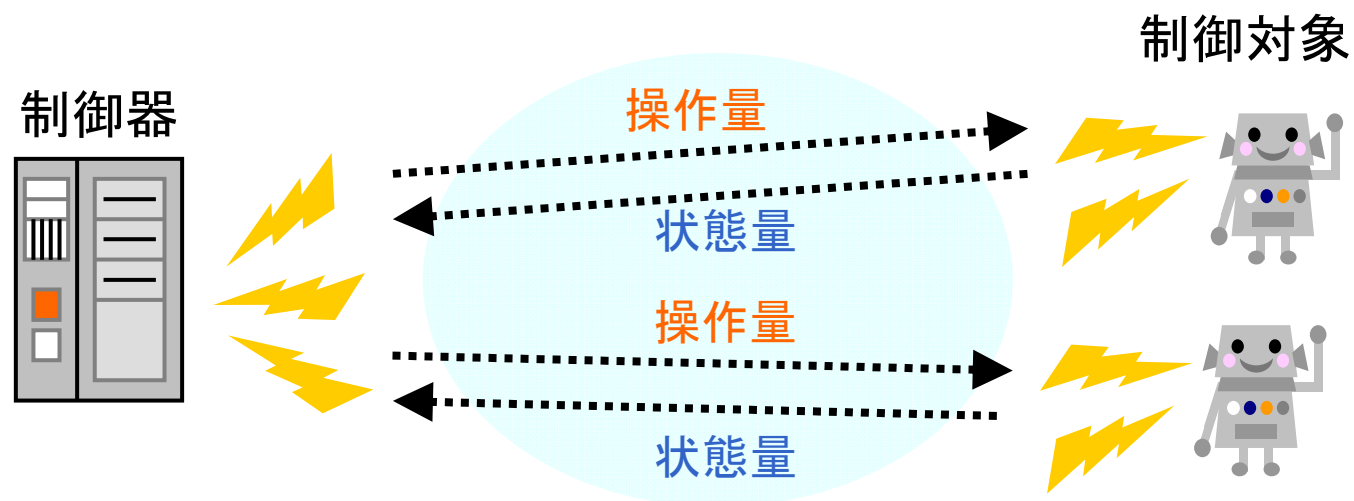


複数機器無線制御における 上位層の情報を利用した 伝送情報量削減手法

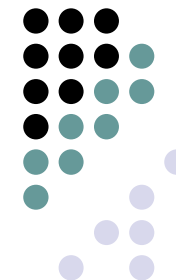
片山研究室 水谷亮太

無線制御

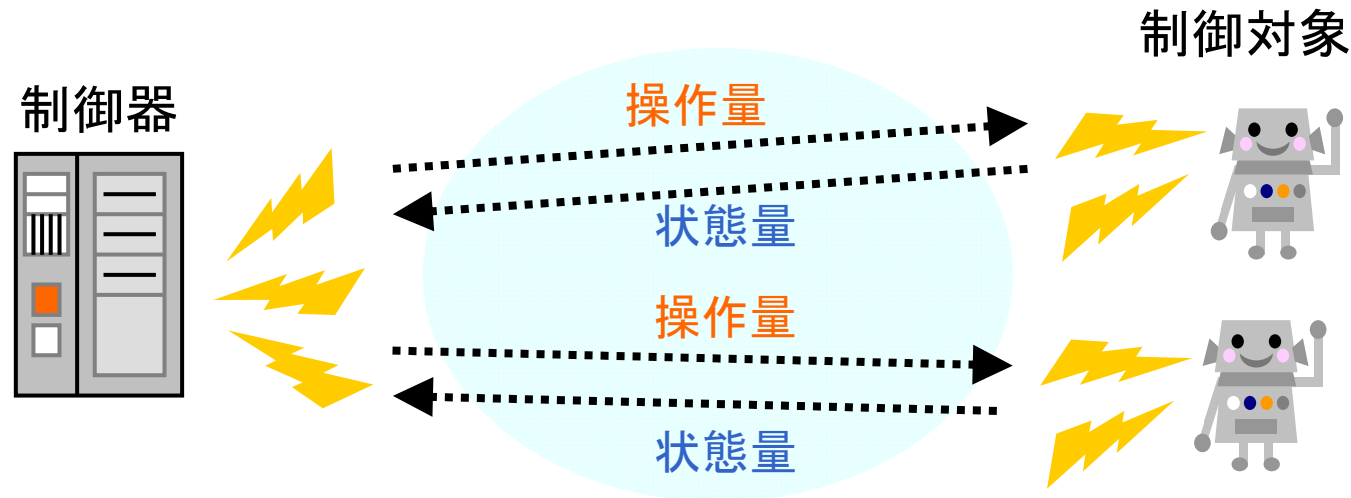


利点

- 移動体、回転体制御の容易化
- 省配線化
- ライン組み換えの容易化



複数機器の無線制御



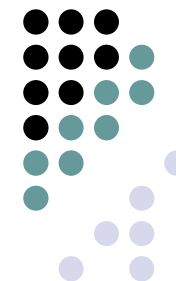
- 低遅延性が必要なため情報伝送が高頻度
- 複数の機器に対し同時に情報伝送



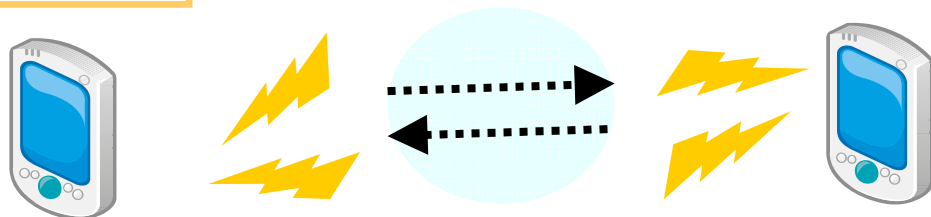
複数機器制御では周波数帯域の逼迫が発生

多数の機器を制御するため周波数帯域の有効利用が必要

