

Contrastive Learning for Speech Enhancement

黃仁鴻

Outline

- Introduction
- Method
- Experiment
- Conclusion

Introduction

日常生活中有許多任務都仰賴語音作為資訊傳遞的媒介。
然而充滿在現實環境中的各種噪音干擾會嚴重影響語音任務的效能。
因此，將這些雜訊去除的語音增強技術就成了重要的前置處理單元。

Introduction

而語音增強的問題就是不論在何種噪音環境，面對相同的語音，模型都能夠抽取出相同的特徵並將其還原。

這部分想法與近年流行自監督方法中的對比學習 (Contrastive Learning) 不謀而合。

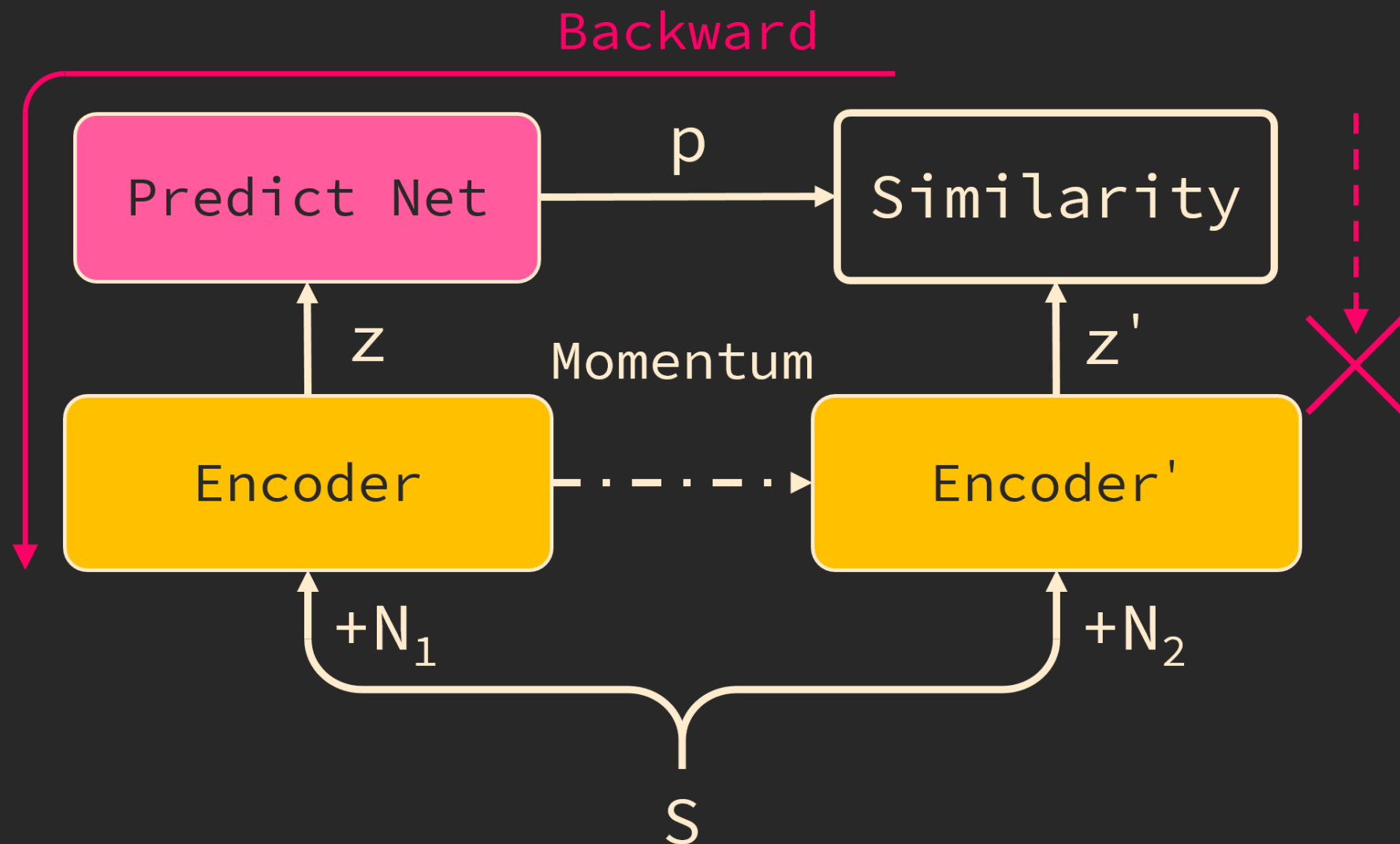
對比學習希望相似樣本間的特徵編碼能越像越好，而負樣本的特徵差異則是越大越好。

Introduction

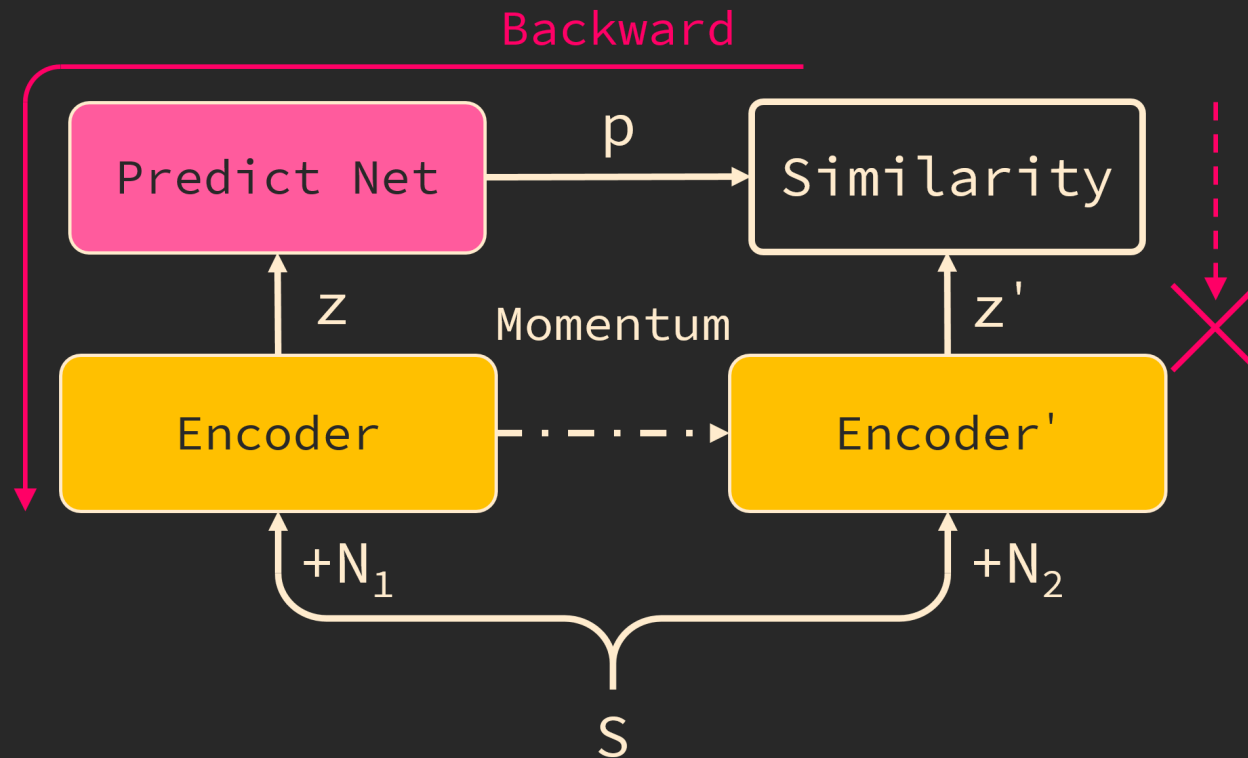
我認為，藉由 CL 的方法來學習語音特徵，應該會具備比一般深度學習的語音增強方法更高的性能。

