
Change point detection in time series

DMQA Open Seminar

2022.04.29





❖ 안시후 (Sihu Ahn)

- Data Mining & Quality Analytics Lab (김성범 교수님)
- Ph.D. Student (2021.3 ~)

❖ 관심 연구 분야

- Machine Learning & Deep Learning Algorithms
- Time Series Data Analysis
- Human Action Recognition

❖ E-mail

- sihuahn@korea.ac.kr



목차

1. Introduction

- Time series data
- Change point detection

2. Machine learning approach

- Time Series Change Point Detection with Self-Supervised Contrastive Predictive Coding

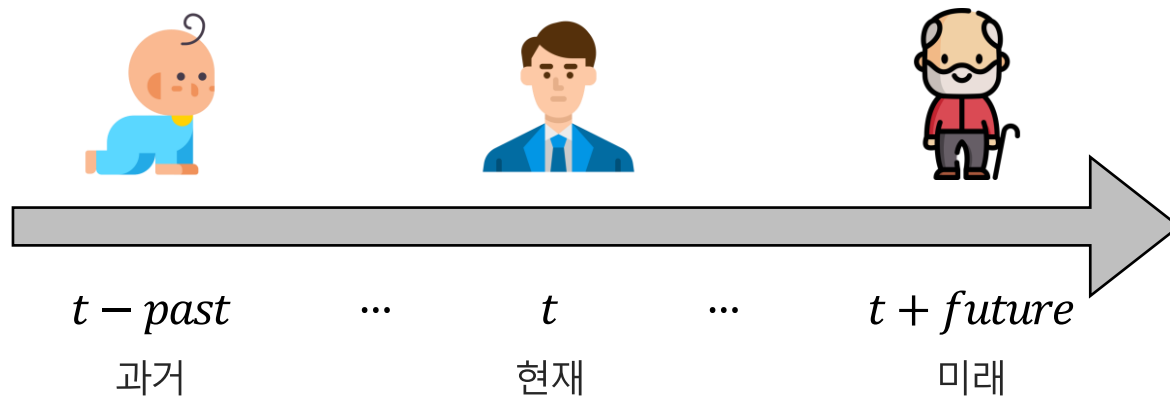
3. Conclusion



Introduction

❖ 시계열 데이터 (Time series data)

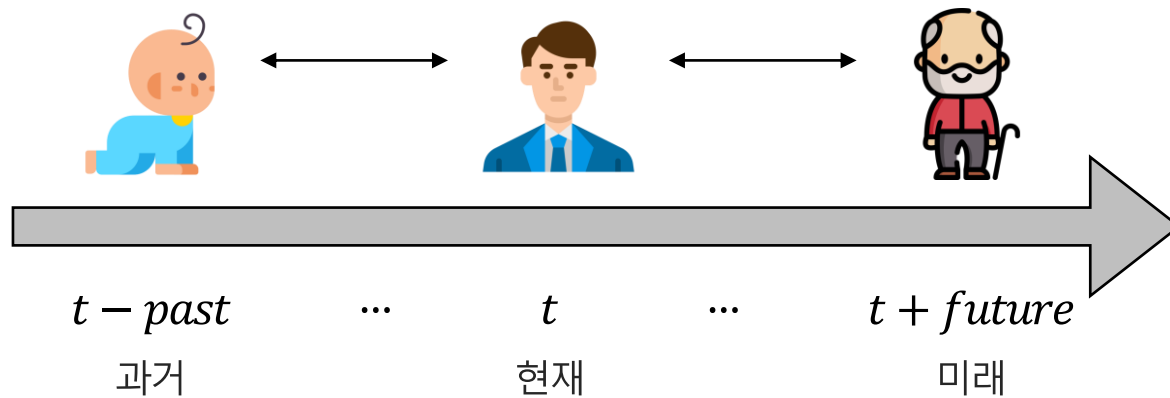
- 일정한 시간동안 수집된 순차적으로 정해진 데이터셋의 집합
 - 시점 t 에 대하여 과거 시점 $t - past$ 부터 미래 시점 $t + future$ 까지 존재



Introduction

❖ 시계열 데이터 (Time series data)

- 일정한 시간동안 수집된 순차적으로 정해진 데이터셋의 집합
 - 시점 t 에 대하여 과거 시점 $t - past$ 부터 미래 시점 $t + future$ 까지 존재
 - 관측치가 연속되기 때문에 서로 상관관계를 갖는다는 특성이 있음



Introduction

❖ 시계열 데이터 (Time series data)

- 시계열 데이터 예시
 - 단변량 데이터 (날씨, 습도, 주식, 코로나 확진자 수 등)
 - 다변량 데이터 (영화, 애니메이션, 노래, 다중 센서 등)



코로나 확진자 수 데이터

<https://corona-live.com/>



강아지 애니메이션



Introduction

❖ 시계열 데이터 (Time series data)

- 시계열의 종류
 - 추세 변동 (Trend)
 - 계절 변동 (Seasonal variations)
 - 순환 변동 (Cycle)
 - 무작위 변동 (Random fluctuation)



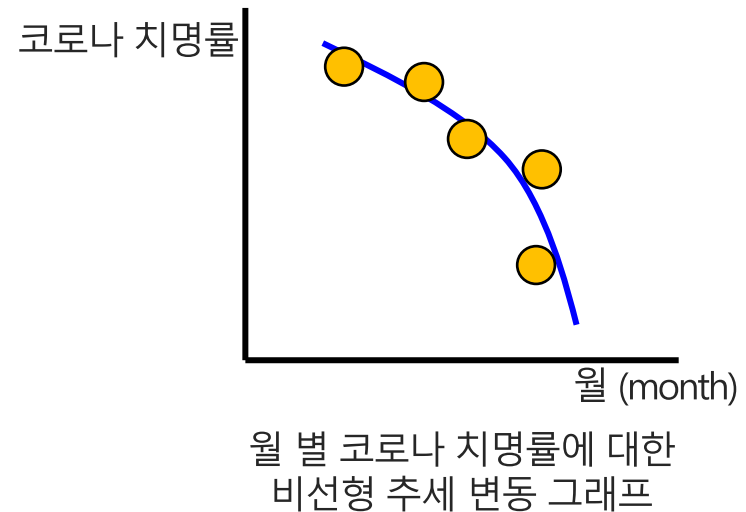
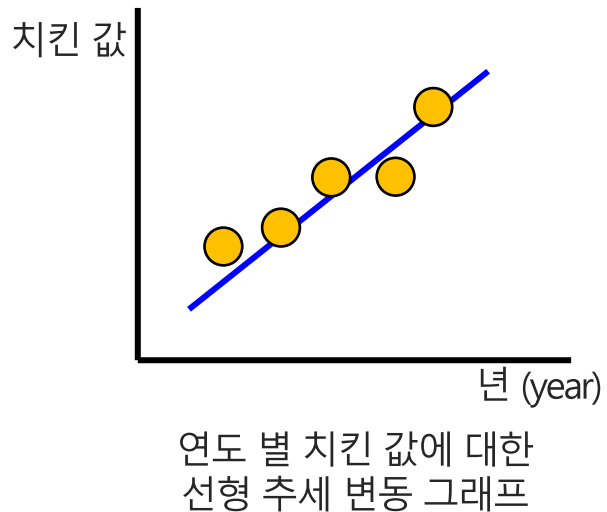
Introduction

❖ 시계열 데이터 (Time series data)

- 시계열의 종류

- 추세 변동 (Trend)

시간이 지날수록 관측 값이 지속적으로 증가하거나 감소하는 추세를 갖는 변동



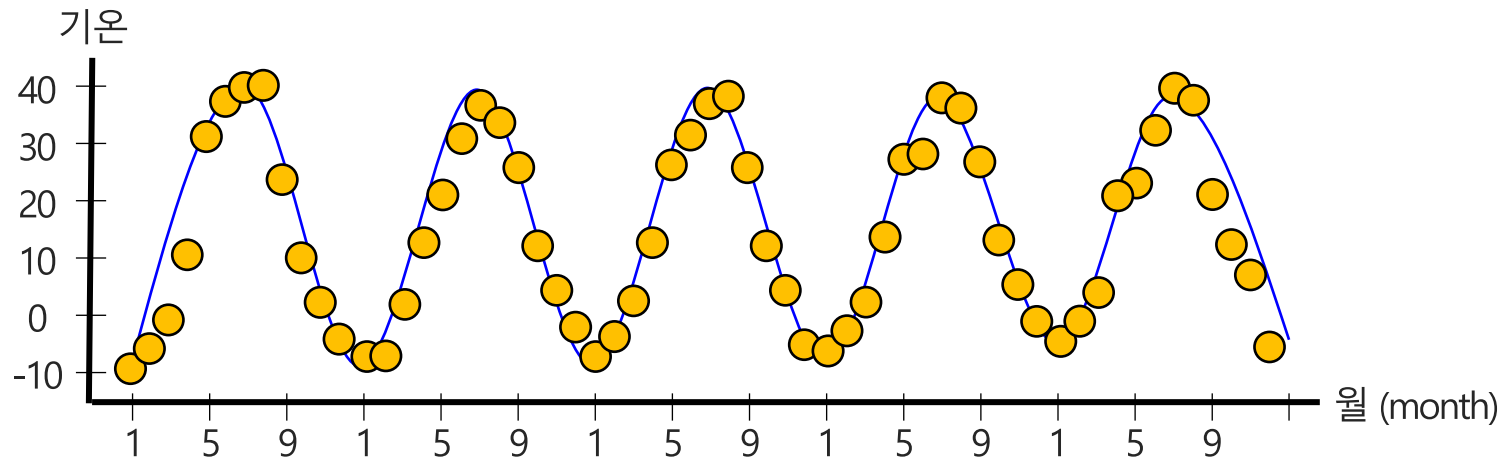
Introduction

❖ 시계열 데이터 (Time series data)

- 시계열의 종류

- 계절 변동 (Seasonal variations)

시간이 지날수록 관측 값이 일정한 주기로 변화하는 추세를 갖는 변동



월 별 기온에 따른
계절 변동 그래프



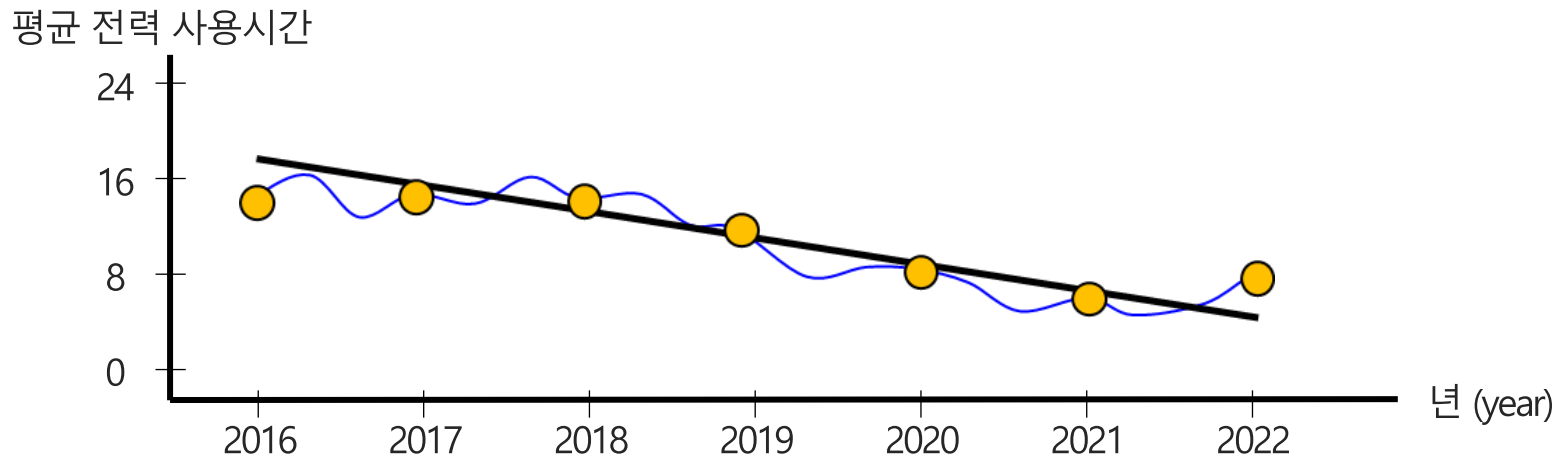
Introduction

❖ 시계열 데이터 (Time series data)

- 시계열의 종류

- 순환 변동 (Cycle)