無線制御の特徴

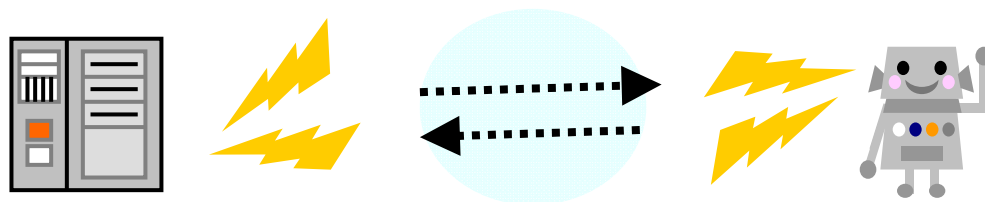


無線通信

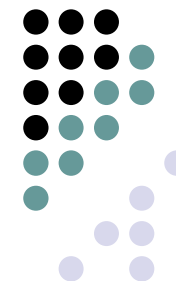


- 下位層の状況（信号強度, フェージング等）を測定、推定可
- 通信品質（BER、スループット等）で評価

無線制御



- 下位層だけでなく上位層の状況（制御対象の状態）を測定、推定可
- 制御品質（安定性、追従性等）で評価



関連研究

上位層の情報を利用した周波数の有効利用

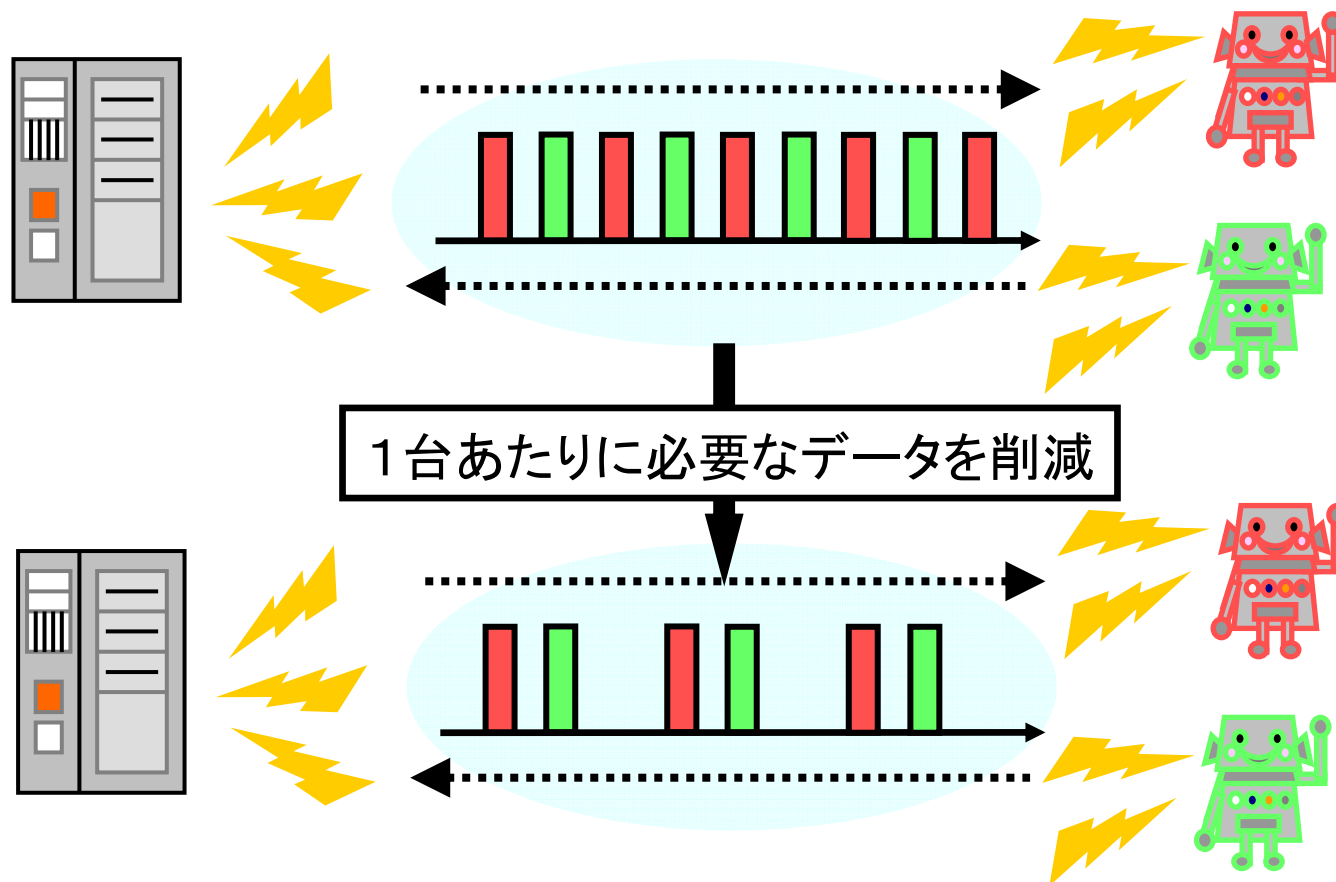
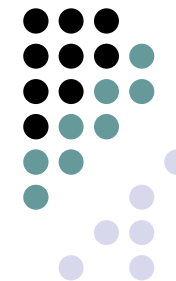
- 通信タイミングの優先度割り当て[1]
- 量子化による情報量削減[2]
- 重要度に基づく伝送情報量の削減