然而，在 SE 問題中不容易訂定 frame level 的負樣本。

為此，本研究使用無須負樣本的 BYOL 與 SimSiam 這兩種方法作為研究主軸，並與未使用 CL 方法的模型進行比較。



$$\theta_{E'} = \tau \theta_{E'} + (1 - \tau) \theta_E$$



Method

BYOL CL Loss

BYOL

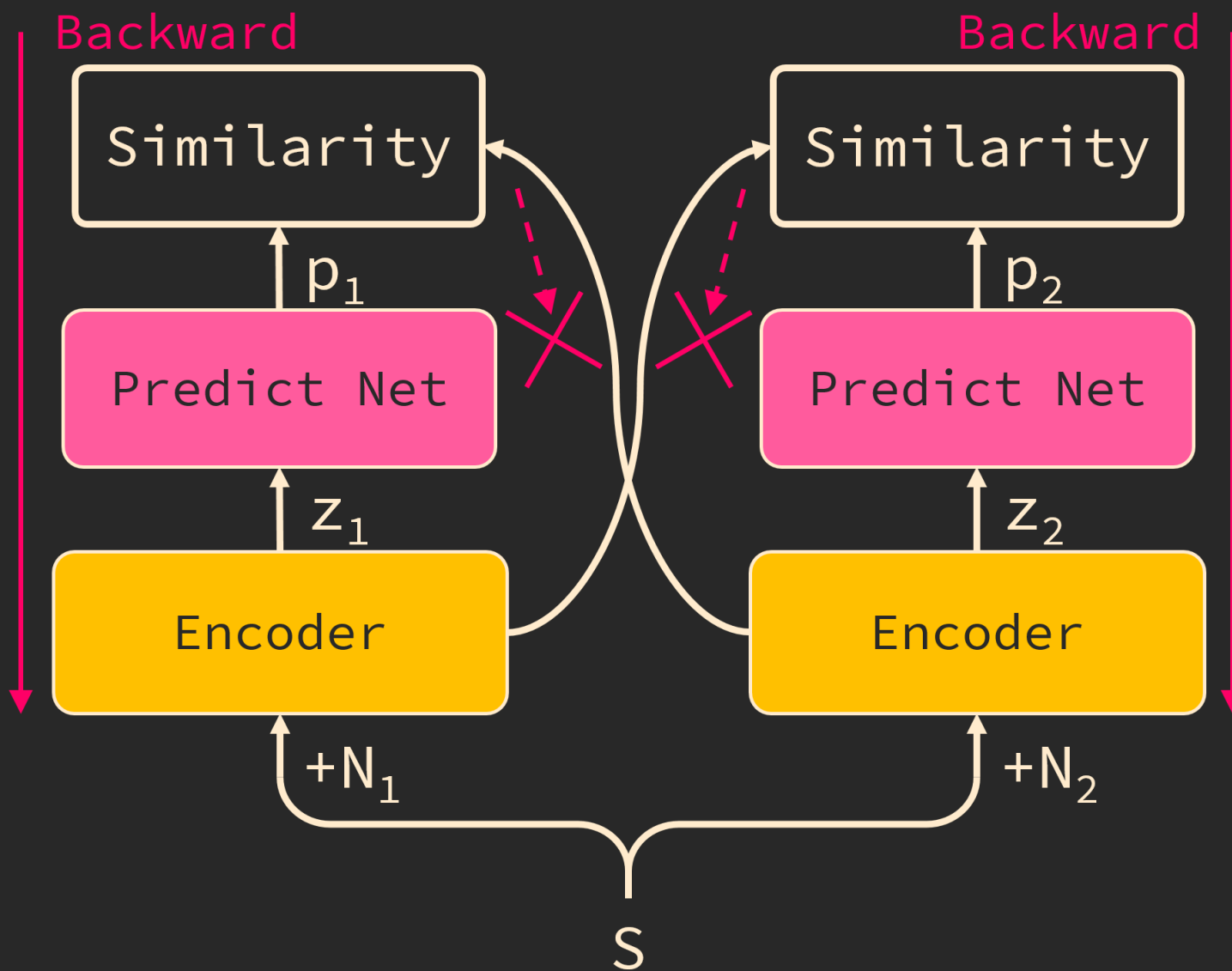
$$z' = E'(S + N)$$

$$p = P(E(S + N))$$

CL Loss

$$= - \frac{Sim(p_1, z'_2) + Sim(p_1, z'_2)}{2}$$

SimSiam



$$z = E(S + N)$$

$$p = P(z)$$

CL Loss

$$= - \frac{\text{Sim}(p_1, z_2) + \text{Sim}(p_2, z_1)}{2}$$

$$\textit{Sim}(\vec{p}, \vec{z}) = \frac{\vec{p} \cdot \textit{SG}(\vec{z})}{\|\vec{p}\|_2 \|\textit{SG}(\vec{z})\|_2}$$

Method

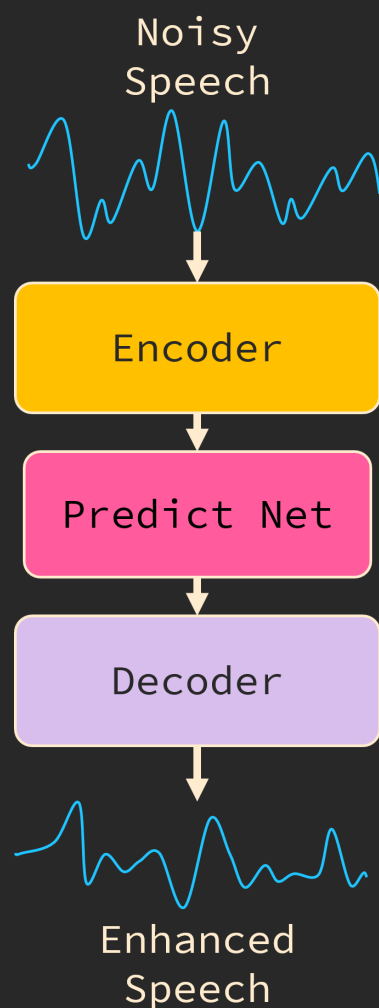
Loss

$$\hat{S} = D(p)$$

SE Loss

$$= - \frac{SISNR(\hat{S}_1, S_1) + SISNR(\hat{S}_2, S_2)}{2}$$

$$Mix Loss = CL Loss + 0.1 * SE Loss$$



DSB(1,32) $bz, 1, (l-64) \rightarrow bz, 64, l$
 DSB(32,64)
 DSB(64,128) Conv1d(64,128,3)

Concatenate()

Conv1d(256,128,1)

Main

Block(128,256,9,16,8)

Main

Block(128,256,9,16,8)

Main

Block(128,256,9,16,8)

Main

Block(128,256,9,16,8)

Predict
Net

Main

Block(128,256,9,16,8)

Main

Block(128,256,9,16,8)

Conv1d(128,64,3)

$bz, 64, l \rightarrow bz, 1, (l-64)$

Encoder

Decoder

Method

Model

DSB(1,32) bz,1,(1 64)→bz,64,1

DSB(32,64)

Conv1d(64,128,3)

DSB(64,128)

Concatenate()

Conv1d(256,128,1)

Main

Block(128,256,9,16,8)

Main

Block(128,256,9,16,8)

Main

Block(128,256,9,16,8)

Main

Block(128,256,9,16,8)

Main

Block(128,256,9,16,8)

Main

Block(128,256,9,16,8)

Conv1d(128,64,3)

bz,64,1→bz,1,(1 64)

Method

Model

Conv1d($C_i, C_o, 5, \text{group}=g$)

GELU()

