 범위에서 변형된 형태로 구현될 수 있음을 이해할 수 있을 것이다. 그러므로 개시된 실시 예들은 한정적인 관점이 아니라 설명적인 관점에서 고려되어야 한다. 본 발명의 범위는 전술한 설명이 아니라 특허청구범위에 나타나 있으며, 그와 동등한 범위 내에 있는 모든 차이점은 본 발명에 포함된 것으로 해석되어야 할 것이다.

도면

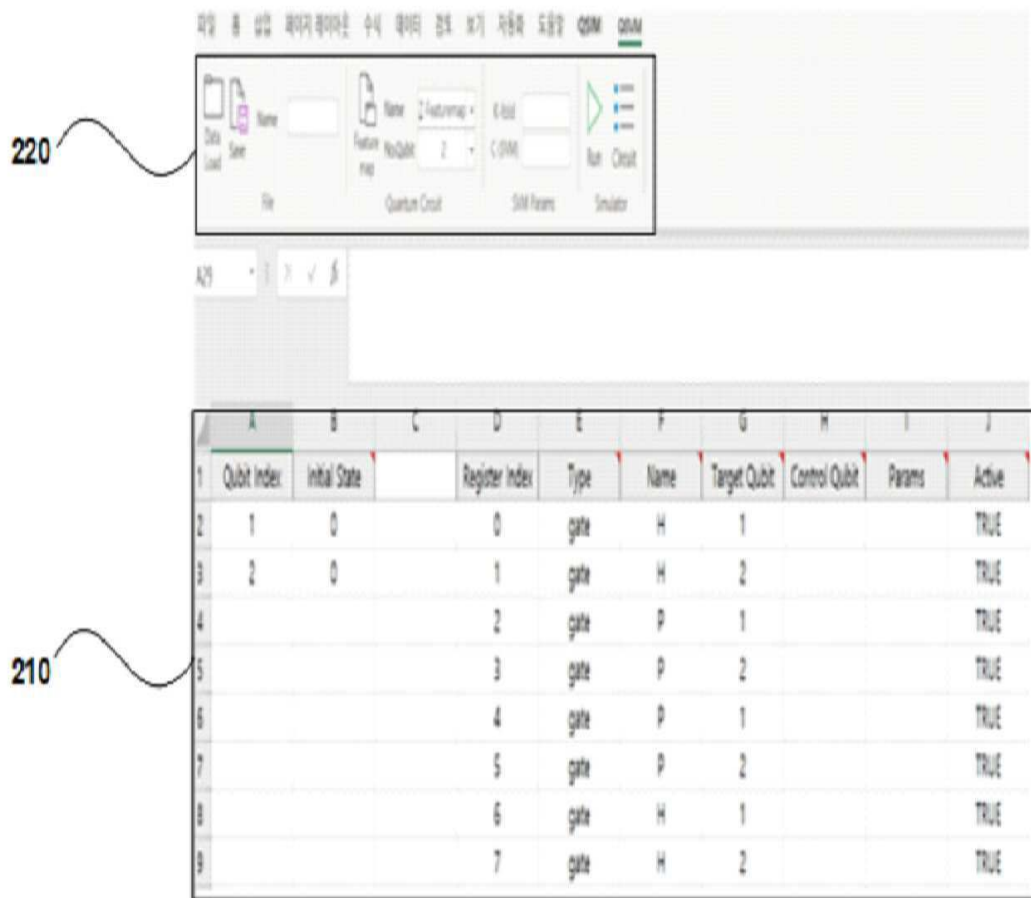
도면1



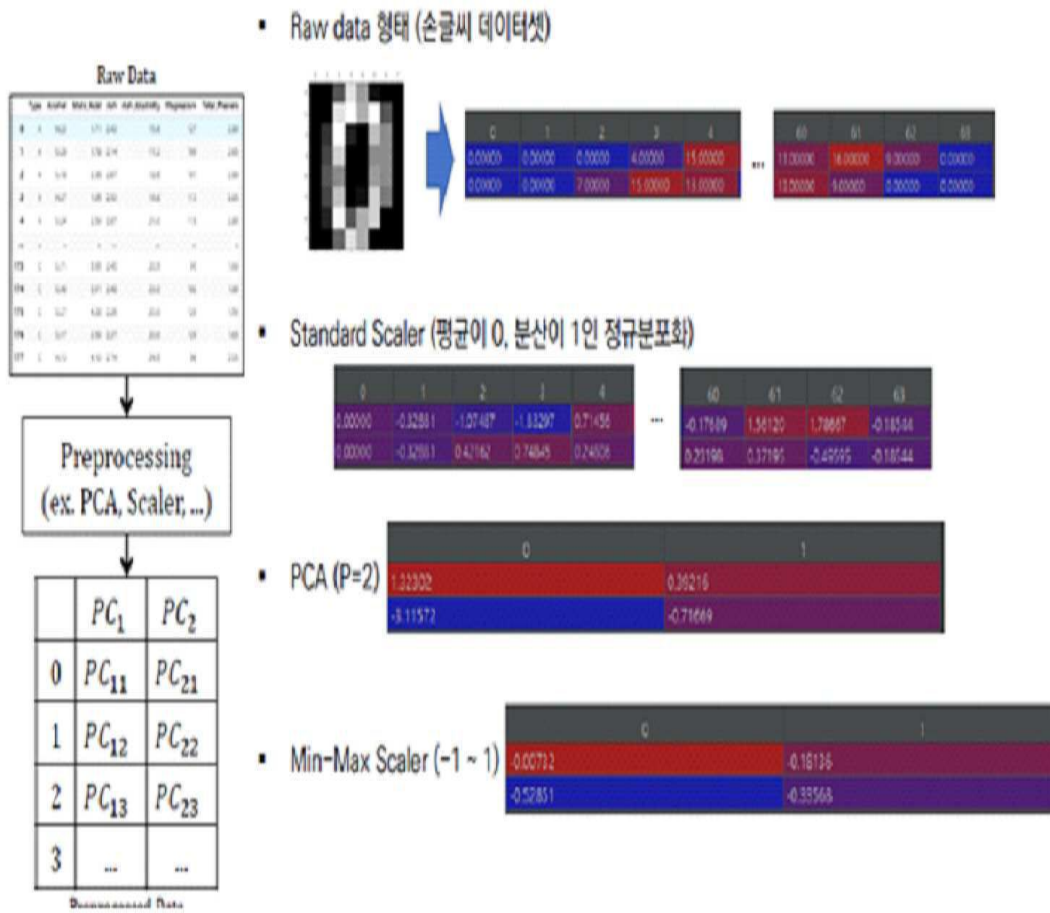
도면2



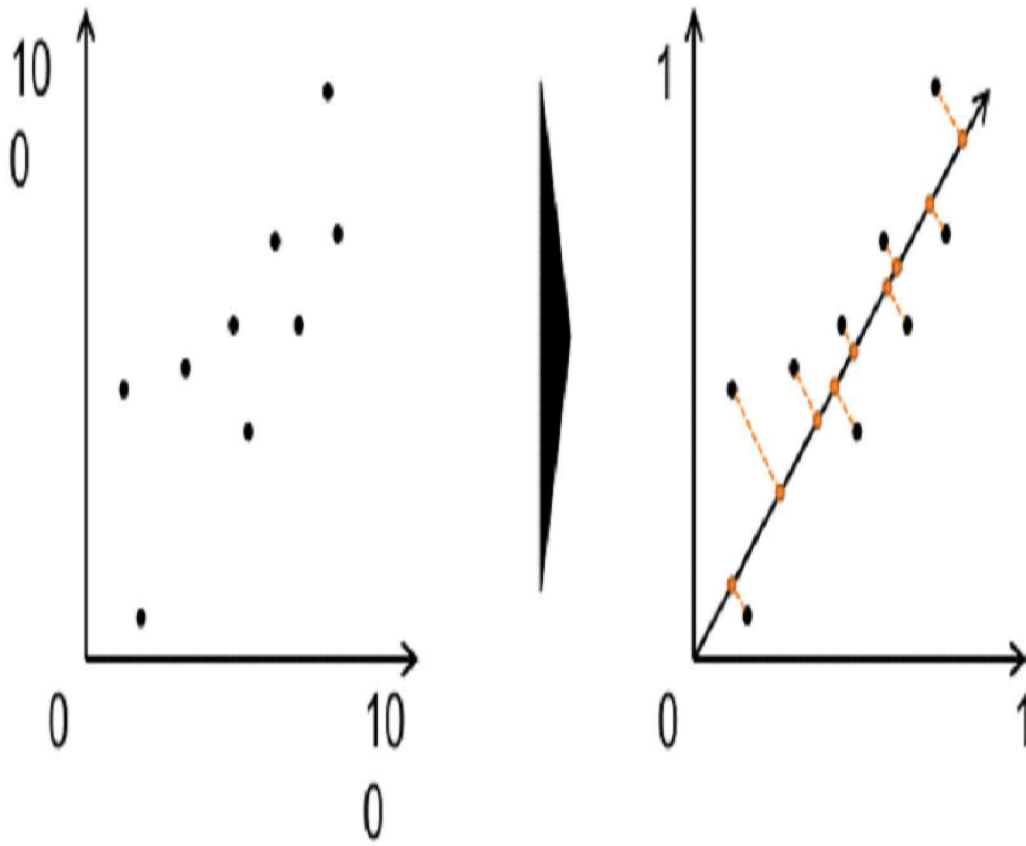
도면3



도면4



도면5

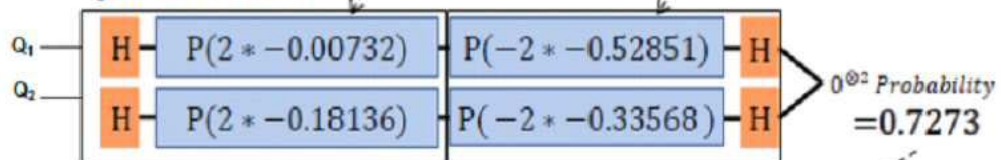


도면6

Preprocessed data

	PC_1	PC_2
0	-0.00732	-0.18136
1	-0.52851	-0.33568
2	...	...
n	...	...

