



# **NHÓM 10**

# **SEMINAR**

TRÌNH BÀY: NGUYỄN ĐỨC TUẤN ĐẠT





Mạng tích chập đồ thị thời gian có hướng lịch dành cho việc dự đoán chuỗi thời gian có dữ liệu bị thiếu



BIASED TEMPORAL CONVOLUTION GRAPH NETWORK FOR TIME SERIES FORECASTING WITH MISSING VALUES



# NỘI DUNG

**01**

PHƯƠNG PHÁP

**02**

THỰC NGHIỆM & ĐÁNH GIÁ

**03**

ƯU VÀ NHƯỢC ĐIỂM

**04**

KẾT LUẬN



# PHƯƠNG PHÁP

# PHƯƠNG PHÁP

INPUT

$x^{(1)}, x^{(2)}, \dots, x^{(N)}$

N chuỗi thời gian đơn biến  
(N univariate time series)

T bước thời gian  
(Time steps)

D chiều quan sát  
(D-dimension observation)

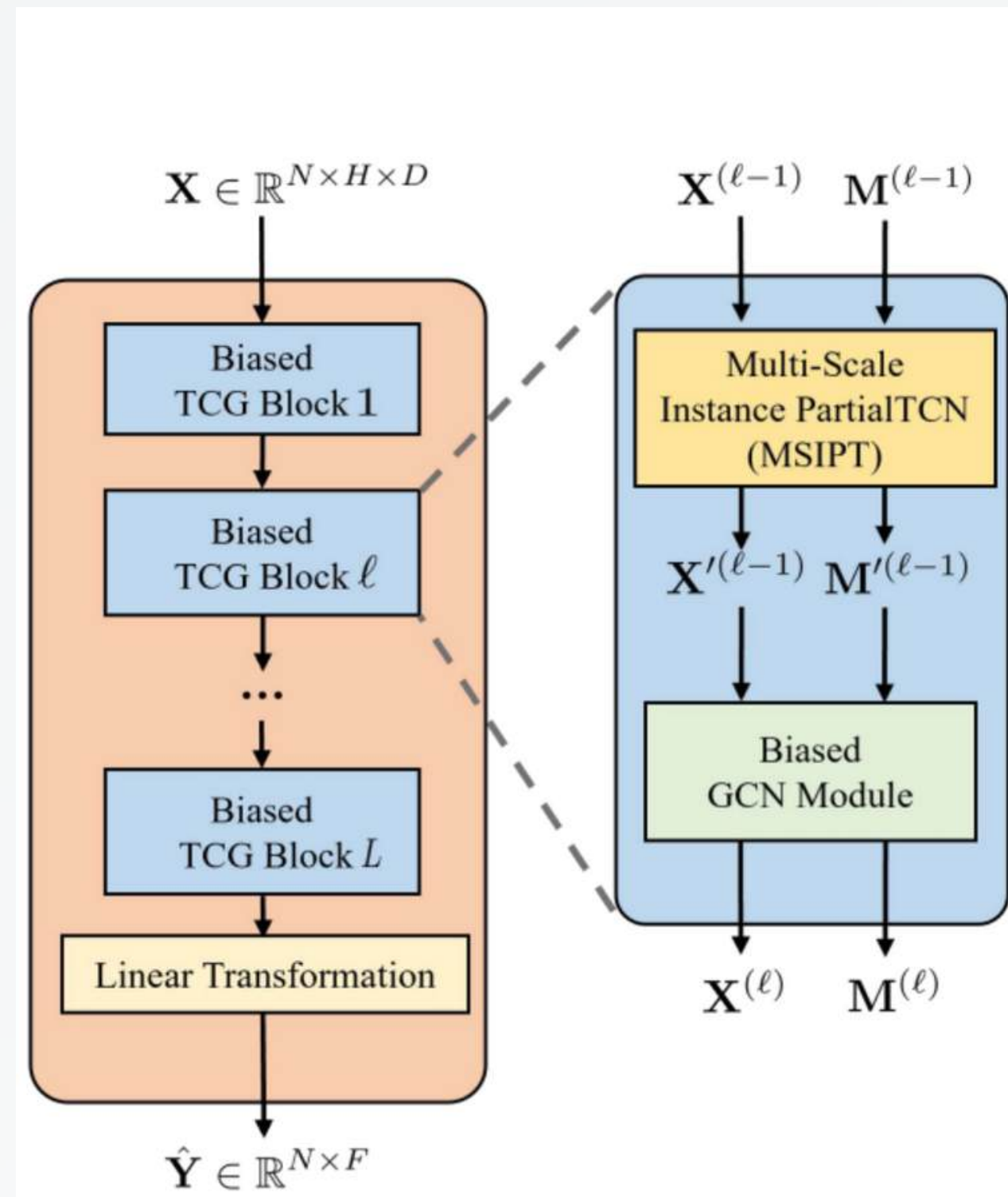
$$X \in \mathbb{R}^{N \times T \times D}$$

Chuỗi thời gian đa biến  
(Multivariate time series)



# PHƯƠNG PHÁP

## FRAMEWORK



# PHƯƠNG PHÁP

## TEMPORAL CONVOLUTION NETWORK

TCN



RNNs

TCN

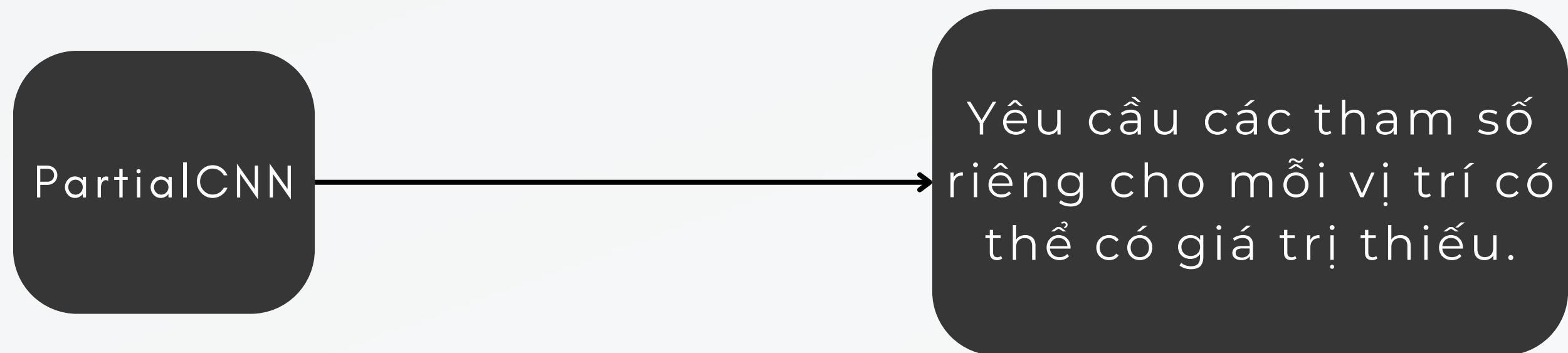


Partial Convolution

Computer  
Vision

# PHƯƠNG PHÁP

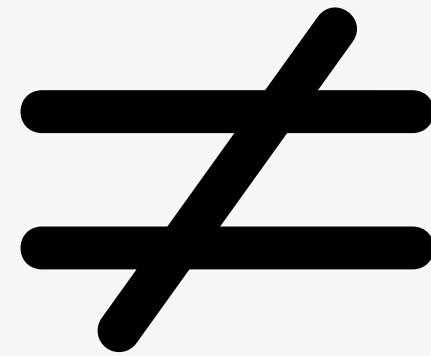
MULTI-SCALE INSTANCE PARTIALTCN MODULE





# PHƯƠNG PHÁP

PARTIALTCN



# PHƯƠNG PHÁP

INSTANCE PARTIALTCN MODULE

$$\begin{array}{c} W \in \mathbb{R}^{K \times D_i \times D_o} \\ \nwarrow \\ \overline{W} \\ \nearrow b \in \mathbb{R}^{D_o} \\ x' = \underbrace{x_{t-K:t}}_{x_{t-K:t} \in \mathbb{R}^{K \times D_i}} \overline{W} + \overline{b} \\ \swarrow \\ x' \in \mathbb{R}^{D_o} \end{array}$$

# PHƯƠNG PHÁP

## INSTANCE PARTIALTCN MODULE

Hiệu chỉnh kết quả tính toán về cùng 1 độ lớn với các tích chập trên những quan sát hoàn chỉnh

