

MACD指標を用いた可用帯域推定法

長岡技術科学大学 大学院工学研究科
齋藤 綾太
中川 健治
渡部 康平

研究背景・目的

❖近年、インターネットで提供されるサービスは多様化し、帯域を大きく消費するサービスの増加

ex.

- 動画や音楽のストリーミングサービス
⇒Netflix, Hulu, Spotify, etc.
- テレビ電話, テレビ会議
⇒Skype, Zoom, etc.

それに伴い,

「**接続性**」や「**高速性**」だけでなく,

「**安定性**」や「**信頼性**」が求められる

研究背景・目的

要求を満たすために、

可用帯域幅（利用可能な帯域幅） を把握

End-to-Endによる可用帯域幅推定法

- pathChirp, ASSOLO, etc.
- ユーザトラヒックを流体であると仮定し、プローブパケットの遅延を比較することにより推定を行う
⇒ 推定精度低下の恐れがある

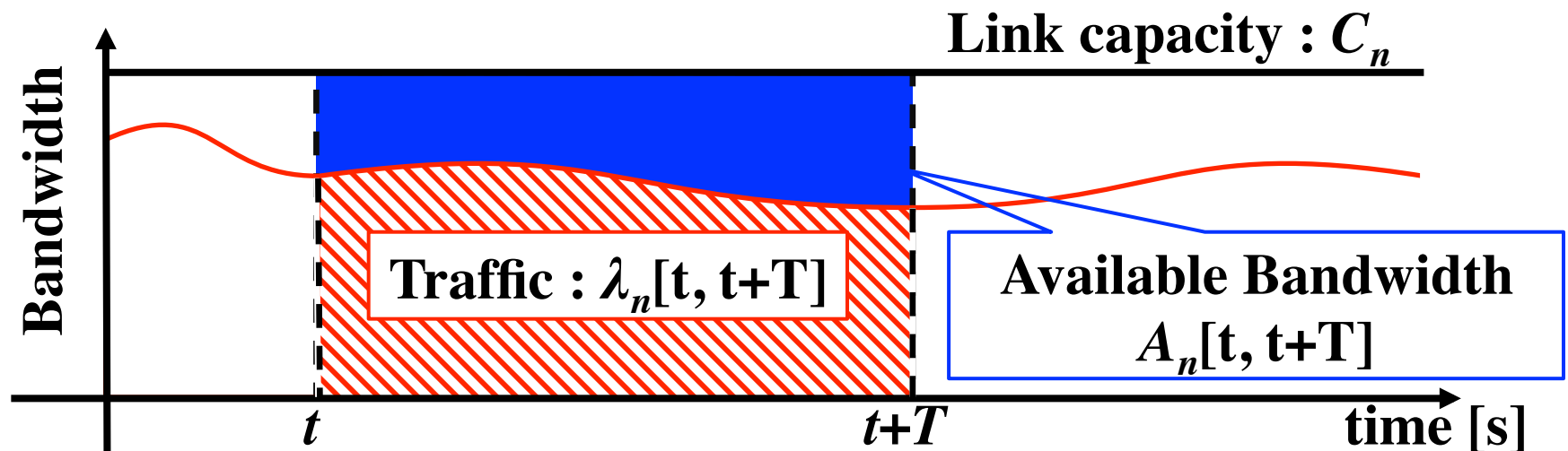
○目的

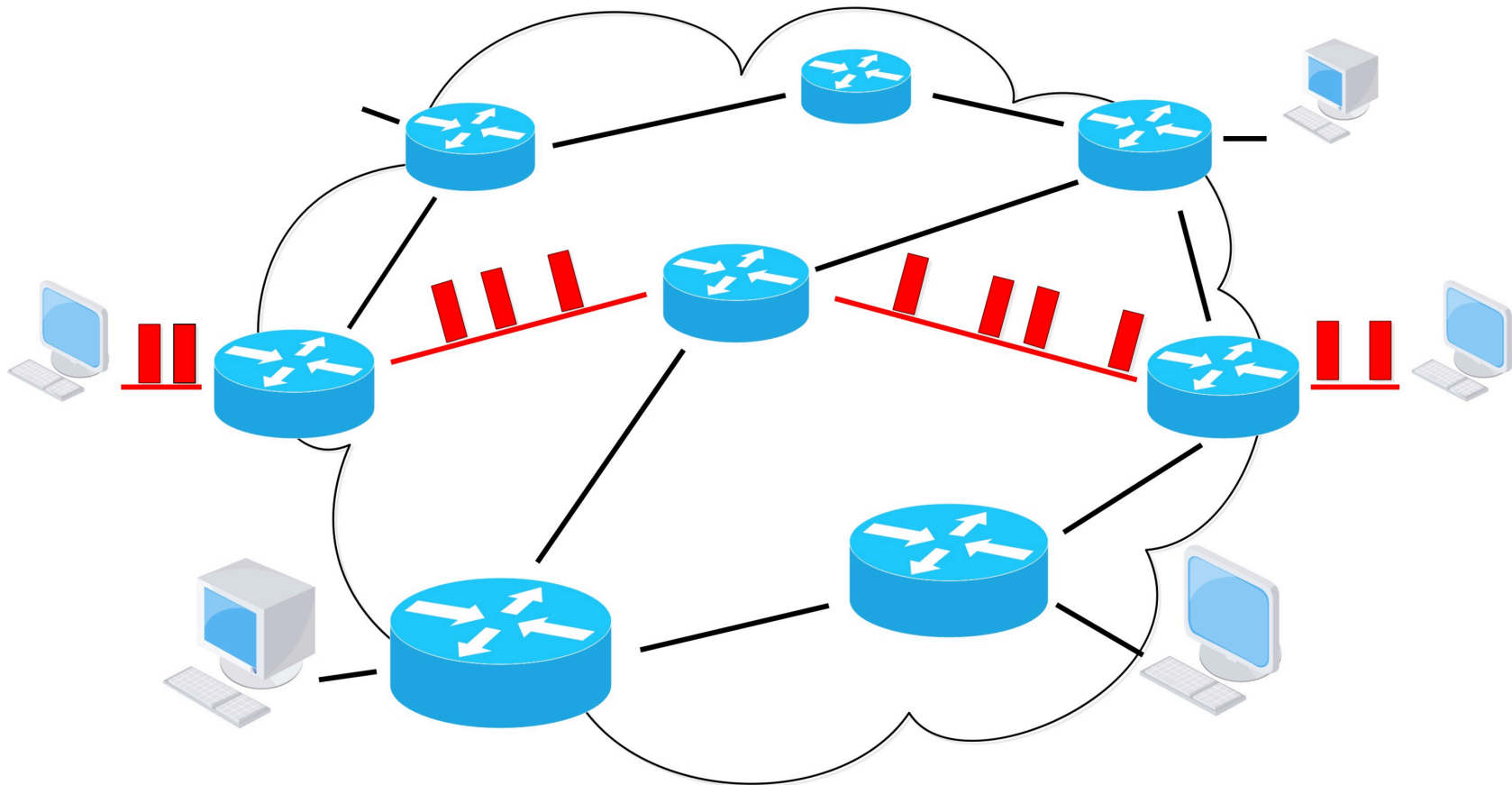
MACD指標を使用し、過去の遅延情報を考慮した推定法の提案
⇒ 従来法と比較して推定精度向上を目指す

可用帯域幅

❖ リンク n の可用帯域 A_n : リンク n を短い時間区間 T に通過したトラフィックのレート λ_n の平均をリンク容量 C_n から引いたもの
 従って, M 個のリンクからなるパスのEnd-to-Endにおける時刻 t の可用帯域 A は

$$A[t, t+T] = \min_{n=1,2,\dots,M} A_n = \min_{n=1,2,\dots,M} \left(C_n - \frac{\lambda_n[t, t+T]}{T} \right)$$