本研究

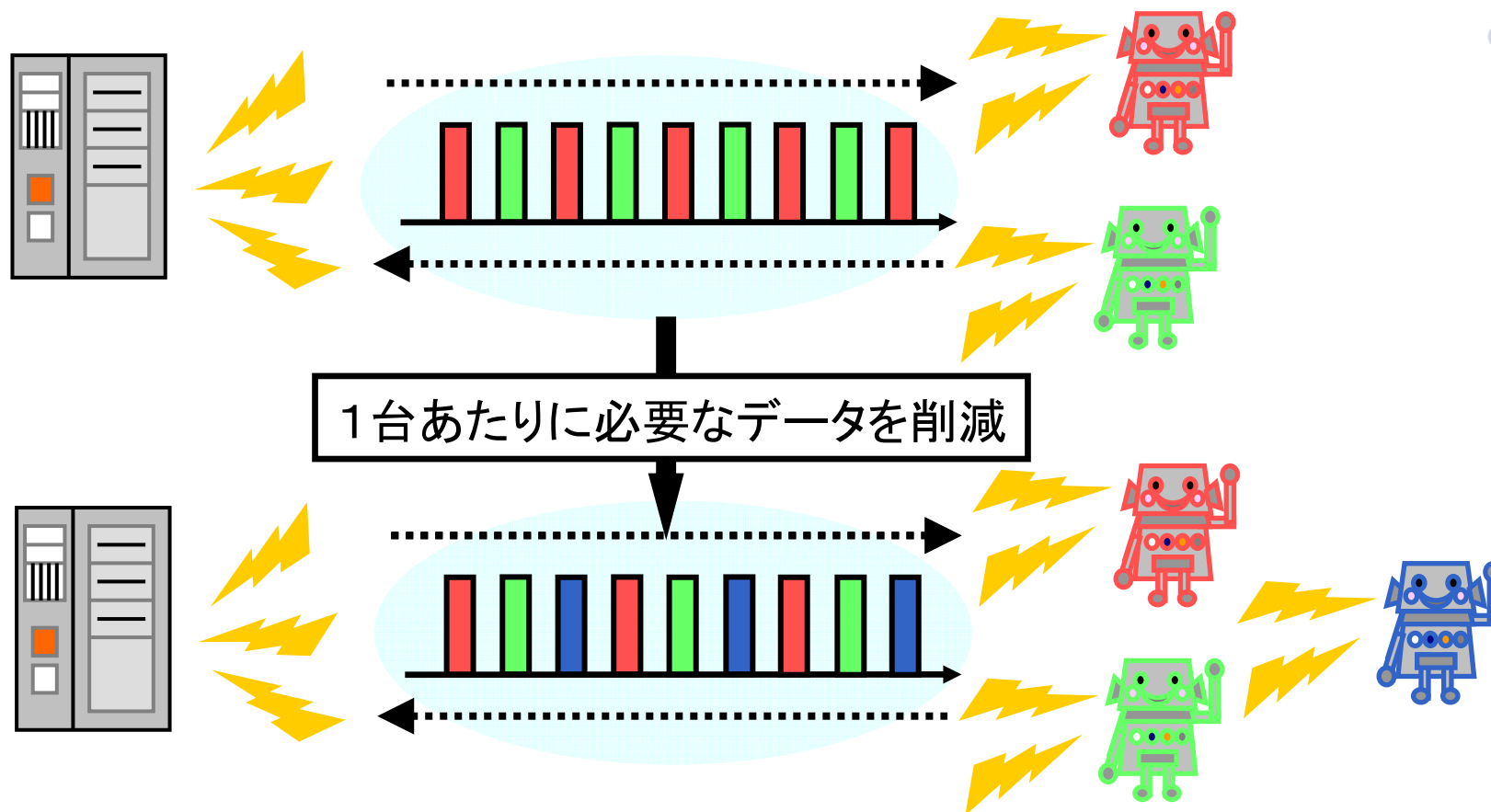
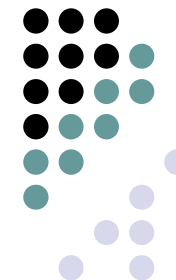
[1]Shinsuke Hara"Essence of Machine-to-Machine(M2M) Communication" RRRC2010-24,pp27-39

[2]D. E. Quevedo, J. Ostergaard, D. Nesic, "Packetized Predictive Control of Stochastic Systems Over Bit-Rate Limited Channels With Packet Loss," IEEE Transactions on Automatic Control, vol.56,no.12, pp.2854-2868, Dec. 2011.

伝送情報量削減と周波数有効利用の関係

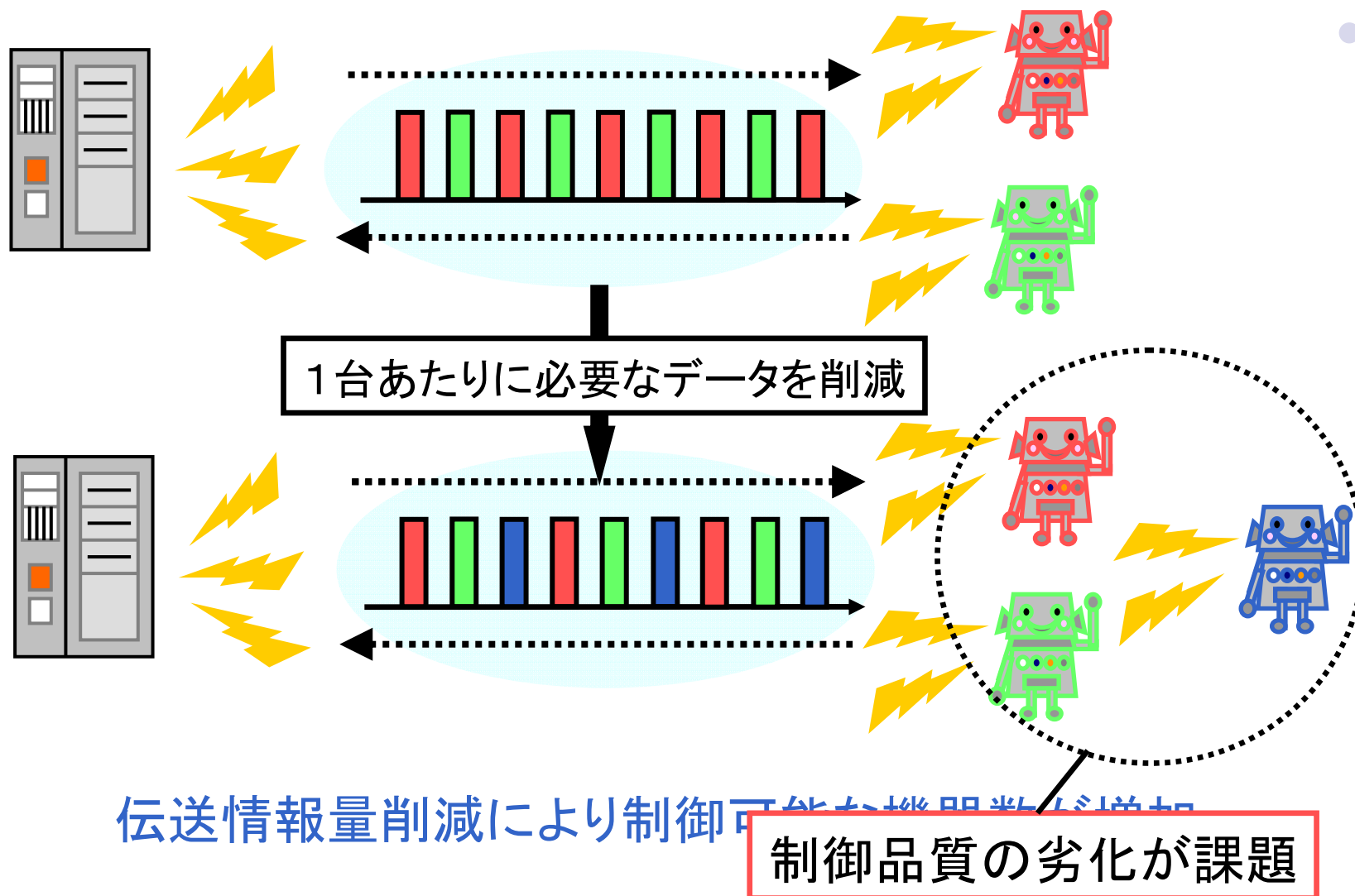
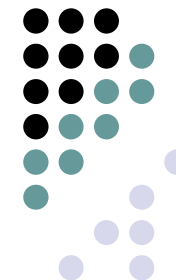