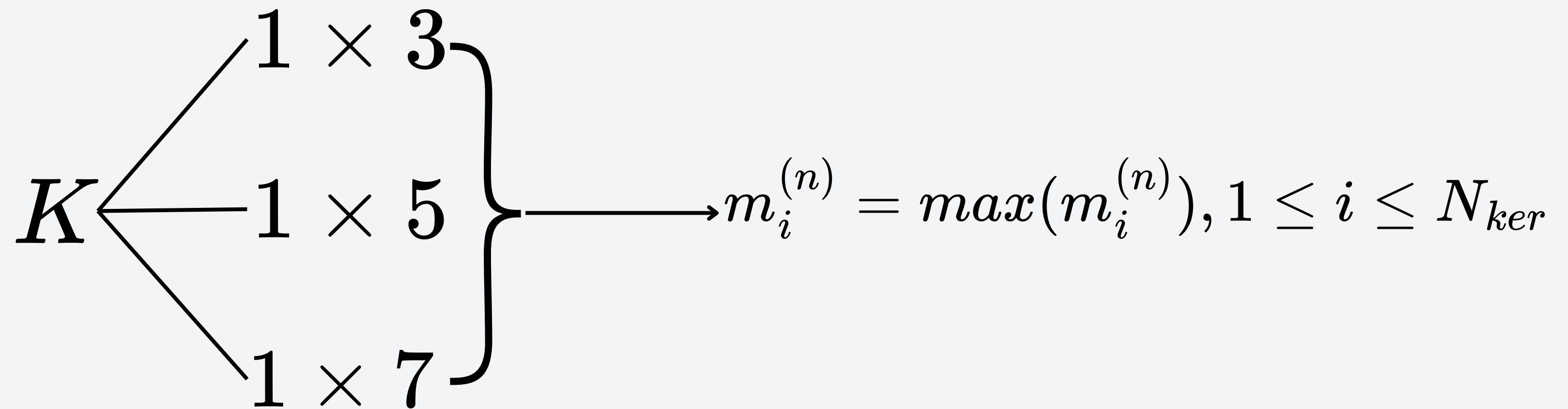
Tích Hadamard

$$x' = \begin{cases} \frac{K}{\text{sum}(m_{t-K:t})} (x_{t-K:t} \odot m_{t-K:t})W + b & \text{if } \text{sum}(m_{t-K:t}) > 0 \\ 0 & \text{otherwise,} \end{cases}$$

$$m_{t-1} = \begin{cases} 1 & \text{if } \text{sum}(m_{t-K:t}) > 0, \\ 0 & \text{otherwise.} \end{cases}$$

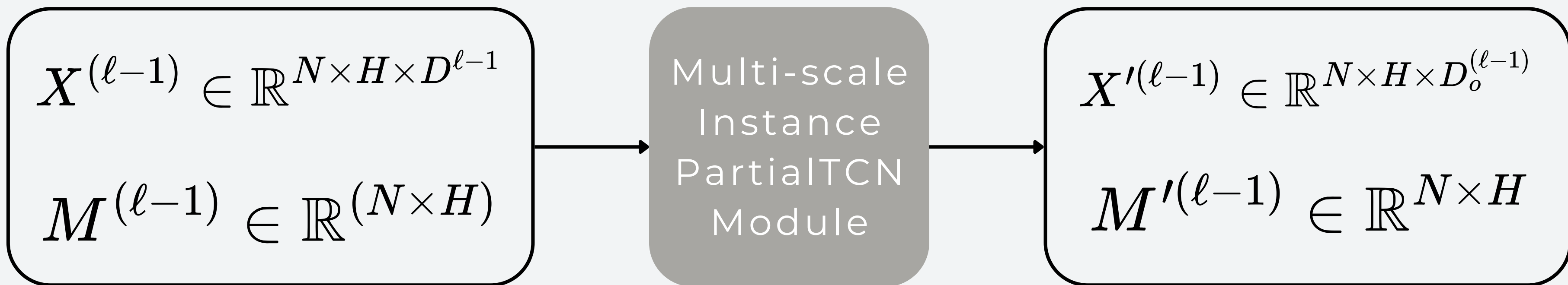
# PHƯƠNG PHÁP

MULTI-SCALE INSTANCE PARTIALTCN MODULE



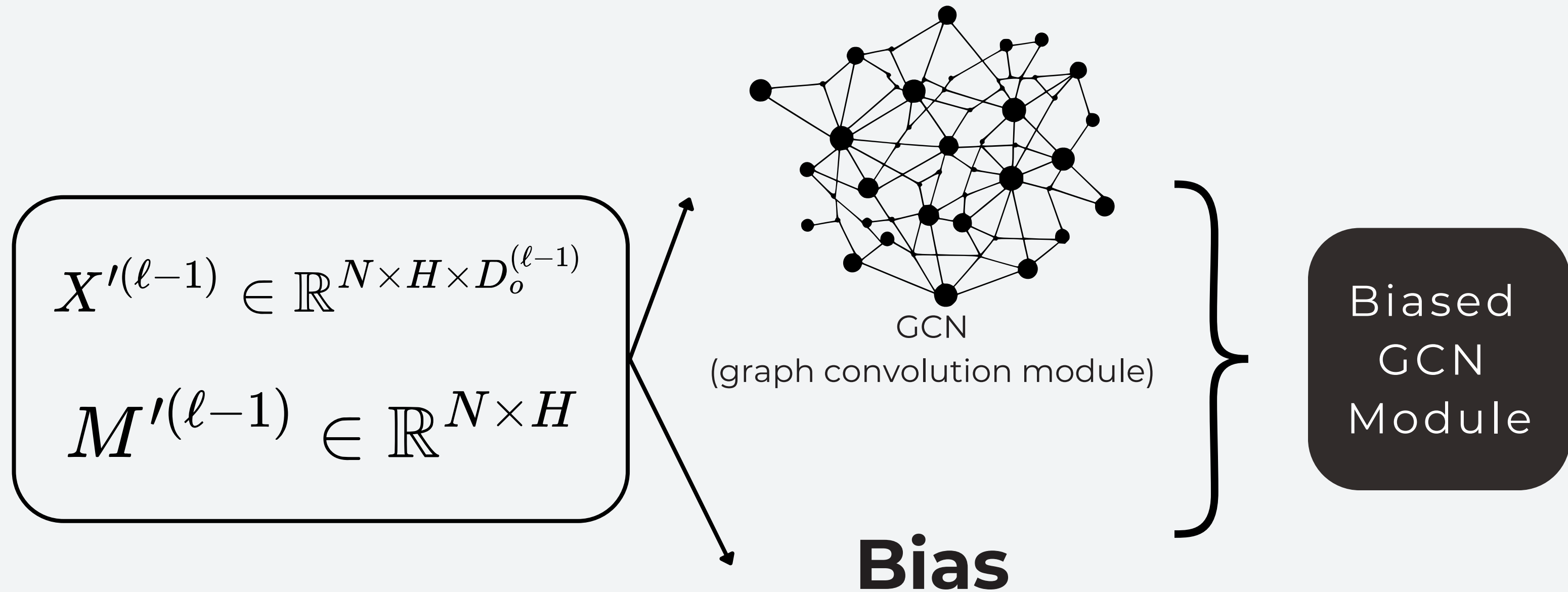
# PHƯƠNG PHÁP

## MULTI-SCALE INSTANCE PARTIALTCN MODULE



# PHƯƠNG PHÁP

## BIASED GCN MODULE



# PHƯƠNG PHÁP

## BIASED GCN MODULE

Ma trận  
nhúng

$$A = \text{ReLU}(\tanh(\overline{E_1 E_2^T}))$$

$e_i^{(1)}, e_i^{(2)}$  : vector nhúng của chuỗi thời gian thứ  $i$

$e_i^{(1)\top} e_j^{(2)}$  : đo lường mức tương quan từ node thứ  $i$  đến node thứ  $j$ .



# PHƯƠNG PHÁP

## BIASED GCN MODULE

$$A = \text{ReLU}(\tanh(E_1 E_2^\top)) + \beta \text{softmax}(M_{t-H:t} M_{t-H:t}^\top)$$

---

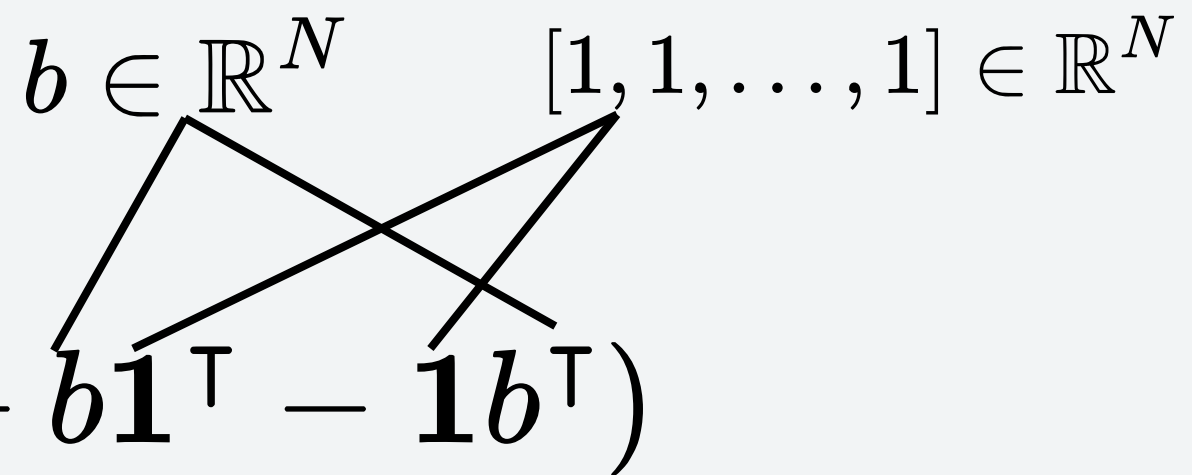
Cường độ tương quan  
không gian toàn cục

