

量子敵対的生成ネットワークによる画像生成および画像 処理アプリケーションの開発

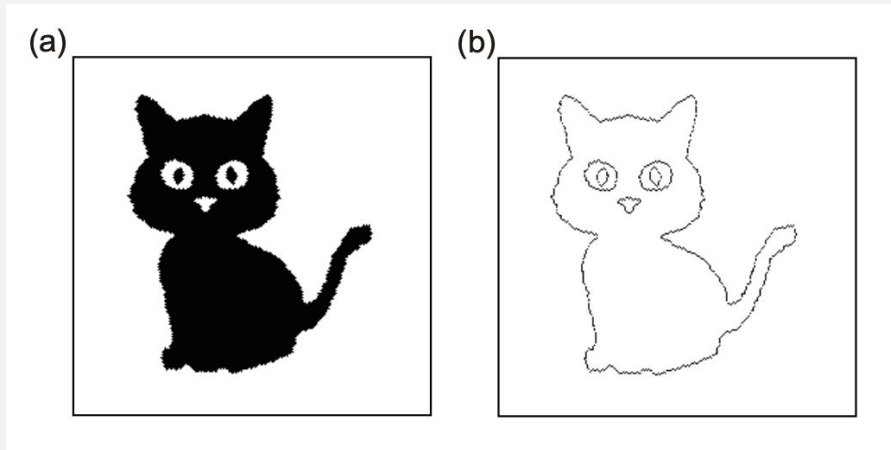
慶應義塾大学3年

種谷 望

担当: 山本 直樹, 佐藤 貴彦

2021年2月11日

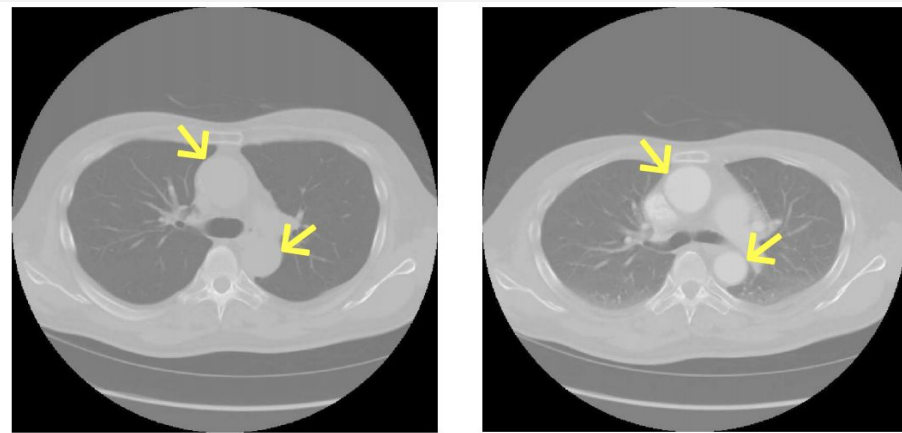
画像エッジ検出



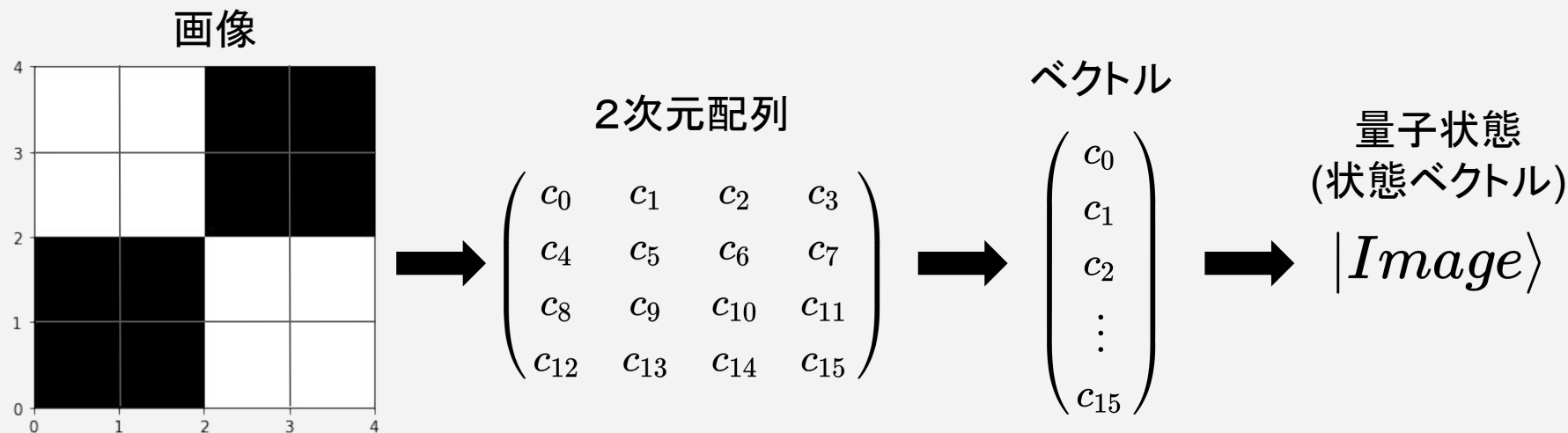
応用例:医療

医療画像の血管や臓器をエッジ検出することによって位置や形を正確に医者がわかり、誤診が少なくなる。

画像の明るさの鋭敏な変化を検出する
-> 画像に写る物体の形をよりクリアにみやすくする。



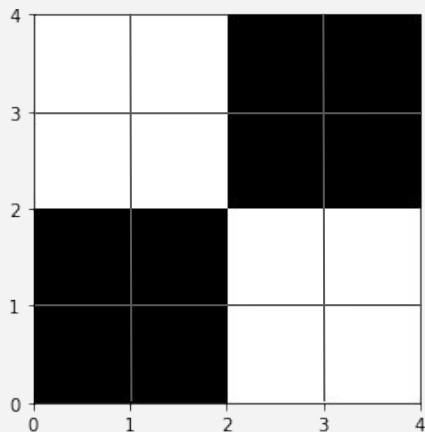
脳の血管のエッジ検出

量子エッジ検出 [Yao et al. 2018] c_n n番目のピクセルの色の値

$$|Image\rangle = \sum_{y=0}^{2^n-1} \sum_{x=0}^{2^n-1} c_{x+2^n y} |x\rangle |y\rangle$$

