

組み込み機器上で動作する深層学習を用いた 低消費電力顔認証システムの検討

宮崎大学 工学部 情報システム工学科

67200469 森茂 蒼士

指導教員 椋木 雅之

令和6年2月15日

研究背景

生体認証の需要増！

顔認証：生体認証の一種



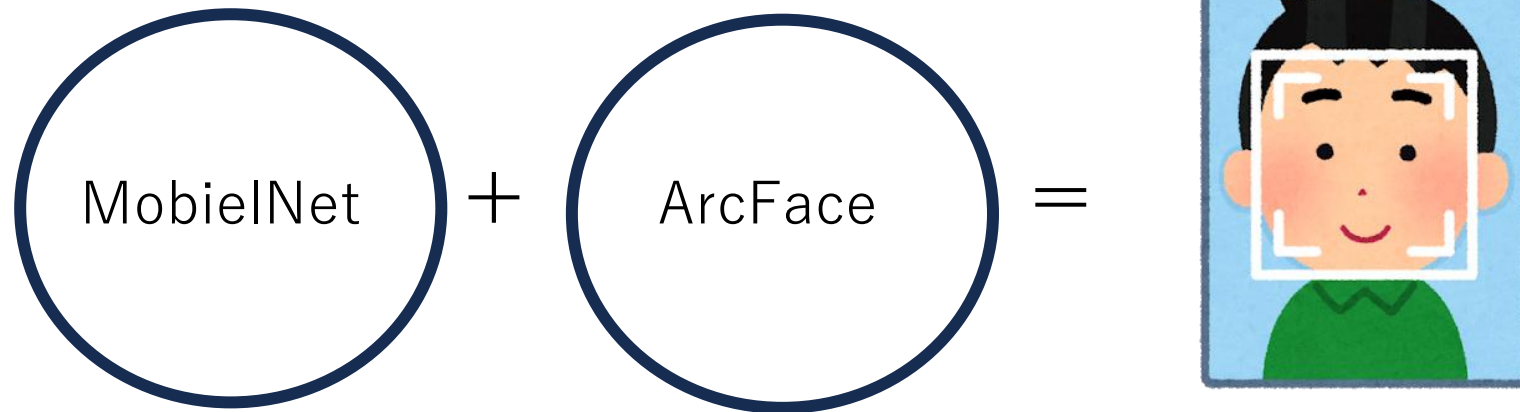
組み込み機器上で顔認証を動作させたいという要望

従来研究[8]

組み込み機器上で顔認証を動作

組み込み機器 = Raspberry Pi

顔認証 = ArcFace + MobileNet



計算コストを下げながら、高い精度を維持 精度94.4%

→消費電力は考慮していない

[8]Fushuai Wang, Renren Zheng, Penghui Li, Hanni Song, Dongming Du, Jingchao Sun. "Face recognition on Raspberry Pi based on MobileNetV2", International Symposium on Artificial Intelligence and its Application on Media (ISAIAM), pp.116-120, 2021

本研究の目的

消費電力を考慮した顔認証システムの構築

- ①使用状況と目標値を定める
- ②顔検出の手法の性能評価と消費電力の測定
- ③バックボーンを変えた ArcFace による学習
- ④バックボーンを選定
- ⑤閾値の決定
- ⑥顔認証システムのパラメータの設定

使用状況と目標値

〈使用状況〉

- プログラムを実行した **Raspberry Pi** を研究室入口に設置
- 入室の際に 1時間あたり 25人程度 が利用
- 認証できた場合は入室を許可



〈目標値〉

- 消費電力の平均値を Raspberry Pi 起動時のみの **120%以下**
- 平均待ち時間: 認証にかかる時間を **6秒以内**
- 他人受入率: 未登録の人物を誤って入室許可する確率を **0.1%未満**

本研究の目的

消費電力を考慮した顔認証システムの構築

- ①使用状況と目標値を定める
- ②顔検出の手法の性能評価と消費電力の測定
- ③バックボーンを変えた ArcFace による学習結果
- ④バックボーンを選定
- ⑤閾値の決定
- ⑥顔認証システムのパラメータの設定