伝送情報量削減と周波数有効利用の関係



伝送情報量削減により制御可能な機器数が増加

伝送情報量削減と周波数有効利用の関係



目的



周波数有効利用のための 伝送情報量の削減

□ 伝送情報の重要度の違いを利用した削減手法

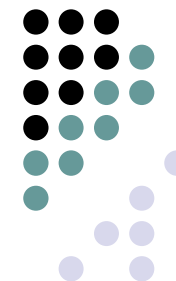
1. 状態量の重要度に基づく削減
2. 時間的な重要度に基づく削減

電子情報通信学会 RRRC研究会(2012-1)
電子情報通信学会 英文論文誌(採録決定)
その他、国内発表3件

3. 予測に基づく伝送情報量の削減

電子情報通信学会 RRRC研究会(2012-10)

目的



周波数有効利用のための 伝送情報量の削減

□ 伝送情報の重要度の違いを利用した削減手法

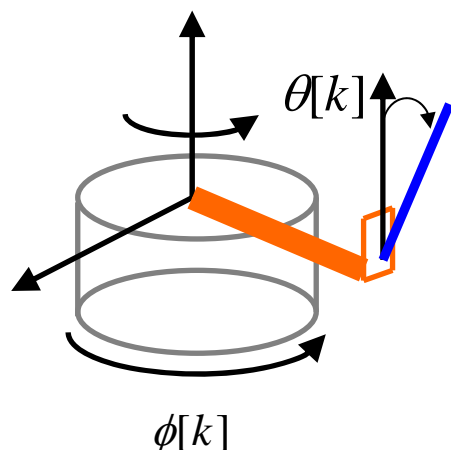
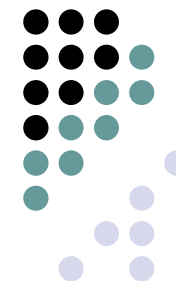
1. 状態量の重要度に基づく削減
2. 時間的な重要度に基づく削減

電子情報通信学会 RRRC研究会(2012-1)
電子情報通信学会 英文論文誌(採録決定)
その他、国内発表3件

3. 予測に基づく伝送情報量の削減

電子情報通信学会 RRRC研究会(2012-10)

制御対象(回転型倒立振子)



制御目標

- 振子を倒立させた状態でアームを目標位置へ移動

応用例

- 二足歩行ロボット
- ロケットの発射台

応用の幅が大きい

サンプリング時間: T_s

時刻: $t = kT_s$

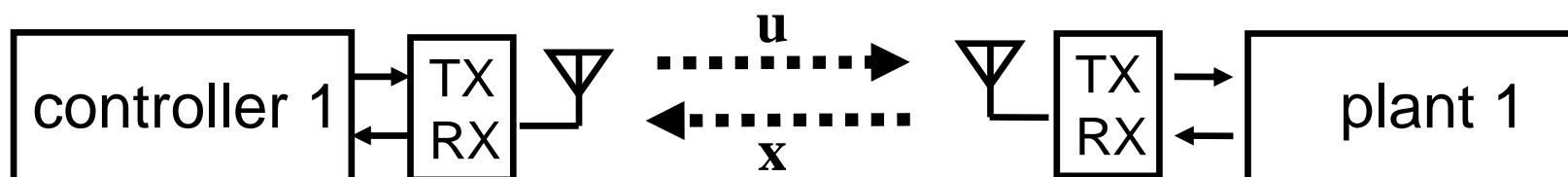
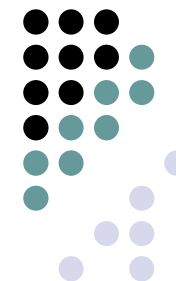
操作量 $\mathbf{u}[k]$: アームの回転トルク

状態量 $\mathbf{x}[k] = [\theta[k] \quad \phi[k] \quad \dot{\theta}[k] \quad \dot{\phi}[k]]$

$\theta[k]$: 振子の角度

$\phi[k]$: アームの角度

状態量の重要度に基づく削減

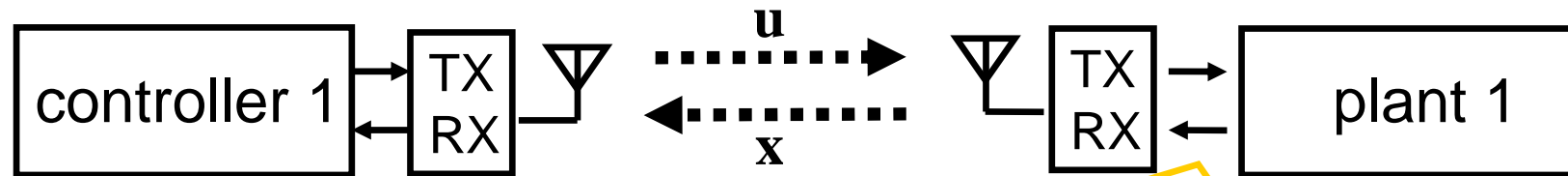
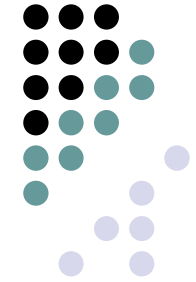


$$\mathbf{x}[k] = \underbrace{[\theta[k] \quad \phi[k]]}_{\text{角度}} \quad \underbrace{[\dot{\theta}[k] \quad \dot{\phi}[k]]}_{\text{角速度}}$$