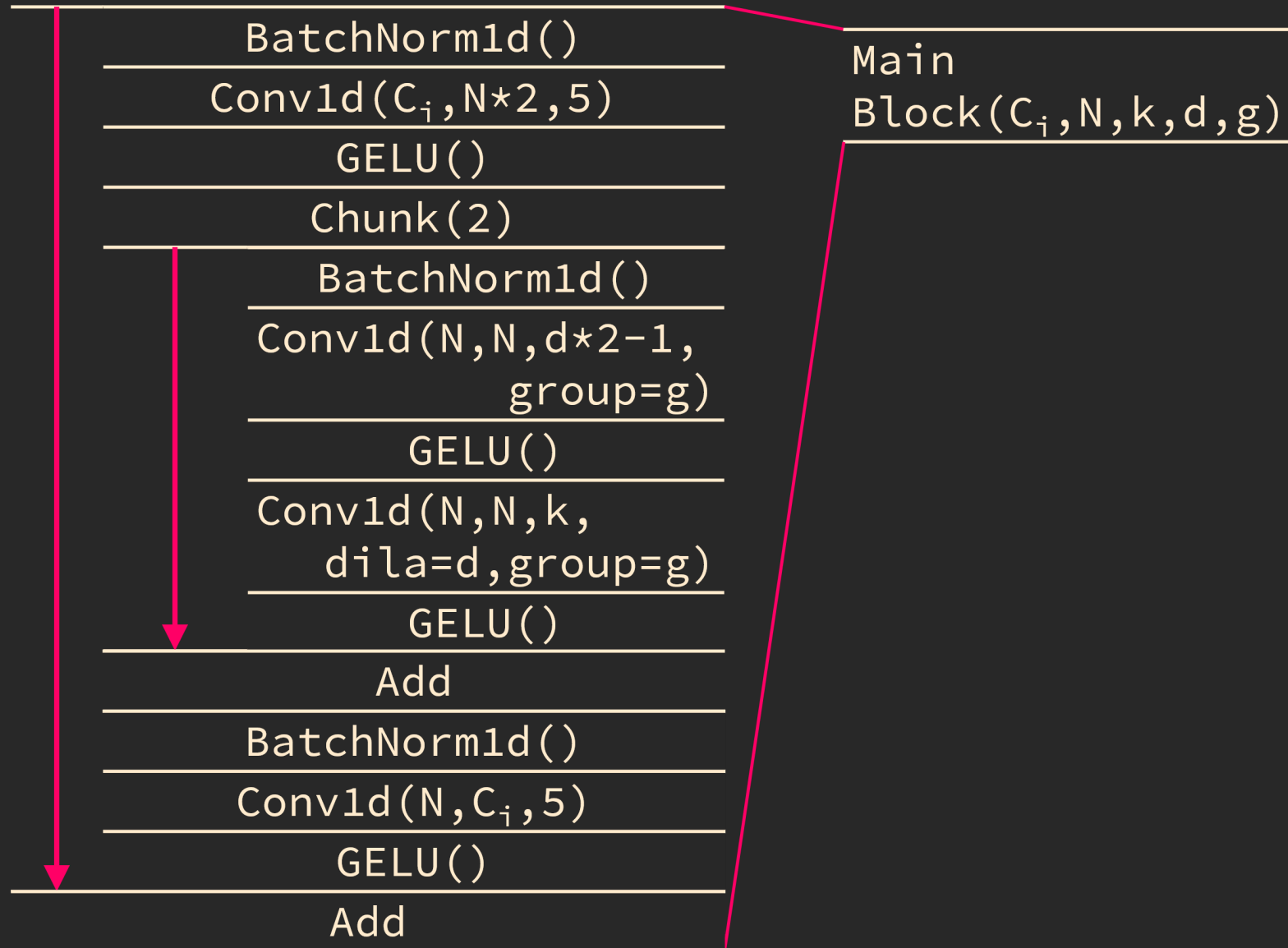
Maxpool1d(4,4)

BatchNorm1d()

Down Sample
Block(C_i, C_o, g)

Method

Model



Experiment

	Normal	BYOL	SimSiam
	使用 SE loss	使用 Mix loss	
Round	每 50 個 epoch 就更換一次 loss (Mix loss 與 SE loss 交替)		
Pretrain	前 50 個 epoch 使用 Mix loss，之後都使用 SE loss		
Round (100 step)	每 100 個 epoch 就更換一次 loss (Mix loss 與 SE loss 交替)		
Few	將 train data 與 test data 交換		

Experiment

Data

	Train	Test
Speech	TIMIT(4120)	TIMIT(500)
Noise	Nonspeech(75)	Nonspeech(25)
SNR(dB)	-10, -5, 0, 5, 10	-7.5, -2.5, 2.5, 7.5