背景

学習データ

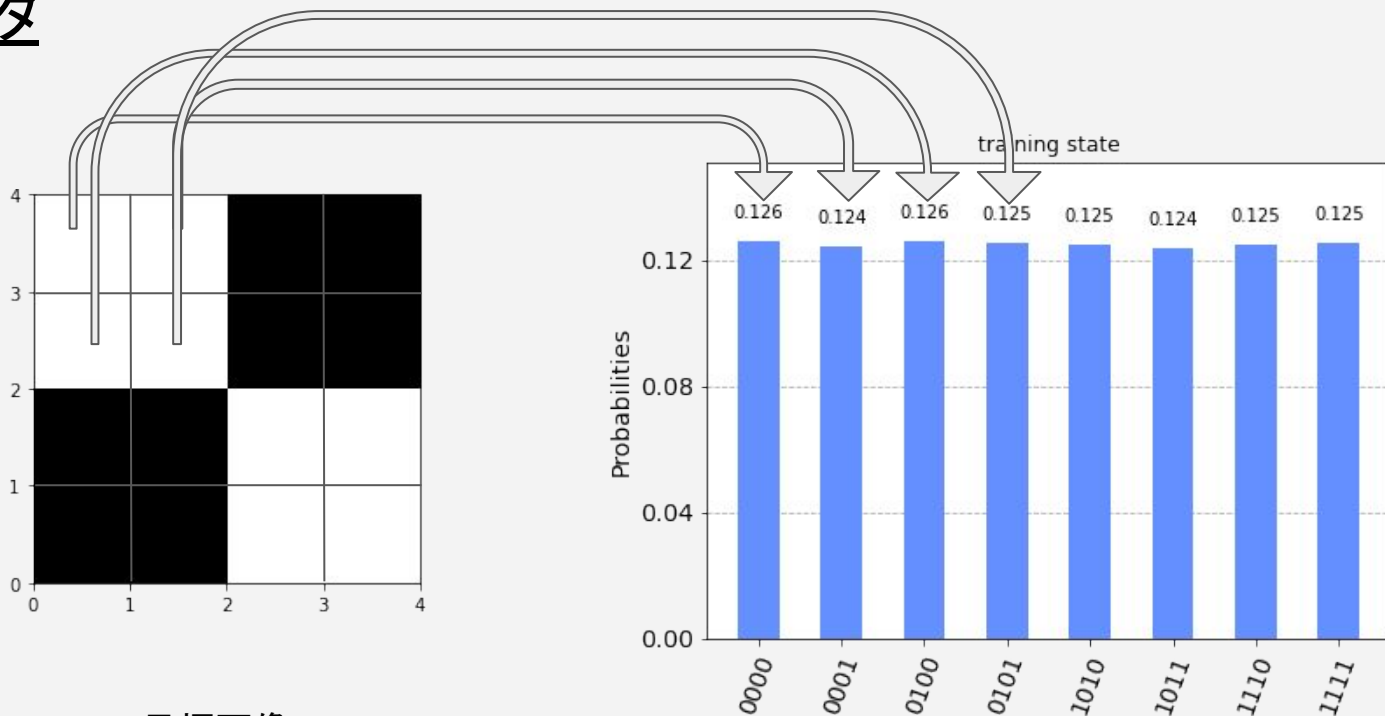


目標画像
(4*4, 白黒2値画像)



背景

学習データ



目標画像
(4*4, 白黒2値画像)

量子エッジ検出 [Yao et al. 2018]

画像を確率振幅にエンコード
(QPIE)

$$|Image\rangle = \begin{pmatrix} c_0 \\ c_1 \\ c_2 \\ \vdots \\ c_{n-2} \\ c_{n-1} \end{pmatrix}$$

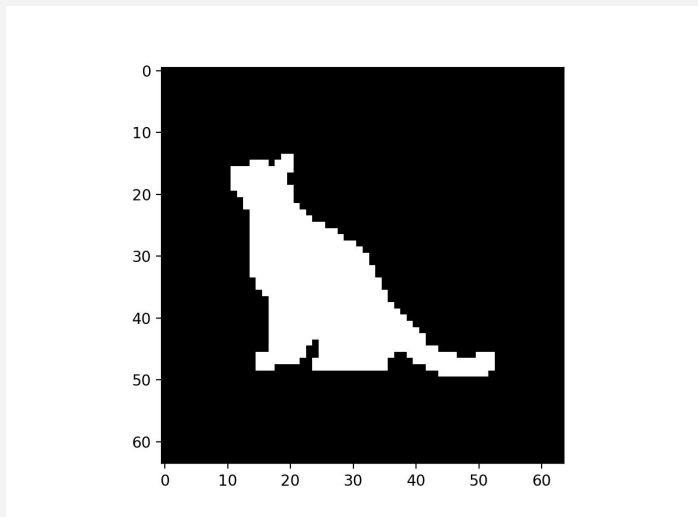


c_n n番目のピクセルの色の値
アダマールゲートをかける

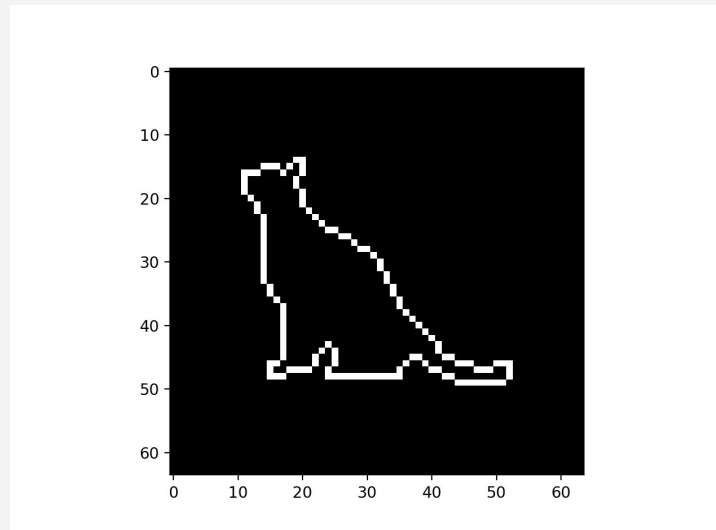
$$(I_{N-1} \otimes H)|Image\rangle = \begin{pmatrix} c_0 + c_1 \\ c_0 - c_1 \\ c_2 + c_3 \\ c_2 - c_3 \\ \vdots \\ c_{n-2} + c_{n-1} \\ c_{n-2} - c_{n-1} \end{pmatrix}$$