계절 변동으로 설명되지 않는 장기적인 변동



국내 회사의 평균 전력 사용 시간
순환 변동 그래프



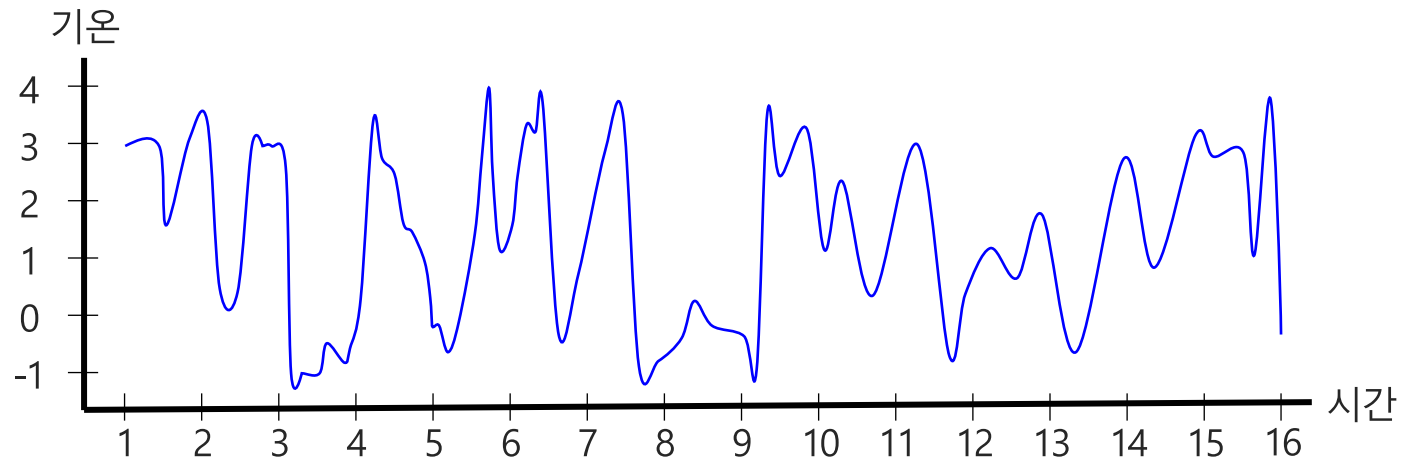
Introduction

❖ 시계열 데이터 (Time series data)

- 시계열의 종류

- 무작위 변동 (Random fluctuation)

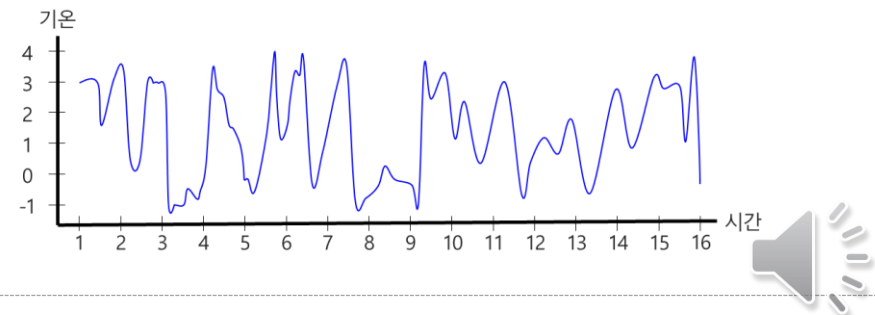
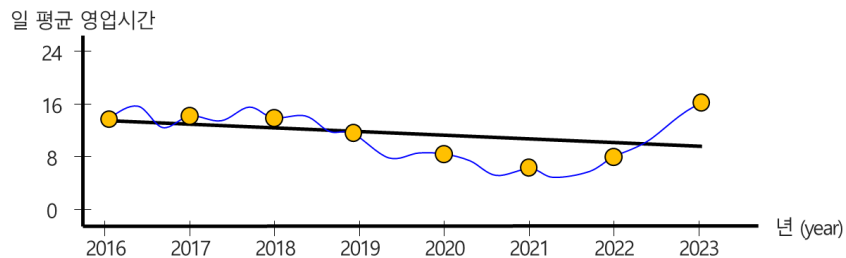
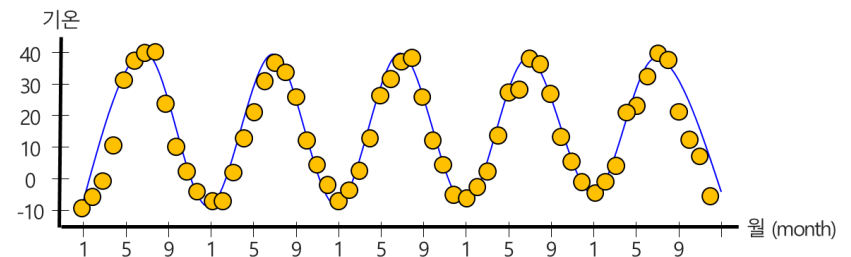
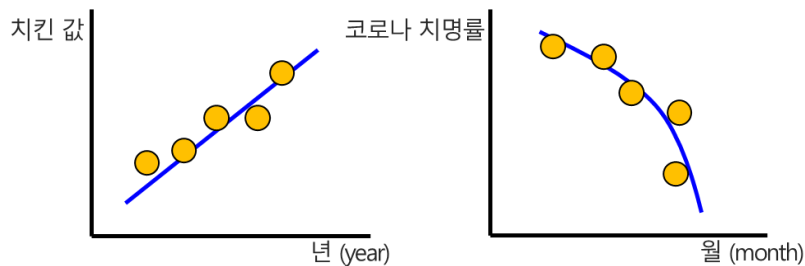
무작위한 관측 값 발생으로 사전적으로 예상할 수 없는 변동



Introduction

❖ 시계열 데이터 (Time series data)

- 현실 데이터는 여러가지 시계열 종류의 성격을 보임
 - 추세 변동 (Trend)
 - 계절 변동 (Seasonal variations)
 - 순환 변동 (Cycle)
 - 무작위 변동 (Random fluctuation)



Introduction

❖ 시계열 데이터 (Time series data)

- 현실 데이터는 여러가지 시계열 종류의 성격을 보임
- 다변량 데이터가 많으며 단변량 데이터도 외부 영향을 받는 경우도 많음
- 기술의 발전에 따라 다양한 동작을 갖는 데이터의 경우도 존재



코로나 확진자 수 데이터

<https://corona-live.com/>



강아지 애니메이션



Introduction

❖ 시계열 데이터 (Time series data)

- 현실 데이터는 여러가지 시계열 종류의 성격을 보임
- 다변량 데이터가 많으며 단변량 데이터도 외부 영향을 받는 경우도 많음
- 기술의 발전에 따라 다양한 동작을 갖는 데이터의 경우도 존재



코로나 확진자 수 데이터

<https://corona-live.com/>



강아지 애니메이션



Introduction

❖ Change point detection (CPD)

- 기술의 발전에 따라 다양한 동작을 갖는 데이터의 경우도 존재
 - 예시 – 티라노의 동물 동작 분류를 위한 레이블 수집 과정



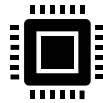
Introduction

❖ 시계열 데이터 (Time series data)

- 기술의 발전에 따라 다양한 동작을 갖는 데이터의 경우도 존재

➤ 예시 – 티라노의 동물 동작 분류를 위한 레이블 수집 과정

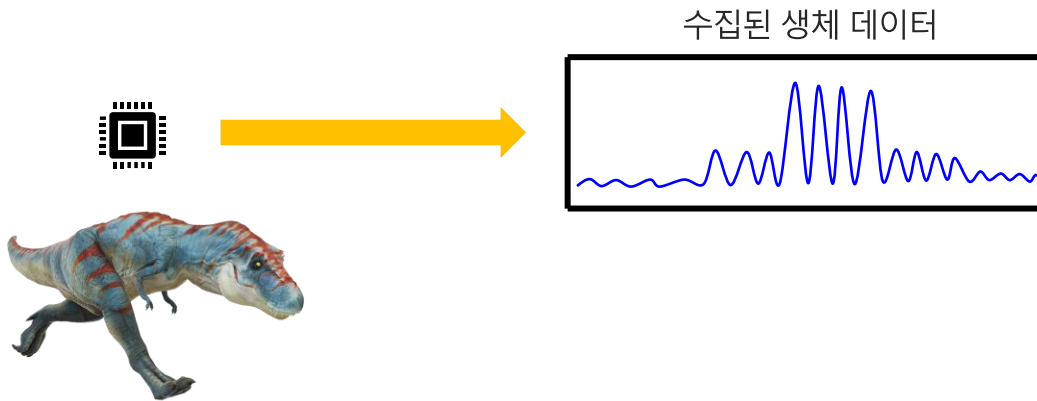
생체 데이터 수집을 위한 칩



Introduction

❖ Change point detection (CPD)

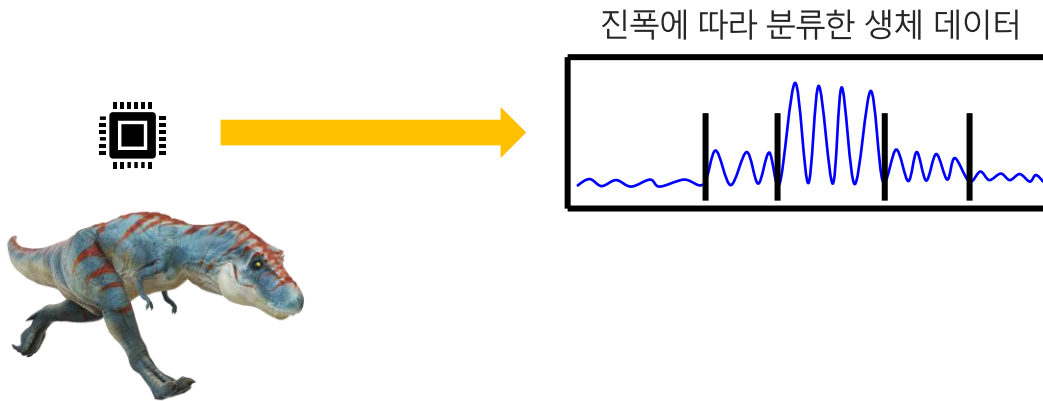
- 기술의 발전에 따라 다양한 동작을 갖는 데이터의 경우도 존재
 - 예시 – 티라노의 동물 동작 분류를 위한 레이블 수집 과정



Introduction

❖ Change point detection (CPD)

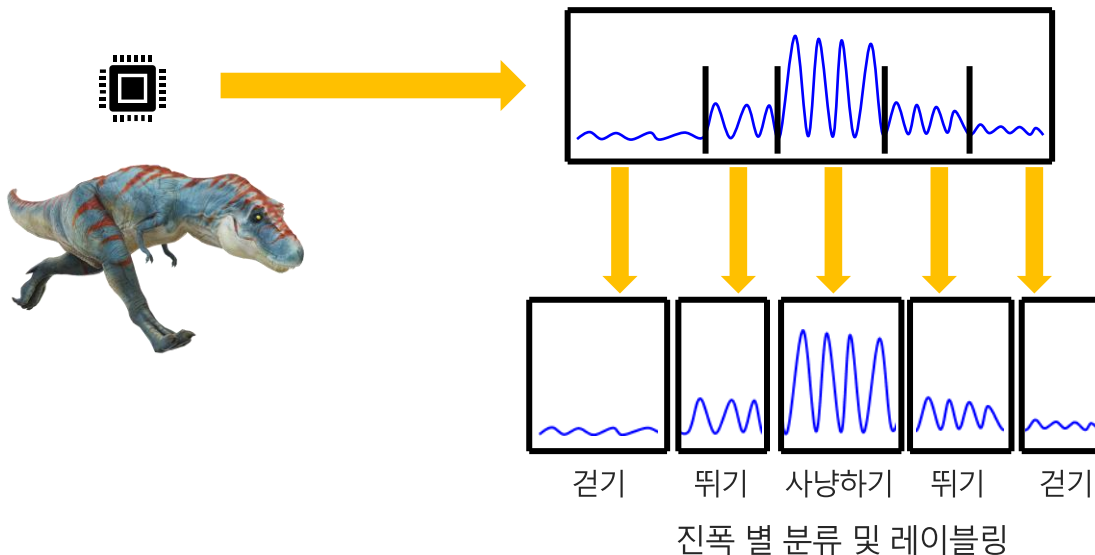
- 기술의 발전에 따라 다양한 동작을 갖는 데이터의 경우도 존재
 - 예시 – 티라노의 동물 동작 분류를 위한 레이블 수집 과정



Introduction

❖ Change point detection (CPD)

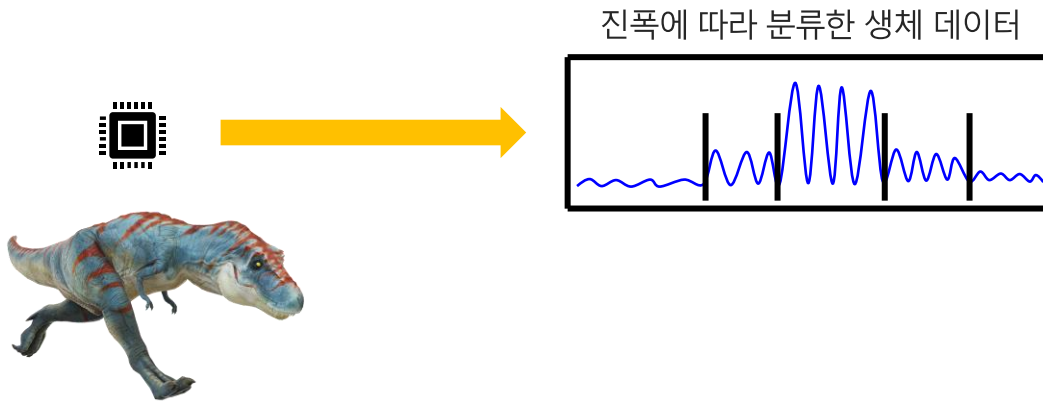
- 기술의 발전에 따라 다양한 동작을 갖는 데이터의 경우도 존재
 - 예시 – 티라노의 동물 동작 분류를 위한 레이블 수집 과정



