پیاده‌سازی الگوریتم تشخیص درهم‌تنیدگی بدون استفاده از شاهد‌ها یا PPT :

برای درک این الگوریتم و پیاده‌سازی آن از مقاله‌ی A Separability-Entanglement Classifier via Machine Learning بهره بردیم.[0]

در اولین قدم برای آن ‌که بتوانیم از روش‌های یادگیری ماشین برای تشخیص در‌‌هم‌تنیدگی سیستم استفاده کنیم، لازم است تعداد زیادی ماتریس چگالی رندوم تولید کرده و با الگوریتم‌هایی مشخص کنیم این حالت‌ها درهم‌تنیده یا جدایی‌پذیر هستند. سپس ماشین را با این ماتریس‌ها learn می‌کنیم تا بتواند حالت‌های نامشخص برای ما را هم تشخیص دهد.

برای این‌کار که مانند برچسب زدن به نمونه‌های موجودمان است، در این بخش از این الگوریتم استفاده کردیم:

می‌دانیم حالت‌های جدایی‌پذیر یک convex hull تشکیل می‌دهند که مرز آن حالت‌های خالص جدایی‌پذیر هستند.[1]

ابتدا با مجموعه‌ای از حالت‌های خالص جدایی‌پذیر، یک convex hull ساختیم برای آن‌ که بتوانیم به گونه‌ای این زیرفضا را شبیه‌سازی کنیم، بعد از آن هر ماتریس چگالی رندوم را با بررسی این‌ که آیا در این convex hull هست یا خیر برچسب می‌زنیم. بودن یک حالت در این convex hull معادل جدایی‌پذیر بودن آن است.

دو کیوتریت:

لازم به ذکر است که ما در فضای feature vector های هر ماتریس چگالی این کار را انجام داده‌ایم. Feature vector های حالت‌های مختلف، همان ضرایب بسط گلمان به دست آمده برایشان هستند. بعد این فضا برای یک سیستم دو کیوتریتی ۸۱ است.

برای آن‌که بتوانیم یک convex hull بسازیم پس از تولید ضرایب بسط گلمان ۸۲ ماتریس چگالی خالص، از توابع convex hull و Delaunay در کتابخانه‌ی Scipy استفاده کردیم.

با استفاده از تابعی که تشخیص می‌دهد آیا نقطه‌ای در یک convex hull هست یا نه تلاش کردیم سیستم دوکیوتریتی را مورد بررسی قرار دهیم اما دچار مشکلاتی شد که نتوانستیم برنامه را اجرا کنیم.

دو کیوبیت:

به دلیل مشکل پیش آمده تصمیم گرفتیم ابعاد سیستم را کم کنیم تا بتوانیم کد را تست کنیم، بنابراین با دو کیوبیت کار کردیم. فضای حالت در این صورت 16 بعدی است.

تعدادی ماتریس چگالی خالص 4 در 4 تولید کردیم و ضرایب بسط آن‌ها برحسب ماتریس‌های پائولی را به دست آوردیم.

convex hull را با استفاده از feature vector این ماتریس‌ها ساختیم و با تابع Delaunay بررسی کردیم که آیا یک حالت خاص شناخته شده در convex hull هست یا خیر. خروجی تابع نهایی true برای حالت جدایی‌پذیر و false برای حالت درهم‌تنیده است.

[0[] Sirui Lu,A Separability-Entanglement Classifier via Machine Learning.(2017)](https://arxiv.org/abs/1705.01523)

# [1] [M. A. Jafarizadeh,Two-qutrit Entanglement Witnesses and Gell-Mann Matrices.(2008)](https://arxiv.org/abs/0802.0270)