隣接したピクセルの色の差分が求まる

量子エッジ検出



入力画像 (64*64, 2値白黒)
13 量子ビット



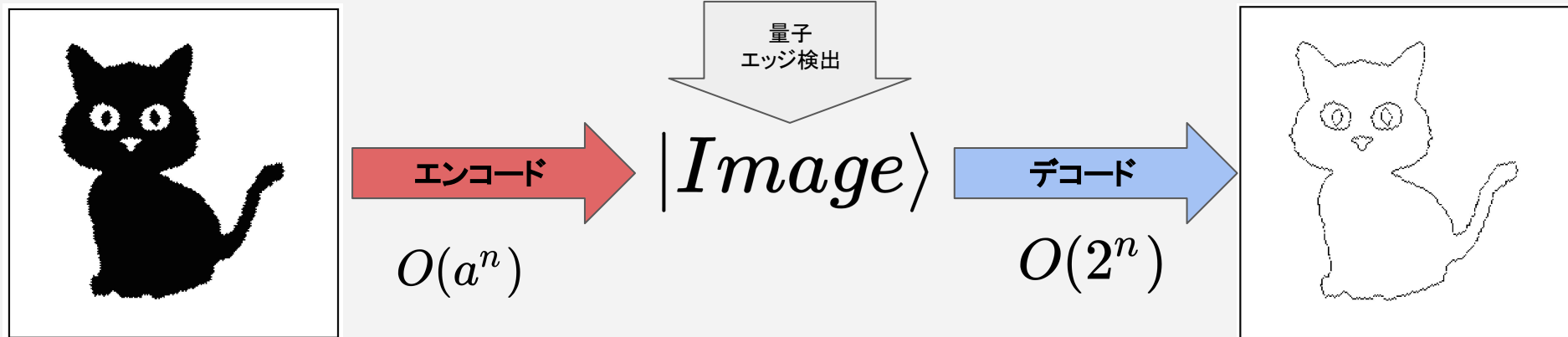
出力画像

量子エッジ検出の量子優位性

エッジ検出アルゴリズムの性能比較
(n ピクセルの画像のとき)

アルゴリズム	ビット数	計算量
Sobel(古典)	$8 * n \text{ bits}$	$O(n)$
Canny(古典)	$8 * n \text{ bits}$	$O(n)$
量子[Yao et al. 2018]	$\log_2 2n + 1 \text{ qubits}$	$O(1)$

量子エッジ検出のボトルネック



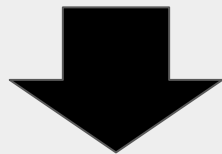
任意の量子状態の用意に
指数個ゲート必要

全ての情報を取り出すのに
指数回の測定が必要

量子優位性を維持できない

問題提起

1. 多項式個のゲート数で画像を量子状態にエンコードする手法の考案.
2. 画像を表現する量子状態から少ない測定回数で有意義な情報を取り出す手法の考案.



量子加速が担保された量子画像アプリケーション

手法

1. 多項式個のゲート数で画像を量子状態にエンコードする手法の考案.

量子GAN

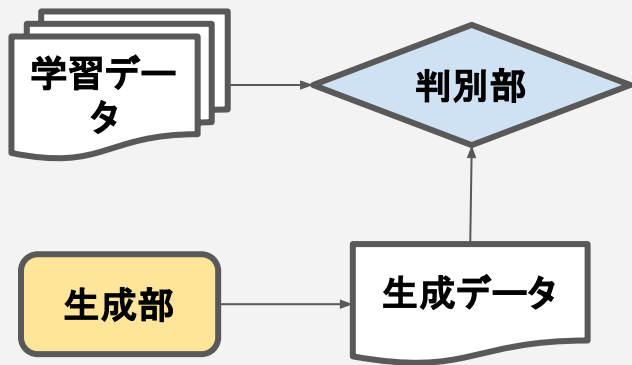
2. 画像を表現する量子状態から少ない測定回数で有意義な情報を取り出す手法の考案.

SWAP Testなど

敵対的生成ネットワーク(GAN)とは [Goodfellow et al.(2014)]

新たなデータを生成する
機械学習モデル

様々な用途に応用



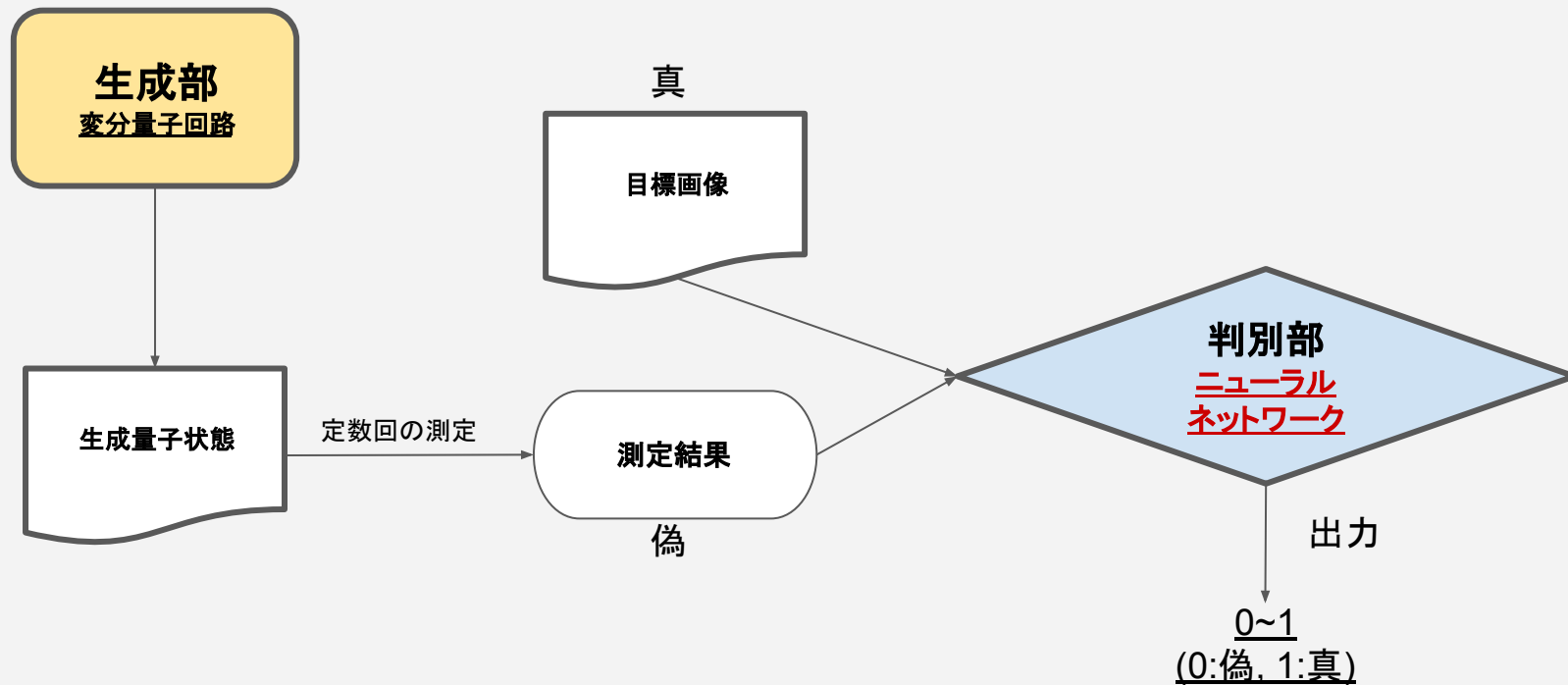
(参考)