Introduction

❖ Change point detection (CPD)

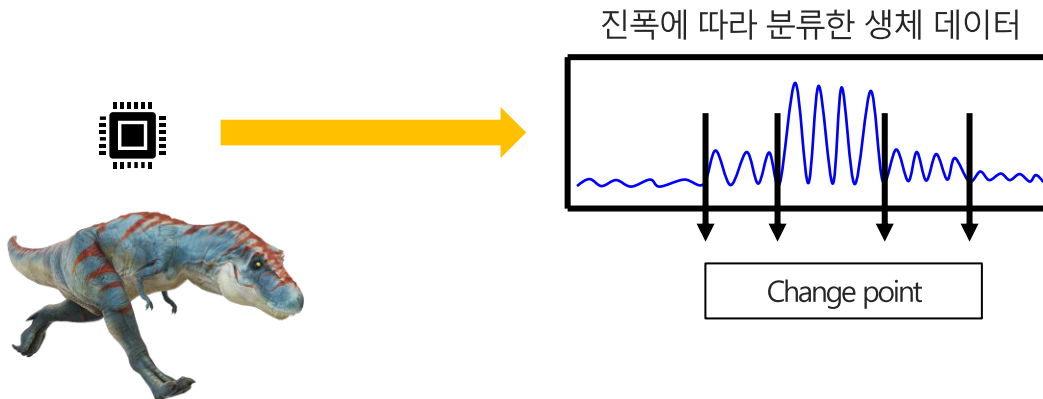
- 기술의 발전에 따라 다양한 동작을 갖는 데이터의 경우도 존재
 - 예시 – 티라노의 동물 동작 분류를 위한 레이블 수집 과정
사람이 직접 분류를 해주거나, 어떠한 행동을 해야 하는지 대상에게 조건을 주어야 함



Introduction

❖ Change point detection (CPD)

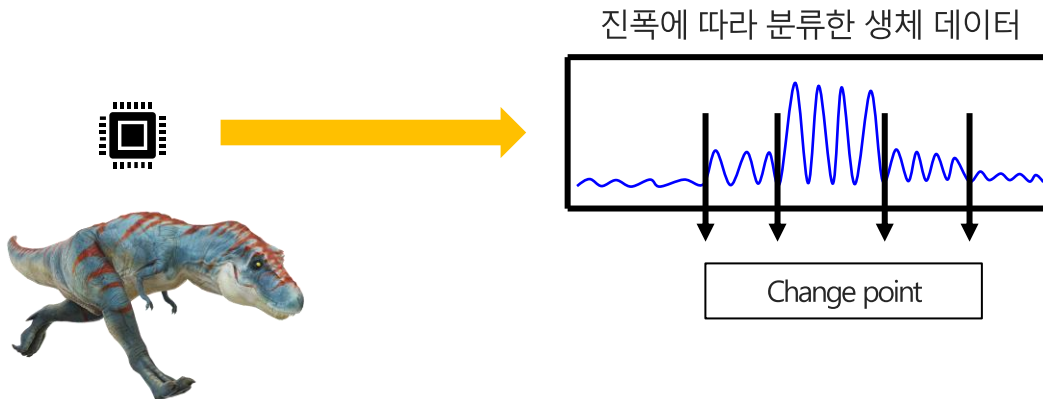
- 기술의 발전에 따라 다양한 동작을 갖는 데이터의 경우도 존재
 - 예시 – 티라노의 동물 동작 분류를 위한 레이블 수집 과정
사람이 직접 분류를 해주거나, 어떠한 행동을 해야 하는지 대상에게 조건을 주어야 함



Introduction

❖ Change point detection (CPD)

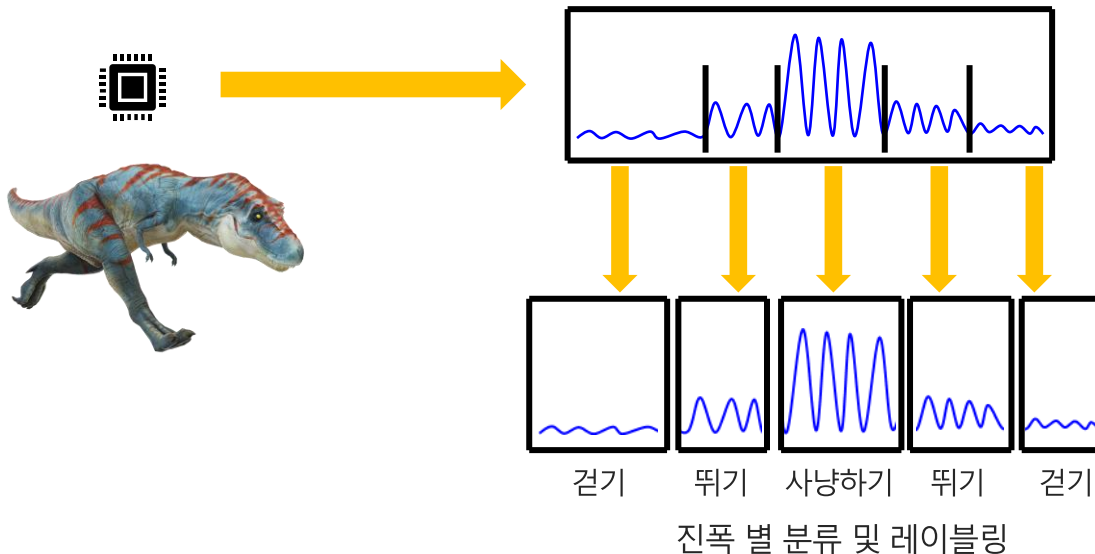
- CPD는 시계열 데이터에서 급격한 변화를 보이는 순간을 찾는 분야
- 비디오, 음성, 센서 데이터 등 변화하는 시점이 존재하는 시계열 데이터에 사용할 수 있음
- CPD의 후행 연구로 시계열의 의미론적 분석, 이벤트 탐지, 시계열의 이상치 탐지 등이 가능



Introduction

❖ Change point detection (CPD)

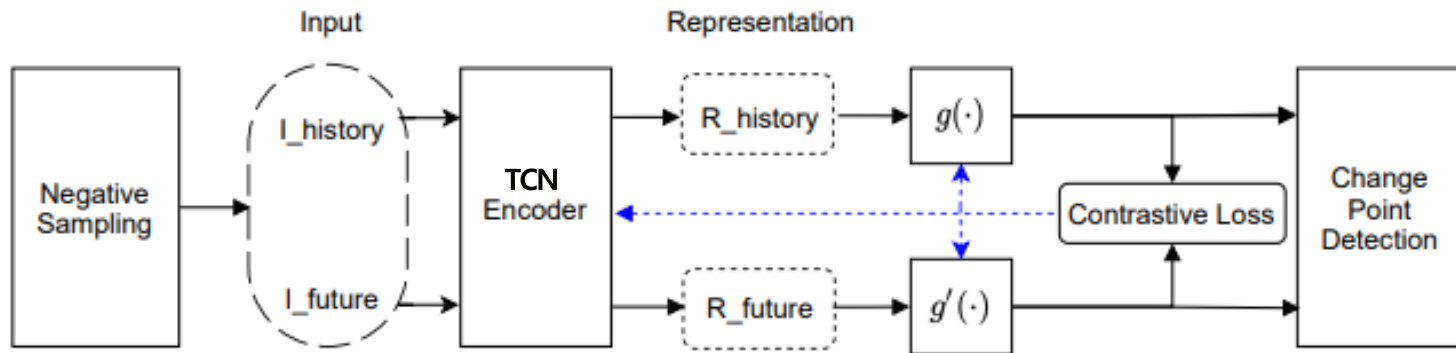
- CPD는 시계열 데이터에서 급격한 변화를 보이는 순간을 찾는 분야
- 비디오, 음성, 센서 데이터 등 변화하는 시점이 존재하는 시계열 데이터에 사용할 수 있음
- CPD의 후행 연구로 시계열의 의미론적 분석, 이벤트 탐지, 시계열의 이상치 탐지 등이 가능



Machine learning approach

❖ Time Series Change Point Detection based on Contrastive Predictive Coding (TS-CP²)

- 2021년 Proceedings of The Web Conference(WWW)에서 발표
- 호주의 RMIT 대학과 Data61 사의 공동 연구 논문으로 13회 인용
- **Temporal convolutional networks (TCN)** 인코더 기반으로 **Contrastive representation learning**을 진행하여 Change point 탐지



TS-CP²의 구조

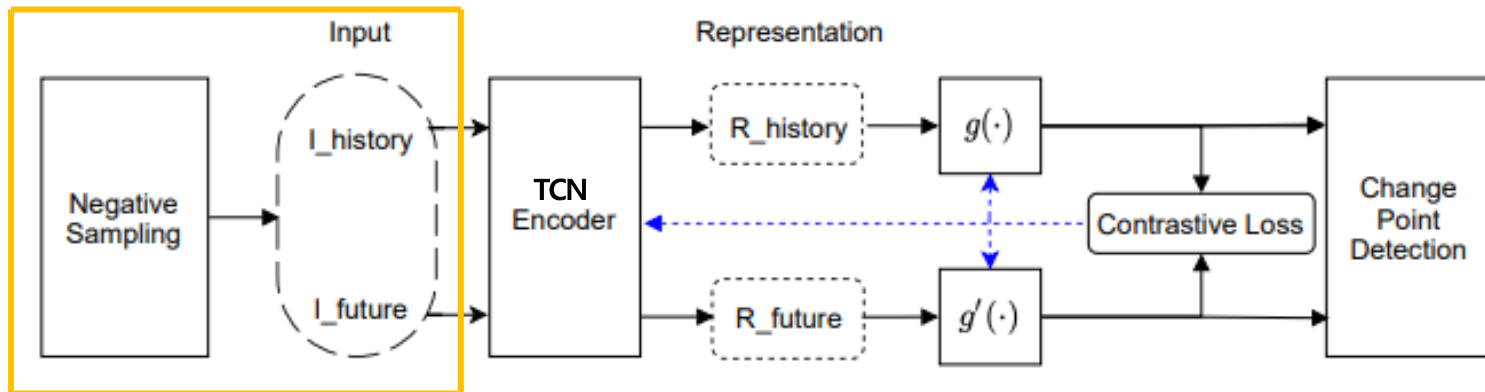
<https://arxiv.org/pdf/2007.09590v1.pdf>



Machine learning approach

❖ Time Series Change Point Detection based on Contrastive Predictive Coding (TS-CP²)

- 2021년 Proceedings of The Web Conference(WWW)에서 발표
- 호주의 RMIT 대학과 Data61 사의 공동 연구 논문으로 13회 인용
- **Temporal convolutional networks (TCN)** 인코더 기반으로 **Contrastive representation learning**을 진행하여 Change point 탐지



TS-CP²의 구조

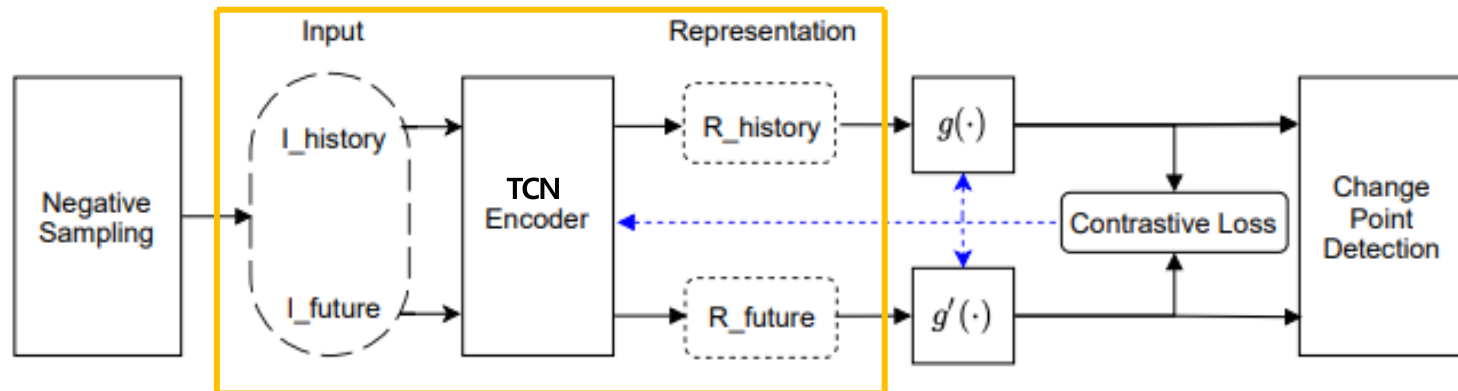
<https://arxiv.org/pdf/2007.09590v1.pdf>



Machine learning approach

❖ Time Series Change Point Detection based on Contrastive Predictive Coding (TS-CP²)

- 2021년 Proceedings of The Web Conference(WWW)에서 발표
- 호주의 RMIT 대학과 Data61 사의 공동 연구 논문으로 13회 인용
- **Temporal convolutional networks (TCN)** 인코더 기반으로 **Contrastive representation learning**을 진행하여 Change point 탐지