- ❖ 測定用のプローブパケットを用いる方法
- ❖ 可用推定方法は、PGM, PRMに分類される

アクティブ測定による測定

❖ PGM (Probe Gap Model)

- ペアパケット（連続する2つのプローブパケット）を固定レート（ボトルネックリンクの帯域）で送出
⇒ 事前に**ボトルネックリンクの帯域を把握する必要あり**
- ペアパケットの間隔の変化より推定

ネットワーク内で、
ペアパケット間にユーザパケットが挟まり、
受信側でペアパケット間の間隔が広がる

アクティブ測定による測定

❖ PRM (Probe Rate Model)

- パケットトレイン (N 個連続するプローブパケット) を固定送信レートまたは可変送信レートで送出
- 事前に**ボトルネックリンクの帯域を把握する必要無し**
- Self-Induced Congestionに基づき可用帯域を推定
⇒送信レートを徐々に上げ, 故意に輻輳を発生させる

可用帯域 $>$ 送信レート \Rightarrow 遅延は非増加傾向

可用帯域 $<$ 送信レート \Rightarrow 遅延は増加傾向

従来法：pathChirpの概要

❖ Chirpと呼ばれる可変送信レートのパケットトレイン

⇒ **単一パケットトレインで広範囲に可用帯域を探索**

❖ PRMに属する可用帯域推定方法

- 隣接するプローブパケットの片道遅延（OWD：One Way Delay）を比較し，OWDが増加傾向に転じる変化点探索