測定手法が異なる要素

角度、または角速度を削減した場合を検討

削減された状態量



角度、または角速度情報を削減

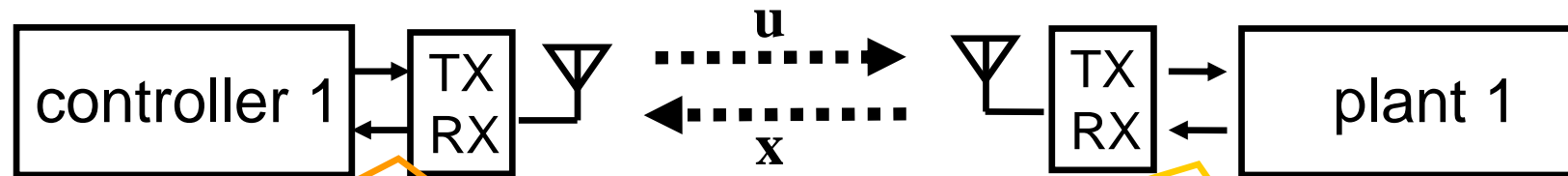
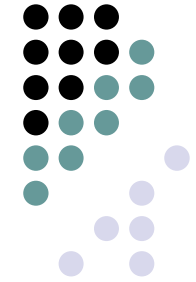
➤ 角速度情報を削減した場合：

$$\mathbf{x}[k] = [\theta[k] \ \phi[k] \ - \ -]$$

➤ 角度情報を削減した場合：

$$\mathbf{x}[k] = [- \ - \ \dot{\theta}[k] \ \dot{\phi}[k]]$$

削減した情報の推定



削減した情報を推定

角度、または角速度情報を削減

- 角速度情報を削減した場合、角速度は差分値により推定

$$\hat{\dot{\theta}}[k] = (\theta[k] - \theta[k-1]) / T_s$$

$$\hat{\dot{\phi}}[k] = (\phi[k] - \phi[k-1]) / T_s$$

- 角速度情報を削減した場合、角度は角速度の足し合わせにより推定

$$\begin{aligned}\hat{\theta}[k] &= T_s \hat{\dot{\theta}}[k] + \hat{\theta}[k-1] \\ \hat{\phi}[k] &= T_s \hat{\dot{\phi}}[k] + \hat{\phi}[k-1]\end{aligned}$$

パケット消失時の補償

- 無線通信路では確率的に
パケット消失が発生

制御品質の劣化が発生

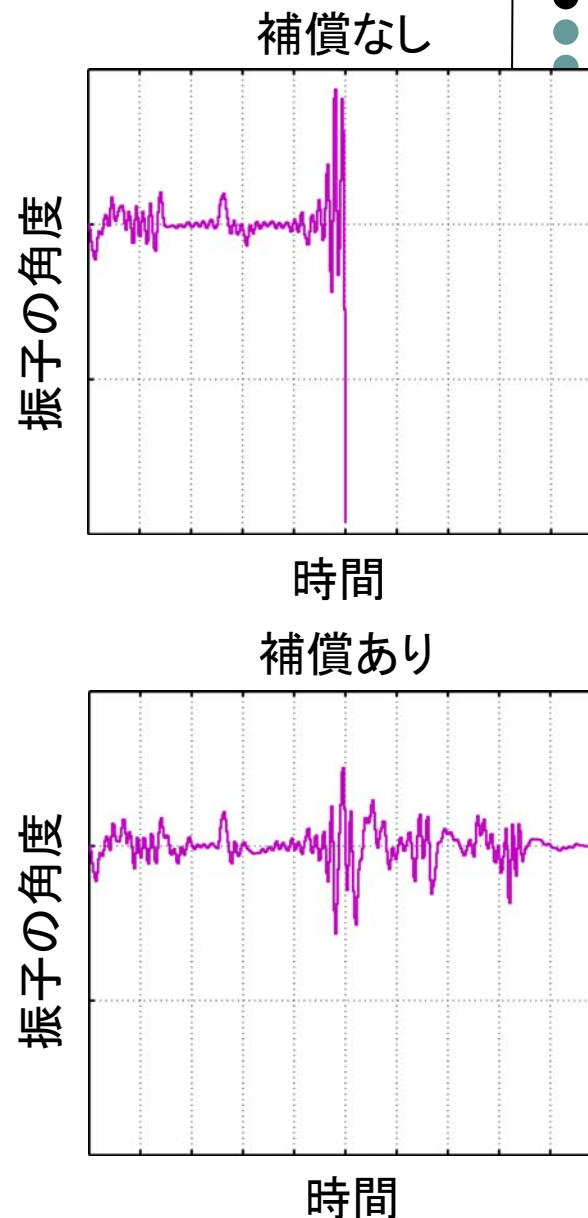
パケット消失が発生した次の
サンプル時間では削減を用いない

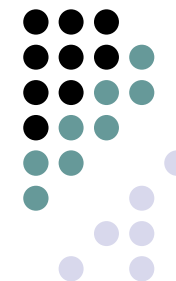
時刻 $k-1$ でパケット消失発生



時刻 k では状態量を削減せず伝送

$$\mathbf{x}[k] = [\theta[k] \quad \phi[k] \quad \dot{\theta}[k] \quad \dot{\phi}[k]]$$



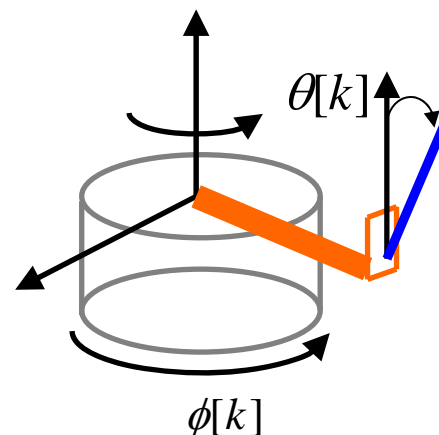


シミュレーション条件

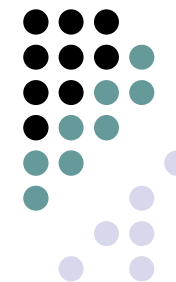
- アームの目標値を5秒ごとに
0と $\pi/2$ [rad]で切り替え
- いずれかの振子の角度が $\pi/6$ [rad] をこえた場合、
振りが転倒したものとみなし
その回のシミュレーションを終了
- ◆シミュレーション時間: 1000秒
- ◆シミュレーション回数: 100回
- ◆パケット消失率: 0.05