TS-CP²의 구조

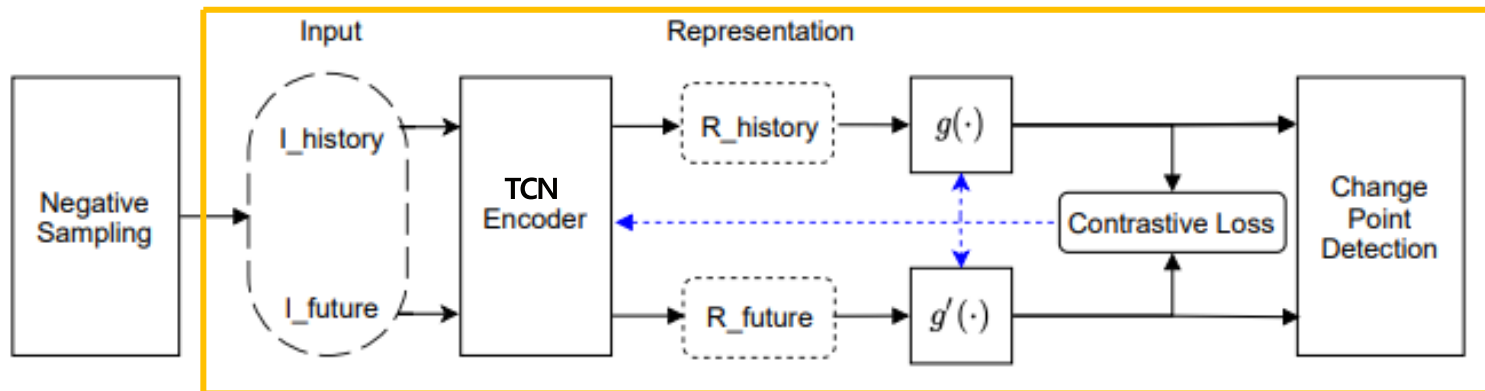
<https://arxiv.org/pdf/2007.09590v1.pdf>



Machine learning approach

❖ Time Series Change Point Detection based on Contrastive Predictive Coding (TS-CP²)

- 2021년 Proceedings of The Web Conference(WWW)에서 발표
- 호주의 RMIT 대학과 Data61 사의 공동 연구 논문으로 13회 인용
- **Temporal convolutional networks (TCN)** 인코더 기반으로 **Contrastive representation learning**을 진행하여 Change point 탐지

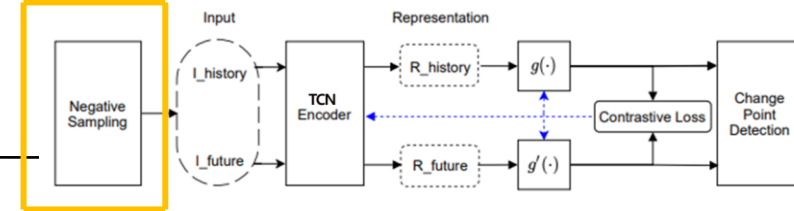


TS-CP²의 구조

<https://arxiv.org/pdf/2007.09590v1.pdf>

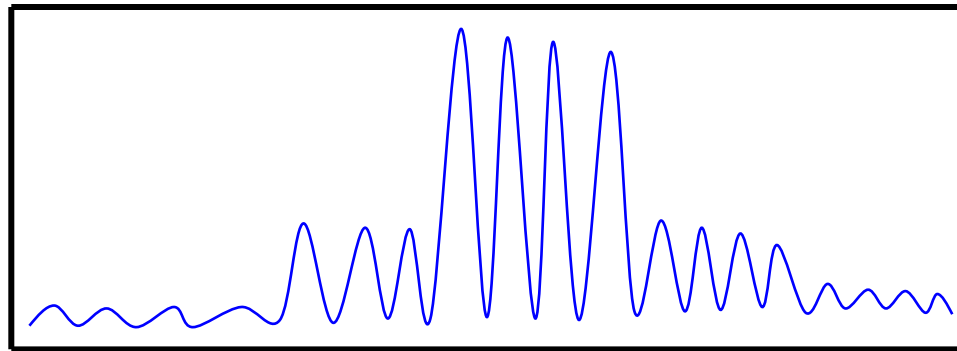


Machine learning approach



❖ Time Series Change Point Detection based on Contrastive Predictive Coding

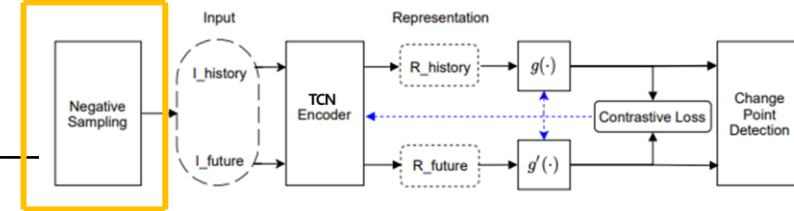
- Negative sampling
 - Window size를 기준으로 앞의 데이터는 history, 뒤의 데이터는 future로 정의
 - history와 future의 샘플들을 batch size만큼 활용하여 negative samples를 생성



생체 데이터

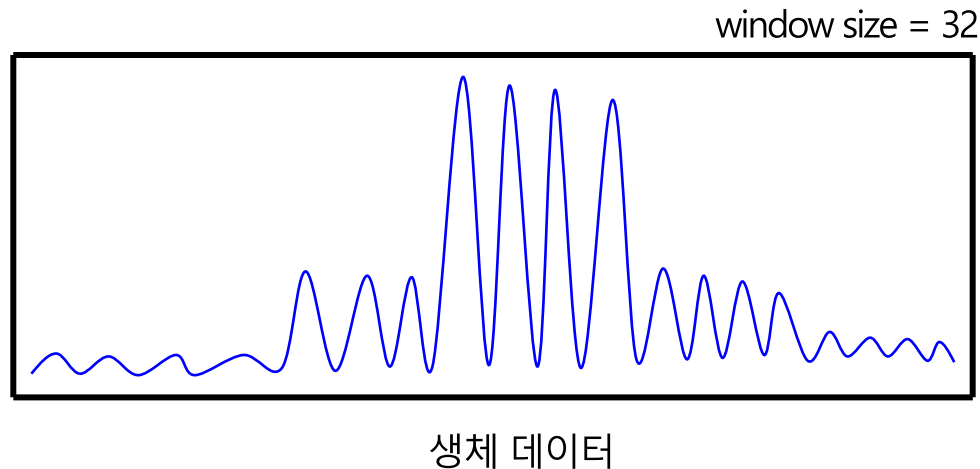


Machine learning approach

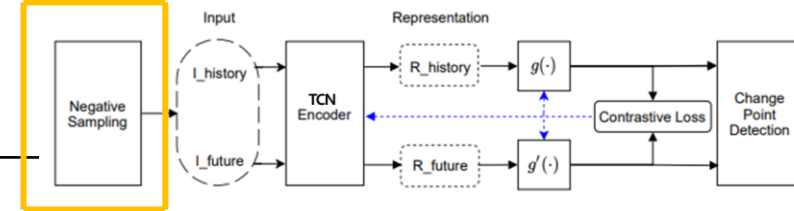


❖ Time Series Change Point Detection based on Contrastive Predictive Coding

- Negative sampling
 - Window size를 기준으로 앞의 데이터는 history, 뒤의 데이터는 future로 정의
 - history와 future의 샘플들을 batch size만큼 활용하여 negative samples를 생성

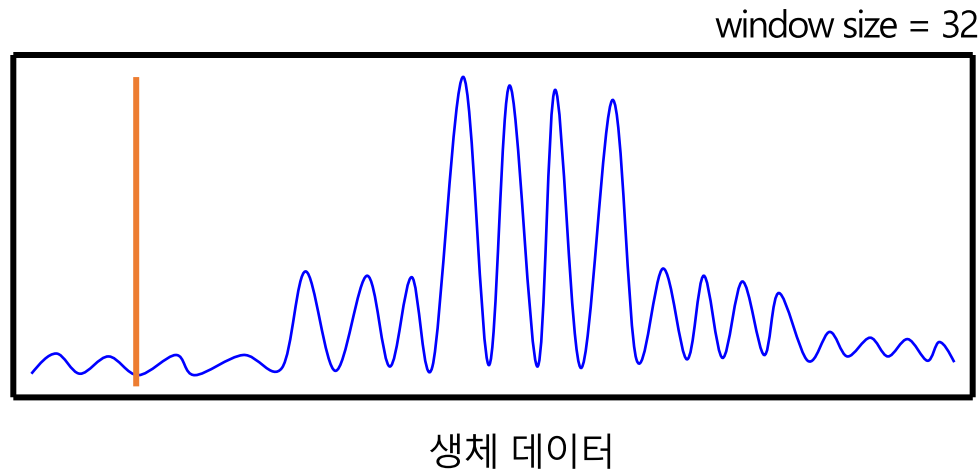


Machine learning approach

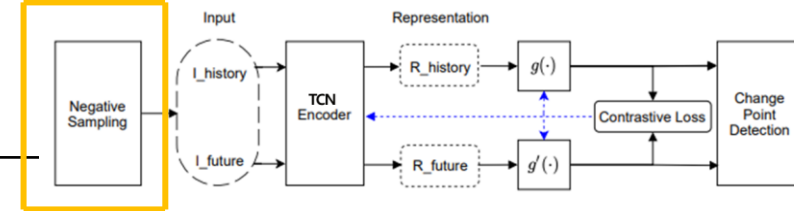


❖ Time Series Change Point Detection based on Contrastive Predictive Coding

- Negative sampling
 - Window size를 기준으로 앞의 데이터는 history, 뒤의 데이터는 future로 정의
 - history와 future의 샘플들을 batch size만큼 활용하여 negative samples를 생성

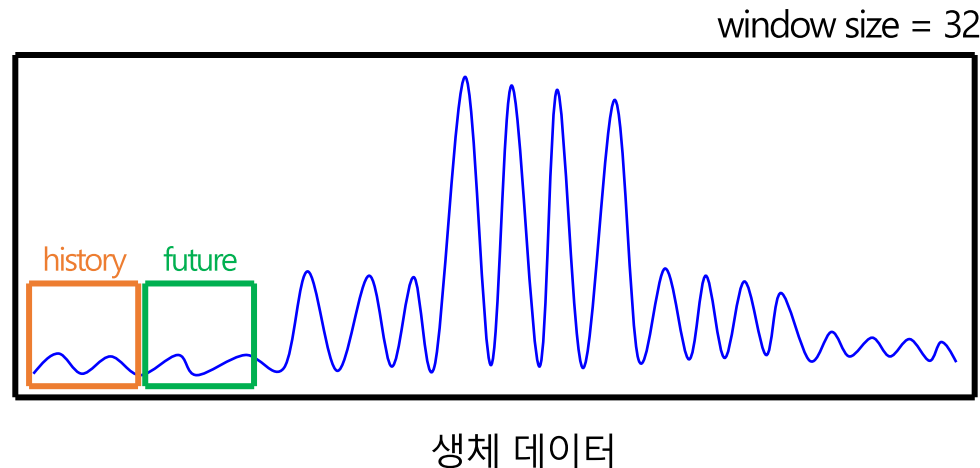


Machine learning approach

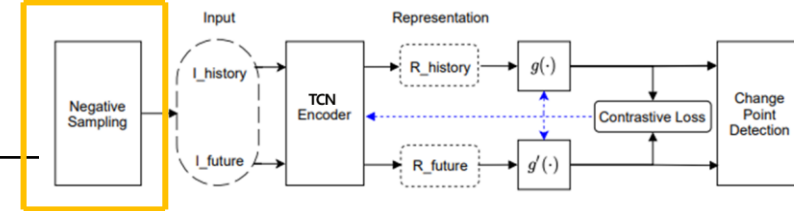


❖ Time Series Change Point Detection based on Contrastive Predictive Coding

- Negative sampling
 - Window size를 기준으로 앞의 데이터는 history, 뒤의 데이터는 future로 정의
 - history와 future의 샘플들을 batch size만큼 활용하여 negative samples를 생성

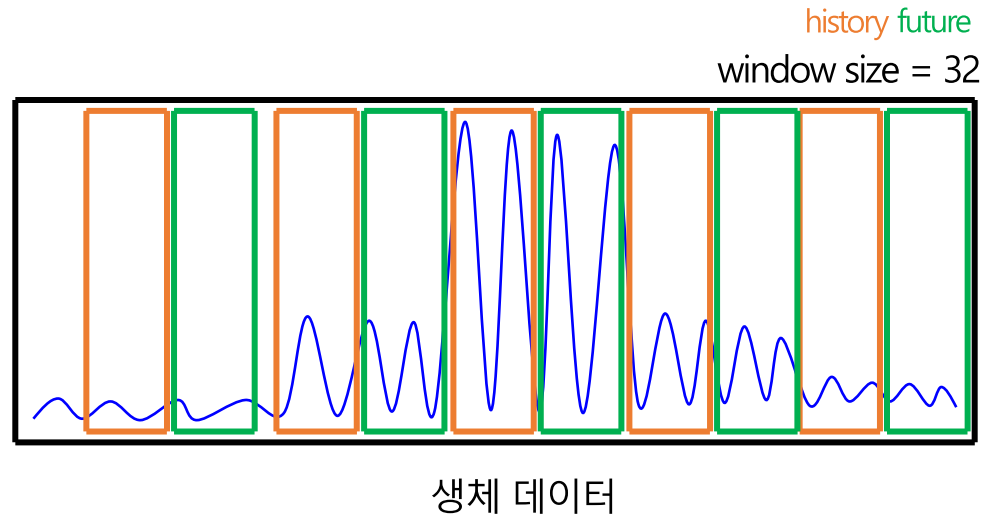


Machine learning approach

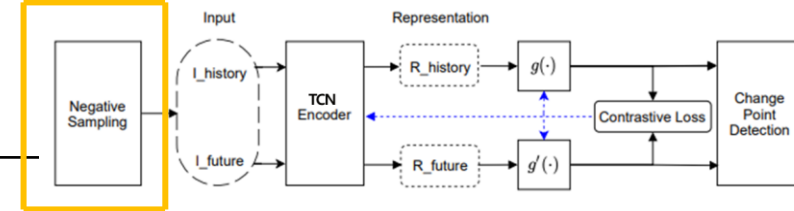


❖ Time Series Change Point Detection based on Contrastive Predictive Coding

- Negative sampling
 - Window size를 기준으로 앞의 데이터는 history, 뒤의 데이터는 future로 정의
 - history와 future의 샘플들을 batch size만큼 활용하여 negative samples를 생성