https://medium.com/@jonathan_hui/gan-some-cool-applications-of-gans-4c9ecca35900

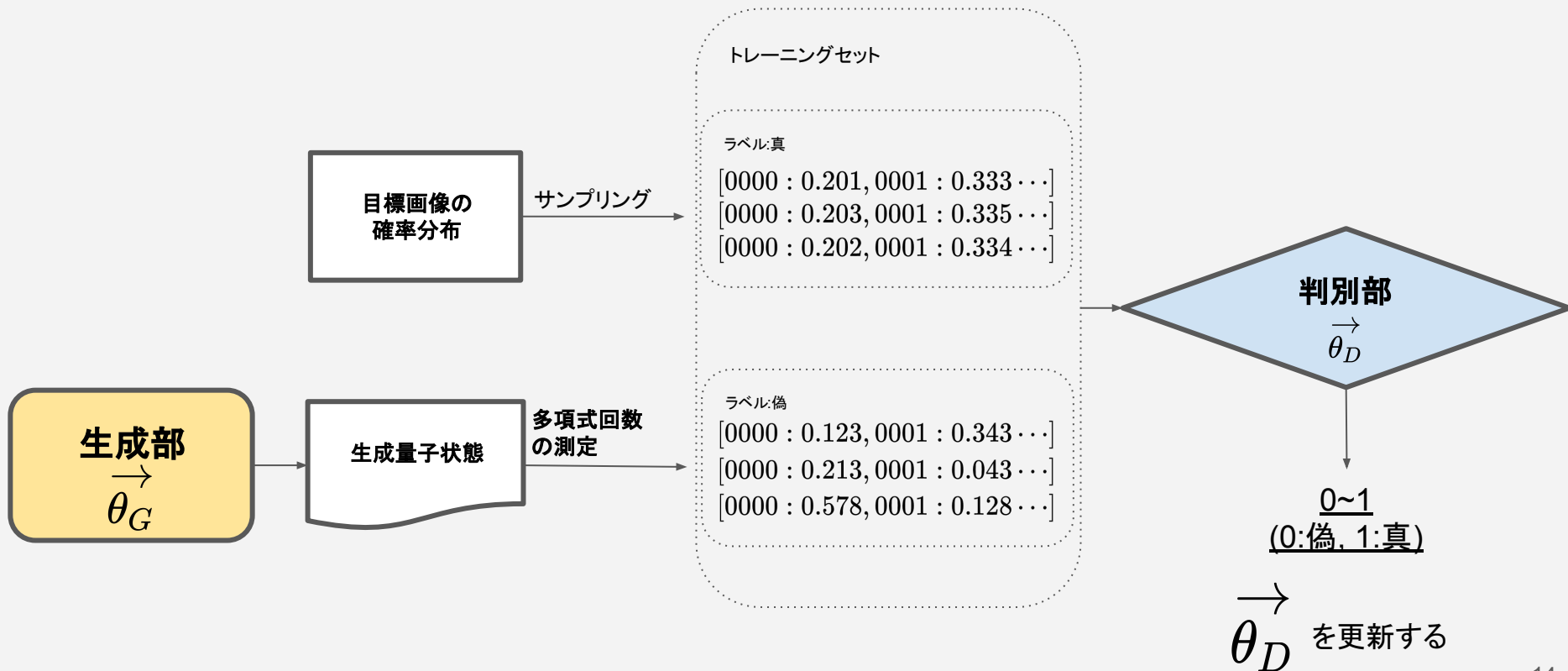
<https://www.youtube.com/watch?v=9reHv>

<https://syncedreview.com/2018/12/14/gan-2-0-nvidias-hyperrealistic-face-generator/>

量子古典ハイブリッドGAN(全体像)

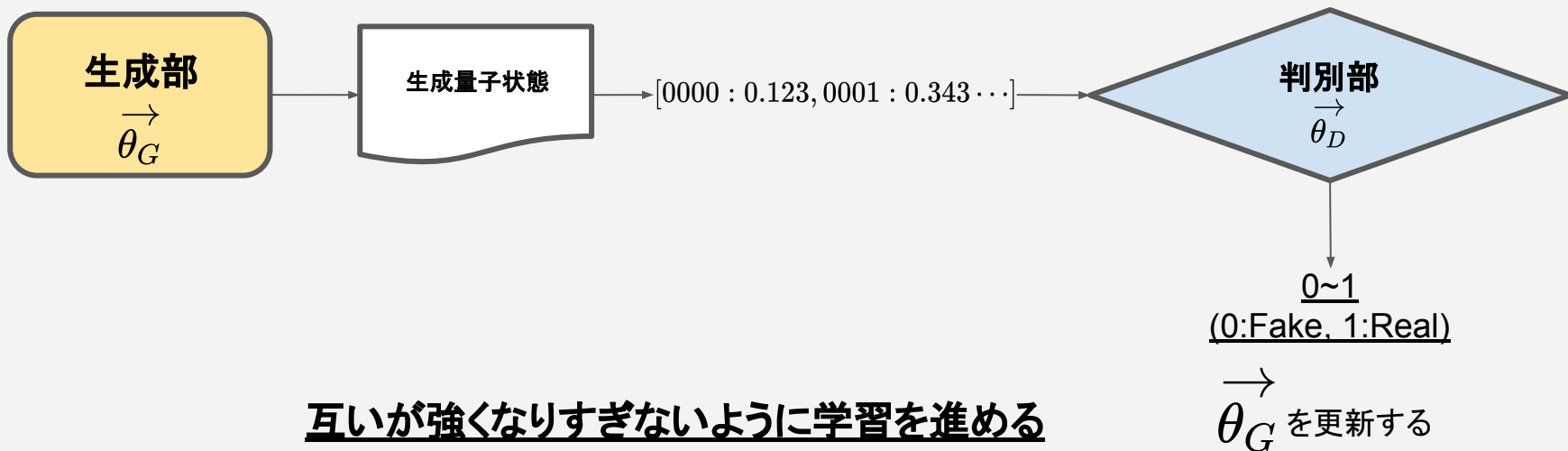


量子古典ハイブリッドGAN(判別部の学習)