顔検出の性能評価と消費電力測定

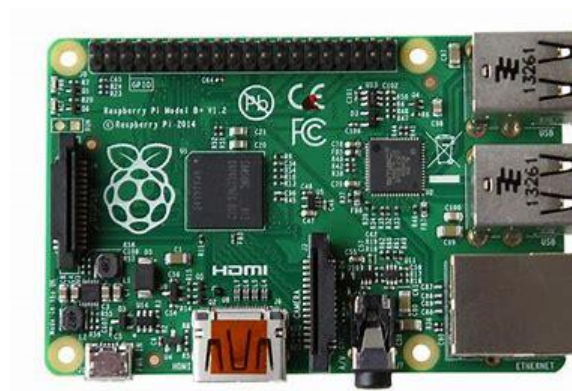
顔検出に**OpenCV Haar-Cascade** を用いる

- ・ 事前に学習済みのモデル
- ・ 画像内に顔があるか識別

顔検出の性能評価

- ・ 検出回数と平均消費電力を求める
- Raspberry Pi 起動のみの消費電力の測定も行う

使用機材



組み込み機器
Raspberry Pi Model4B



カメラ
Raspberry Piカメラモジュール



電流値計測
RPZ-PowerMGR

(<https://thenextweb.com/news/raspberry-pis-affordable-micro-computer-gets-a-new-less-power-hungry-model>)

(<https://www.indoorcorgielec.com/2021/11/05/rpz-powermgr-rev2-release/>)

(<https://www.raspberrypi.org/blog/how-to-work-from-home-with-raspberry-pi-the-magpi-93/>)