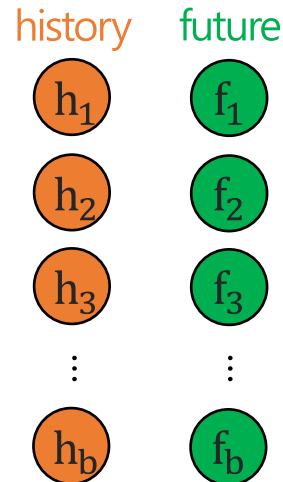


Machine learning approach



❖ Time Series Change Point Detection based on Contrastive Predictive Coding

- Negative sampling
 - Window size를 기준으로 앞의 데이터는 history, 뒤의 데이터는 future로 정의
 - history와 future의 샘플들을 batch size만큼 활용하여 negative samples를 생성

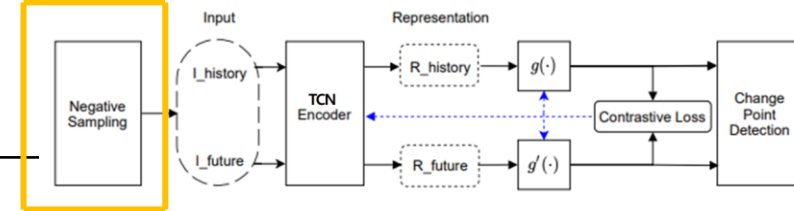


Negative sampling 예시

<https://arxiv.org/pdf/2007.09590v1.pdf>

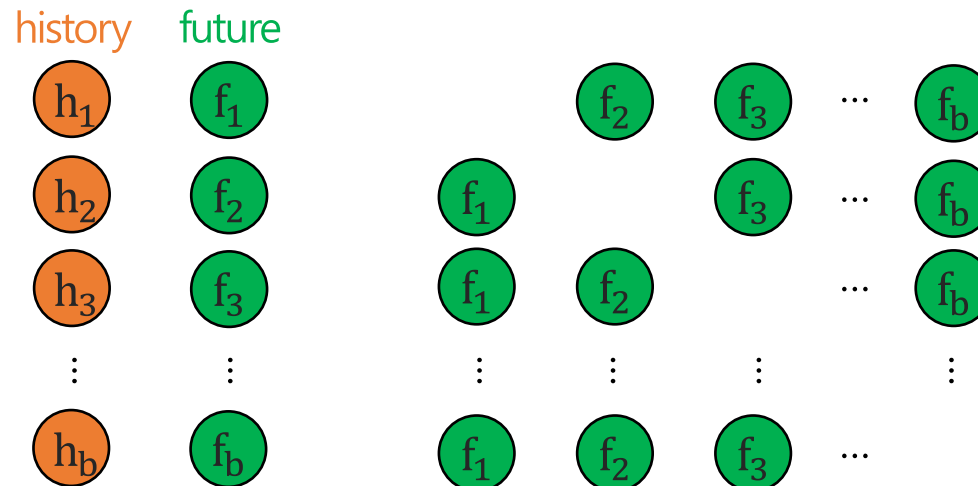


Machine learning approach



❖ Time Series Change Point Detection based on Contrastive Predictive Coding

- Negative sampling
 - Window size를 기준으로 앞의 데이터는 history, 뒤의 데이터는 future로 정의
 - history와 future의 샘플들을 batch size만큼 활용하여 negative samples를 생성

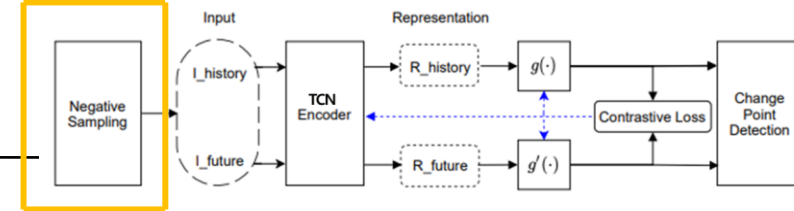


Negative sampling 예시

<https://arxiv.org/pdf/2007.09590v1.pdf>

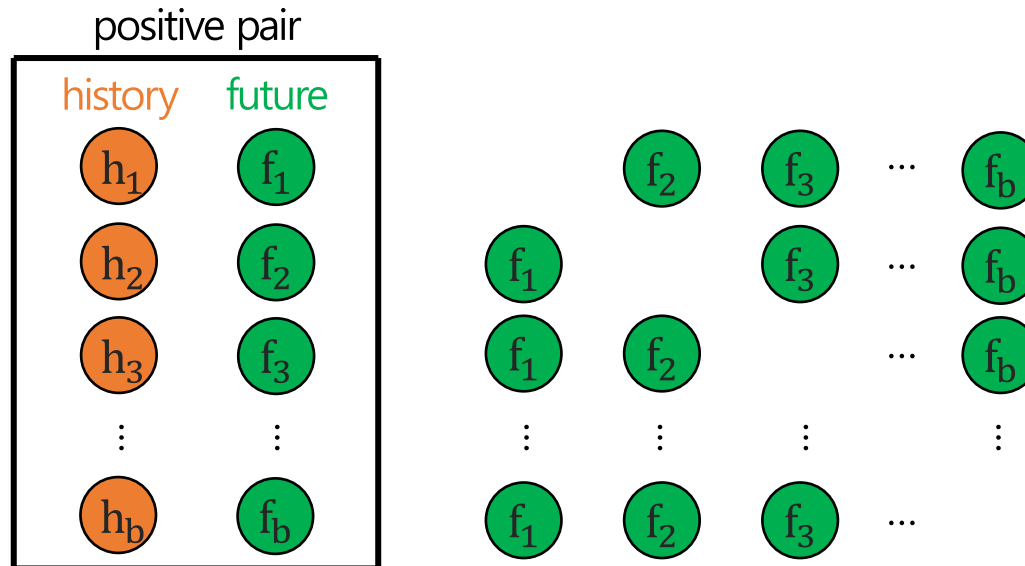


Machine learning approach



❖ Time Series Change Point Detection based on Contrastive Predictive Coding

- Negative sampling
 - Window size를 기준으로 앞의 데이터는 history, 뒤의 데이터는 future로 정의
 - history와 future의 샘플들을 batch size만큼 활용하여 negative samples를 생성

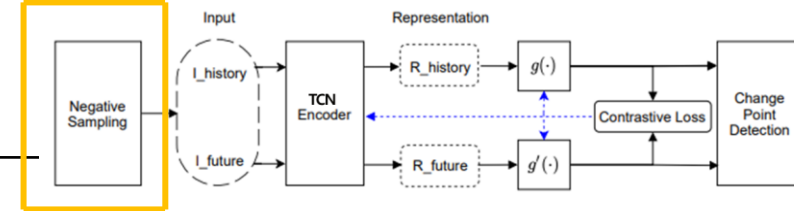


Negative sampling 예시

<https://arxiv.org/pdf/2007.09590v1.pdf>

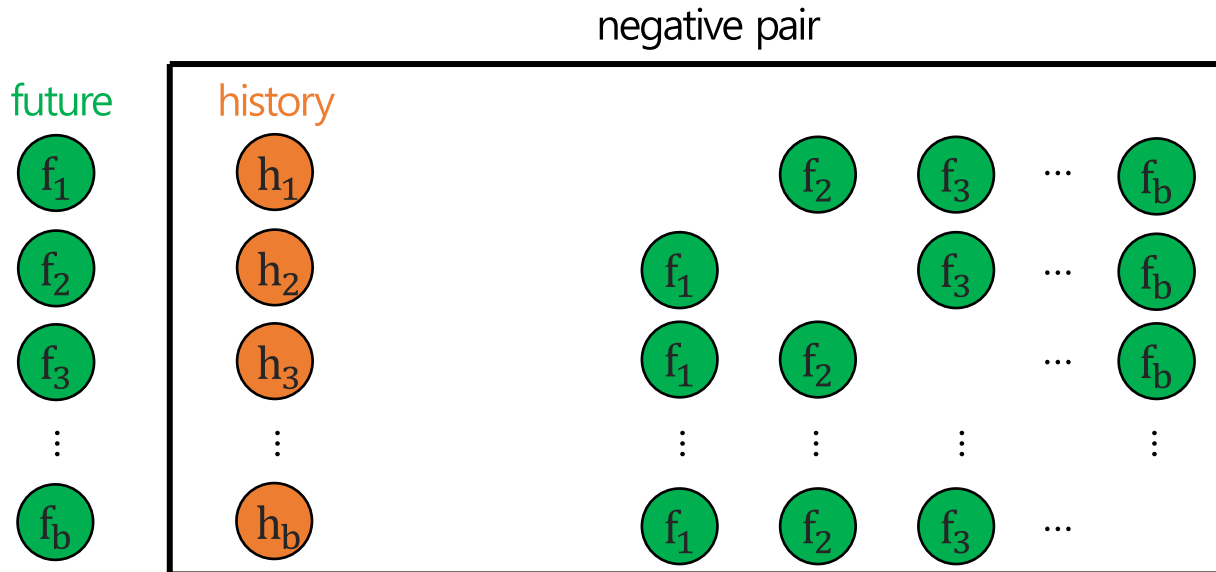


Machine learning approach



❖ Time Series Change Point Detection based on Contrastive Predictive Coding

- Negative sampling
 - Window size를 기준으로 앞의 데이터는 history, 뒤의 데이터는 future로 정의
 - history와 future의 샘플들을 batch size만큼 활용하여 negative samples를 생성

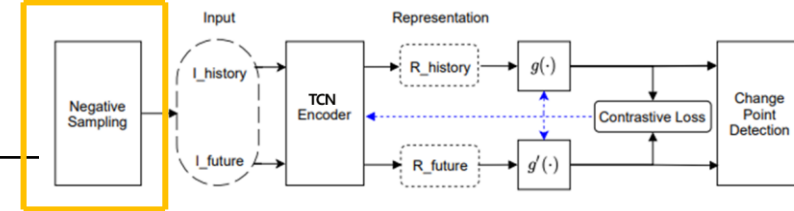


Negative sampling 예시

<https://arxiv.org/pdf/2007.09590v1.pdf>



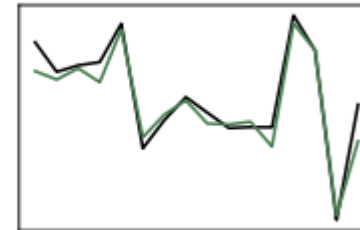
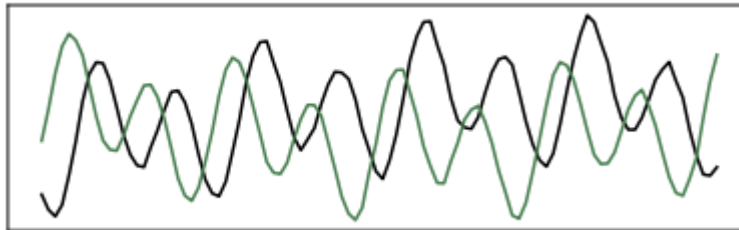
Machine learning approach



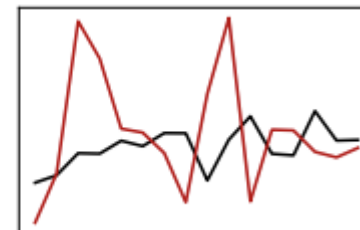
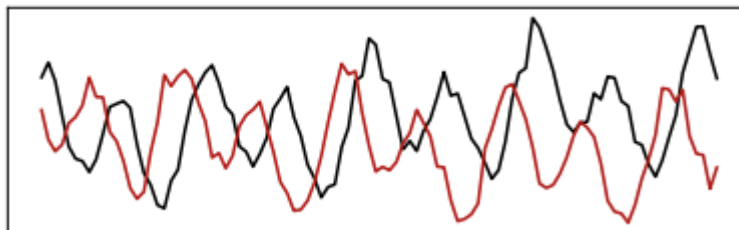
❖ Time Series Change Point Detection based on Contrastive Predictive Coding