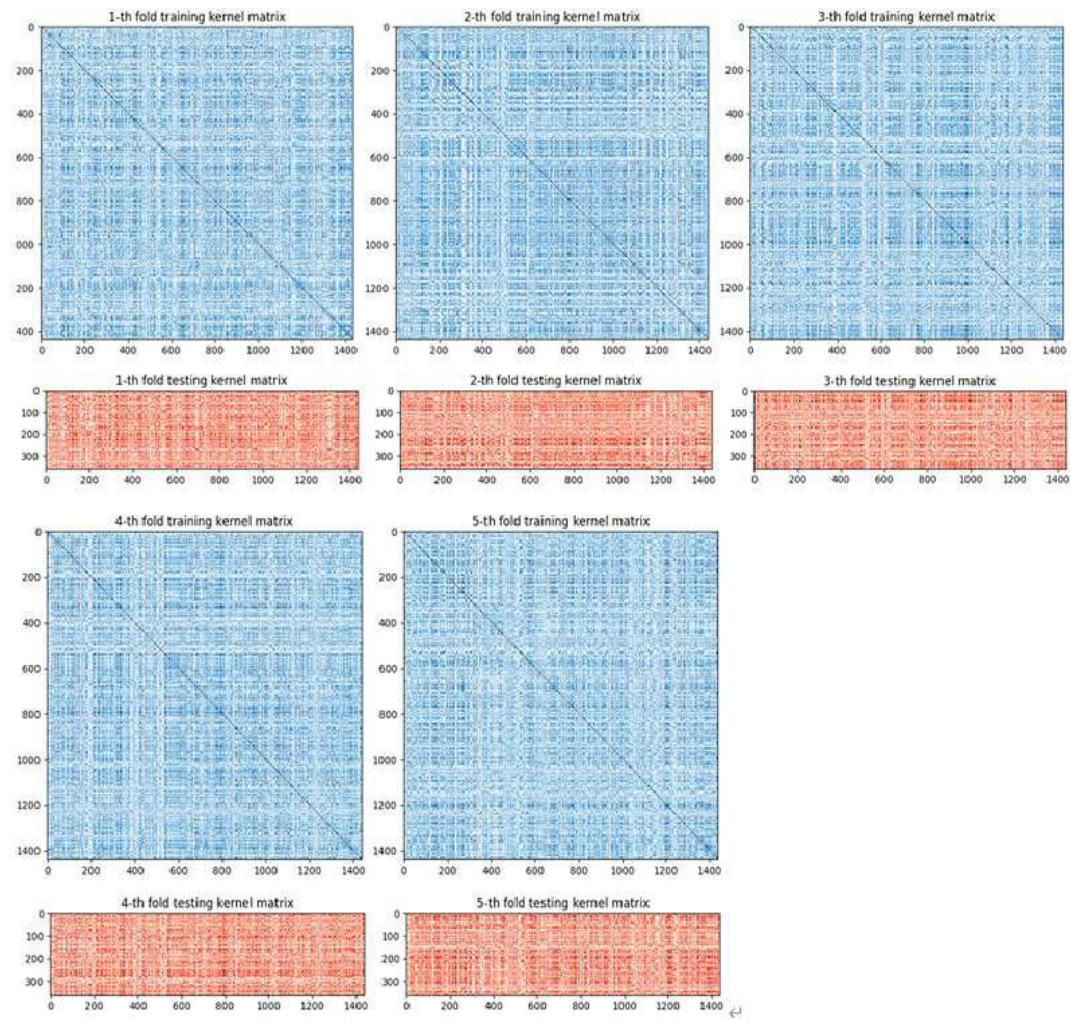
Quantum Circuit



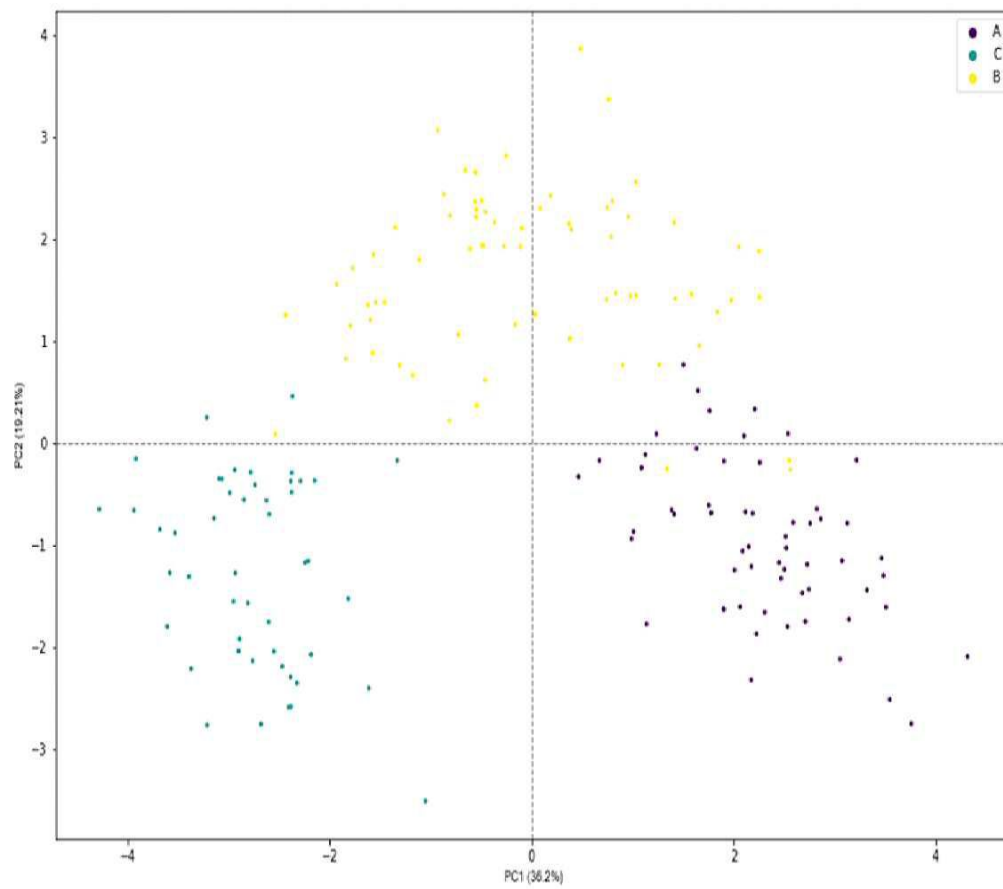
Quantum Kernel Matrix