---

Độ lệch cụ thể cho cửa sổ thời  
gian so với mẫu thiếu hiện tại

# PHƯƠNG PHÁP

## BIASED GCN MODULE

$$B = \text{softmax}(M_{t-H:t} M_{t-H:t}^\top + \underbrace{b\mathbf{1}^\top - \mathbf{1}b^\top}_{\substack{\text{Độ lệch vô hướng} \\ \text{có thể học được}}})$$


$$A = \text{ReLU}(\tanh(E_1 E_2^\top)) + \beta B$$

# PHƯƠNG PHÁP

## BIASED GCN MODULE

$$m^{(i)} = \max(m^{(j)}), j \in i \cup N_i$$

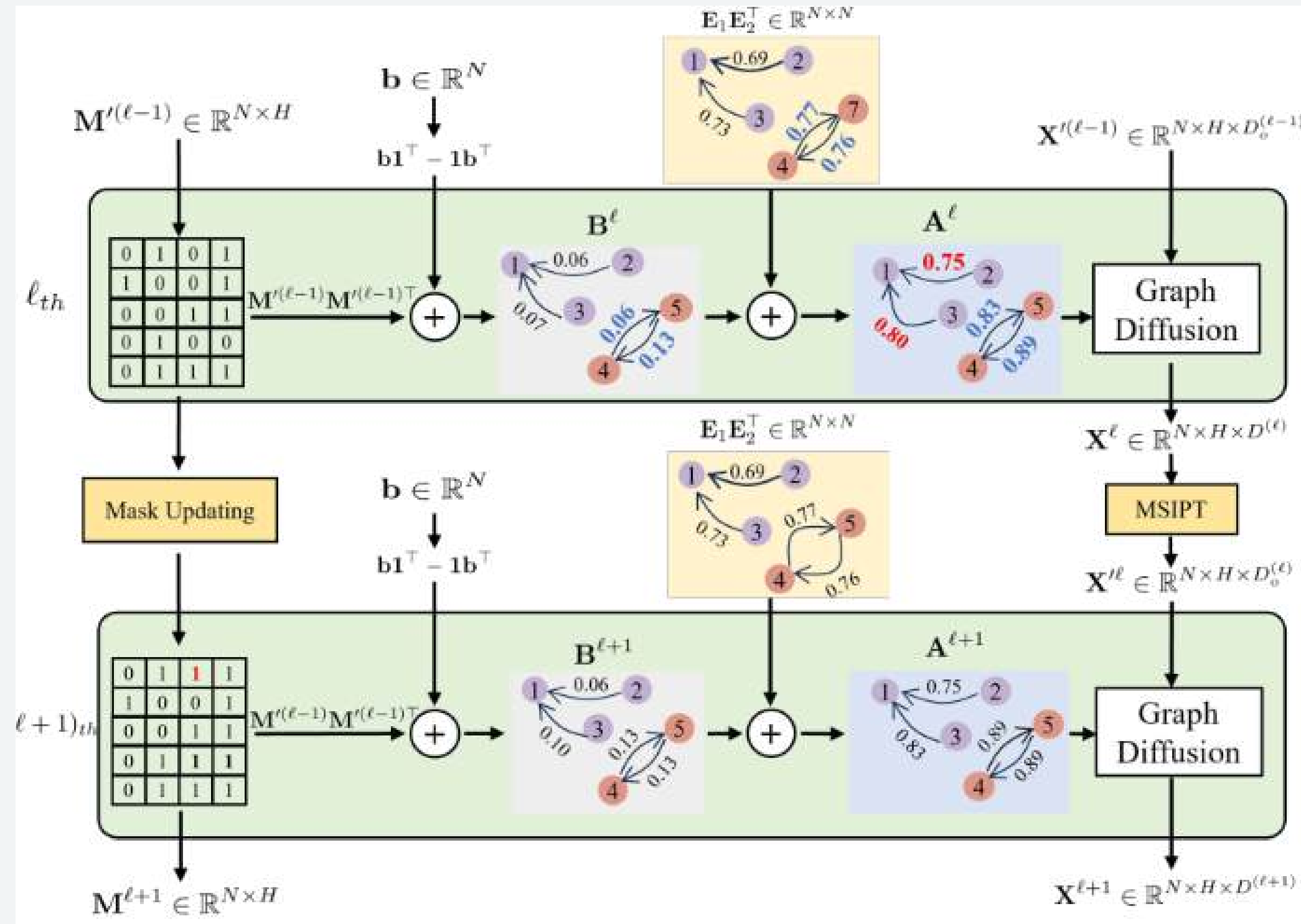
Ma trận được chuẩn hóa từ ma  
trận kề A

$$\mathbf{X}^{(\ell)} = \overline{(\mathbf{I} + \mathbf{D}_o^{-1} \mathbf{A} + \mathbf{D}_i^{-1} \mathbf{A}^\top)} \underline{\mathbf{X}'^{(\ell-1)} \Theta^{(\ell)}} + \mathbf{b}^{(\ell)}$$

Thực hiện một phép biến  
đổi tuyến tính trên đặc  
trưng đầu vào để trích  
xuất các đặc trưng mới

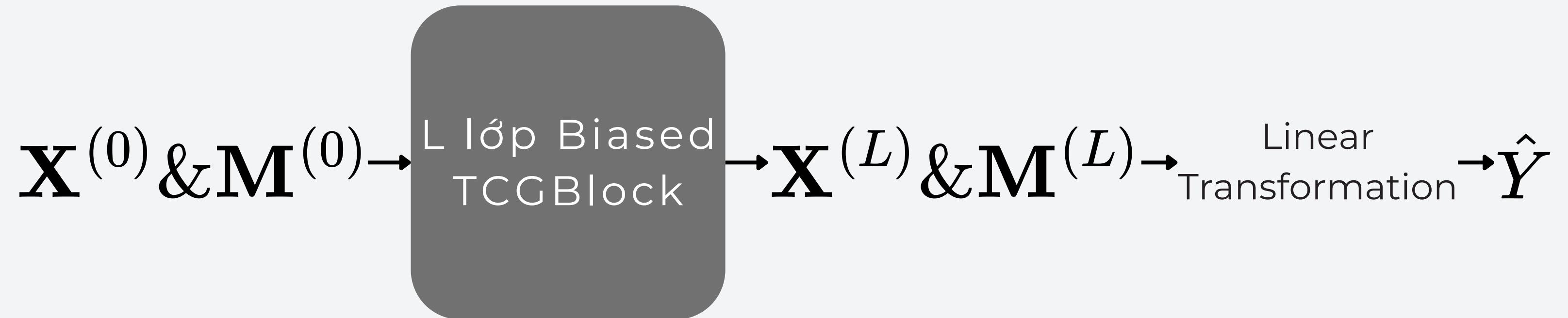
# PHƯƠNG PHÁP

## BIASED GCN MODULE



# PHƯƠNG PHÁP

## HIERARCHICAL ARCHITECTURE





# THỰC NGHIỆM & ĐÁNH GIÁ

# THỰC NGHIỆM & ĐÁNH GIÁ

INPUT



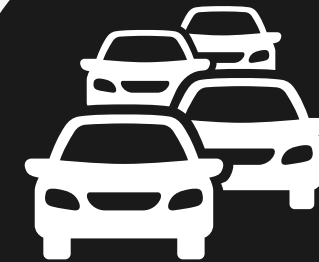
NAME	VALUE
#Samples (T)	34272
#Instances (N)	207
Frequency	5 min
Mean	53.72
Variance	410.53

METR-LA



NAME	VALUE
#Samples (T)	26304
#Instances (N)	321
Frequency	1h
Mean	2538.8
Variance	$2.3 \times 10^8$

ELECTRICITY



NAME	VALUE
#Samples (T)	26304
#Instances (N)	321
Frequency	1h
Mean	2538.8
Variance	$2.3 \times 10^8$

PEMS



# THỰC NGHIỆM & ĐÁNH GIÁ

INPUT



NAME	VALUE
#Samples (T )	17420
#Instances (N )	7
Frequency	1h
Mean	4.58
Variance	42.68

ETTH1



NAME	VALUE
#Samples (T )	8759
#Instances (N )	36
Frequency	1h
Mean	72.01
Variance	79.07

BEIJINGAIR

# THỰC NGHIỆM & ĐÁNH GIÁ

OUTPUT



$$\hat{Y} \in \mathbb{R}^{N \times F} \text{ — } F \text{ bước dự đoán tiếp theo}$$

N phần tử chuỗi thời gian đa biến

# THỰC NGHIỆM & ĐÁNH GIÁ

METRIC

Giá trị thực tế  
tại vị trí (i,j)

Giá trị dự đoán  
tại vị trí (i,j)

$$\text{MAE} = \frac{\sum_{ij \in \Omega} |y_{ij} - \hat{y}_{ij}|}{|\Omega|}$$

Tập hợp các chỉ số của  
các giá trị quan sát được

Đo lường mức độ sai lệch trung bình giữa giá trị dự đoán và giá trị thực tế.