- Negative sampling
 - Window size를 기준으로 앞의 데이터는 history, 뒤의 데이터는 future로 정의
 - history와 future의 샘플들을 batch size만큼 활용하여 negative samples를 생성

positive pair



negative pair

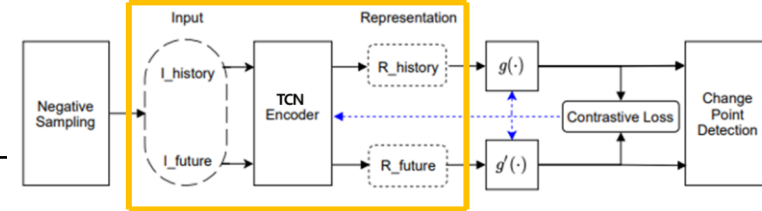


pair 별 시각화 예시

<https://arxiv.org/pdf/2007.09590v1.pdf>



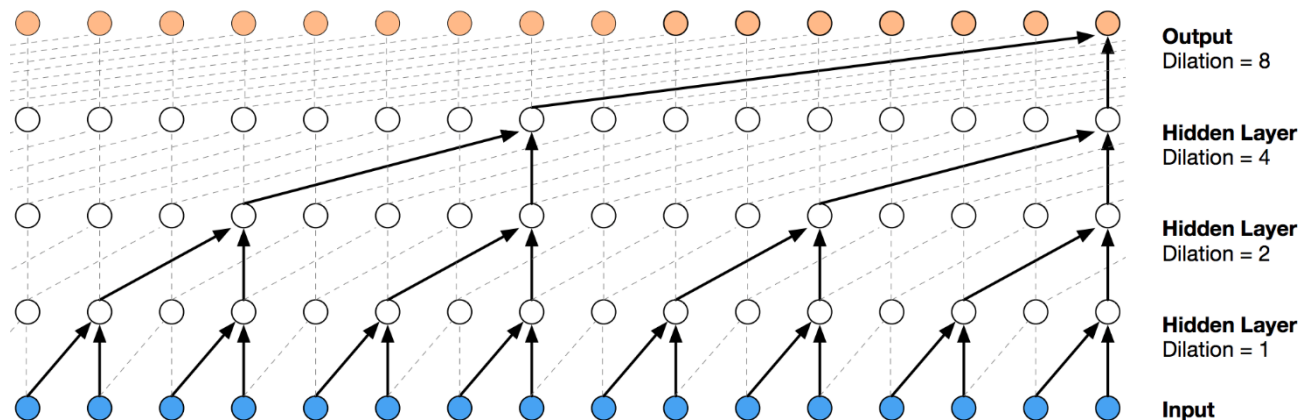
Machine learning approach



❖ Time Series Change Point Detection based on Contrastive Predictive Coding

- Temporal convolutional networks (TCN)

➤ Convolutional neural network에 WaveNet의 dilation 개념을 결합한 모델

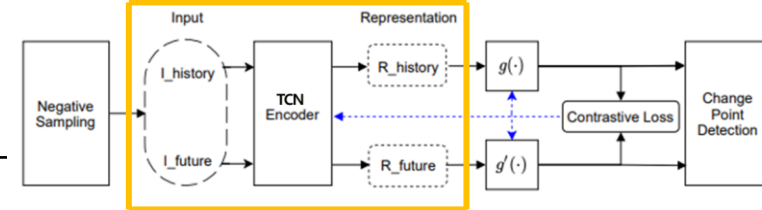


WaveNet 예시
kernel=2, dilation=[1,2,4,8]

<https://github.com/philipperemy/keras-tcn>



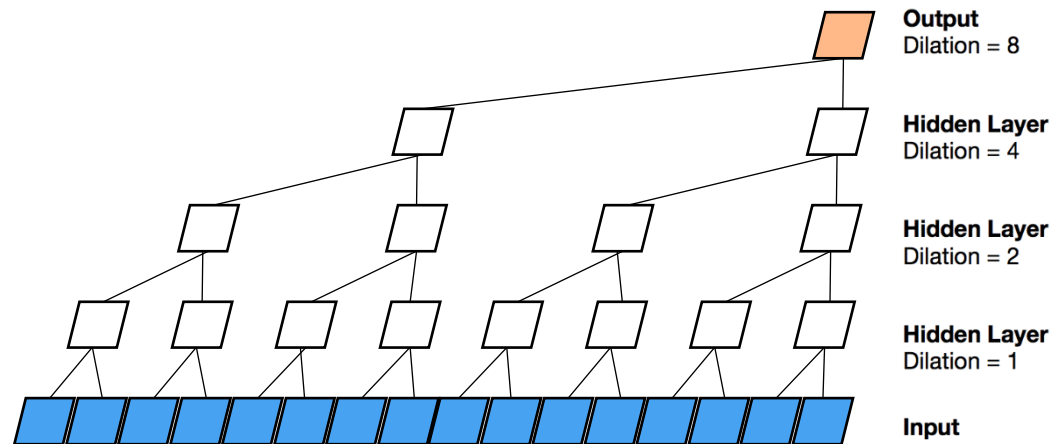
Machine learning approach



❖ Time Series Change Point Detection based on Contrastive Predictive Coding

- Temporal convolutional networks (TCN)

➤ Convolutional neural network에 WaveNet의 dilation 개념을 결합한 모델

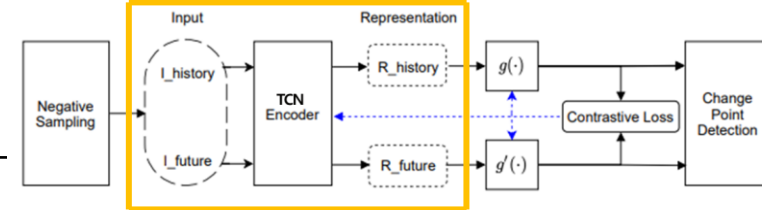


TCN 예시
kernel=2, dilation=[1,2,4,8]

<https://github.com/philipperemy/keras-tcn>

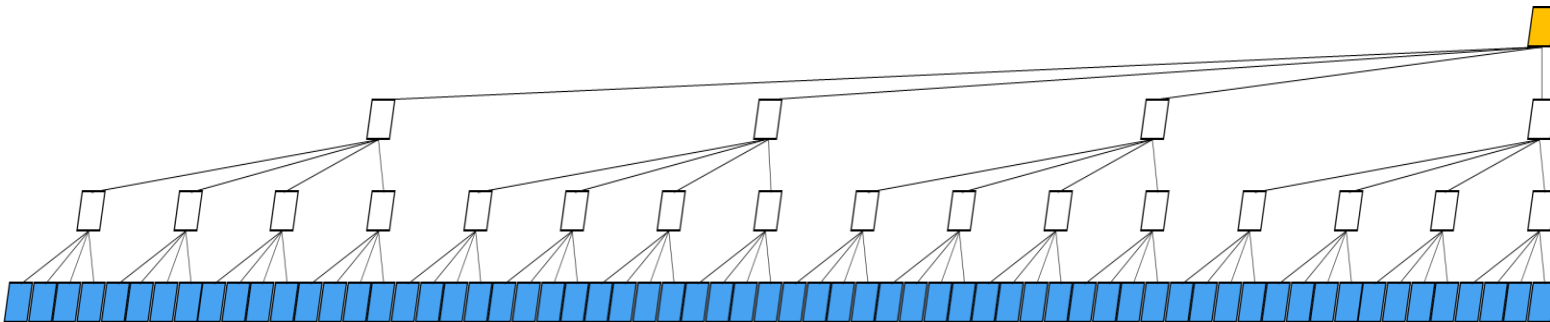


Machine learning approach



❖ Time Series Change Point Detection based on Contrastive Predictive Coding

- Temporal convolutional networks (TCN)
 - Convolutional neural network에 WaveNet의 dilation 개념을 결합한 모델

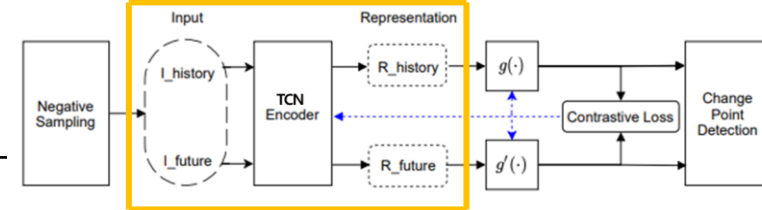


논문에서 사용된 TCN
Kernel=4, dilation=[1,4,16]

<https://github.com/philipperemy/keras-tcn>

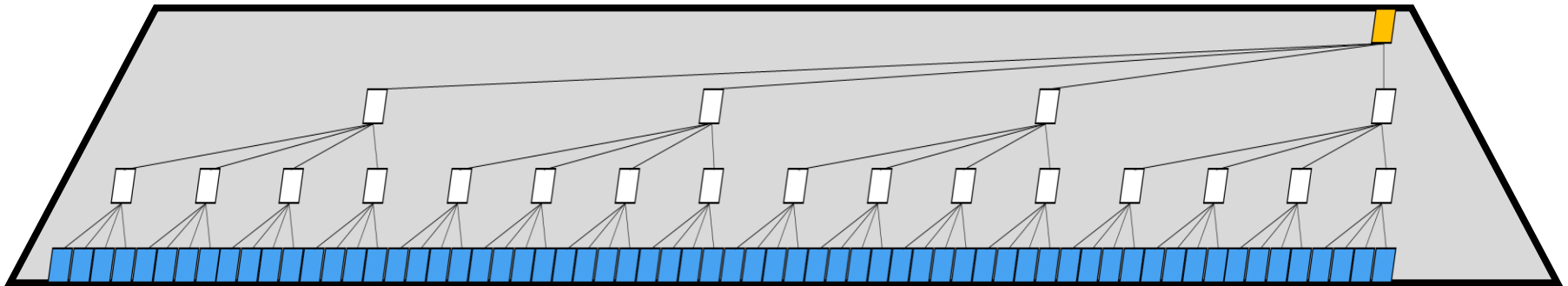


Machine learning approach



❖ Time Series Change Point Detection based on Contrastive Predictive Coding

- Temporal convolutional networks (TCN)
 - Convolutional neural network에 WaveNet의 dilation 개념을 결합한 모델

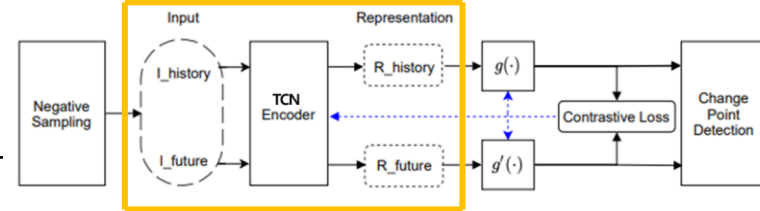


논문에서 사용된 TCN
Kernel=4, dilation=[1,4,16]

<https://github.com/philipperemy/keras-tcn>

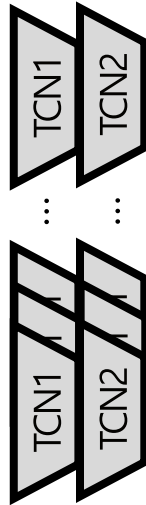


Machine learning approach

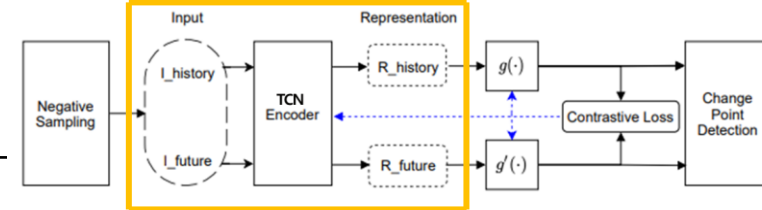


❖ Time Series Change Point Detection based on Contrastive Predictive Coding

- Contrastive representation learning
 - Input history와 future를 각각 TCN encoder를 통해 representation 진행

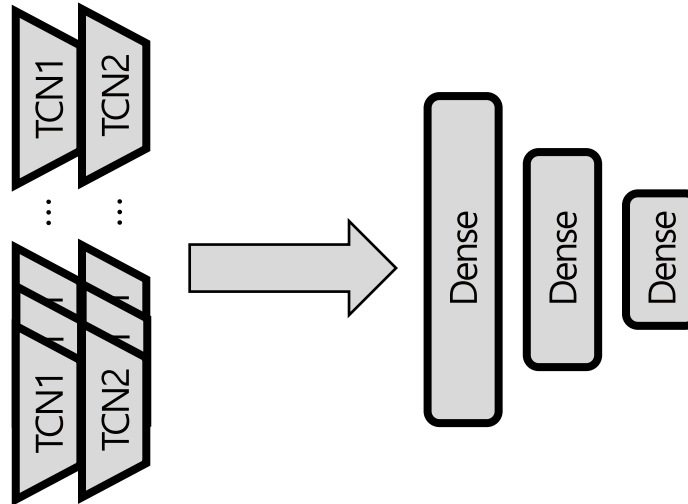


Machine learning approach

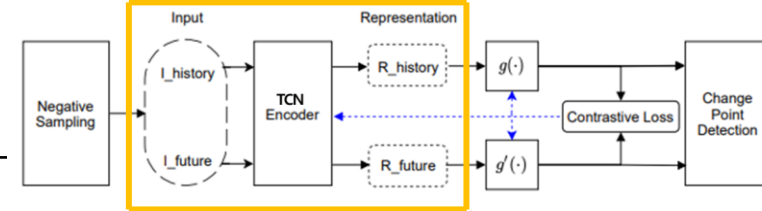


❖ Time Series Change Point Detection based on Contrastive Predictive Coding

- Contrastive representation learning
 - Input history와 future를 각각 TCN encoder를 통해 representation 진행