	0	1	...	n
0	1	0.7273		
1	0.7273	1		
...				
n				

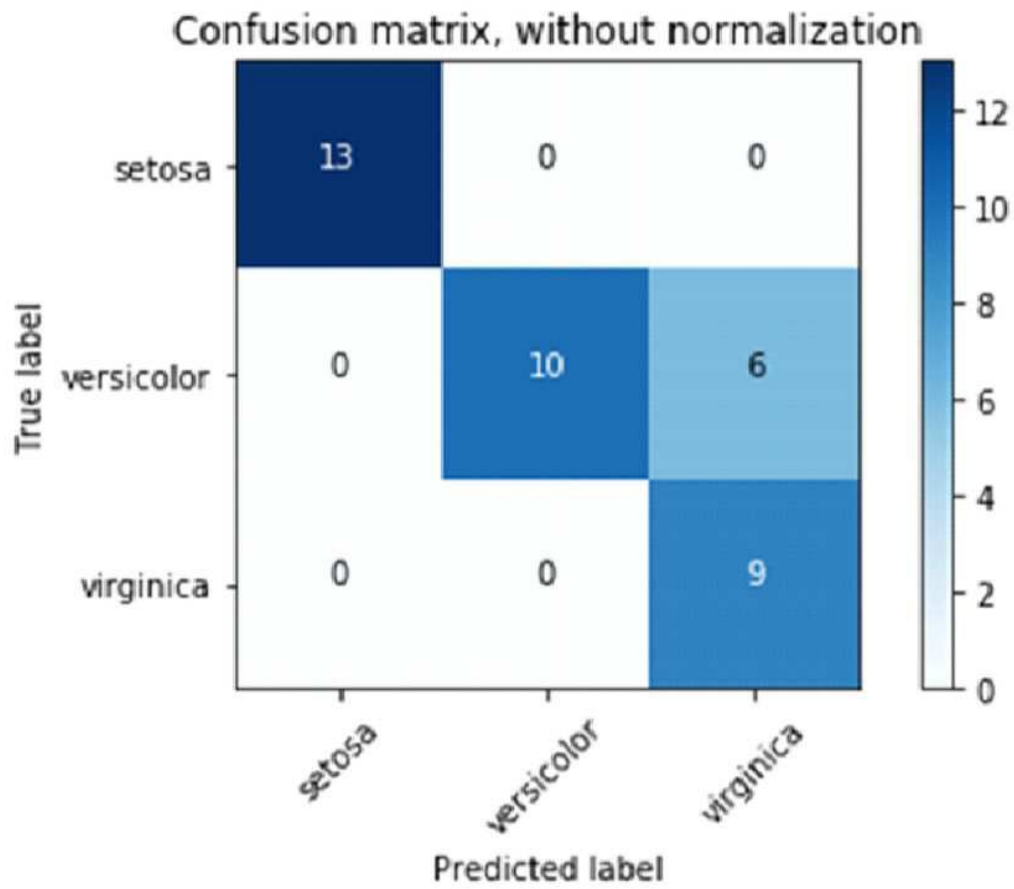
도면7



도면8



도면9



도면10