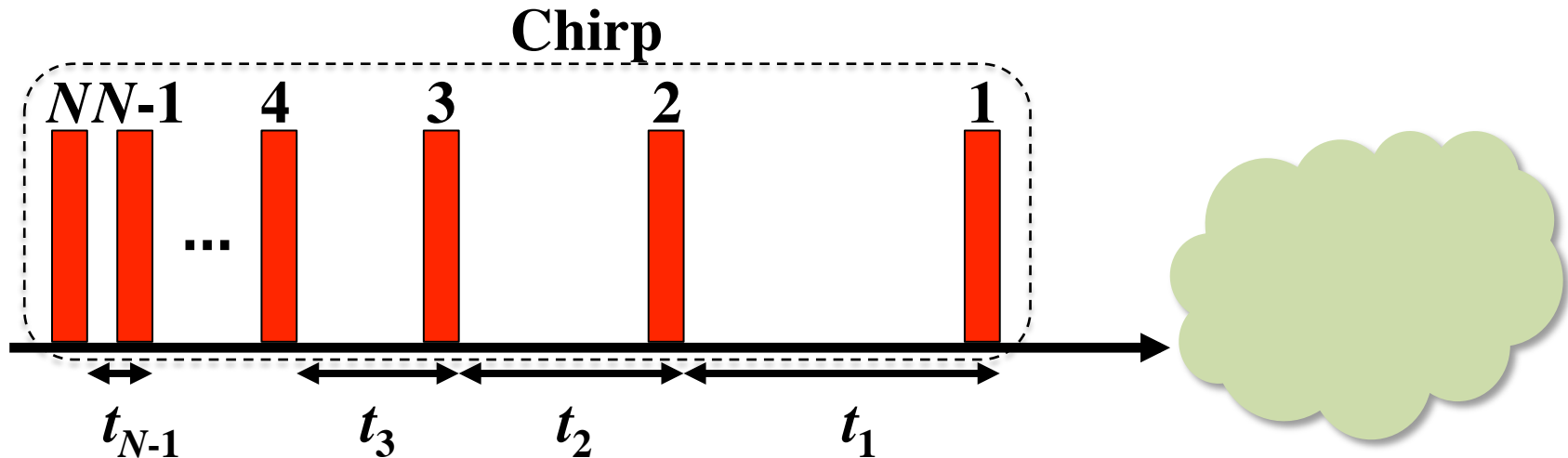
❖ 推定の流れ

各プローブパケットのOWD計測 → 変化点の探索

→ パケット毎の推定値および1トレインの推定値算出

→ 推定値のフィルタリング（単純移動平均）

従来法：pathChirp（送信側）



- ❖ プロビングパケットサイズ P を一定
- ❖ パケット間隔 t_i を指数関数的に減少させる

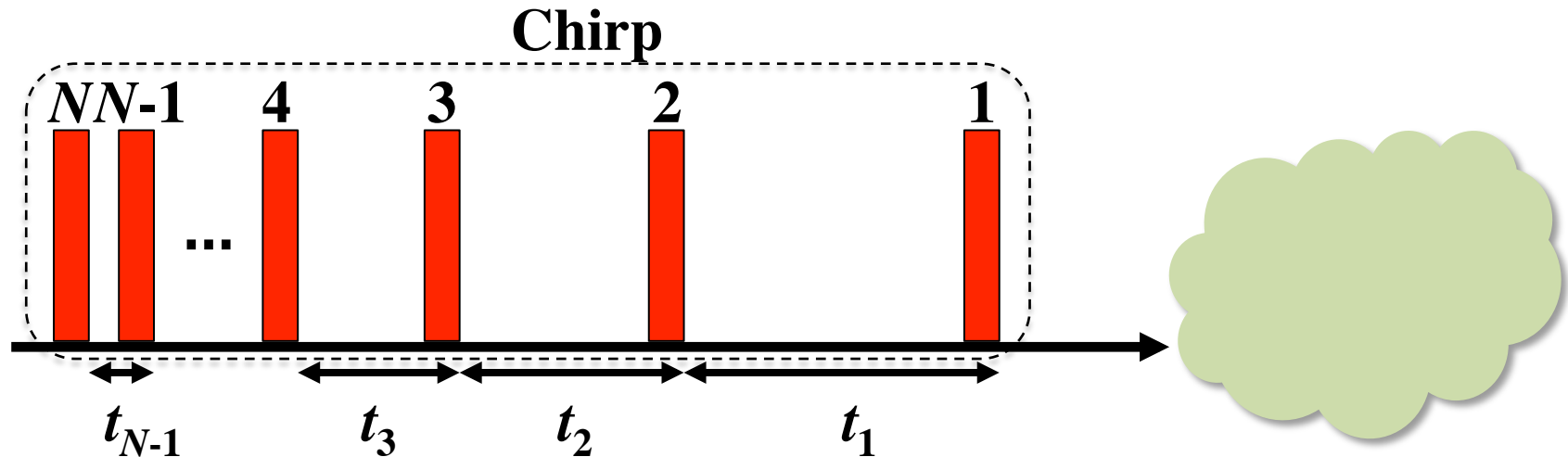
$$t_i = T / \gamma^{i-1}$$

- ❖ 瞬時レート R_i

$$R_i = \frac{P}{t_i} \quad (i = 1, 2, \dots, N - 1)$$

i : パケット番号
 γ : 減少係数
 N : パケット数

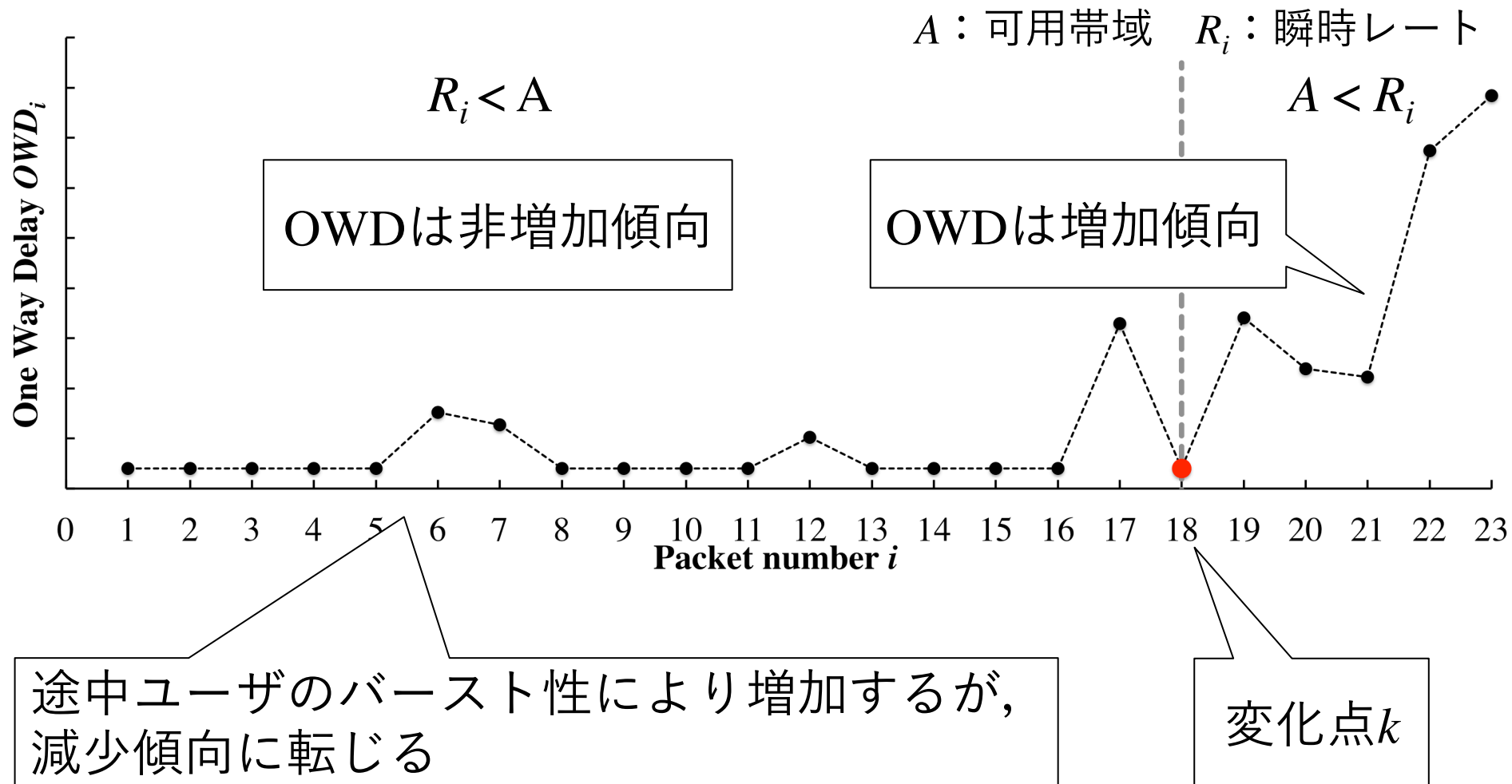
従来法：pathChirp（送信側）

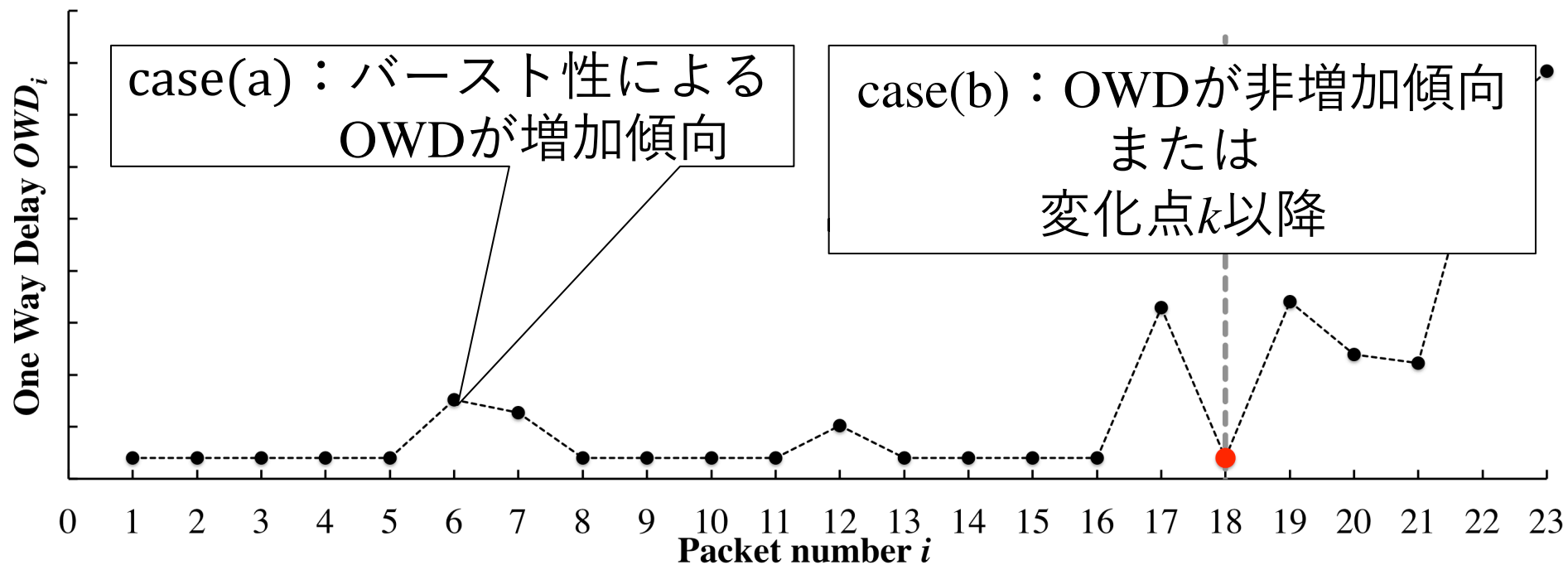


- ❖ 単一トレインで広範囲に可用帯域を探索
⇒ 固定送信レートの方法と比較して,

プローブパケットの使用量が少ない

可用帯域推定が高速





❖ パケット毎の推定値 E_i

$$E_i = \begin{cases} R_i & \text{if case(a)} \\ R_k & \text{else case(b)} \end{cases}$$