評価指標

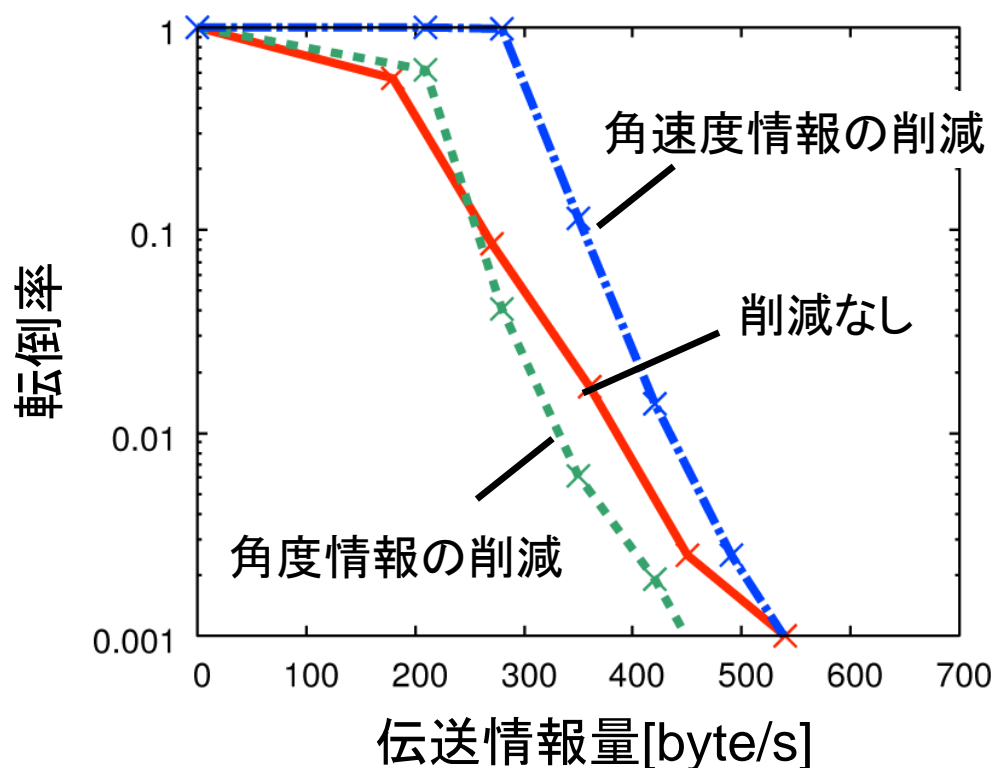
- 振子の転倒率 (制御の安定性)
- アームの角度のRMSE (制御の正確さ)



振子の転倒率の評価(安定性)



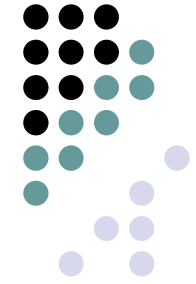
伝送情報量=パケット伝送レート×1パケットのデータ量
転倒率=振り子が転倒した試行回数/全試行回数



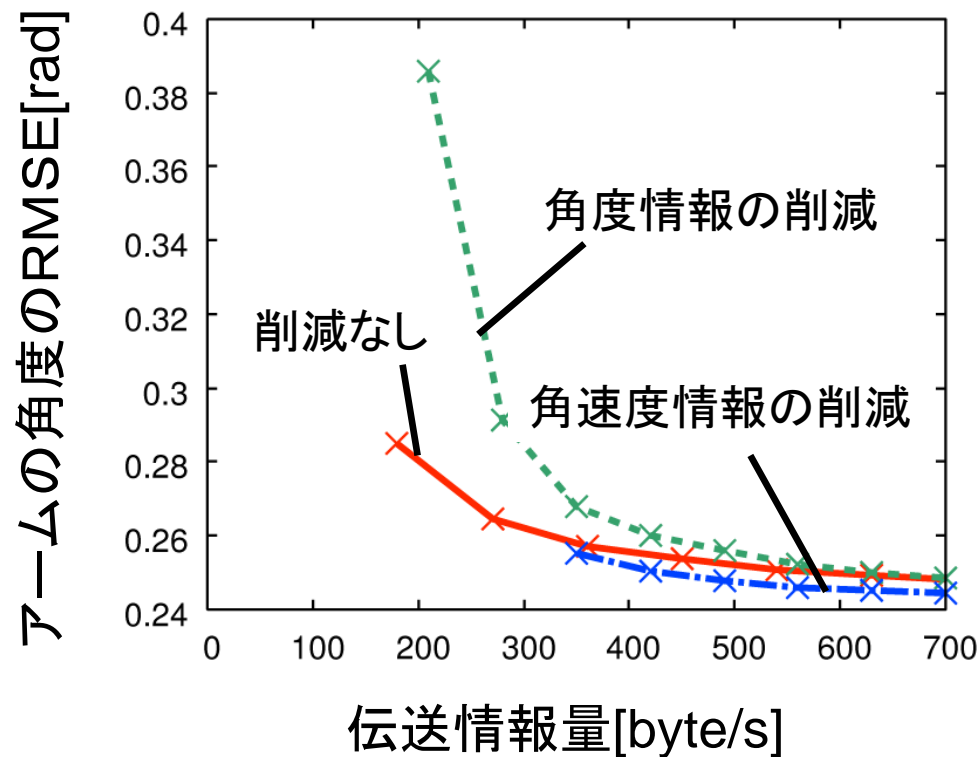
データ量
操作量: 6byte
状態量: 12byte(削減なし)
8byte(削減あり)

角速度情報の削減により
同じ安定性の達成に必要な伝送情報量を削減

アームの角度の RMSEの評価(追従性)



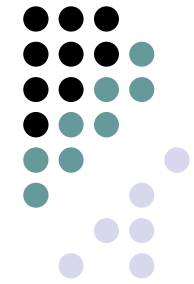
伝送情報量=パケット伝送レート×1パケットのデータ量
RMSE=目標値と実際の値との誤差平均