# THỰC NGHIỆM & ĐÁNH GIÁ

## METRIC

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{ij \in \Omega} (y_{ij} - \hat{y}_{ij})^2}{|\Omega|}}$$

Đo lường mức độ sai lệch giữa giá trị dự đoán và giá trị thực tế, nhưng có sự nhấn mạnh vào các sai số lớn hơn do bình phương các sai lệch.

# THỰC NGHIỆM & ĐÁNH GIÁ

## METRIC

$$\text{MAPE} = \frac{\sum_{ij \in \Omega} \frac{|y_{ij} - \hat{y}_{ij}|}{|y_{ij}|}}{|\Omega|}$$

Đo lường mức độ sai lệch trung bình giữa giá trị dự đoán và giá trị thực tế dưới dạng phần trăm, giúp so sánh hiệu suất trên các chuỗi thời gian có quy mô khác nhau.

# THỰC NGHIỆM & ĐÁNH GIÁ

QUY TRÌNH XỬ LÝ DỮ LIỆU

Tạo dữ liệu tổng hợp → Window và Horizon → Train, Validation and Test data → StandardScaler → DataLoader



# THỰC NGHIỆM & ĐÁNH GIÁ

## KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM

Method (0.1)	PEMS		ETTh1		BeijingAir	
	MAE	RMSE	MAE	RMSE	MAE	RMSE
BRITS	$3.06 \pm 0.01$	$6.39 \pm 0.02$	$1.76 \pm 0.03$	$3.17 \pm 0.03$	$45.79 \pm 0.24$	$67.83 \pm 0.21$
SPIN	$2.03 \pm 0.00$	$4.62 \pm 0.00$	—	—	$44.93 \pm 0.03$	$68.13 \pm 0.75$
GRIN	$2.63 \pm 0.01$	$6.03 \pm 0.06$	—	—	$45.96 \pm 0.25$	$67.06 \pm 1.30$
GCNM	$2.13 \pm 0.02$	$5.29 \pm 0.07$	—	—	$47.68 \pm 0.11$	$68.29 \pm 0.09$
CRUs	$3.21 \pm 0.02$	$6.03 \pm 0.01$	$2.80 \pm 0.03$	$4.82 \pm 0.05$	$56.92 \pm 0.72$	$76.13 \pm 0.87$
AGCRN <sub>0</sub>	$5.10 \pm 0.07$	$10.07 \pm 0.06$	$2.39 \pm 0.04$	$4.76 \pm 0.08$	$55.50 \pm 0.12$	$81.31 \pm 0.19$
Transformer <sub>0</sub>	$2.75 \pm 0.07$	$6.15 \pm 0.02$	$1.88 \pm 0.05$	$3.25 \pm 0.07$	$48.58 \pm 0.07$	$69.50 \pm 0.21$
FEDformer <sub>0</sub>	$2.61 \pm 0.05$	$5.76 \pm 0.10$	$1.69 \pm 0.02$	$3.22 \pm 0.04$	$49.65 \pm 0.09$	$72.77 \pm 0.13$
STWA <sub>0</sub>	$2.01 \pm 0.04$	$4.57 \pm 0.03$	$1.75 \pm 0.00$	$3.15 \pm 0.00$	$46.71 \pm 0.14$	$70.10 \pm 0.07$
MTGNN <sub>0</sub>	$2.02 \pm 0.01$	$4.52 \pm 0.04$	$1.58 \pm 0.01$	$2.99 \pm 0.02$	$44.37 \pm 0.05$	$65.92 \pm 0.06$
AGCRN <sub>t</sub>	$5.08 \pm 0.02$	$10.05 \pm 0.00$	$2.16 \pm 0.03$	$4.29 \pm 0.05$	$47.08 \pm 0.26$	$69.62 \pm 0.37$
Transformer <sub>t</sub>	$2.54 \pm 0.02$	$6.05 \pm 0.03$	$1.72 \pm 0.01$	$3.25 \pm 0.13$	$47.43 \pm 0.16$	$69.69 \pm 0.08$
FEDformer <sub>t</sub>	$2.45 \pm 0.03$	$5.43 \pm 0.02$	$1.67 \pm 0.02$	$3.22 \pm 0.04$	$44.87 \pm 0.16$	$66.54 \pm 0.07$
STWA <sub>t</sub>	$1.98 \pm 0.02$	$3.51 \pm 0.04$	$1.64 \pm 0.01$	$3.04 \pm 0.02$	$45.28 \pm 0.13$	$68.93 \pm 0.04$
MTGNN <sub>t</sub>	$1.93 \pm 0.01$	$3.35 \pm 0.03$	$1.54 \pm 0.01$	$2.96 \pm 0.02$	$43.32 \pm 0.02$	$65.81 \pm 0.07$
BiTGraph	<b><math>1.56 \pm 0.02</math></b>	<b><math>2.97 \pm 0.02</math></b>	<b><math>1.51 \pm 0.01</math></b>	<b><math>2.92 \pm 0.02</math></b>	<b><math>42.11 \pm 0.11</math></b>	<b><math>65.53 \pm 0.23</math></b>



# THỰC NGHIỆM & ĐÁNH GIÁ

## KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM

Method ( $r = 0.1$ )	Metr-LA			Electricity		
	MAE	RMSE	MAPE	MAE	RMSE	MAPE
BRITS	$8.21 \pm 0.01$	$12.63 \pm 0.10$	$18.04 \pm 0.20$	$1027.47 \pm 3.92$	$10157.39 \pm 64.012$	$47.54 \pm 0.01$
SPIN	$6.36 \pm 0.00$	$11.07 \pm 0.01$	$12.00 \pm 0.00$	—	—	—
GRIN	$6.69 \pm 0.02$	$12.27 \pm 0.00$	$15.88 \pm 0.01$	—	—	—
GCN-M	$6.72 \pm 0.01$	$12.33 \pm 0.01$	$13.06 \pm 0.02$	—	—	—
CRU	$10.51 \pm 0.03$	$13.00 \pm 0.63$	$19.71 \pm 0.31$	$334.40 \pm 31.80$	$2923.44 \pm 39.73$	$24.99 \pm 0.72$
AGCRN <sub>0</sub>	$14.66 \pm 0.01$	$14.00 \pm 0.02$	$29.30 \pm 0.13$	$1361.11 \pm 8.39$	$12569.27 \pm 30.09$	$62.54 \pm 0.31$
Transformer <sub>0</sub>	$7.07 \pm 0.05$	$12.97 \pm 0.08$	$16.78 \pm 0.13$	$289.65 \pm 3.39$	$2296.17 \pm 27.77$	$25.08 \pm 0.32$
FEDformer <sub>0</sub>	$6.96 \pm 0.03$	$12.37 \pm 0.08$	$16.22 \pm 0.14$	$337.16 \pm 5.25$	$2713.72 \pm 33.37$	$30.24 \pm 0.28$
STWA <sub>0</sub>	$6.22 \pm 0.04$	$14.64 \pm 0.06$	$12.71 \pm 0.05$	$269.81 \pm 5.95$	$2039.64 \pm 24.06$	$22.39 \pm 0.33$
MTGNN <sub>0</sub>	$6.25 \pm 0.06$	$10.68 \pm 0.07$	$12.18 \pm 0.05$	$256.98 \pm 5.12$	$1974.50 \pm 14.69$	$20.95 \pm 0.26$
AGCRN <sub>t</sub>	$13.72 \pm 0.06$	$13.11 \pm 0.23$	$27.06 \pm 0.18$	$1109.57 \pm 3.95$	$10794.08 \pm 34.26$	$57.95 \pm 0.18$
Transformer <sub>t</sub>	$6.90 \pm 0.07$	$12.81 \pm 0.04$	$16.49 \pm 0.06$	$265.76 \pm 6.03$	$2064.82 \pm 23.51$	$20.06 \pm 0.27$
FEDformer <sub>t</sub>	$6.61 \pm 0.03$	$11.09 \pm 0.10$	$13.23 \pm 0.06$	$283.63 \pm 2.15$	$2269.11 \pm 19.86$	$23.23 \pm 0.18$
STWA <sub>t</sub>	$6.17 \pm 0.02$	$10.82 \pm 0.09$	$12.14 \pm 0.04$	$248.87 \pm 3.79$	$1945.16 \pm 23.20$	$18.20 \pm 0.16$
MTGNN <sub>t</sub>	$6.10 \pm 0.02$	<b><math>10.69 \pm 0.03</math></b>	$12.02 \pm 0.08$	$254.67 \pm 3.22$	$1994.07 \pm 25.99$	$22.41 \pm 0.26$
BiTGraph	<b><math>5.96 \pm 0.01</math></b>	$10.71 \pm 0.00$	<b><math>11.13 \pm 0.02</math></b>	<b><math>231.70 \pm 1.76</math></b>	<b><math>1823.18 \pm 25.49</math></b>	<b><math>17.93 \pm 0.27</math></b>