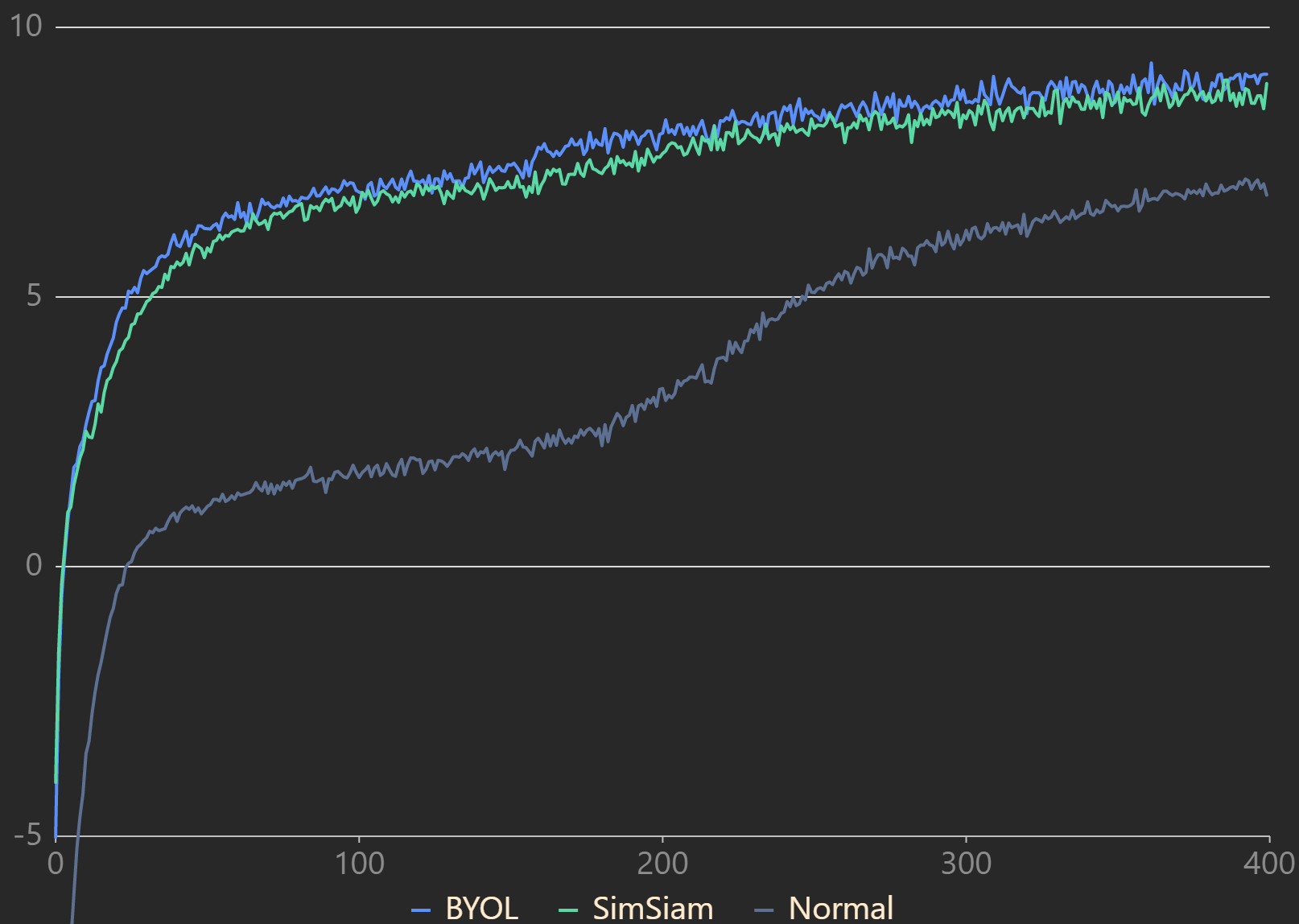
Experiment

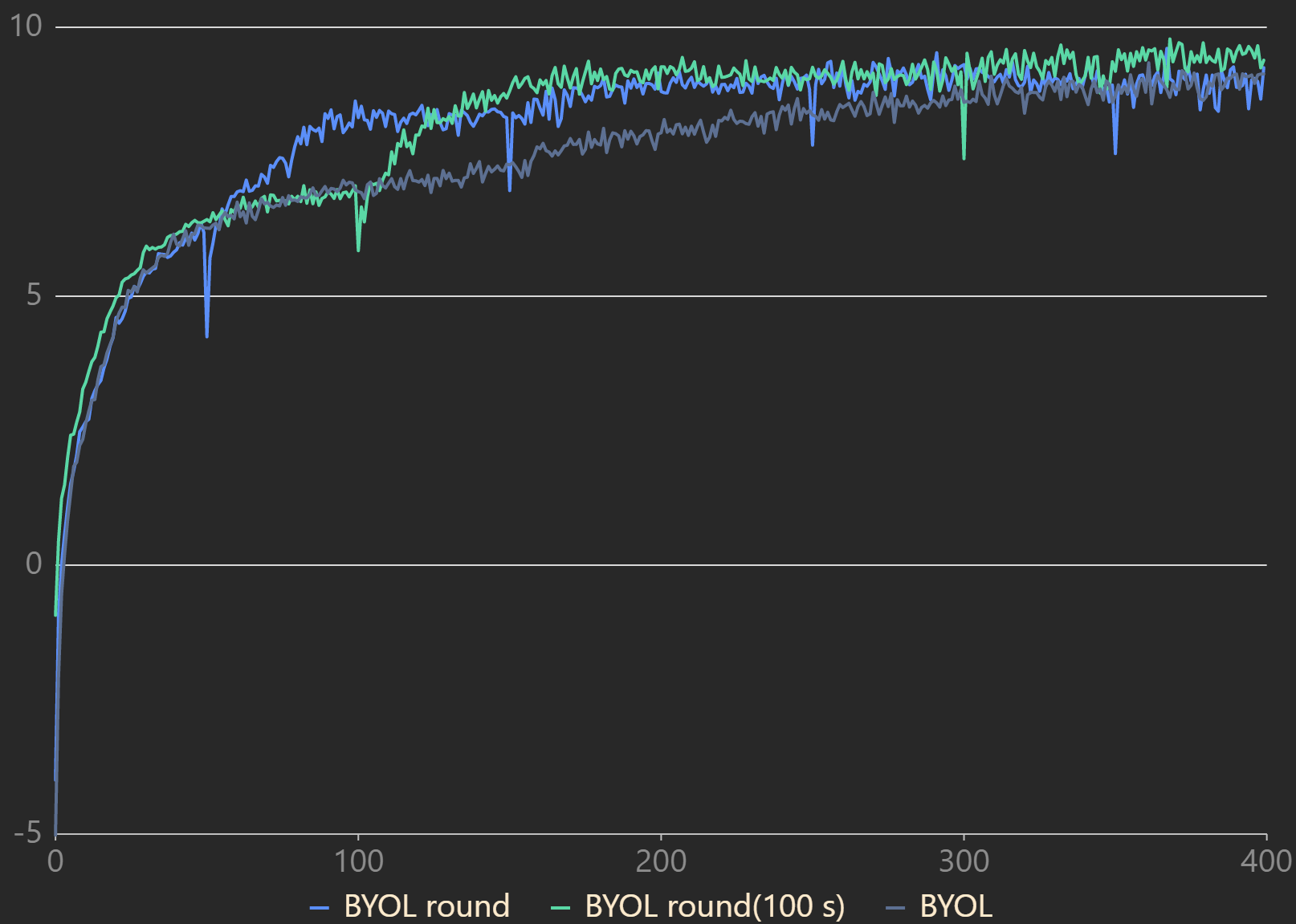
Hyperparameter

Optimizer:SGD	lr	momentum	weight decay
	0.05	0.9	0.0001
Batch Size	$N_1 + N_2 = 128 + 128$		
BYOL τ	0.99		