データ量
操作量: 6byte
状態量: 12byte(削減なし)
8byte(削減あり)

追従性においては削減による影響は小さい

目的



周波数有効利用のための 伝送情報量の削減

□ 伝送情報の重要度の違いを利用した削減手法

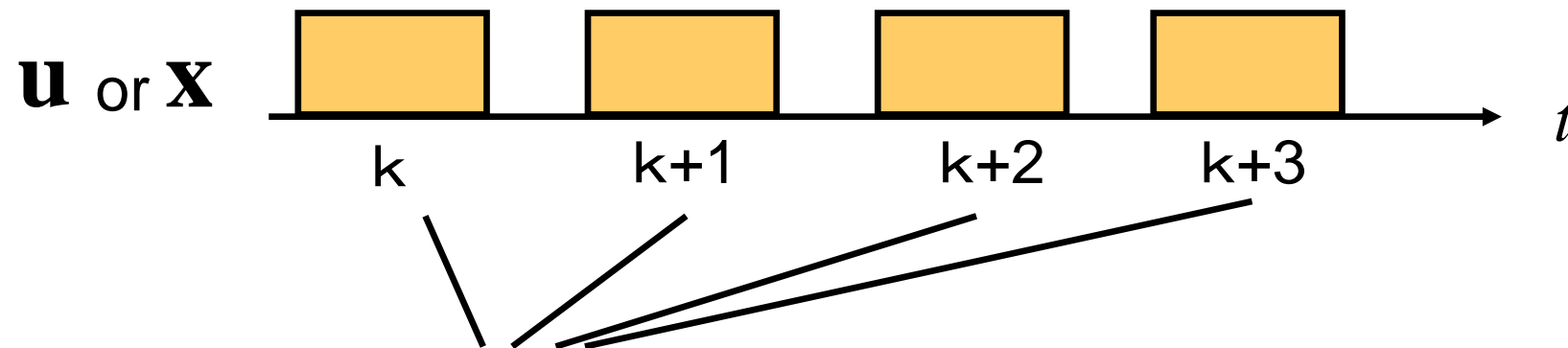
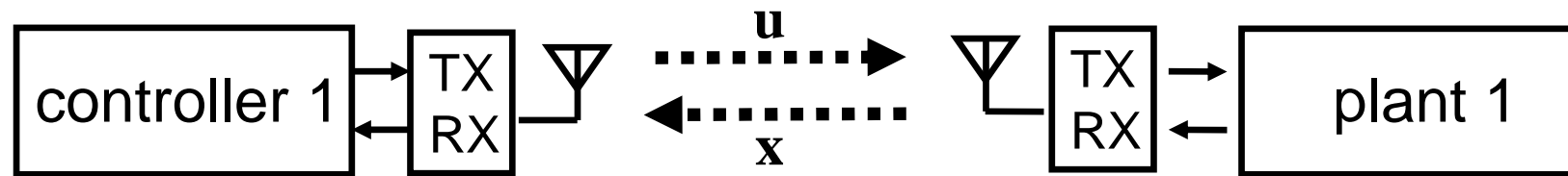
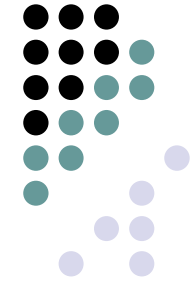
1. 状態量の情報の重要度に基づく削減
2. 時間的な重要度に基づく削減

電子情報通信学会 RRRC研究会(2012-1)
電子情報通信学会 英文論文誌(採録決定)
その他、国内発表3件

3. 予測に基づく伝送情報量の削減

電子情報通信学会 RRRC研究会(2012-10)

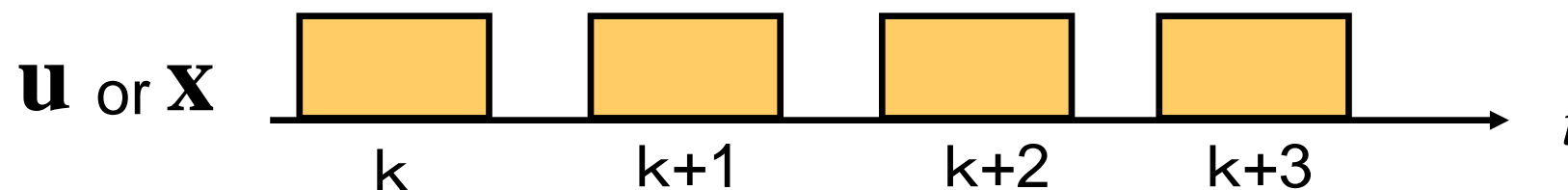
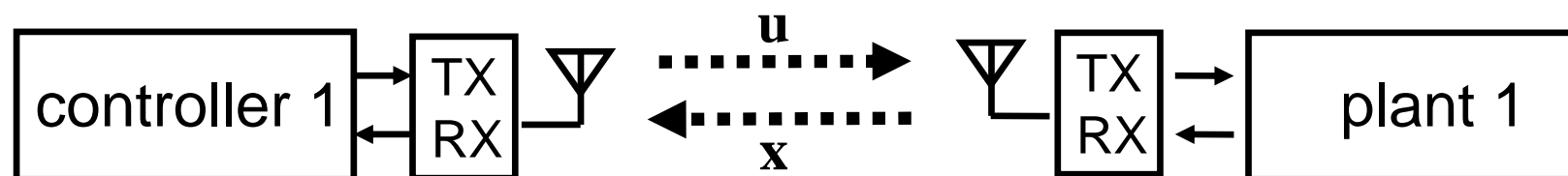
情報の時間的な重要度