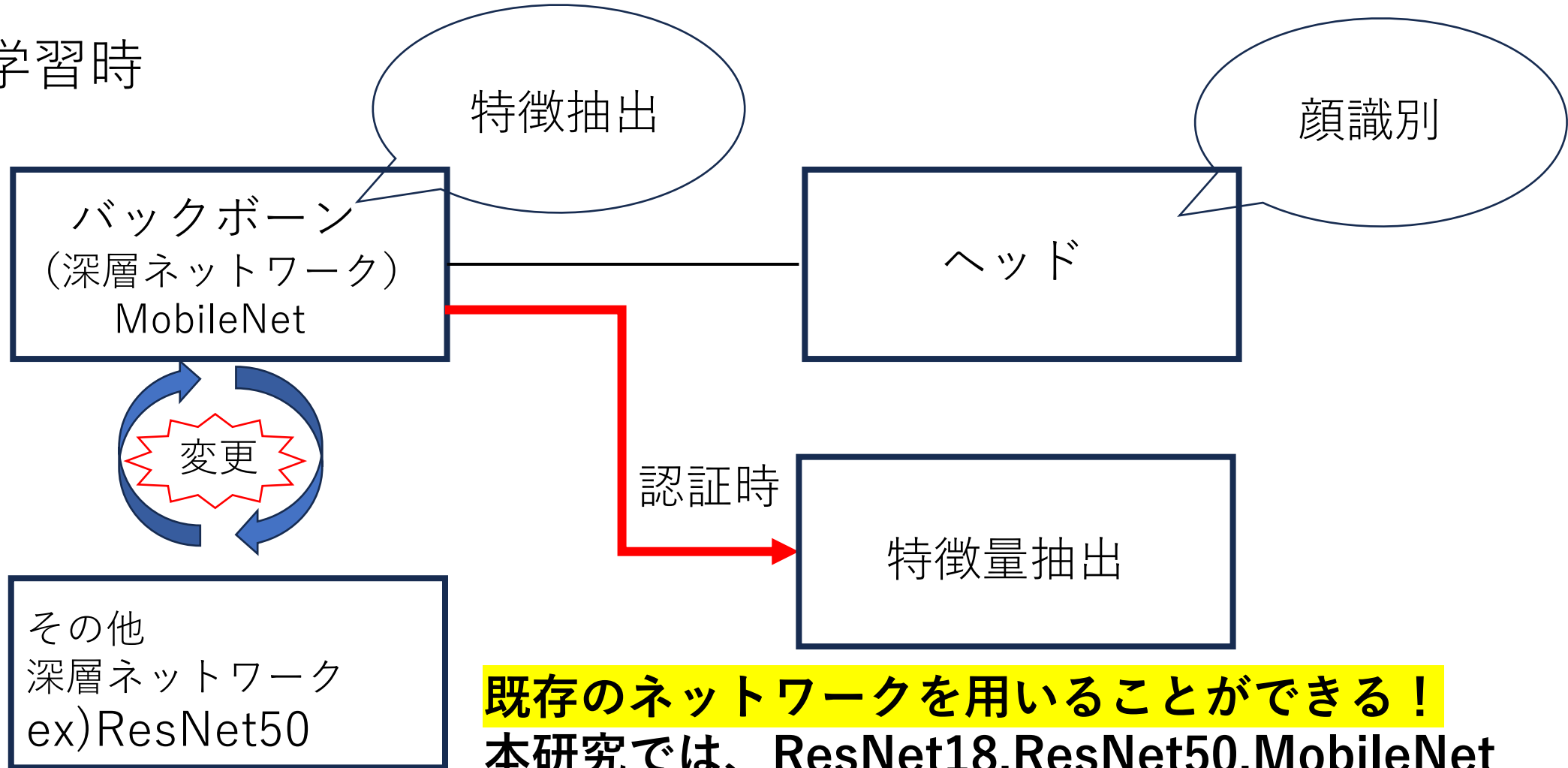
本研究の目的

消費電力を考慮した顔認証システムの構築

- ①使用状況と目標値を定める
- ②顔検出の手法の性能評価と消費電力の測定
- ③バックボーンを変えた ArcFace による学習
- ④バックボーンを選定
- ⑤閾値の決定
- ⑥顔認証システムのパラメータの設定

バックボーンを変えた ArcFace による学習

学習時



既存のネットワークを用いることができる！
本研究では、ResNet18, ResNet50, MobileNet
を用いて学習を行う

本研究の目的

消費電力を考慮した顔認証システムの構築

- ①使用状況と目標値を定める
- ②顔検出の手法の性能評価と消費電力の測定
- ③バックボーンを変えた ArcFace による学習
- ④バックボーンの設定
- ⑤閾値の決定
- ⑥顔認証システムのパラメータの設定

バックボーンを選定

学習したモデルを用いて顔認証を行う
(ResNet18, ResNet50, MobileNet)

- 平均認証時間（待ち時間を除く）
- 平均モデル処理速度（検出時間等を除く）
- 認証一回当たりの消費電力

本研究の目的

消費電力を考慮した顔認証システムの構築

- ①使用状況と目標値を定める
- ②顔検出の手法の性能評価と消費電力の測定
- ③バックボーンを変えた ArcFace による学習
- ④バックボーンを選定
- ⑤閾値の決定
- ⑥顔認証システムのパラメータの設定

閾値の決定

認証時に入室を許可する際の条件を決定

- ・ 選定されたバックボーンを使用
- ・ 本人同士と他人同士の多数の組み合わせについて類似度を計算
- ・ 類似度の分布に基づき、目標値を満たすように条件を決定

本研究の目的

消費電力を考慮した顔認証システムの構築

- ①使用状況と目標値を定める
- ②顔検出の手法の性能評価と消費電力の測定
- ③バックボーンを変えた ArcFace による学習
- ④バックボーンを選定
- ⑤閾値の決定
- ⑥顔認証システムのパラメータの設定

各パラメータの設定

パラメータ 内容

n : 1度に行う検出の回数

α : 検出後のスリープ時間 (秒)

β : n 回の検出で顔が検出できなかった際の長めのスリープ時間(秒)