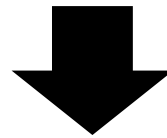
i : パケット番号
 k : 変化点
 R_i : 瞬時レート

従来法：pathChirp（受信側）

❖ j 番目のChirpによる可用帯域の推定値 D_j

$$D_j = \frac{\sum_{i=1}^{N-1} E_i t_i}{\sum_{i=1}^{N-1} t_i}$$

E_i	: パケット毎の推定値
t_i	: パケット間隔
N	: パケット数



❖ 推定値のフィルタリング（単純移動平均）

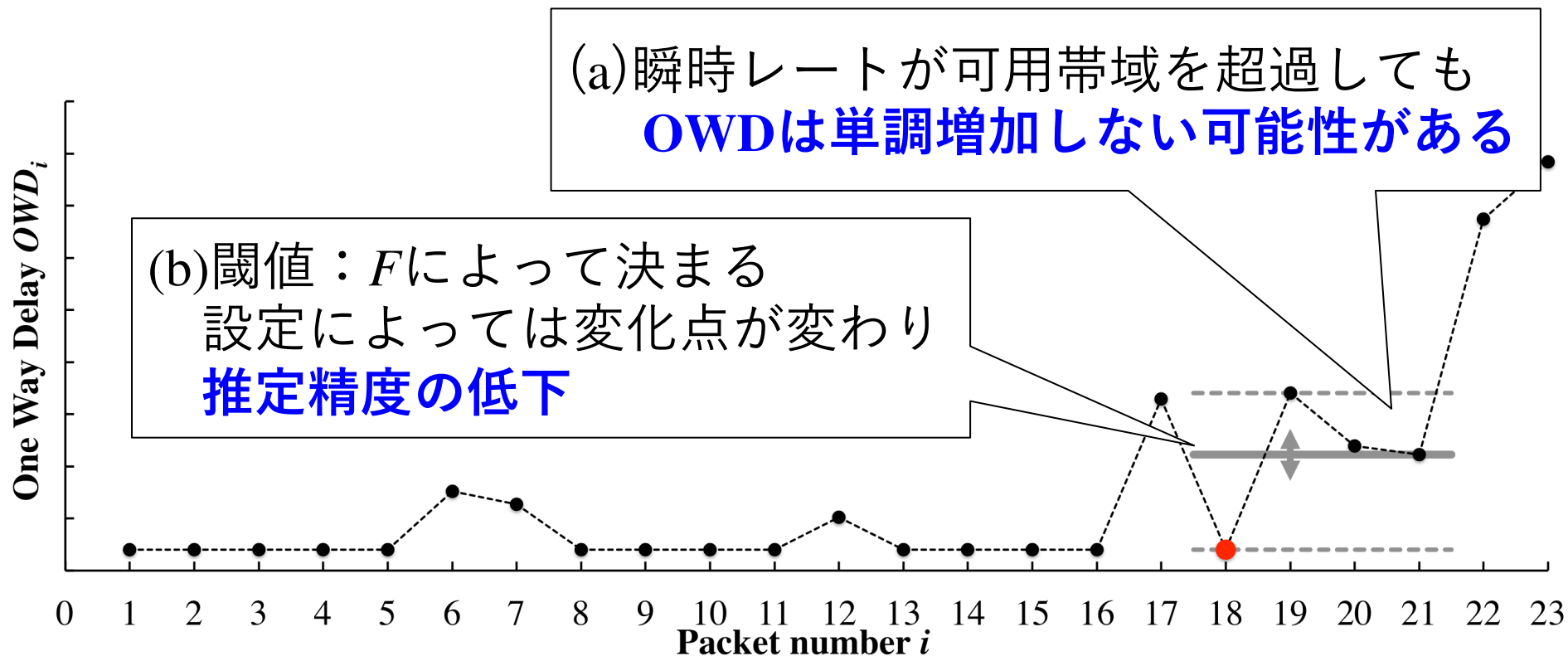
$$S_j = \frac{\sum_{t=j-M}^j D_t}{M}$$

S	: 平滑化後の推定値
j	: Chirp番号
M	: 平滑期間

(a) トラヒックは離散的である

↓ 閾値を設けて増加傾向の継続を判断

(b) 減少係数 F の決定が難しい



提案法の概要

- ❖ 可変送信レートのパケットトレインを使用
※今回はChirpを使用

利点：単一パケットトレインで広範囲に可用帯域を探索

- ❖ PRMに属する可用帯域推定方法
 - 受信側で各プローブパケットの片道遅延OWDの傾向を分析
⇒MACD指標により変化点を探索

意図：過去のOWDの傾向も考慮して変化点を探索する

- ❖ 推定の流れ

各プローブパケットのOWD計測→MACD指標で変化点の探索
→パケット毎の推定値および1トレインの推定値算出
→推定値のフィルタリング（調和平均）

提案法（受信側）

- ❖ 各プローブパケットの片道遅延を計測し、MACD指標により変化点を探索

MACD（Moving Average Convergence Divergence）指標
 ⇒EMA（指数平滑移動平均）を使用したトレンド解析

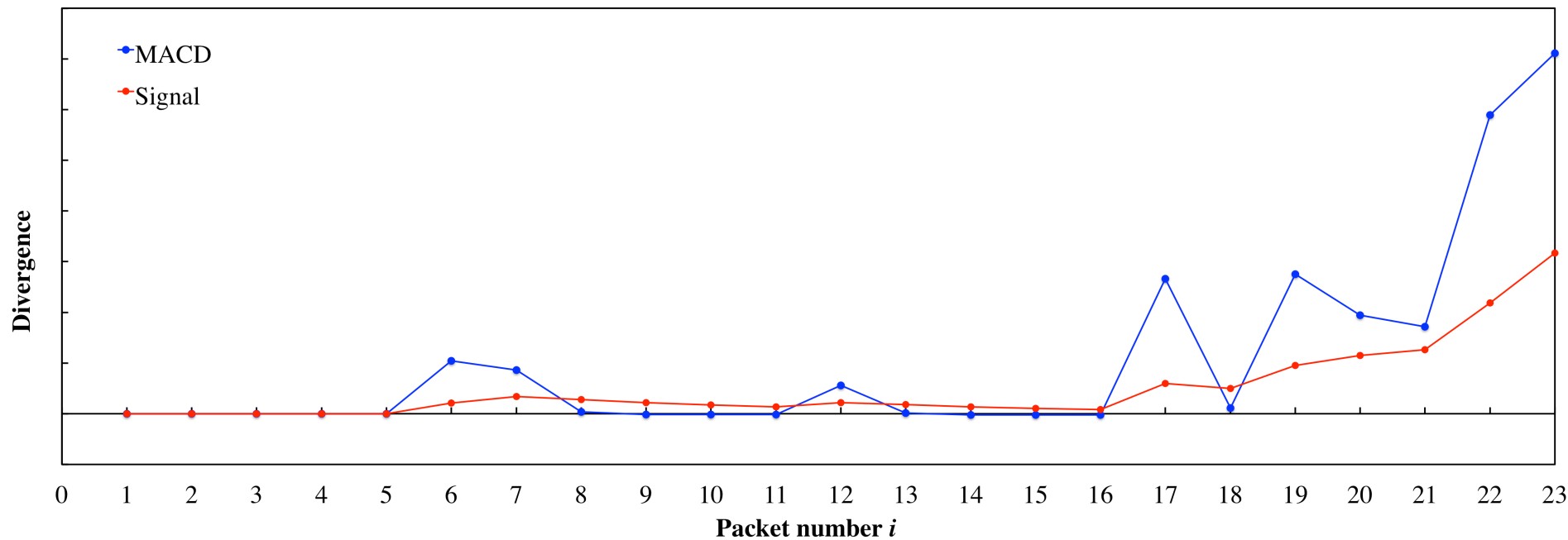
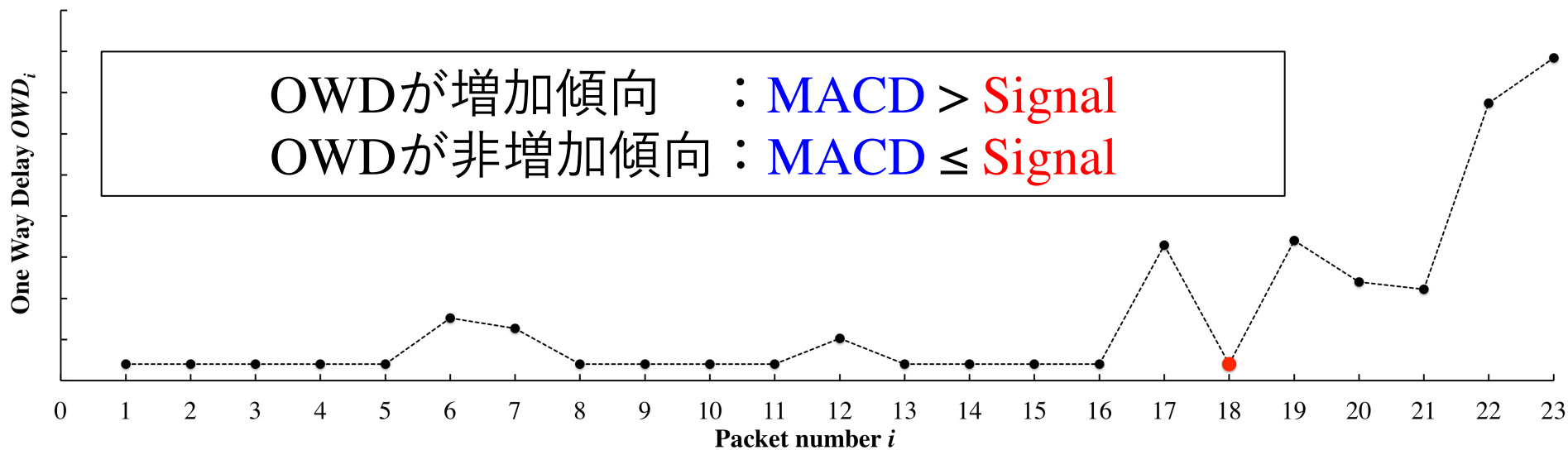
MACDライン：2つのEMAの乖離