Experiment

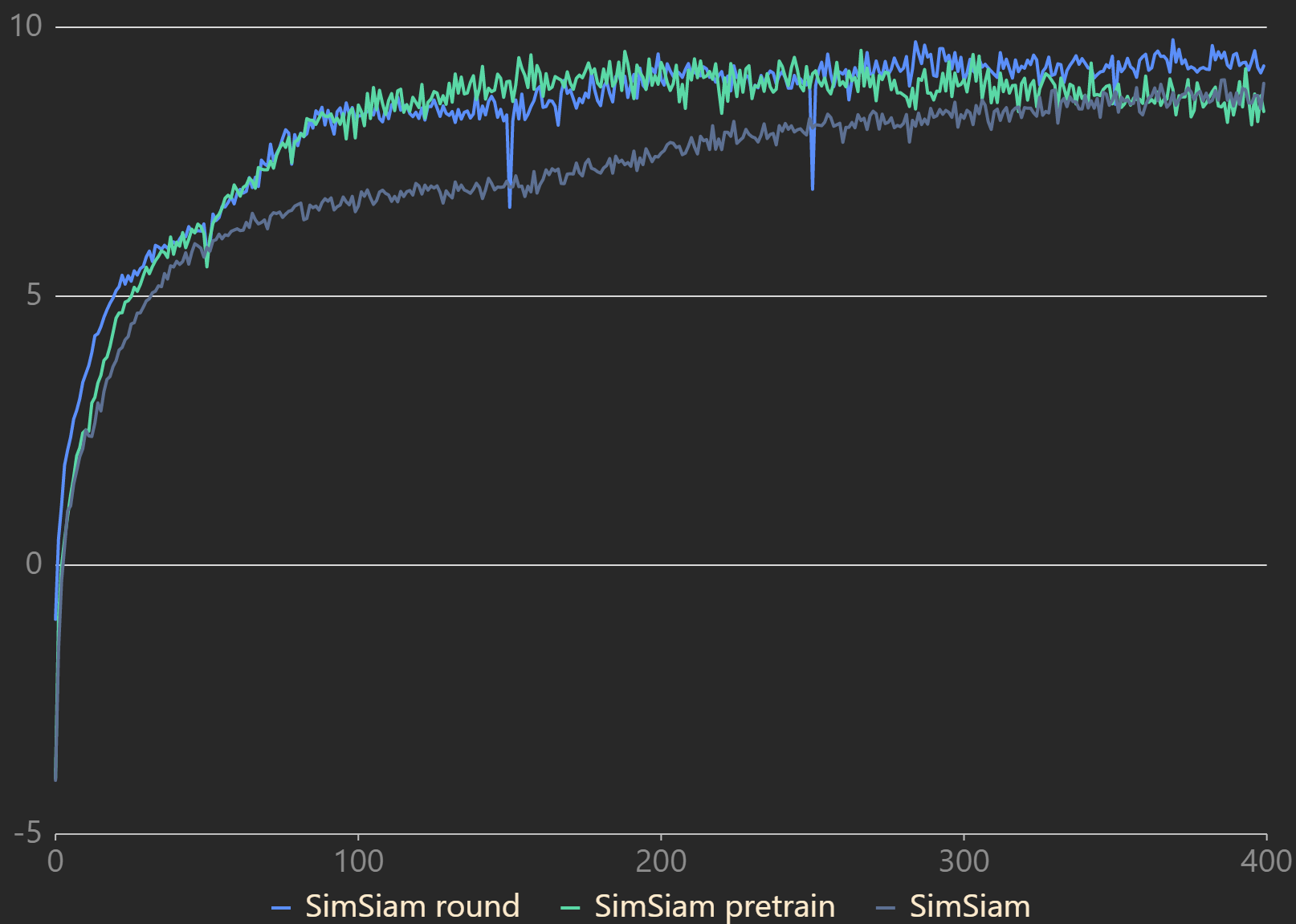
CL vs Normal



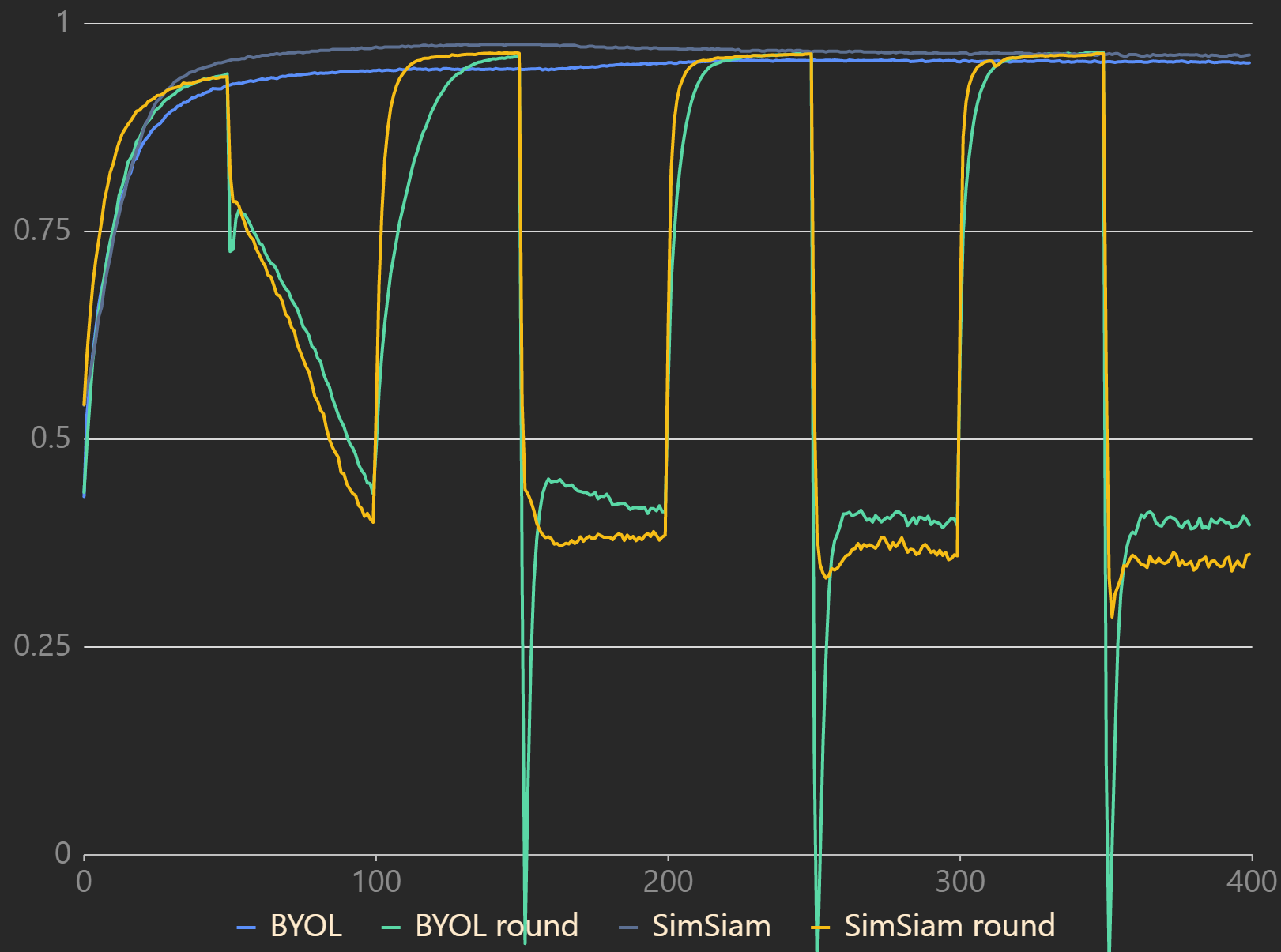


Experiment

SimSiam



Train Similarity



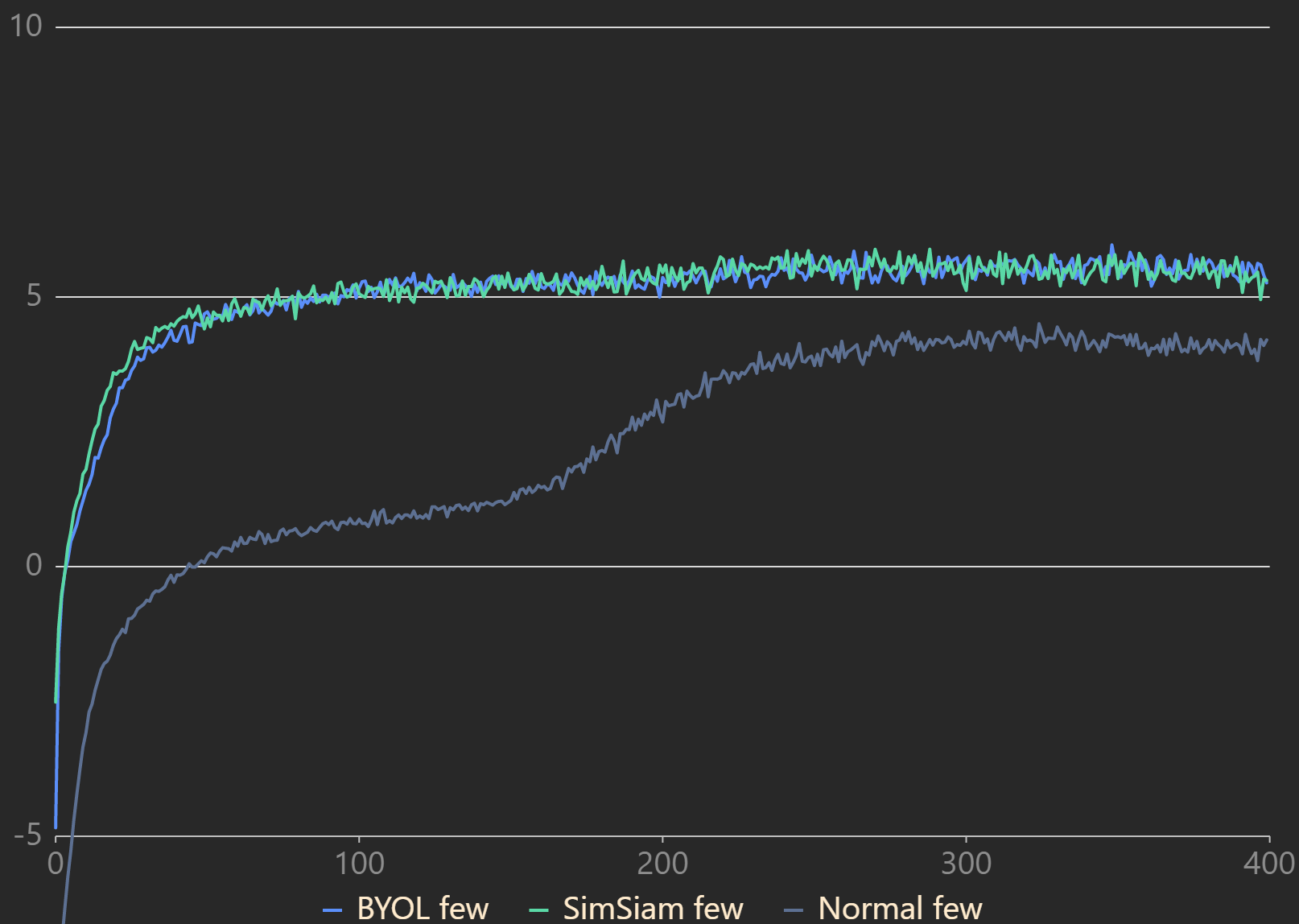
Introduction

Model	Evaluation Metrics		
	PESQ	STOI	SI-SNR
Noisy	1.813	0.764	0.001
Normal	2.273	0.814	7.146
BYOL	2.392	0.844	9.174
BYOL round	2.461	0.858	9.378
BYOL round(100 s)	2.474	0.861	9.526
SimSiam	2.374	0.84	8.884
SimSiam round	2.472	0.861	9.529

Model	SI-SNR:	-7.5	-2.5	2.5	7.5
	PESQ				
Noisy		1.337	1.644	1.971	2.3
Normal		1.826	2.138	2.438	2.688
BYOL		1.875	2.253	2.59	2.851