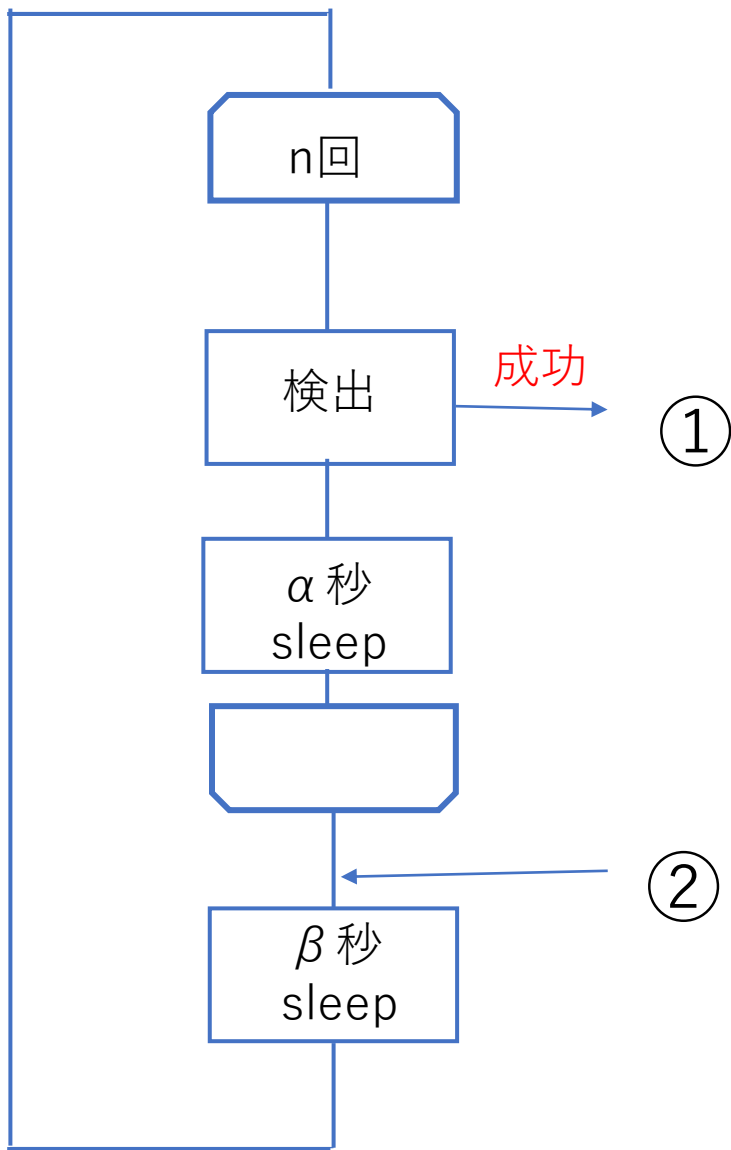
γ : 認証の際に連続で閾値を超える必要のある回数

δ : 顔認証の際の閾値

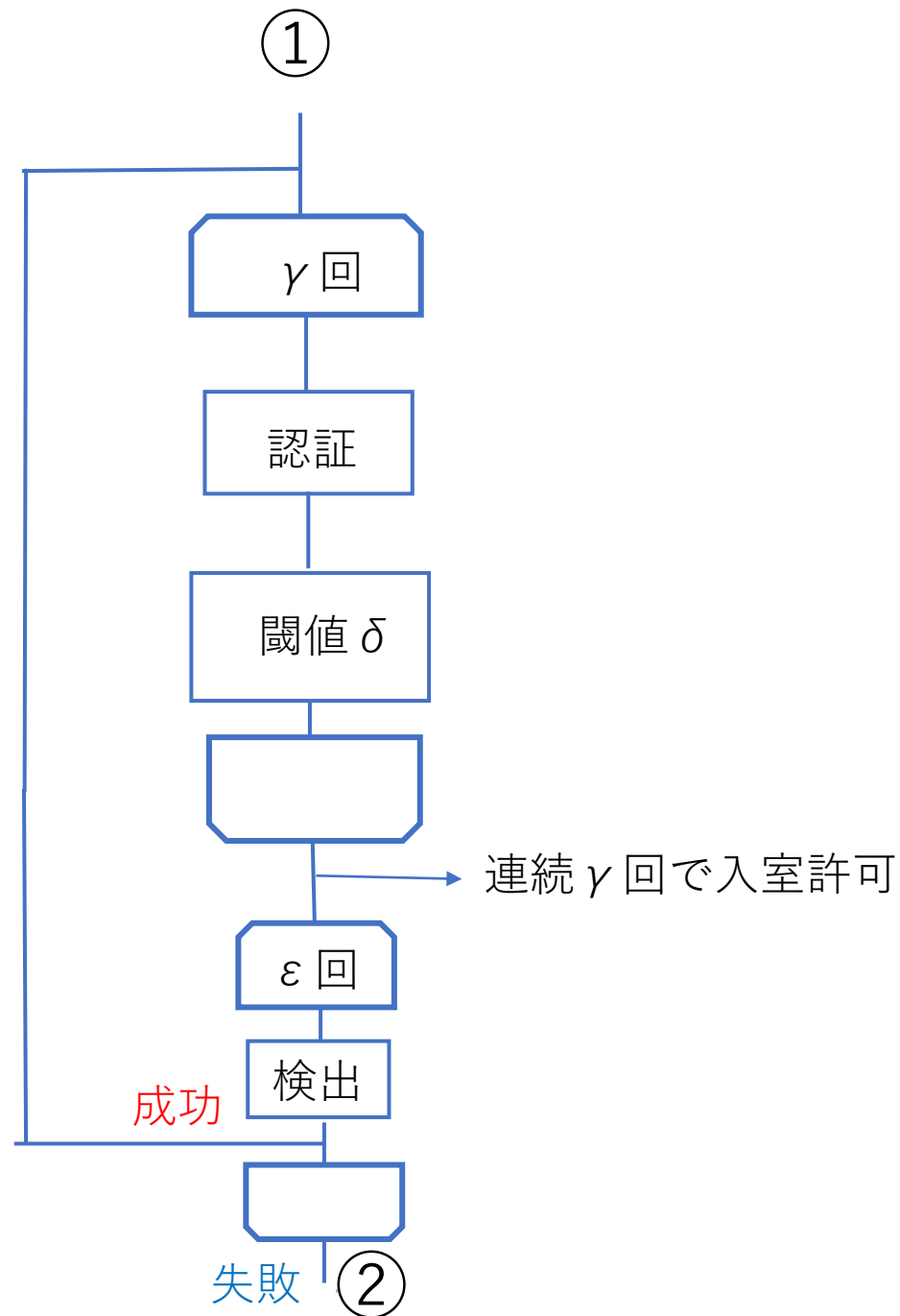
ε : 顔検出の頻度(連続回数)

各パラメータの設定

検出



認証



評価実験

顔検出の性能評価と消費電力測定

5 分間カメラに顔が映る状態で検出をし続けた

	総電流値 (mA)	平均電流値 (mA/s)	検出	検出 (成功)
起動のみ	106025	356.3133		
検出	214700	715.6667	8981	8969

※Raspberry Piは電圧が約 5 Vと一定であるため電流値を消費電力をとみなす

検出精度： 99.86%

検出 1 回あたりに必要な電流値：12.10mA

学習したモデルの結果

各モデルの正確性

モデル	学習データ	検証データ
ResNet18	0.947182	0.916885
ResNet50	0.954373	0.936799
MobileNet	0.897245	0.929919

検証データの正解率は、モデル間でほぼ同程度

バックボーンを選定

- ・ 5分間カメラに顔が映る状態で認証をし続けた
- ・ 登録されている5枚の顔画像と比較をした

モデル	総電流値 (mA)	平均電流値 (mA/s)	検出 (成功,認証)	検出 (失敗)	認証1回あたりの消費電力 (mA)
ResNet18	207,152	690.50	217	49	451.19
ResNet50	222,356	741.87	120	19	955.41
MobileNet	167,241	557.47	514	11	106.74