$$MACD_i = EMA_i(s)[OWD_i] - EMA_i(l)[OWD_i] \quad (0 < l < s < 1)$$

Signalライン：MACDのトレンド線（上昇 or 下降 ??）

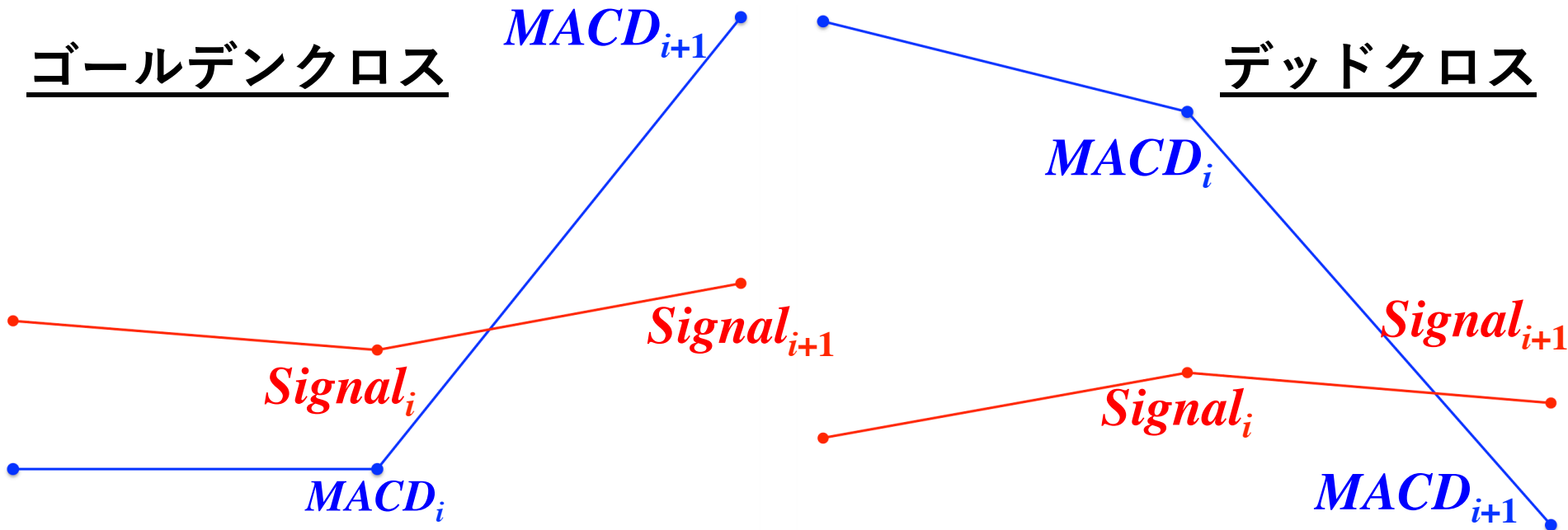
$$Signal_i = EMA_i(v)[MACD_i] \quad (0 < v < 1)$$

$EMA_i(\alpha)[O_i]$	： i 番目の観測値 O_i のEMA（平滑係数 α ）	
OWD_i	： i 番目のプローブパケットの片道遅延	s, l, v ：平滑係数
$MACD_i, Signal_i$	： i 番目の観測値のMACDおよびSignal	