BYOL round		1.904	2.3	2.671	2.97
BYOL round(100 s)		1.913	2.308	2.683	2.991
SimSiam		1.873	2.24	2.563	2.82
SimSiam round		1.937	2.317	2.672	2.962

Model	SI-SNR:	-7.5	-2.5	2.5	7.5
	STOI				
Noisy		0.643	0.728	0.809	0.878
Normal		0.702	0.793	0.859	0.904
BYOL		0.734	0.826	0.889	0.928
BYOL round		0.746	0.841	0.904	0.942
BYOL round(100 s)		0.75	0.844	0.906	0.944
SimSiam		0.729	0.822	0.885	0.926
SimSiam round		0.753	0.845	0.905	0.942

Model	SI-SNR:	-7.5	-2.5	2.5	7.5
	SI-SNR				
Noisy		-7.497	-2.498	2.503	7.498
Normal		2.611	6.065	8.972	10.935
BYOL		3.677	7.785	11.281	13.951
BYOL round		3.396	7.772	11.615	14.728
BYOL round(100 s)		3.457	7.859	11.784	15.004
SimSiam		3.544	7.508	10.913	13.572
SimSiam round		3.583	7.935	11.751	14.847



Conclusion

- 在訓練前期利用 CL Loss 對中間特徵進行約束能夠加速模型收斂。
- 中後期使用 CL Loss 會降低模型的收斂速度與效能。
- 使用 CL Loss 能夠抑制 Overfitting 的問題。
- 與 SimSiam 相比，BYOL 的 CL Loss 需要更長一點的時間收斂。

Todo

- 測試不同比例混和的 Mix Loss 效果。
- 使用複數的噪音跟語音混和進行訓練。
- 研究 Mix Loss 的自適應混合權重。
- 區分噪音種類進行訓練。

Reference

- Bootstrap your own latent: A new approach to self-supervised learning. CoRR, abs/2006.07733, 2020.
- Exploring simple siamese representation learning. CoRR, abs/2011.10566, 2020.