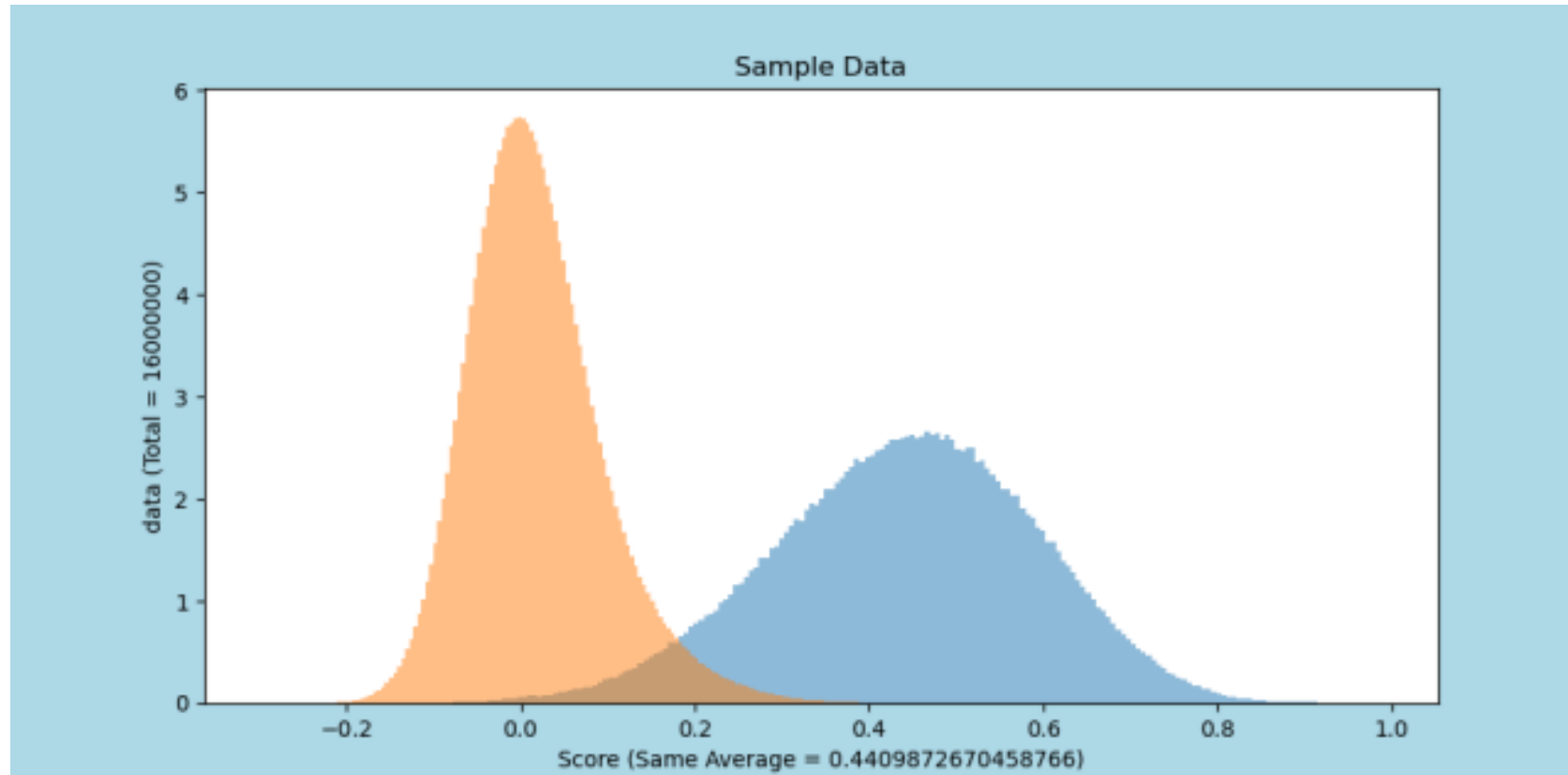
MobileNetの認証にかかる消費電力が少ない

平均認証時間と平均モデル処理速度

バックボーン	平均認証時間(s)	平均モデル処理時間(s)	検出(失敗)
ResNet18	1.396985	0.9204591	19
ResNet50	2.336721	1.8759600	0
MobileNet	0.561817	0.1071981	0

本研究ではMobileNetを用いる

閾値の決定 (MobileNetを用いたモデル)