# THỰC NGHIỆM & ĐÁNH GIÁ

## KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM

Method (0.8)	PEMS		ETTh1		BeijingAir	
	MAE	RMSE	MAE	RMSE	MAE	RMSE
BRITS	$3.26 \pm 0.10$	$7.02 \pm 0.03$	$2.14 \pm 0.01$	$3.81 \pm 0.09$	$46.75 \pm 0.59$	$68.17 \pm 0.87$
SPIN	$2.26 \pm 0.01$	$5.03 \pm 0.02$	–	–	<b><math>44.94 \pm 0.13</math></b>	<b><math>66.58 \pm 0.25</math></b>
GRIN	$2.96 \pm 0.02$	$6.70 \pm 0.12$	–	–	$52.07 \pm 0.92$	$74.60 \pm 1.85$
GCN-M	$2.54 \pm 0.02$	$5.77 \pm 0.04$	–	–	$52.57 \pm 0.08$	$73.71 \pm 0.14$
CRUs	$3.15 \pm 0.01$	$6.07 \pm 0.01$	$3.15 \pm 0.11$	$5.31 \pm 0.09$	$57.10 \pm 1.45$	$73.18 \pm 0.14$
AGCRN <sub>0</sub>	$5.09 \pm 0.00$	$10.07 \pm 0.02$	$3.18 \pm 0.12$	$6.02 \pm 0.02$	$55.59 \pm 0.03$	$81.58 \pm 0.10$
Transformer <sub>0</sub>	$2.97 \pm 0.06$	$6.73 \pm 0.08$	$2.81 \pm 0.07$	$5.20 \pm 0.06$	$52.47 \pm 0.03$	$73.10 \pm 0.16$
FEDformer <sub>0</sub>	$2.89 \pm 0.04$	$6.37 \pm 0.06$	$2.59 \pm 0.03$	$5.78 \pm 0.02$	$56.94 \pm 0.04$	$81.88 \pm 0.09$
STWA <sub>0</sub>	$2.34 \pm 0.04$	$5.16 \pm 0.02$	$2.56 \pm 0.02$	$4.41 \pm 0.03$	$52.07 \pm 0.11$	$74.95 \pm 0.08$
MTGNN <sub>0</sub>	$2.39 \pm 0.02$	$5.18 \pm 0.09$	$2.46 \pm 0.04$	$5.30 \pm 0.02$	$53.05 \pm 0.02$	$73.57 \pm 0.10$
AGCRN <sub>t</sub>	$5.10 \pm 0.01$	$10.07 \pm 0.01$	$3.16 \pm 0.09$	$5.25 \pm 0.12$	$55.48 \pm 0.05$	$78.86 \pm 0.13$
Transformer <sub>t</sub>	$2.85 \pm 0.07$	$6.29 \pm 0.11$	$2.51 \pm 0.01$	$4.98 \pm 0.07$	$50.09 \pm 0.06$	$72.00 \pm 0.07$
FEDformer <sub>t</sub>	$2.76 \pm 0.03$	$6.18 \pm 0.02$	$2.55 \pm 0.02$	$4.69 \pm 0.06$	$49.83 \pm 0.15$	$71.22 \pm 0.08$
STWA <sub>t</sub>	$2.27 \pm 0.02$	$5.00 \pm 0.01$	$2.11 \pm 0.02$	$3.73 \pm 0.04$	$46.97 \pm 0.06$	$72.93 \pm 0.07$
MTGNN <sub>t</sub>	$2.21 \pm 0.01$	$4.89 \pm 0.01$	$2.01 \pm 0.01$	$3.73 \pm 0.02$	$45.93 \pm 0.04$	$68.17 \pm 0.11$
BiTGraph	<b><math>2.15 \pm 0.01</math></b>	<b><math>4.73 \pm 0.02</math></b>	<b><math>1.91 \pm 0.01</math></b>	<b><math>3.54 \pm 0.01</math></b>	$45.47 \pm 0.17$	$66.98 \pm 0.29$



# THỰC NGHIỆM & ĐÁNH GIÁ

## KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM

Method ( $r = 0.8$ )	MAE	Metr-LA RMSE	MAPE	MAE	Electricity RMSE	MAPE
BRITS	$8.56 \pm 0.09$	$13.03 \pm 0.18$	$18.92 \pm 0.09$	$1027.28 \pm 0.50$	$10150.54 \pm 31.05$	$48.04 \pm 0.02$
SPIN	$6.68 \pm 0.31$	$11.42 \pm 0.35$	$14.41 \pm 1.20$	—	—	—
GRIN	$8.00 \pm 0.02$	$12.68 \pm 0.09$	$18.35 \pm 0.05$	—	—	—
GCN-M	$7.75 \pm 0.03$	$11.65 \pm 0.04$	$17.94 \pm 0.02$	—	—	—
CRUs	$11.35 \pm 0.12$	$14.06 \pm 0.70$	$22.08 \pm 0.22$	$623.63 \pm 13.07$	$7033.29 \pm 17.85$	$33.29 \pm 0.74$
AGCRN <sub>0</sub>	$14.86 \pm 0.01$	$14.27 \pm 0.02$	$29.92 \pm 0.08$	$2351.41 \pm 26.79$	$16824.28 \pm 29.33$	$207.77 \pm 0.56$
Transformer <sub>0</sub>	$8.06 \pm 0.02$	$12.82 \pm 0.05$	$18.37 \pm 0.11$	$398.99 \pm 6.62$	$3612.37 \pm 24.19$	$30.07 \pm 0.18$
FEDformer <sub>0</sub>	$7.83 \pm 0.05$	$12.97 \pm 0.14$	$17.93 \pm 0.06$	$676.93 \pm 5.62$	$7859.76 \pm 31.13$	$64.79 \pm 0.35$
STWA <sub>0</sub>	$7.57 \pm 0.06$	$12.15 \pm 0.07$	$17.31 \pm 0.12$	$376.26 \pm 5.36$	$3512.37 \pm 22.09$	$31.15 \pm 0.08$
MTGNN <sub>0</sub>	$7.45 \pm 0.03$	$12.21 \pm 0.08$	$17.22 \pm 0.09$	$383.89 \pm 6.72$	$3539.74 \pm 15.22$	$30.29 \pm 0.11$
AGCRN <sub>t</sub>	$14.88 \pm 0.01$	$14.20 \pm 0.05$	$29.92 \pm 0.10$	$1841.76 \pm 6.87$	$17376.51 \pm 44.79$	$70.38 \pm 0.56$
Transformer <sub>t</sub>	$7.32 \pm 0.04$	$12.96 \pm 0.08$	$16.87 \pm 0.05$	$391.83 \pm 4.17$	$3451.33 \pm 5.62$	$32.26 \pm 0.17$
FEDformer <sub>t</sub>	$7.33 \pm 0.06$	$13.17 \pm 0.06$	$16.71 \pm 0.04$	$380.06 \pm 3.39$	$3335.18 \pm 20.10$	$31.56 \pm 0.13$
STWA <sub>t</sub>	$6.90 \pm 0.03$	$11.30 \pm 0.05$	$13.69 \pm 0.07$	$362.25 \pm 3.21$	$3156.68 \pm 24.41$	$29.22 \pm 0.15$
MTGNN <sub>t</sub>	$6.79 \pm 0.04$	<b><math>11.05 \pm 0.07</math></b>	$13.54 \pm 0.10$	$355.68 \pm 5.11$	$3023.30 \pm 11.46$	$28.78 \pm 0.31$
BiTGraph	<b><math>6.63 \pm 0.01</math></b>	<u><math>11.20 \pm 0.00</math></u>	<b><math>13.44 \pm 0.02</math></b>	<b><math>347.35 \pm 1.76</math></b>	<b><math>2839.79 \pm 25.49</math></b>	<b><math>27.97 \pm 0.27</math></b>