手法

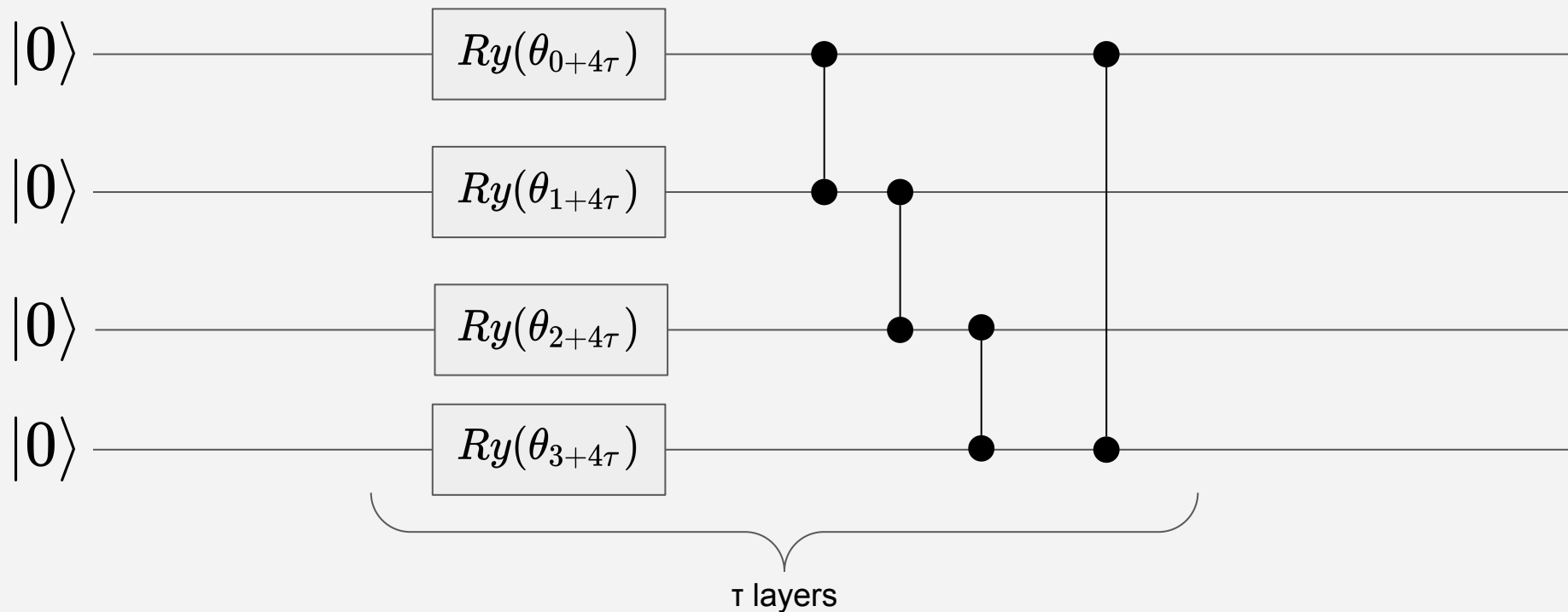
量子古典ハイブリッドGAN(生成部の学習)



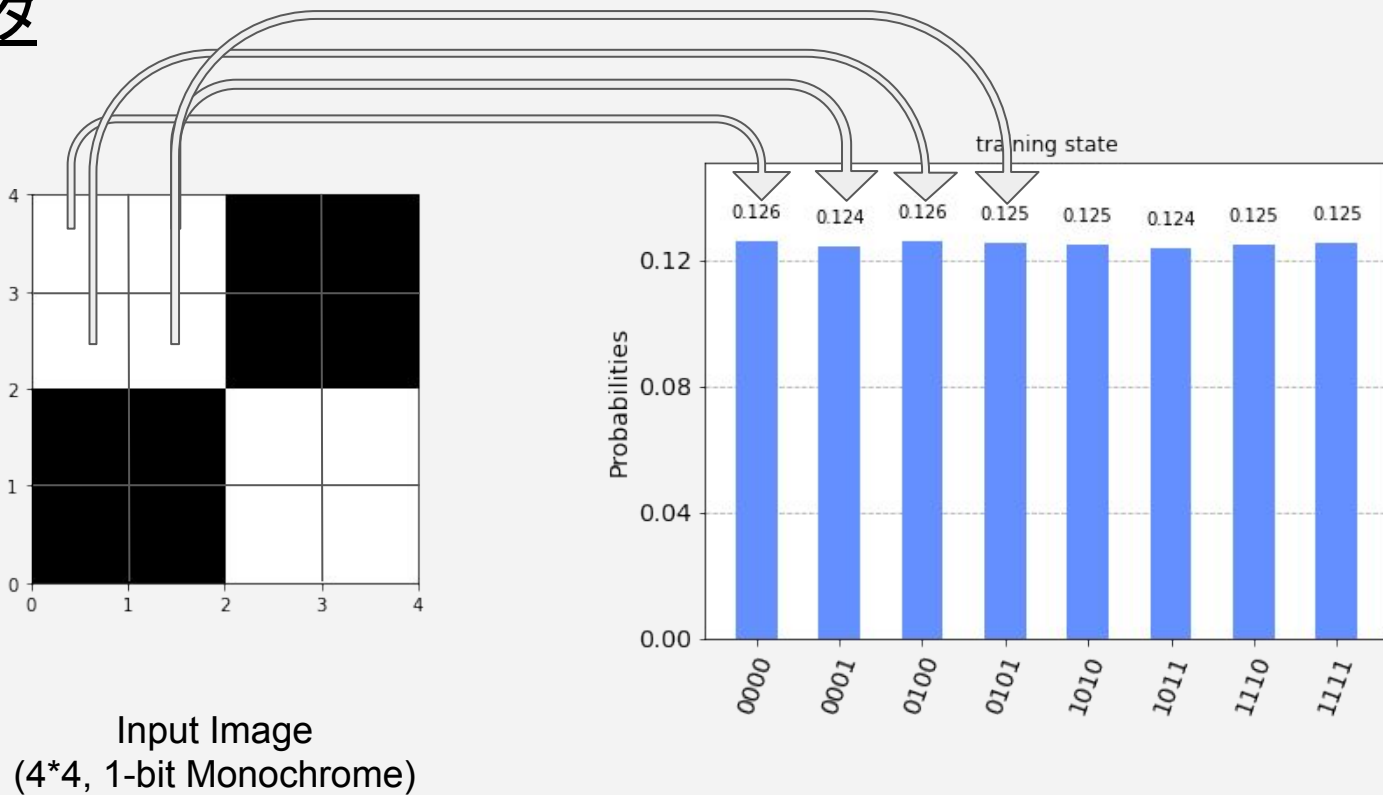
手法

量子回路構成(4量子ビット生成器)