閾値 = 0.21 : 他人同士を誤って同一人物と判定する他人受入率は約 2.94%

→ 2 回連続で閾値を超えた場合に本人同士と認証 目標値 : 他人受け入れ率 0.1% 未満

閾値 = 0.21 : 本人受入率: 95.4% となっている

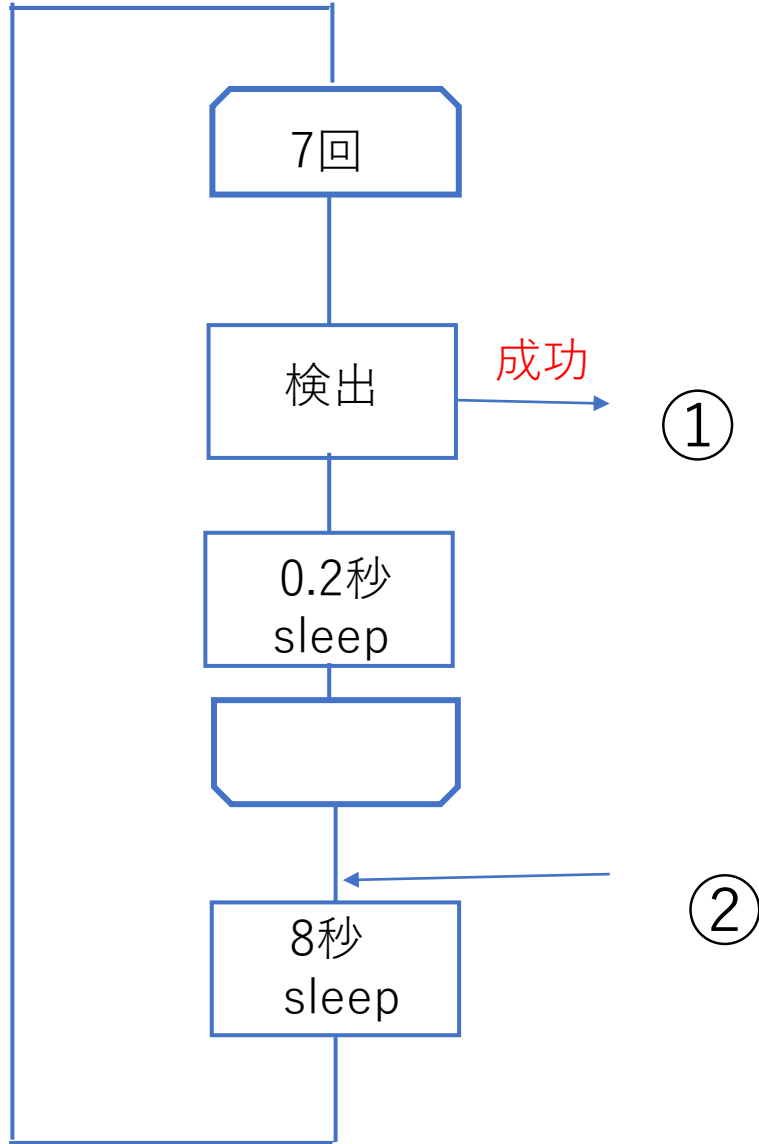
達成

提案システム

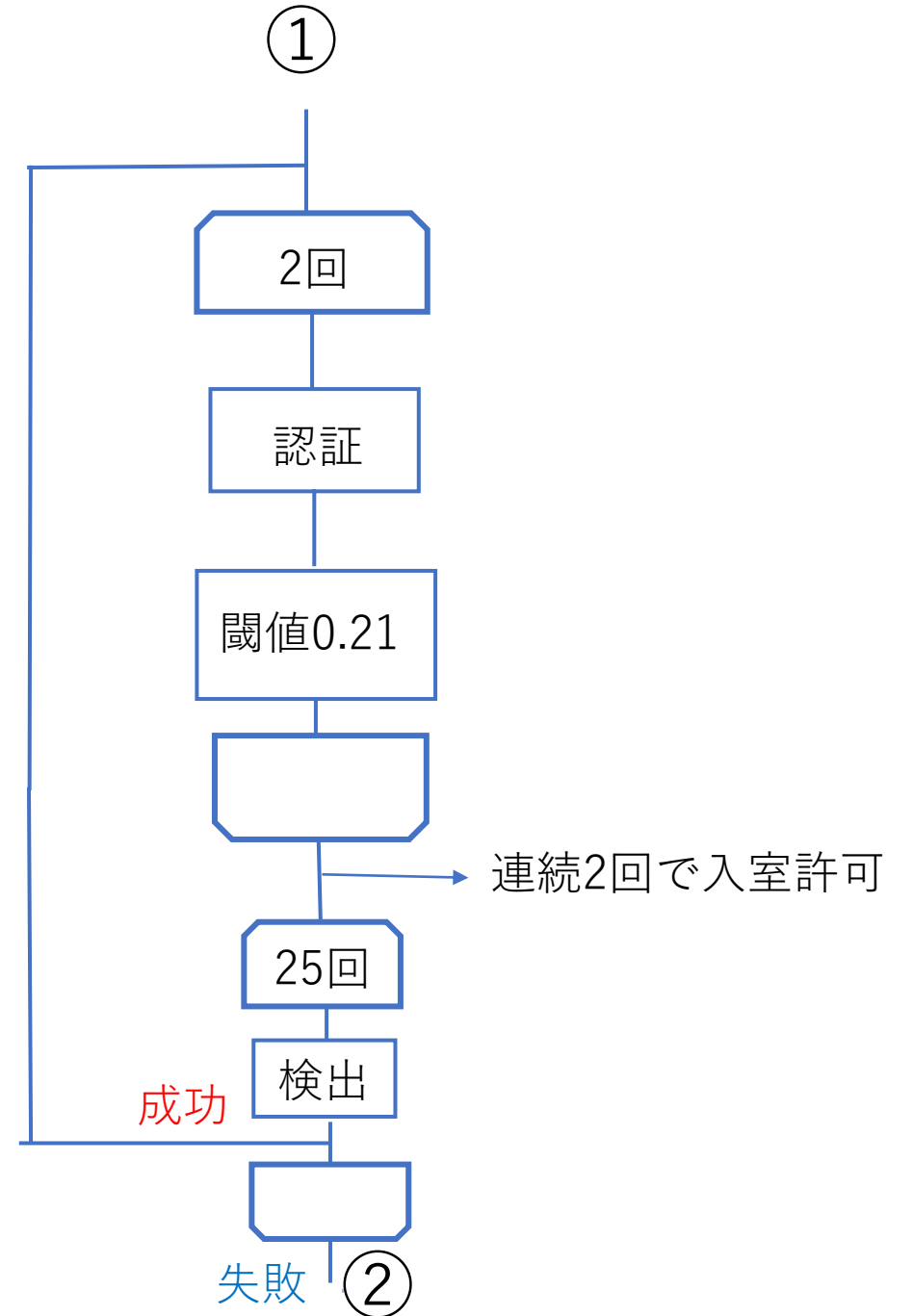
- ① **MobileNet** をバックボーンにした ArcFace を用いる
- ② 検出の間に $\alpha = 0.2$ 秒のスリープを入れ $n=7$ 回検出を行う。顔が検出されなかった場合に $\beta = 8$ 秒間のスリープを入れ、その後 $n=7$ 回検出を行う
- ③ 顔が検出された場合認証を行う。 $\gamma = 2$ 回連続でコサイン類似度が $\delta = 0.21$ を超えた場合を認証成功とする
- ④ 顔が一度でも検出された場合はそこから検出を $\varepsilon = 25$ 回行い、顔が 25 回連続で検出されなかった場合に②に戻る

各パラメータの設定

検出



認証



提案システムと目標値

認証許可のパターン	発生確率(%)	平均待ち時間(s)
○ ○	91.012	5.324
× ○ ○	4.187	6.086
○ × ○ ○	3.994	6.848
	計 99.134	期待値 5.374

目標値であった平均待ち時間 **6 秒以内** を達成できた

提案システムと目標値

5 分間設定した状況で認証を行った

	総電流値 (mA)	平均電流値 (mA/s)	検出 (成功)	検出 (失敗)
起動のみ	106025	356.31		
提案システム	126617	424.88	5	264

目標値

消費電力の平均値を Raspberry Pi 起動のみの 120%以下

達成

まとめ

消費電力測定に基づく顔認証システムの設計

- ・バックボーンの評価
- ・パラメータの決定

目標値を満たす顔認証システムの設計ができた

今後の課題

- ・もっと基礎的な消費電力が小さい組み込み機器での実行
- ・認証実験による適正な閾値の推定