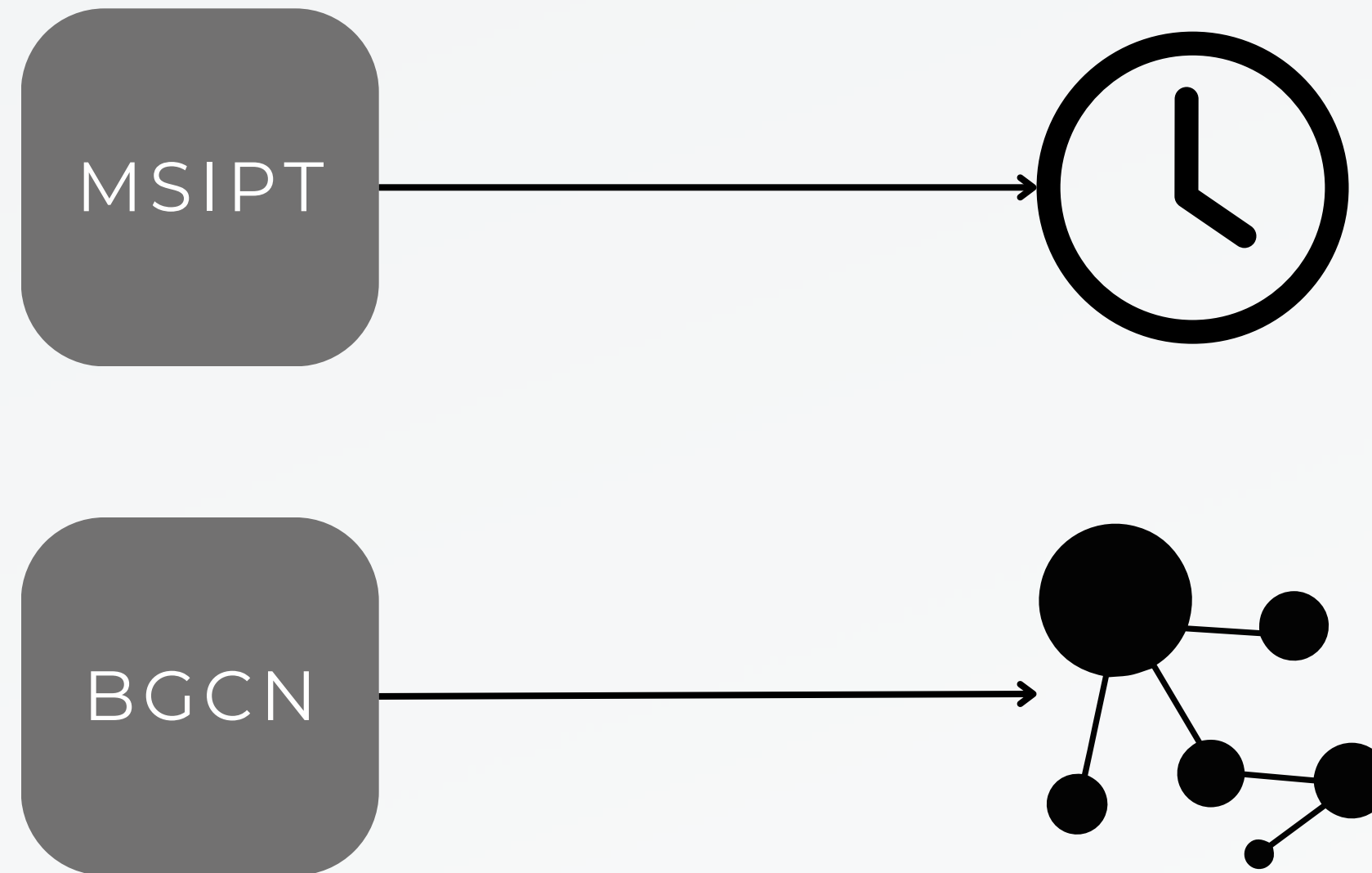
# THỰC NGHIỆM & ĐÁNH GIÁ

## ĐÁNH GIÁ

- Kết quả đa phần tốt hơn so với những phương pháp khác.
- Chạy thực nghiệm nhiều lần thì sai số lệch có vẻ cao hơn so với kết quả của nhóm nghiên cứu.
- Trung bình 1 lần chạy thực nghiệm sẽ tốn 20 - 120 phút.