Machine learning approach

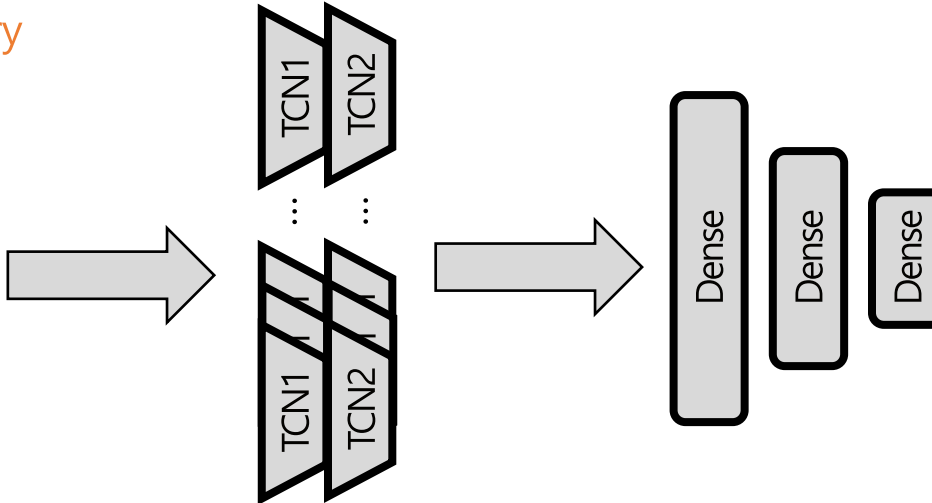


❖ Time Series Change Point Detection based on Contrastive Predictive Coding

- Contrastive representation learning

➤ Input history와 future를 각각 TCN encoder를 통해 representation 진행

Input history

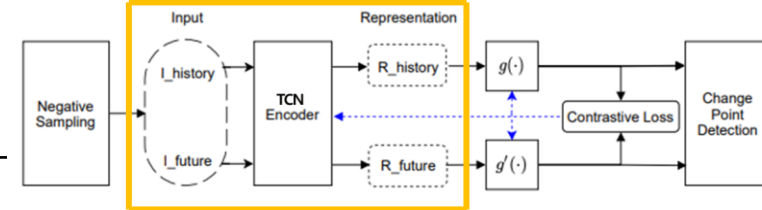


Input history data를
representation 하는 과정

<https://arxiv.org/pdf/2007.09590v1.pdf>



Machine learning approach

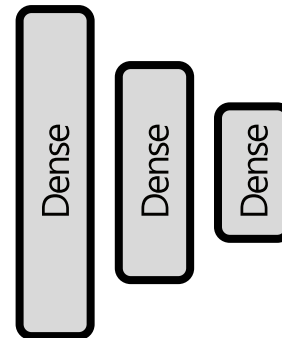
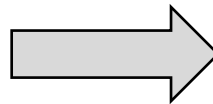
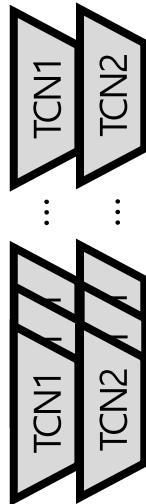
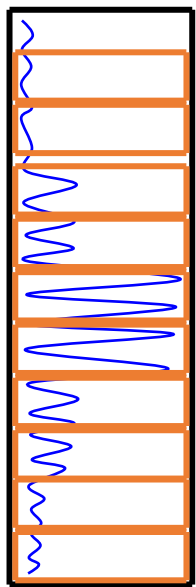


❖ Time Series Change Point Detection based on Contrastive Predictive Coding

- Contrastive representation learning

➤ Input history와 future를 각각 TCN encoder를 통해 representation 진행

Input history

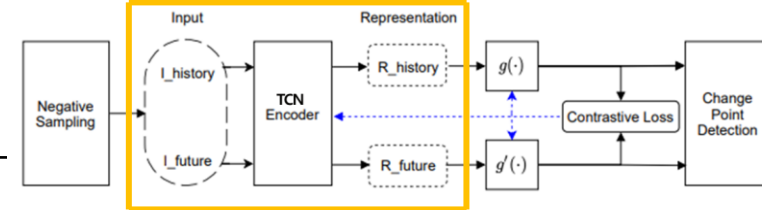


Input history data를
representation 하는 과정

<https://arxiv.org/pdf/2007.09590v1.pdf>



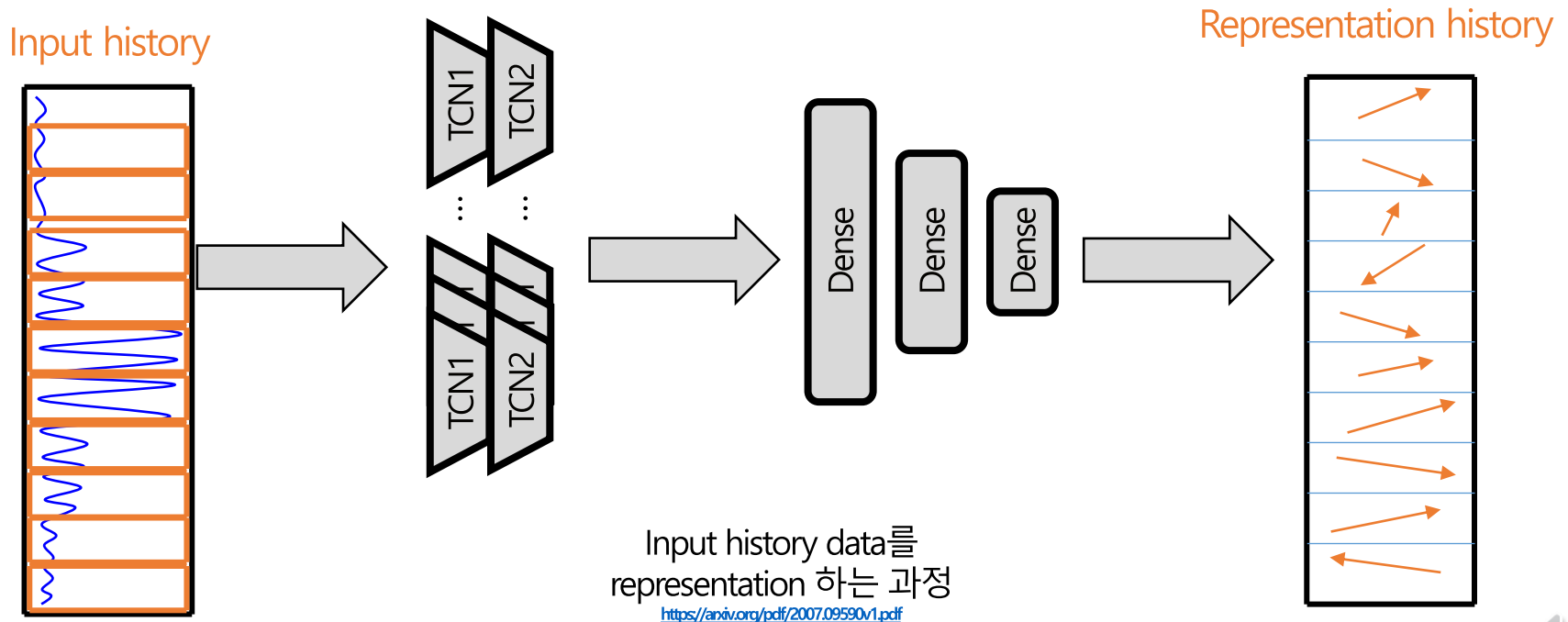
Machine learning approach



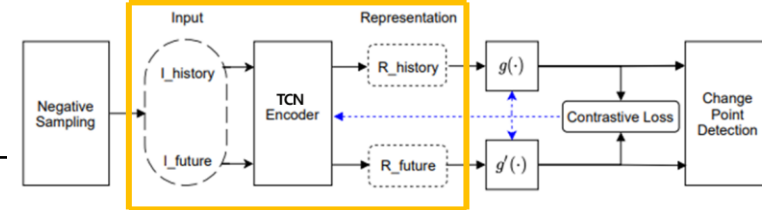
❖ Time Series Change Point Detection based on Contrastive Predictive Coding

- Contrastive representation learning

➤ Input history와 future를 각각 TCN encoder를 통해 representation 진행



Machine learning approach

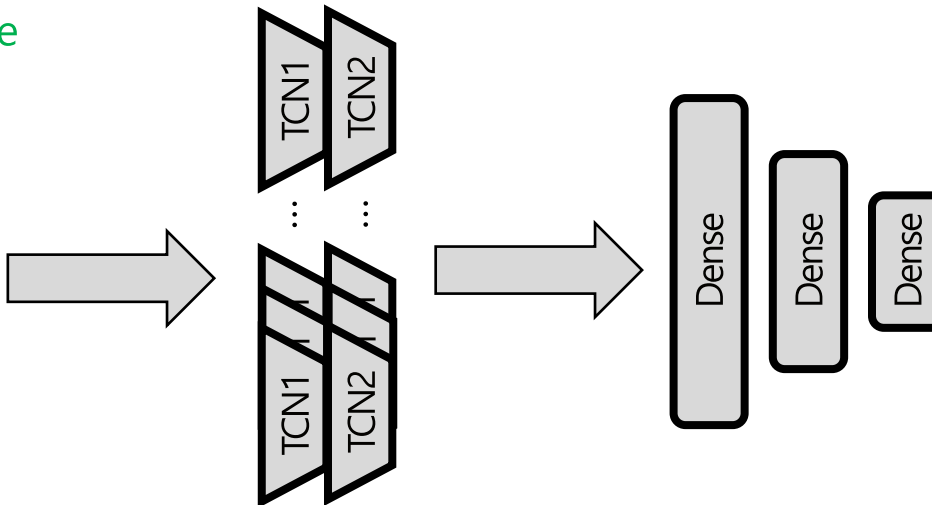
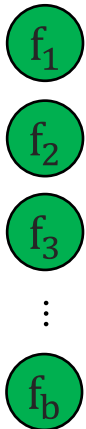


❖ Time Series Change Point Detection based on Contrastive Predictive Coding

- Contrastive representation learning

➤ Input history와 future를 각각 TCN encoder를 통해 representation 진행

Input future

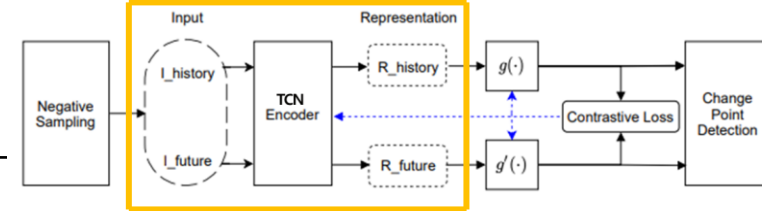


Input future data를
representation 하는 과정

<https://arxiv.org/pdf/2007.09590v1.pdf>



Machine learning approach

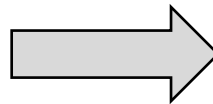
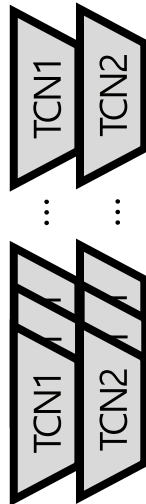
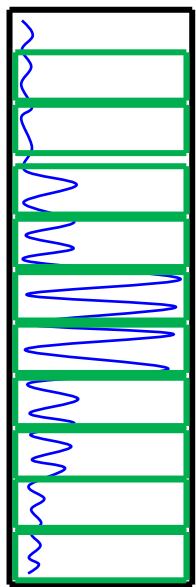