ゴールデンクロス

デッドクロス



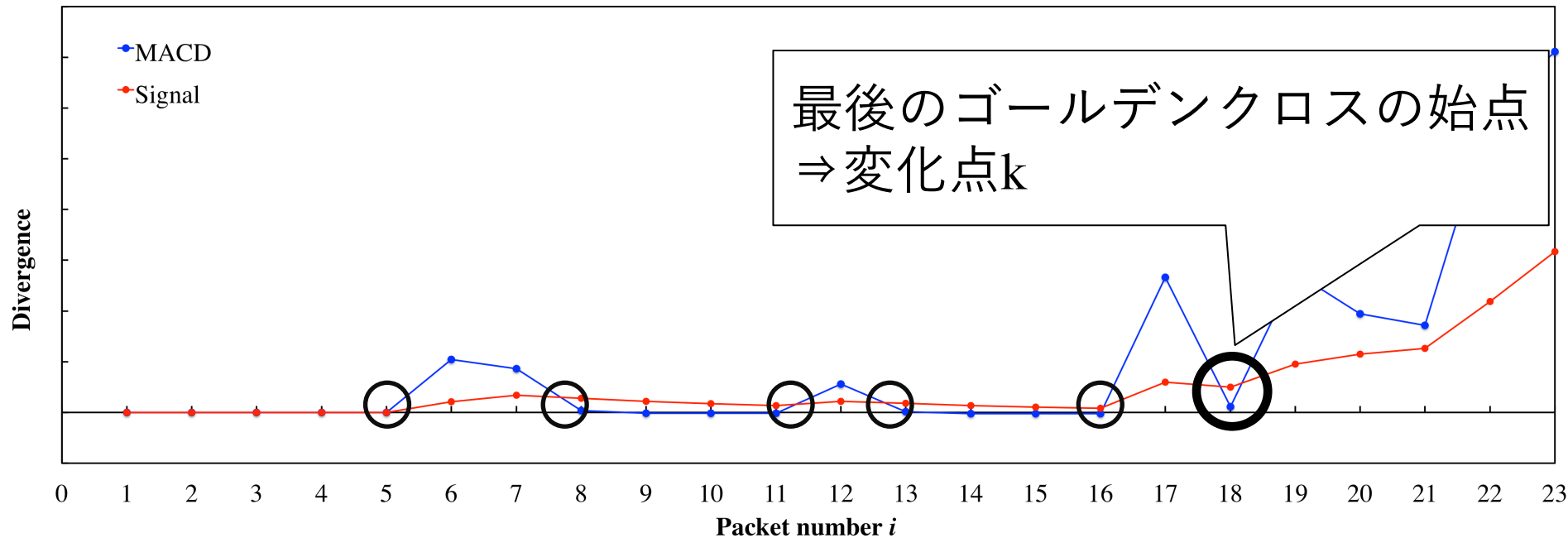
❖ MACDとSignalがクロスすると傾向の転換

ゴールデンクロス：MACDがSignalを下から上に突き抜ける

$$MACD_i \leq Signal_i \text{ かつ } MACD_{i+1} > Signal_{i+1}$$

デッドクロス：MACDがSignalを上から下に突き抜ける

$$MACD_i \geq Signal_i \text{ かつ } MACD_{i+1} < Signal_{i+1}$$



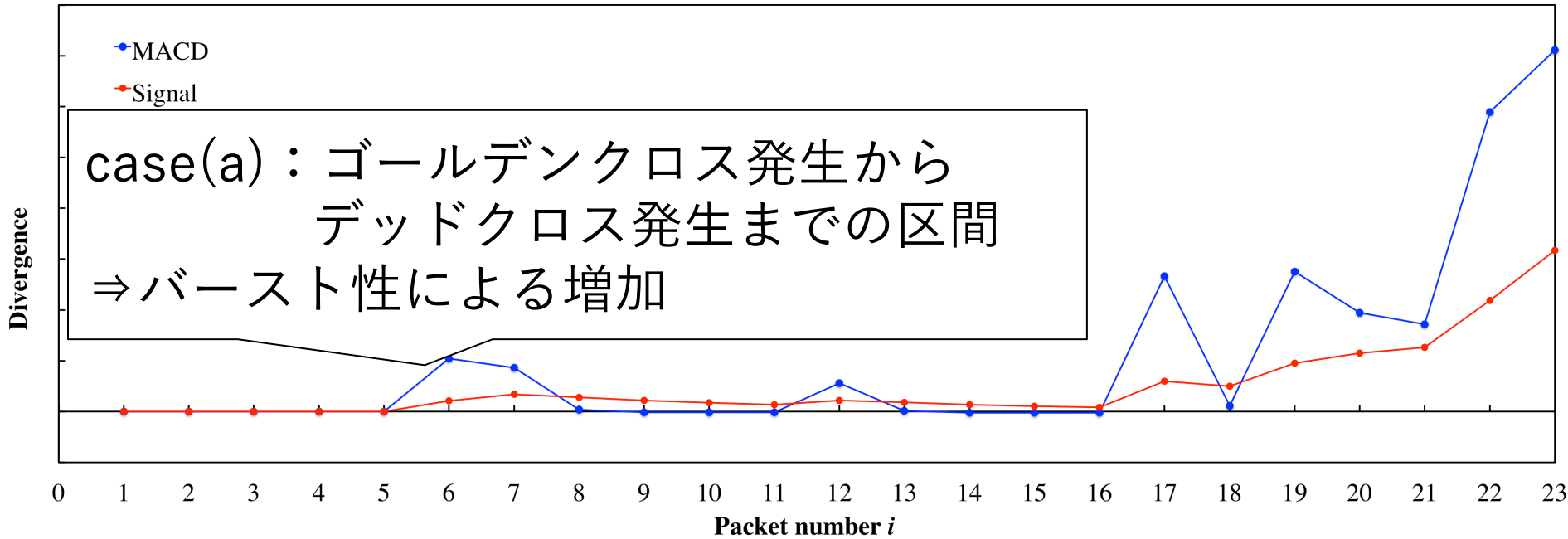
❖ MACDとSignalがクロスすると傾向の転換

ゴールデンクロス：MACDがSignalを下から上に突き抜ける

$$MACD_i \leq Signal_i \text{ かつ } MACD_{i+1} > Signal_{i+1}$$

デッドクロス：MACDがSignalを上から下に突き抜ける

$$MACD_i \geq Signal_i \text{ かつ } MACD_{i+1} < Signal_{i+1}$$



case(b) : デッドクロス発生から
 ゴールデンクロス発生までの区間または変化点 k 以降の区間

❖ パケット毎の推定値 E_i

$$E_i = \begin{cases} R_i & \text{if case(a)} \\ R_k & \text{else case(b)} \end{cases}$$