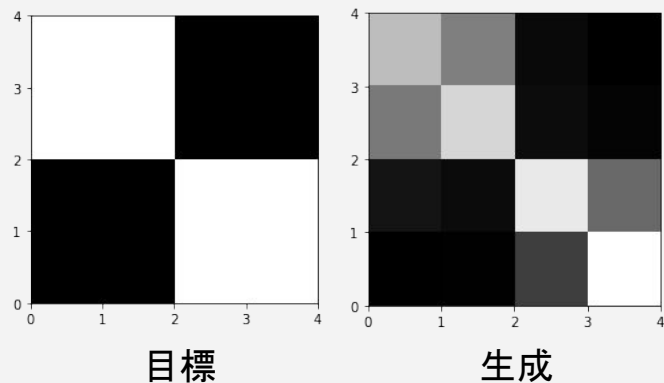
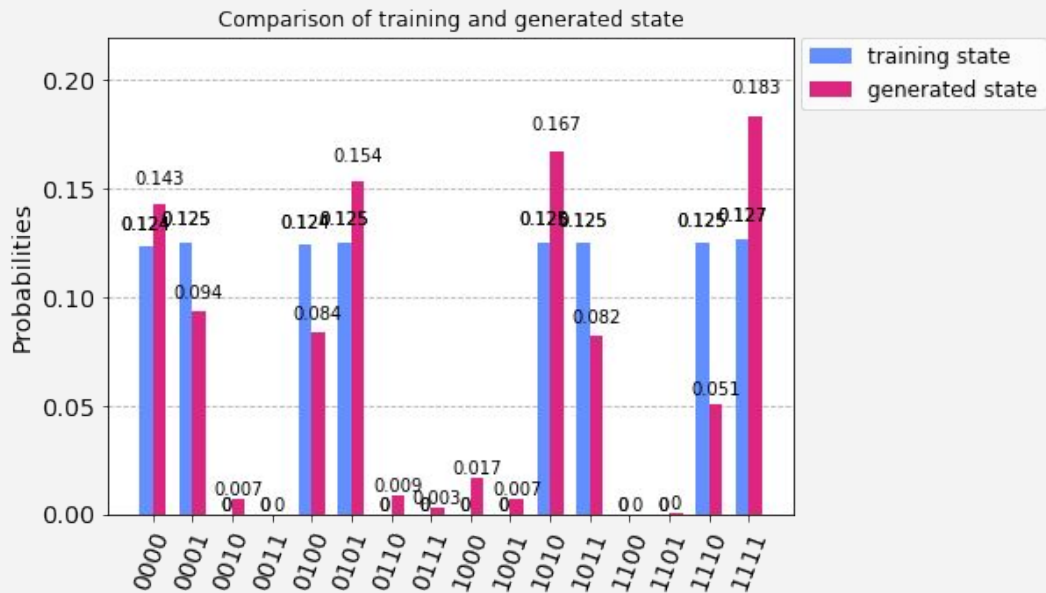
ゲート数 = $O(\text{poly}(n))$



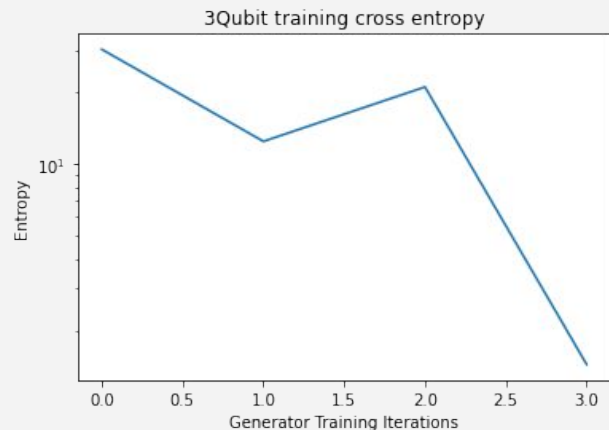
学習データ



結果1 (Quantum GAN)

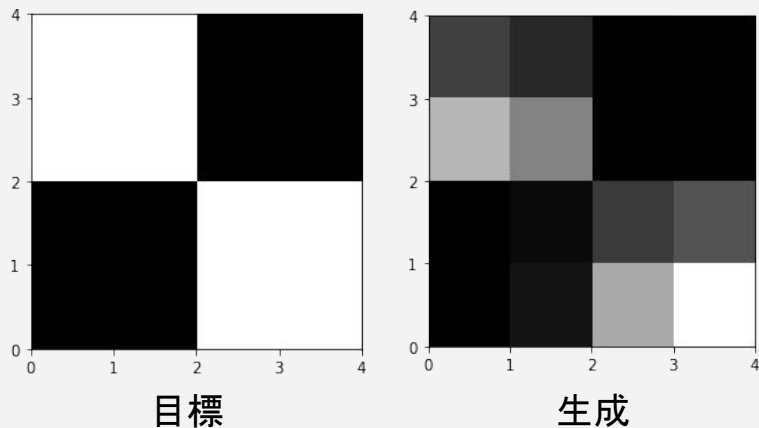
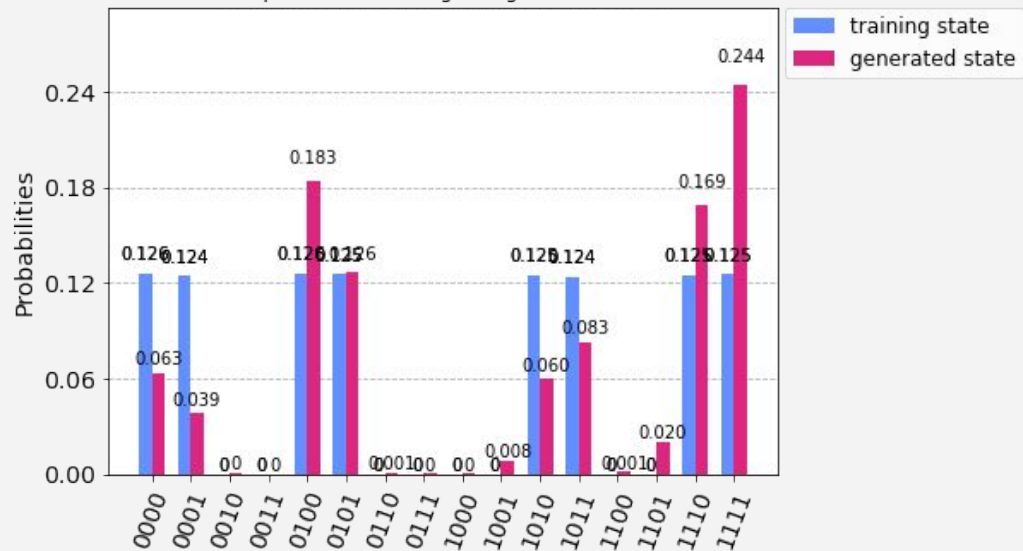


クロスエントロピー...量子状態間の距離

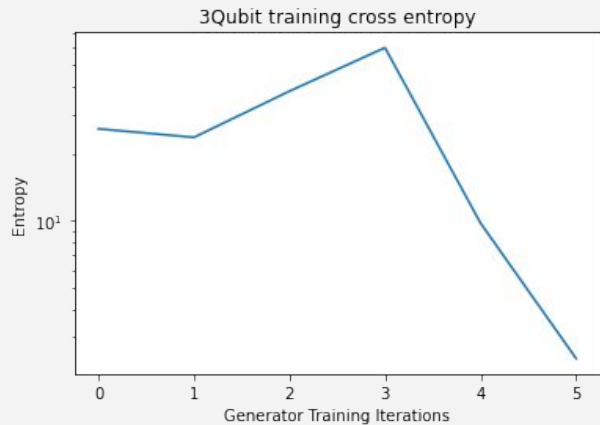


結果2(Quantum GAN)