❖ Time Series Change Point Detection based on Contrastive Predictive Coding

- Contrastive representation learning

➤ Input history와 future를 각각 TCN encoder를 통해 representation 진행

Input future

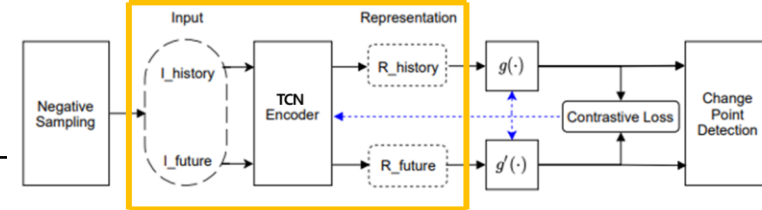


Input future data를
representation 하는 과정

<https://arxiv.org/pdf/2007.09590v1.pdf>



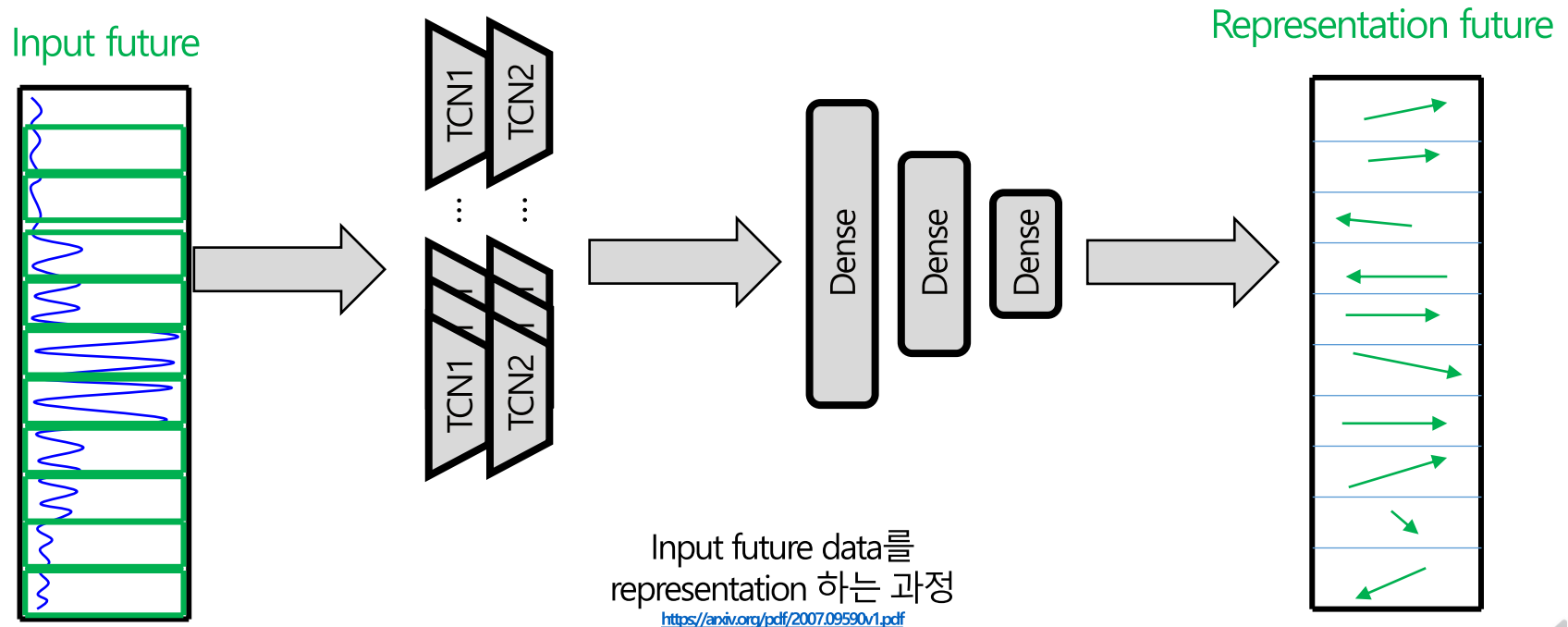
Machine learning approach



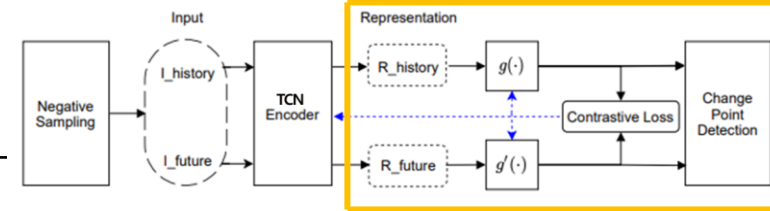
❖ Time Series Change Point Detection based on Contrastive Predictive Coding

- Contrastive representation learning

➤ Input history와 future를 각각 TCN encoder를 통해 representation 진행



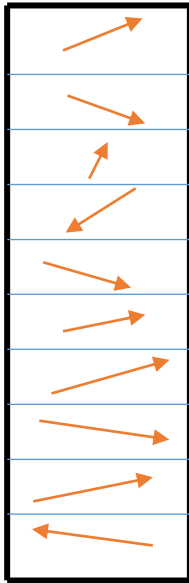
Machine learning approach



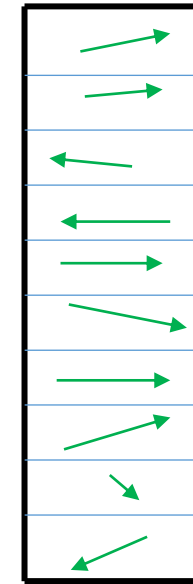
❖ Time Series Change Point Detection based on Contrastive Predictive Coding

- Contrastive representation learning
 - Input history와 future를 각각 TCN encoder를 통해 representation 진행
 - Representation이 진행된 vector끼리 cosine similarity를 계산하여 학습

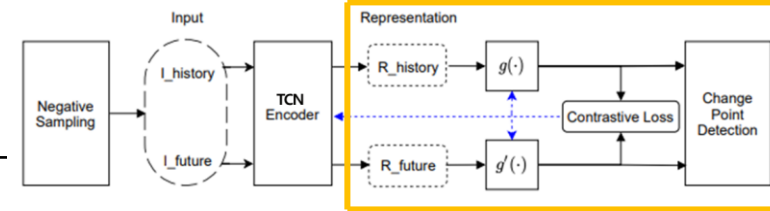
Representation history



Representation future



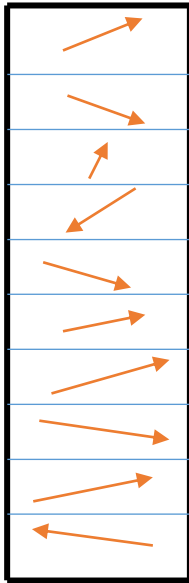
Machine learning approach



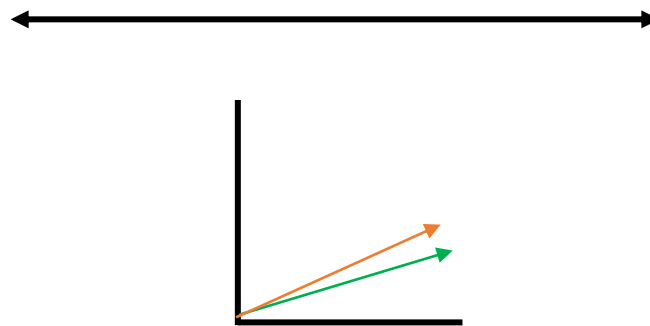
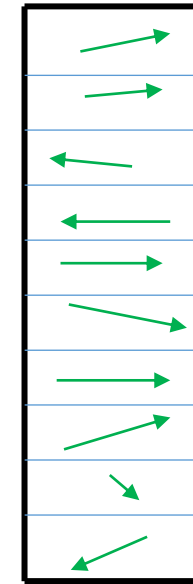
❖ Time Series Change Point Detection based on Contrastive Predictive Coding

- Contrastive representation learning
 - Input history와 future를 각각 TCN encoder를 통해 representation 진행
 - Representation이 진행된 vector끼리 cosine similarity를 계산하여 학습

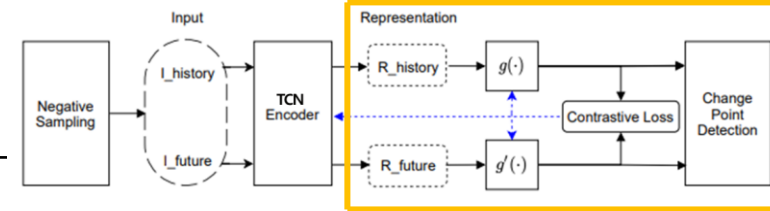
Representation history



Representation future



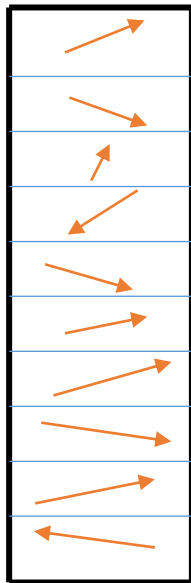
Machine learning approach



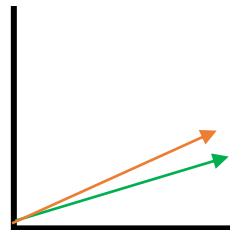
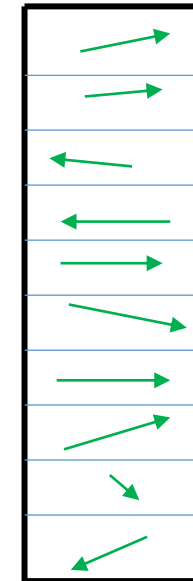
❖ Time Series Change Point Detection based on Contrastive Predictive Coding

- Contrastive representation learning
 - Input history와 future를 각각 TCN encoder를 통해 representation 진행
 - Representation이 진행된 vector끼리 cosine similarity를 계산하여 학습

Representation history



Representation future



positive pair

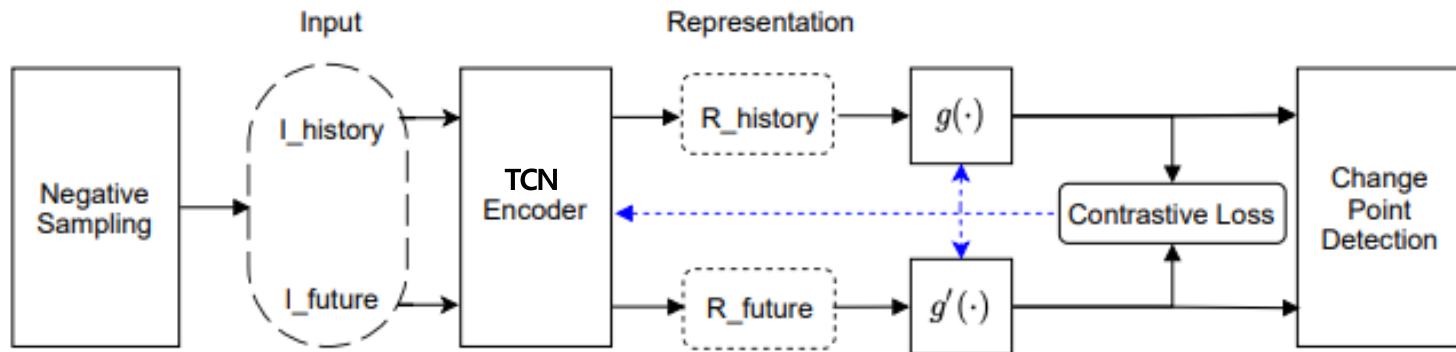
positive pair는 더 가까이
negative pair는 더 멀리



Machine learning approach

❖ Time Series Change Point Detection based on Contrastive Predictive Coding (TS-CP²)

- 2021년 Proceedings of The Web Conference(WWW)에서 발표
- 호주의 RMIT 대학과 Data61 사의 공동 연구 논문으로 13회 인용
- **Temporal convolutional networks (TCN)** 인코더 기반으로 **Contrastive representation learning**을 진행하여 Change point 탐지



TS-CP²의 구조

<https://arxiv.org/pdf/2007.09590v1.pdf>



Machine learning approach

❖ Time Series Change Point Detection based on Contrastive Predictive Coding (TS-CP²)

- Yahoo benchmark, USC-HAD, HASC. 3가지 데이터 셋에 대하여 우수한 성능을 보임
- 실험을 통해 contrastive representation learning⁰이 change point detection 분야에 유용하다는 것을 증명

Dataset	Detection margin	24		50		75	
	Methods	Best Wnd	F1-score	Best Wnd	F1-score	Best Wnd	F1-score
Yahoo	FLOSS	45	0.2083	50	0.3375	55	0.4233
	aHSIC	40	0.4092	40	0.4175	40	0.4392
	RuLSIF	20	0.3175	20	0.3317	20	0.3700
	ESPRESSO	50	0.2242	50	0.3400	70	0.4442
	KL-CPD	24	<u>0.5787</u>	50	<u>0.5760</u>	75	<u>0.5441</u>
	<i>TS - CP²</i>	24	0.64	50	0.8104	75	0.8428
USC	Detection margin	100		200		400	
	FLOSS	100	0.2666	100	0.3666	400	0.4333
	aHSIC	50	0.3333	50	0.3333	50	0.3999
	RuLSIF	400	0.4666	400	0.4666	400	0.5333
	ESPRESSO	100	0.6333	100	<u>0.8333</u>	100	0.8333
	KL-CPD	win:100, bs:4	<u>0.7426</u>	win:200, bs:32	0.7180	win:400, bs:16	0.6321
	<i>TS - CP²</i>	win:100, bs:8	0.8235	win:200, bs:8	0.8571	win:400, bs:32	0.8333
HASC	Detection margin	60		100		200	
	FLOSS	60	0.3088	60	0.3913	100	0.5430
	aHSIC	40	0.2308	40	0.3134	40	0.4167
	RuLSIF	200	0.3433	200	0.4999	200	0.4999
	ESPRESSO	100	0.2879	60	0.4233	100	0.6933
	KL-CPD	win:60, bs:4	0.4785	win:100, bs:4	0.4726	win:200, bs:64	0.4669
	<i>TS - CP²</i>	win:60, bs:64	<u>0.40</u>	win:100, bs:64	<u>0.4375</u>	win:200, bs:64	<u>0.6316</u>

TS-CP² 실험 결과

<https://arxiv.org/pdf/2007.09590v1.pdf>



Conclusion

❖ Change point detection (CPD) summary

- CPD는 시계열 데이터 내에서 급격하게 변화가 생기는 지점을 찾는 문제
- CPD 분야에서는 label이 부족하거나 수집하기 어려운 경우가 많기 때문에 label이 적어도 적용 가능한 학습 방법이 필요
- 최근 self-supervised representation learning이 CPD 분야에 적용되기 시작함



EOD