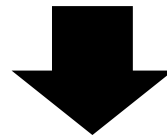
i : パケット番号
 k : 変化点
 R_i : 瞬時レート

提案法（受信側）

❖ j 番目のChirpによる可用帯域の推定値 D_j

$$D_j = \frac{\sum_{i=1}^{N-1} E_i}{N-1}$$

E_i : パケット毎の推定値
 N : パケット数

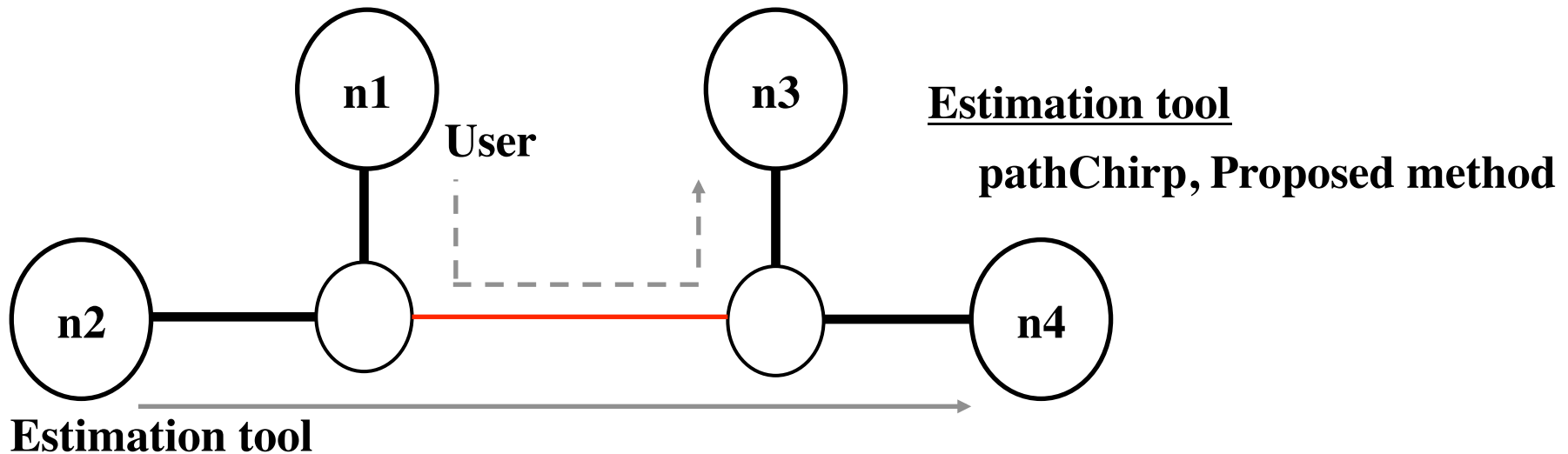


❖ 推定値のフィルタリング（調和平均）

$$H_j = \frac{M}{\sum_{t=j-M}^j \frac{1}{D_t}}$$

H : 平滑化後の推定値
 j : Chirp番号
 M : 平滑期間

シミュレーション条件



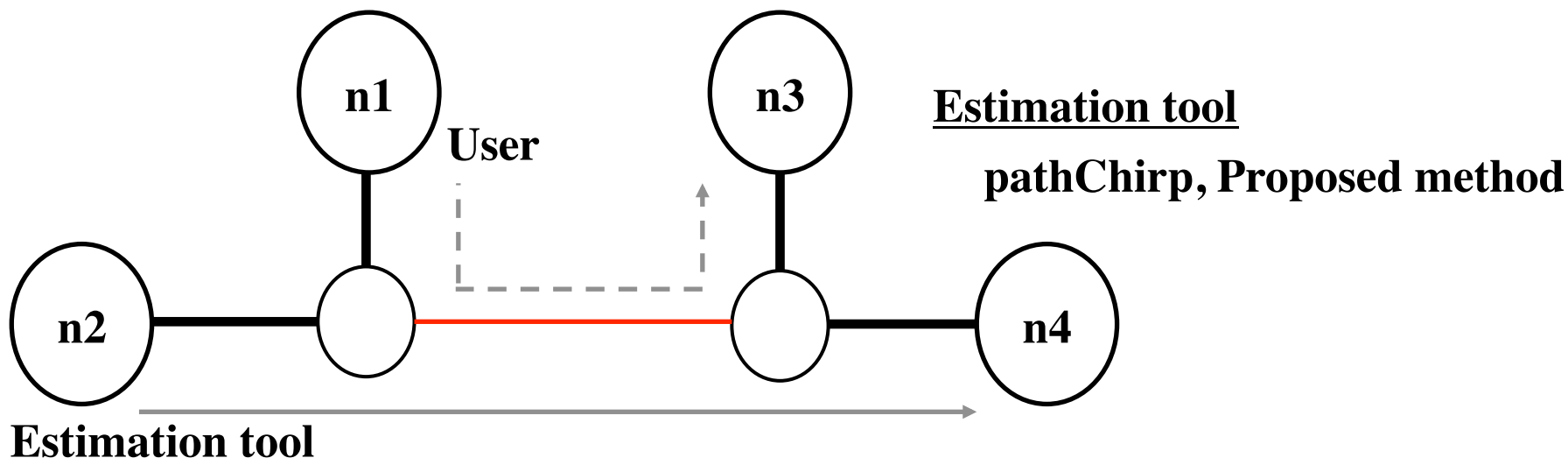
— Bottleneck link (100[Mbps], 10[ms]) — Other link (2.0[Gbps], 10[ms])

pathChirp パラメータ (文献[1]の推奨値を使用)

Packet size	Rate _{min}	Rate _{max}	γ	F	L	M
1000	3 [Mbps]	150 [Mbps]	1.2	1.5	5	5

提案法のパラメータ

Packet size	Rate _{min}	Rate _{max}	γ	s	l	v	M
1000	3 [Mbps]	150 [Mbps]	1.2	0.94	0.01	0.2	5



— Bottleneck link (100[Mbps], 10[ms]) — Other link (2.0[Gbps], 10[ms])

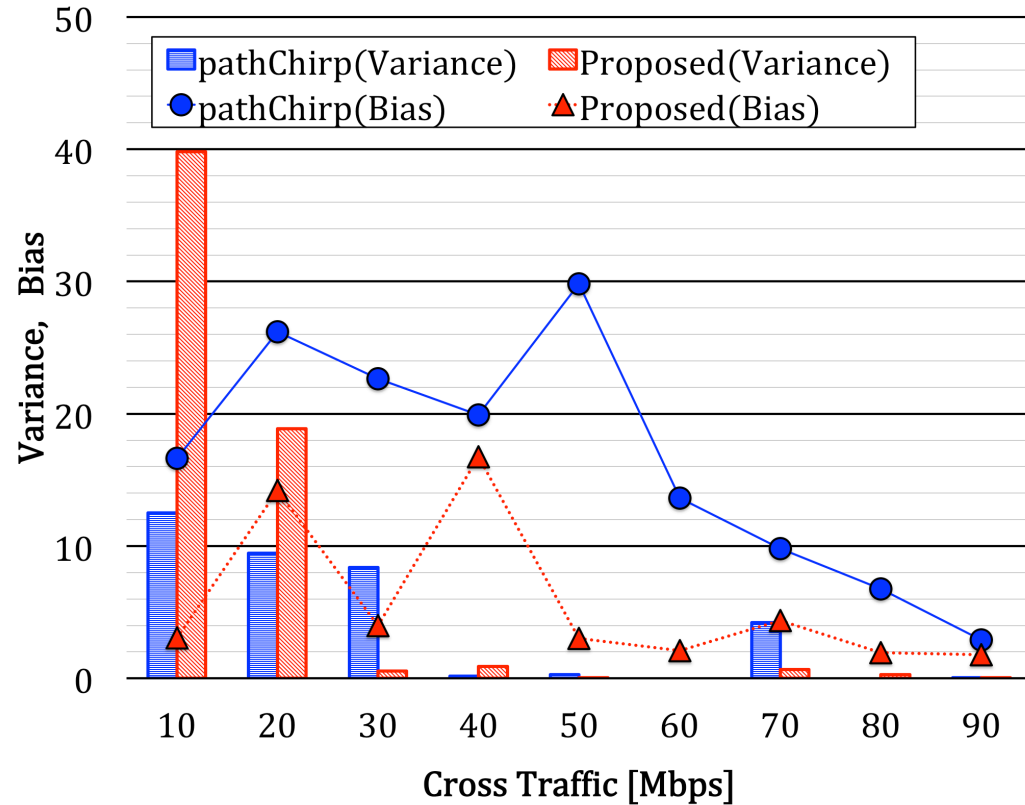
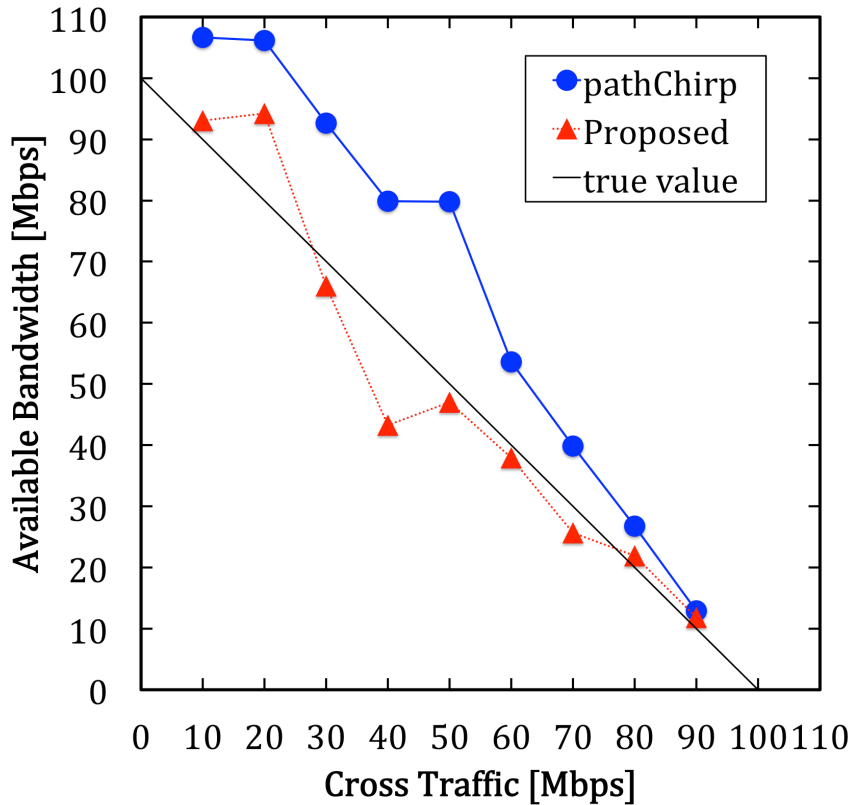
❖ シミュレーション

ユーザトラヒック：CBR パケットサイズ：1000[B]