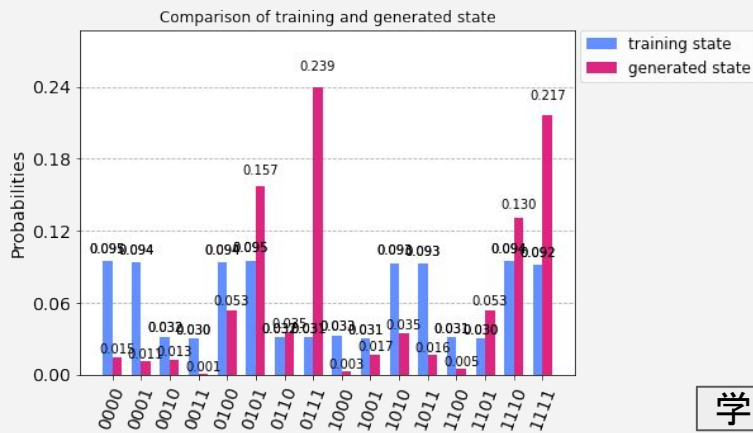
Comparison of training and generated state



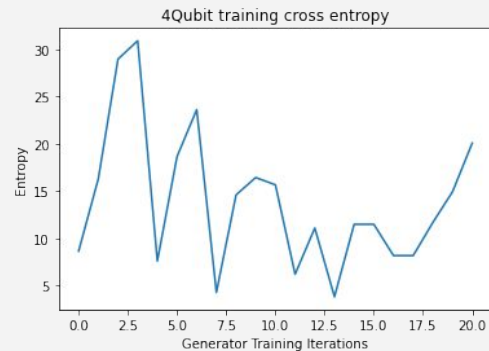
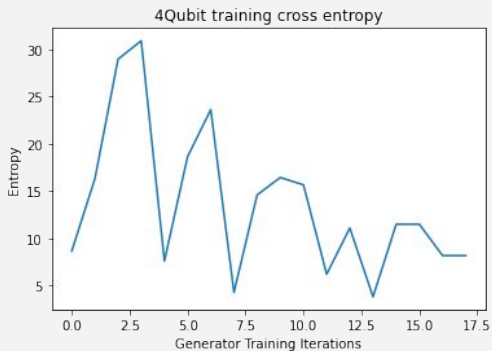
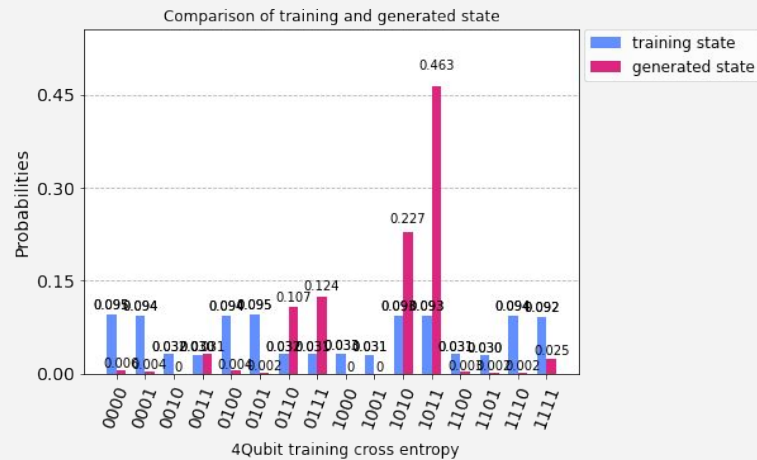
クロスエントロピー...量子状態間の距離



GANの不安定さ



学習を進める



GANの不安定さ

1. 学習を進めても量子状態の距離としては広がる場合がある。
2. 量子状態間の距離が広がったからと言って学習が進んでいないとは限らない。

まとめ

- 量子GANを使ってある程度近い目標画像を表現する量子状態を生成することができた->量子エッジ検出アルゴリズムの問題点の解決
- 更なる精度を持った量子状態が生成できる学習のコツが必要

中長期的目標

- 量子GANの更なるテスト
 - 精度の向上
 - ハイパーパラメータ,量子回路構成などの再検討
 - 更に大きな画像によるテスト

参考文献

Dallaire-Demers, Pierre-Luc, and Nathan Killoran. "Quantum generative adversarial networks." *Physical Review A* 98.1 (2018): 012324.

Lloyd, Seth, and Christian Weedbrook. "Quantum generative adversarial learning." *Physical review letters* 121.4 (2018): 040502.

Goodfellow, Ian, et al. "Generative adversarial nets." *Advances in neural information processing systems*. 2014.

Zoufal, Christa, Aurélien Lucchi, and Stefan Woerner. "Quantum generative adversarial networks for learning and loading random distributions." *npj Quantum Information* 5.1 (2019): 1-9.

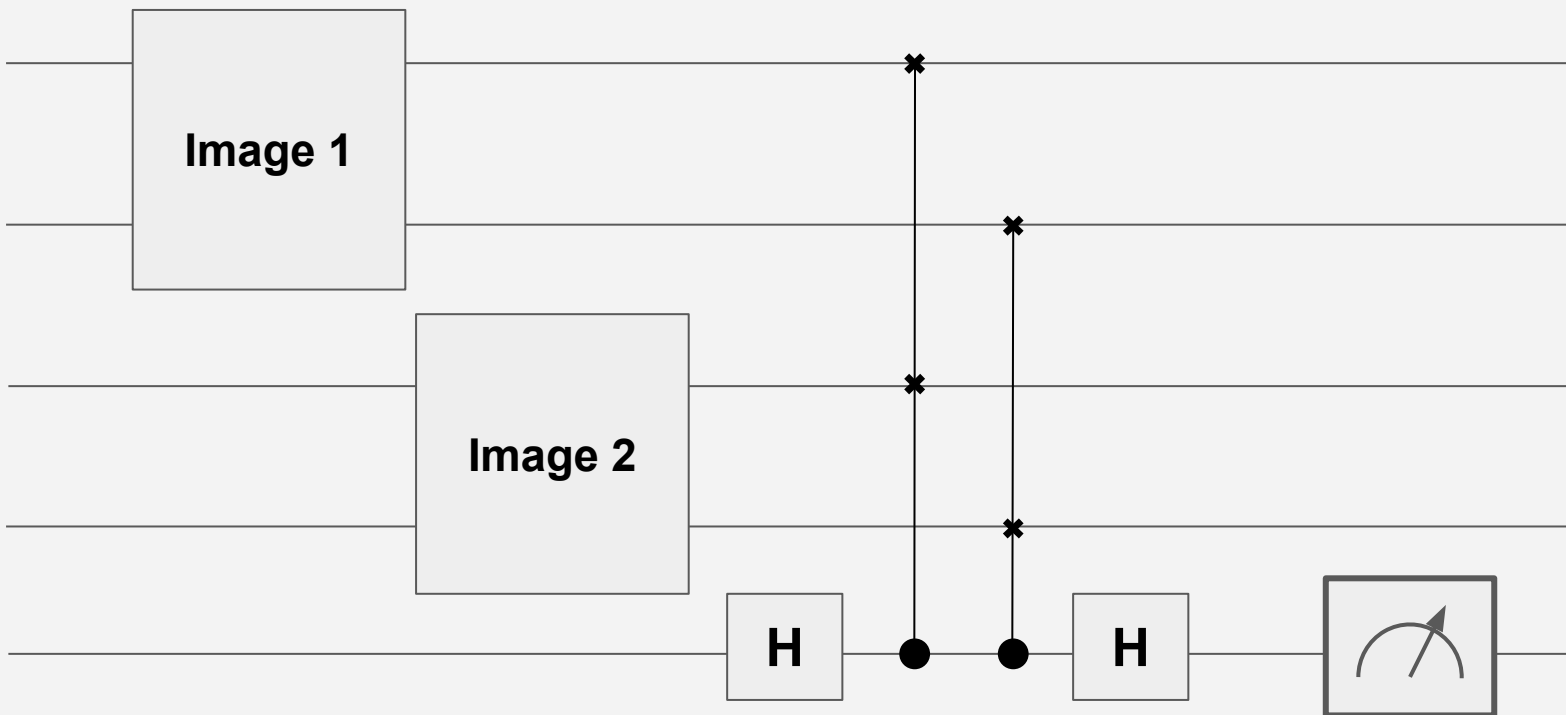
Yao, Xi-Wei, et al. "Quantum image processing and its application to edge detection: theory and experiment." *Physical Review X* 7.3 (2017): 031041.