# THỰC NGHIỆM & ĐÁNH GIÁ

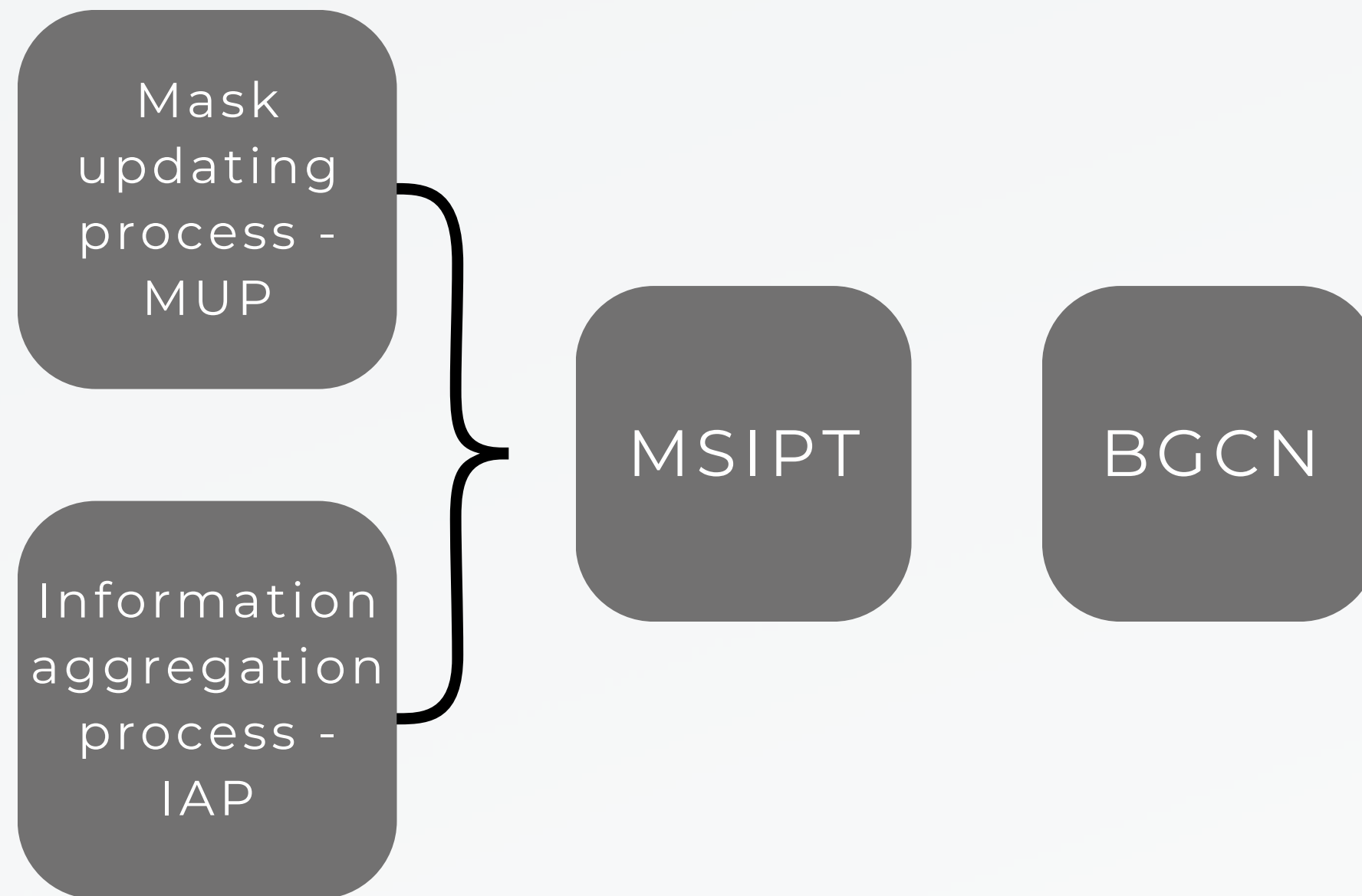
ABLATION STUDY





# THỰC NGHIỆM & ĐÁNH GIÁ

## ABLATION STUDY



# THỰC NGHIỆM & ĐÁNH GIÁ

## ABLATION STUDY

Missing Rate	Model	Metr		Electricity		PEMS	
		MAE	RMSE	MAE	RMSE	MAE	RMSE
0.2	TCGNet	$6.25 \pm 0.01$	$11.01 \pm 0.02$	$255.46 \pm 2.86$	$2026.43 \pm 35.79$	$1.94 \pm 0.00$	$4.35 \pm 0.02$
	w/o. MSIPT	$6.34 \pm 0.04$	$11.25 \pm 0.05$	$279.73 \pm 4.91$	$2159.16 \pm 28.74$	$1.97 \pm 0.02$	$4.40 \pm 0.04$
	w/o. BGCN	$6.26 \pm 0.03$	$11.33 \pm 0.03$	$263.69 \pm 3.32$	$2029.16 \pm 25.56$	$1.94 \pm 0.00$	$4.37 \pm 0.03$
	w/o. Eq. 9	$6.14 \pm 0.02$	$10.72 \pm 0.02$	$250.75 \pm 5.01$	$2020.13 \pm 36.75$	$1.94 \pm 0.02$	$4.33 \pm 0.03$
	w/o. Eq. 4	$6.12 \pm 0.01$	$10.91 \pm 0.03$	$246.18 \pm 2.89$	$2003.22 \pm 35.09$	$1.93 \pm 0.01$	$4.30 \pm 0.02$
	BiTGraph	<b><math>6.04 \pm 0.02</math></b>	<b><math>10.69 \pm 0.02</math></b>	<b><math>243.23 \pm 2.12</math></b>	<b><math>1834.18 \pm 15.36</math></b>	<b><math>1.90 \pm 0.01</math></b>	<b><math>4.28 \pm 0.01</math></b>
0.4	TCGNet	$6.41 \pm 0.03$	$11.14 \pm 0.04$	$284.39 \pm 5.26$	$2323.03 \pm 40.15$	$1.99 \pm 0.01$	$4.47 \pm 0.03$
	w/o. MSIPT	$6.48 \pm 0.02$	$11.20 \pm 0.03$	$299.34 \pm 4.17$	$2361.79 \pm 37.82$	$2.02 \pm 0.02$	$4.50 \pm 0.03$
	w/o. BGCN	$6.40 \pm 0.02$	$11.20 \pm 0.02$	$291.81 \pm 3.87$	$2337.69 \pm 31.98$	$1.98 \pm 0.01$	$4.45 \pm 0.02$
	w/o. Eq. 9	$6.18 \pm 0.01$	$10.81 \pm 0.04$	$282.12 \pm 2.88$	$2236.82 \pm 30.26$	$1.98 \pm 0.01$	<b><math>4.32 \pm 0.02</math></b>
	w/o. Eq. 4	$6.25 \pm 0.00$	$10.87 \pm 0.02$	$280.30 \pm 2.73$	$2277.50 \pm 28.49$	$1.97 \pm 0.01$	$4.34 \pm 0.01$
	BiTGraph	<b><math>6.13 \pm 0.01</math></b>	<b><math>10.76 \pm 0.02</math></b>	<b><math>270.14 \pm 3.77</math></b>	<b><math>2091.88 \pm 30.49</math></b>	<b><math>1.96 \pm 0.00</math></b>	$4.34 \pm 0.02$
0.6	TCGNet	$6.48 \pm 0.02$	$11.10 \pm 0.05$	$313.60 \pm 3.29$	$2372.36 \pm 36.19$	$2.04 \pm 0.02$	$4.55 \pm 0.02$
	w/o. MSIPT	$6.65 \pm 0.03$	$11.50 \pm 0.04$	$332.39 \pm 3.82$	$2469.15 \pm 33.63$	$2.09 \pm 0.02$	$4.62 \pm 0.04$
	w/o. BGCN	$6.65 \pm 0.02$	$11.94 \pm 0.01$	$322.68 \pm 2.74$	$2487.22 \pm 25.39$	$2.03 \pm 0.00$	$4.49 \pm 0.01$
	w/o. Eq. 9	$6.35 \pm 0.03$	$11.06 \pm 0.02$	$308.59 \pm 3.97$	$2366.39 \pm 32.16$	$2.03 \pm 0.01$	$4.52 \pm 0.02$
	w/o. Eq. 4	$6.38 \pm 0.02$	<b><math>10.84 \pm 0.02</math></b>	$301.25 \pm 2.05$	$2312.39 \pm 22.46$	$2.03 \pm 0.02$	$4.54 \pm 0.00$
	BiTGraph	<b><math>6.32 \pm 0.01</math></b>	$10.93 \pm 0.03$	<b><math>295.23 \pm 2.75</math></b>	<b><math>2239.06 \pm 26.39</math></b>	<b><math>1.99 \pm 0.01</math></b>	<b><math>4.47 \pm 0.01</math></b>



# THỰC NGHIỆM & ĐÁNH GIÁ

## HYPERPARAMETER SENSITIVITY

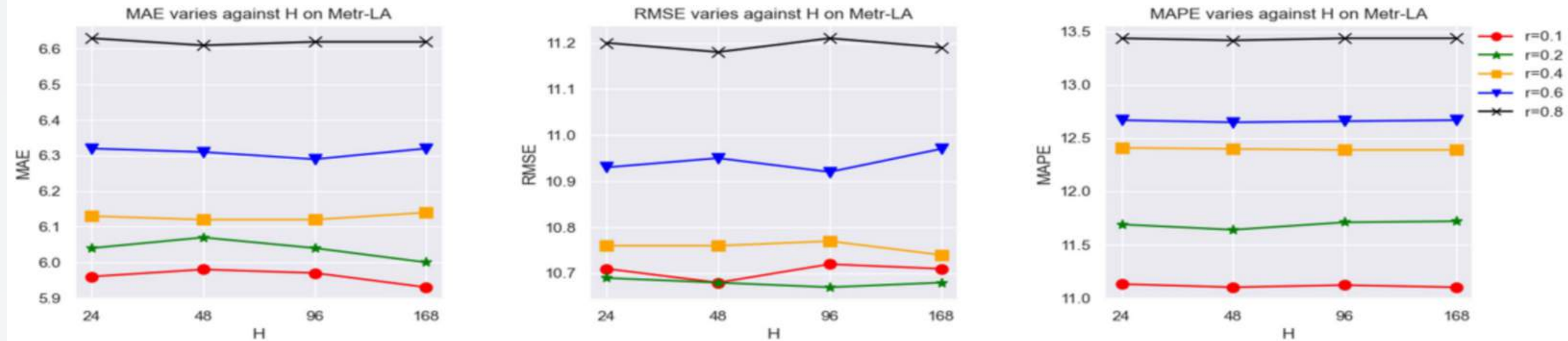


Figure 2: The performance under different window sizes with  $H=24, 48, 96$ , and  $168$

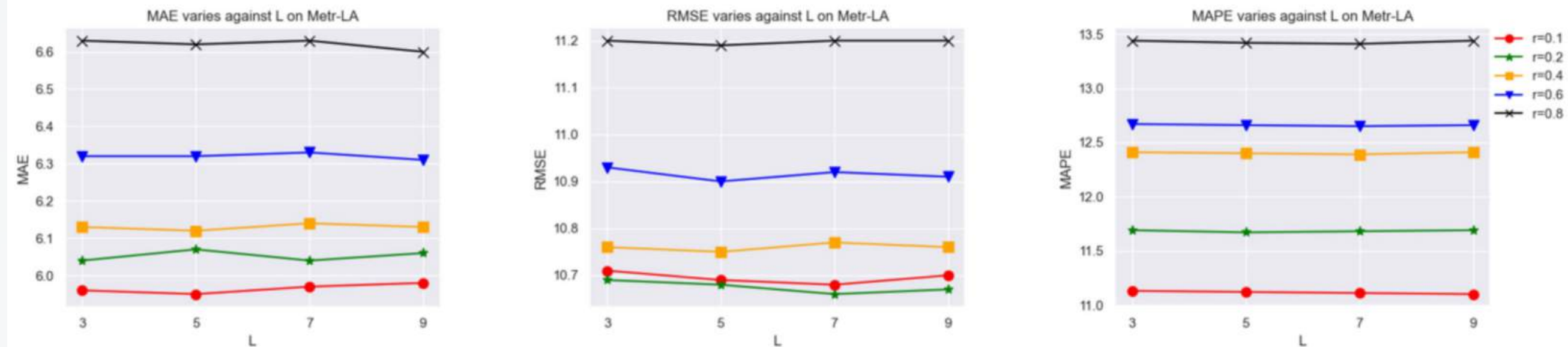


Figure 3: The performance under  $L=3, 5, 7$ , and  $9$

# THỰC NGHIỆM & ĐÁNH GIÁ

## ĐỘ NHẠY CẢM HYPERPARAMETER

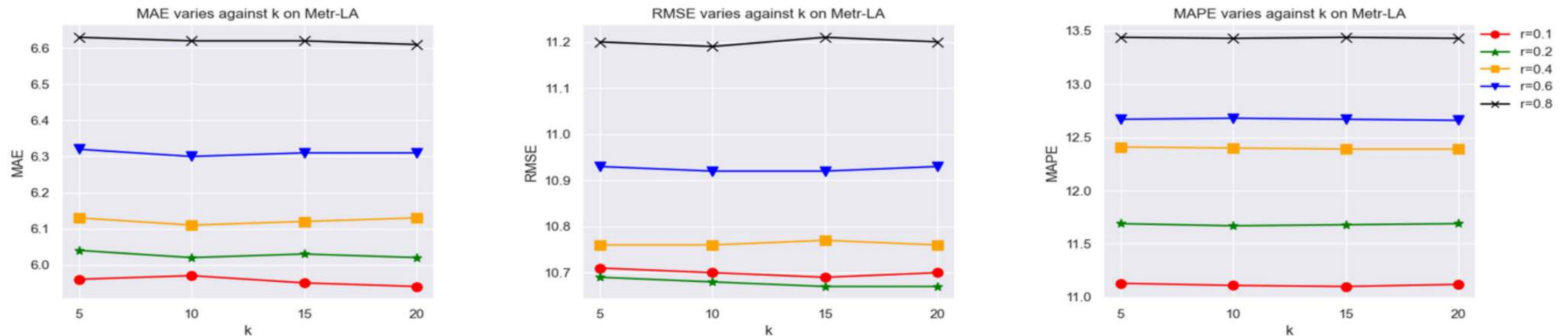


Figure 4: The performance under  $k = 5, 10, 15$ , and  $20$

# THỰC NGHIỆM & ĐÁNH GIÁ

## VAI TRÒ CỦA BETA

Table 8: The learned value of  $\beta$  on three datasets.