送信レート ：10～90[Mbps]（10[Mbps]刻み）

❖ 評価方法

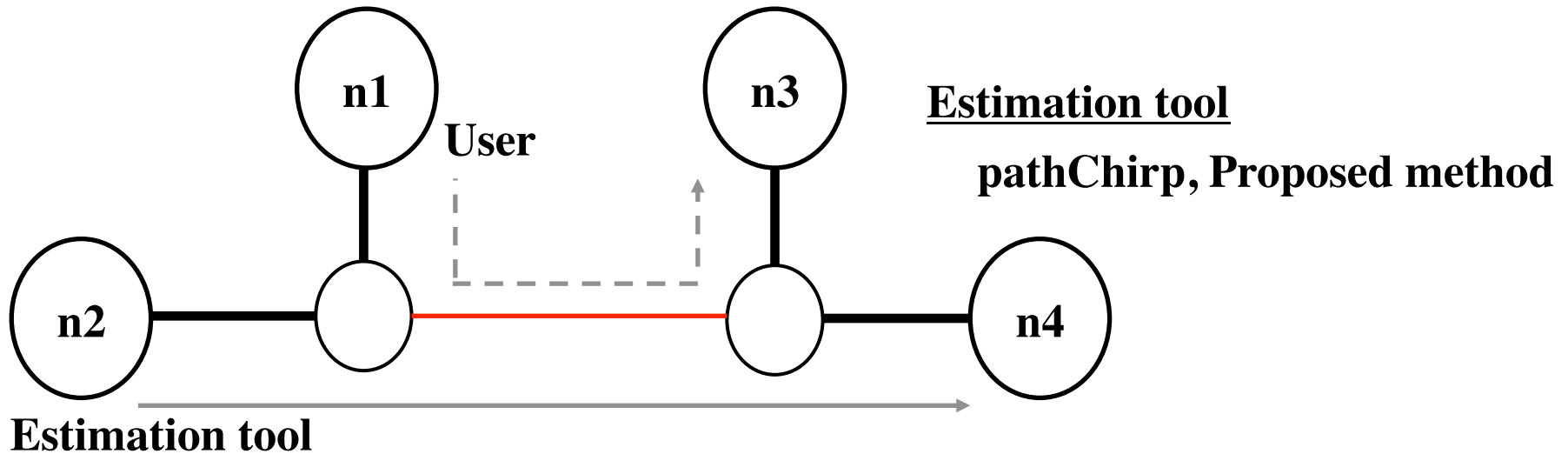
- 各送信レートにつき282回連続で推定を行い，平均，分散，バイアスで評価



❖ pathChirpより，提案法の分散が大きい場合があるが，バイアスは常に小さい

⇒ pathChirpより，提案法の推定精度が高い

シミュレーション条件



— Bottleneck link (100[Mbps], 10[ms]) — Other link (2.0[Gbps], 10[ms])

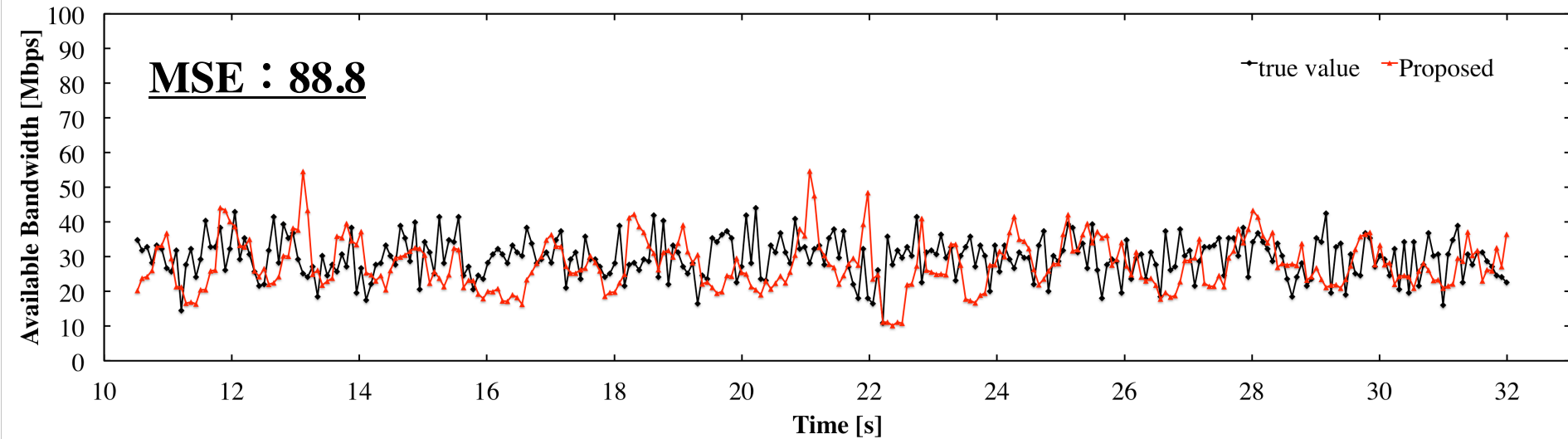
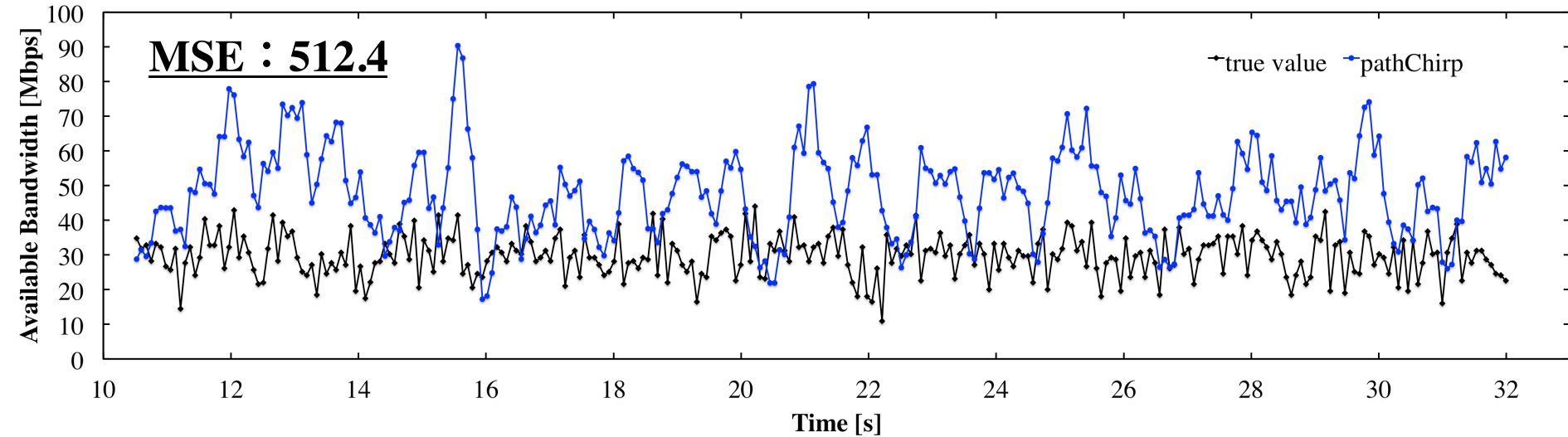
❖ シミュレーション

ユーザトラヒック：Poisson パケットサイズ：1000[B]

送信レート ：70[Mbps]

❖ 評価方法

- 282回連続で推定を行い，MSEで評価



❖ pathChirpより，提案法の推定値が真値に近い

まとめ・今後の展望

❖ まとめ

- MACDを用いた可用帯域推定法を提案した
- pathChirpと比較して，推定精度が向上した

❖ 今後の展望

- 複雑なネットワークトポロジを用いた検証
- パケットトレインを変更し，推定精度が向上するか検証
ex. 線形的に瞬時レートが大きくなるトレイン etc.