Zhang, Yi, Kai Lu, and Yinghui Gao. "QSobel: a novel quantum image edge extraction algorithm." *Science China Information Sciences* 58.1 (2015): 1-13.

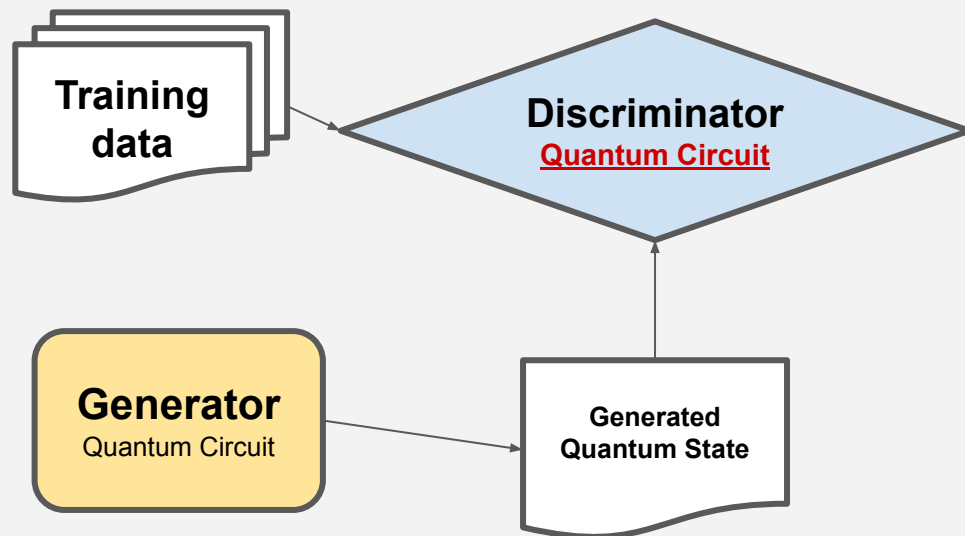
画像処理技術の医療応用 相川直幸, 2015, https://shingi.jst.go.jp/past_abst/abst/p/15/tus/tus05.pdf

Giacomo Cavalieri, Dario Maio. "A Quantum Edge Detection Algorithm", arXiv:2012.11036 [quant-ph](2020)

SWAPテストによるイメージマッチング

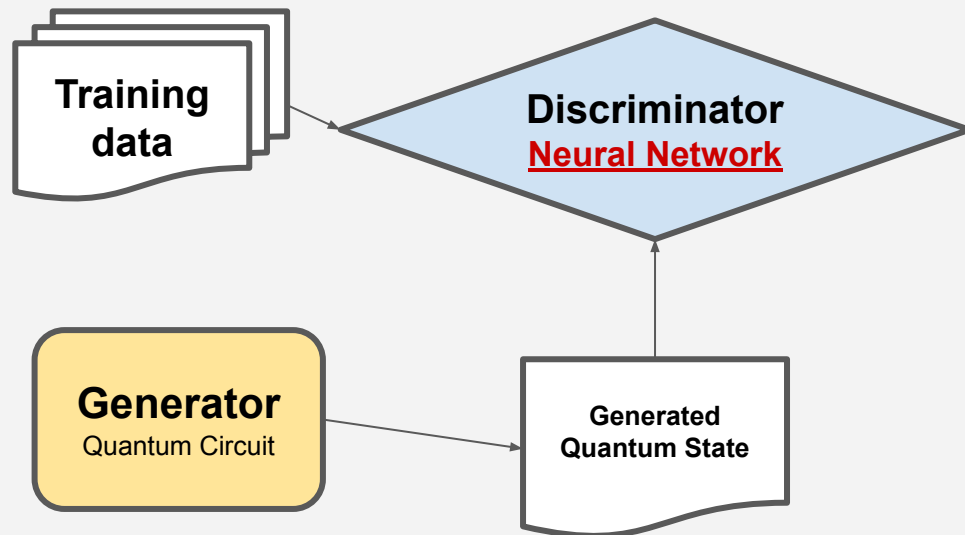


全量子GAN[Dallaire-Demers et al.2018]



- 学習データを量子状態として用意しなければならない
- >学習データの回路のゲート構成を分かっているなければならない

量子古典ハイブリッドGAN[Zoufal et al. 2019]



- 確率分布を量子状態にロードするための量子GAN
- データを確率振幅に表現する点で、QPIEとの親和性が高い
- 学習データは古典の状態が良い

量子GANの量子優位性について

- データ N が $\log N$ qubitの量子状態として用意されているときのみ、量子優位性の保証が適用される。
 - Generatorの最適化の計算ステップ数
 - 古典 $O(N^2)$
 - 量子 $O(\text{poly}(\log N))$

さまざまな量子GAN

- Quantum Wasserstein GAN
 - [Chakrabarti *et al.* (2019)]
- Quantum generative adversarial networks
 - [Dallaire-Demers *et al.* (2018)]
 - 全て量子計算によって行われる
- Quantum generative adversarial network for generating discrete data
 - [Situ *et al.* (2018)]
 - 判別部が古典ニューラルネットワーク

量子GANのパラメータ

- オプティマイザ
 - 種類
 - 学習率
- 量子回路
 - 回路構成
 - レイヤー数
- 学習の進め方
 - 判別部生成部の学習の割合