Dataset	0.2	0.4	0.6	0.8
Metr-LA	0.035	0.037	0.034	0.035
BeijingAir	0.475	0.463	0.471	0.467
ETTh1	0.397	0.391	0.419	0.419



# THỰC NGHIỆM & ĐÁNH GIÁ

TRỰC QUAN HÓA DỰ ĐOÁN (BITGRAPH VS MTGNN)

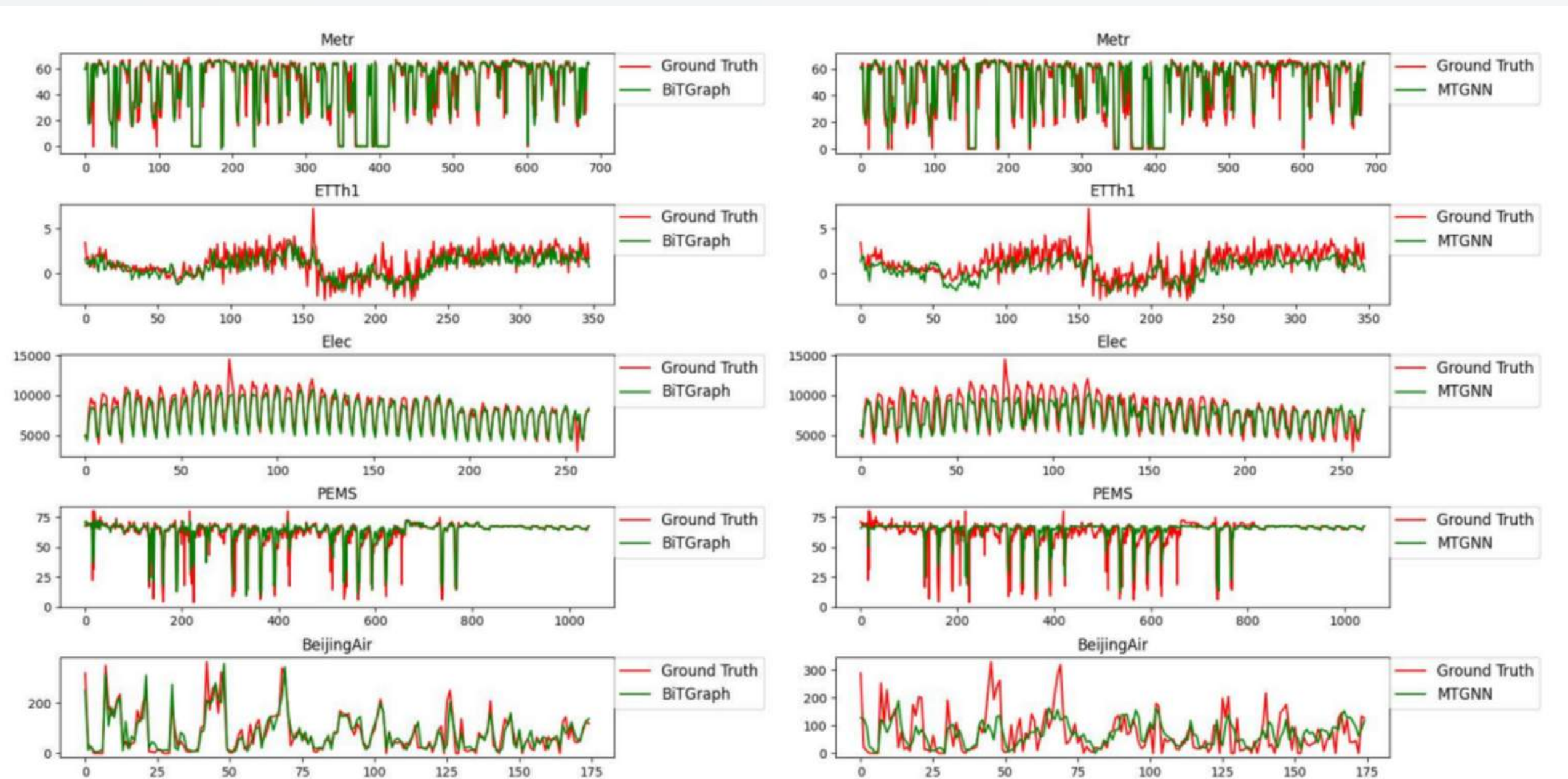


Figure 5: The forecasting curves produced by our BiTGraph on four datasets.

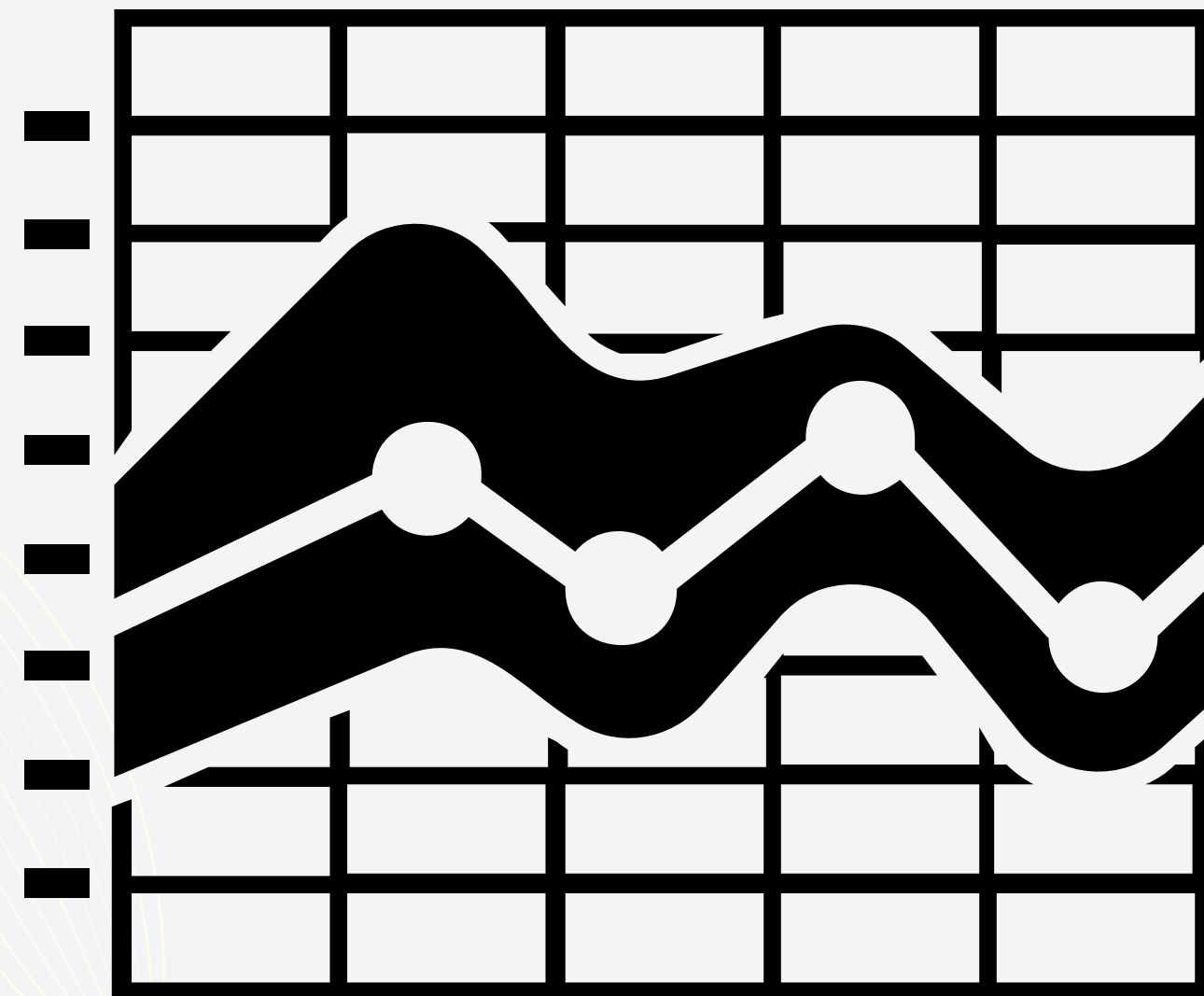
# THỰC NGHIỆM & ĐÁNH GIÁ

## MODEL COMPLEXITY ANALYSIS

Table 9: The model complexity of different methods.

Method	Memory Usage	#Parameters
BRITS	85.48M	173.72K
SPIN	10.85G	1.31K
GRIN	2.00G	12.76K
GCN-M	15.39G	396.50K
CRUs	41.97M	54.75K
AGCRN	10.17M	1.56K
MTGNN	250.55M	9.184K
Transformer	14.85G	15.46M
FEDformer	15.57G	16.08M
STWA	1.96G	256.50K
BiTGraph	194.17M	11.82K

# ƯU VÀ NHƯỢC ĐIỂM





# ƯU ĐIỂM

Mối lạ và  
thú vị

Xử lý giá  
trị thiếu  
hiệu quả

Hợp lý về  
mặt kỹ  
thuật

# NHƯỢC ĐIỂM

Không được đề cập



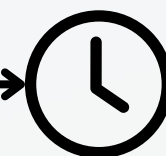


# KẾT LUẬN

# KẾT LUẬN

Hướng đi sau này

→ Transformer



→ Dự đoán lâu dài

Input

BiTGraph

↗ 9.93%

Output

**THANK'S FOR  
WATCHING**