時間により制御対象の状態は異なる

時間的な重要度に基づく手法を提案

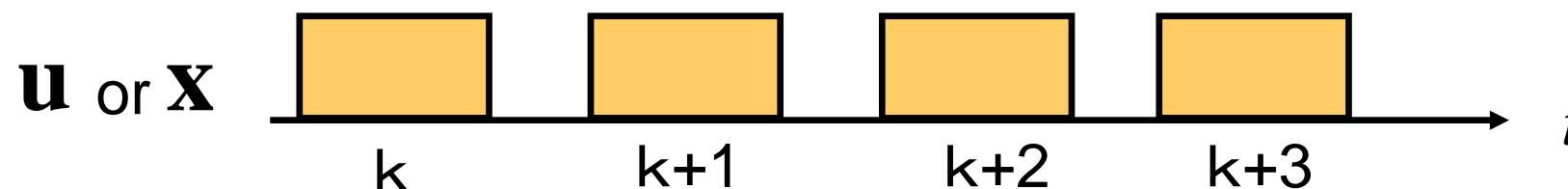
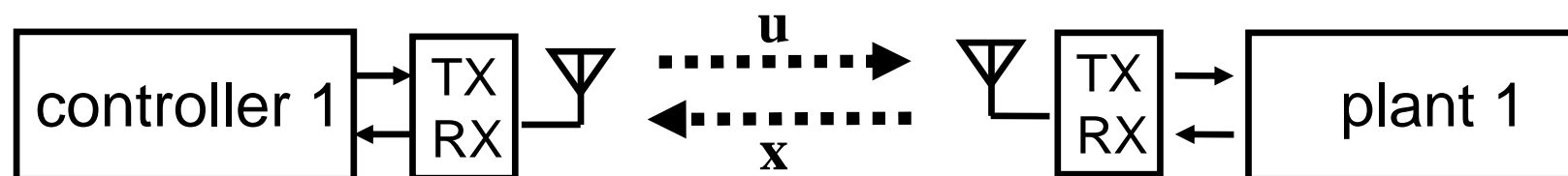
時間的な重要度に基づく削減



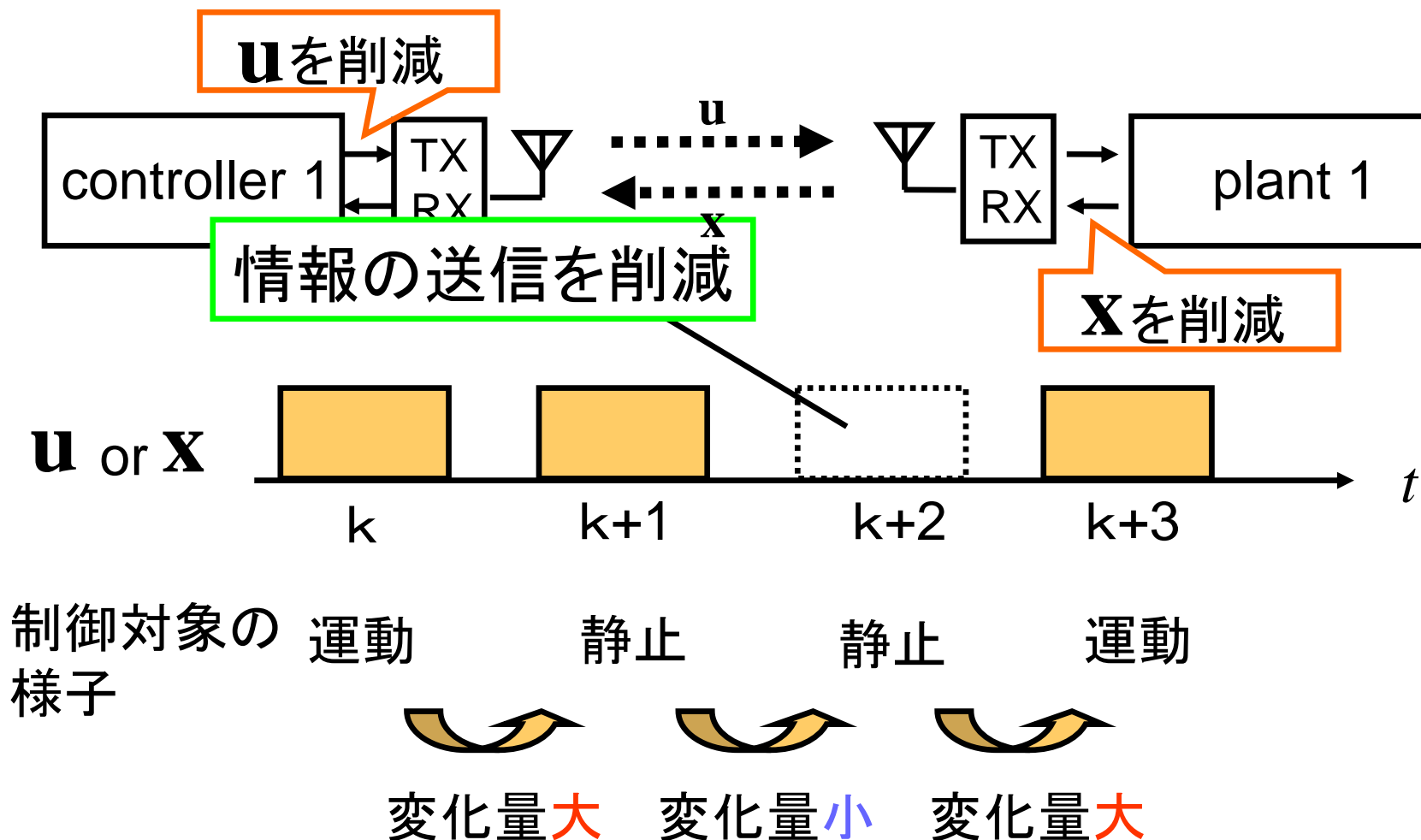
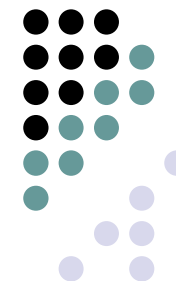
制御対象の 運動
様子

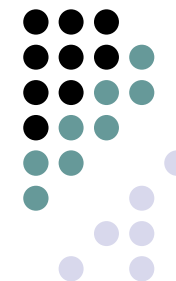
Time Interval	Control Object Motion State
k	運動 (Motion)
$k+1$	静止 (Stationary)
$k+2$	静止 (Stationary)
$k+3$	運動 (Motion)

時間的な重要度に基づく削減



時間的な重要度に基づく削減





時間的な削減の条件

状態量 \mathbf{x} の削減

角度の変化量が閾値 ε_1 以下の場合

$$|\theta[k] - \theta[k-1]| < \varepsilon_1 \quad \text{かつ} \quad |\phi[k] - \phi[k-1]| < \varepsilon_1$$

かつ

角速度が閾値 ε_1 / Ts 以下の場合

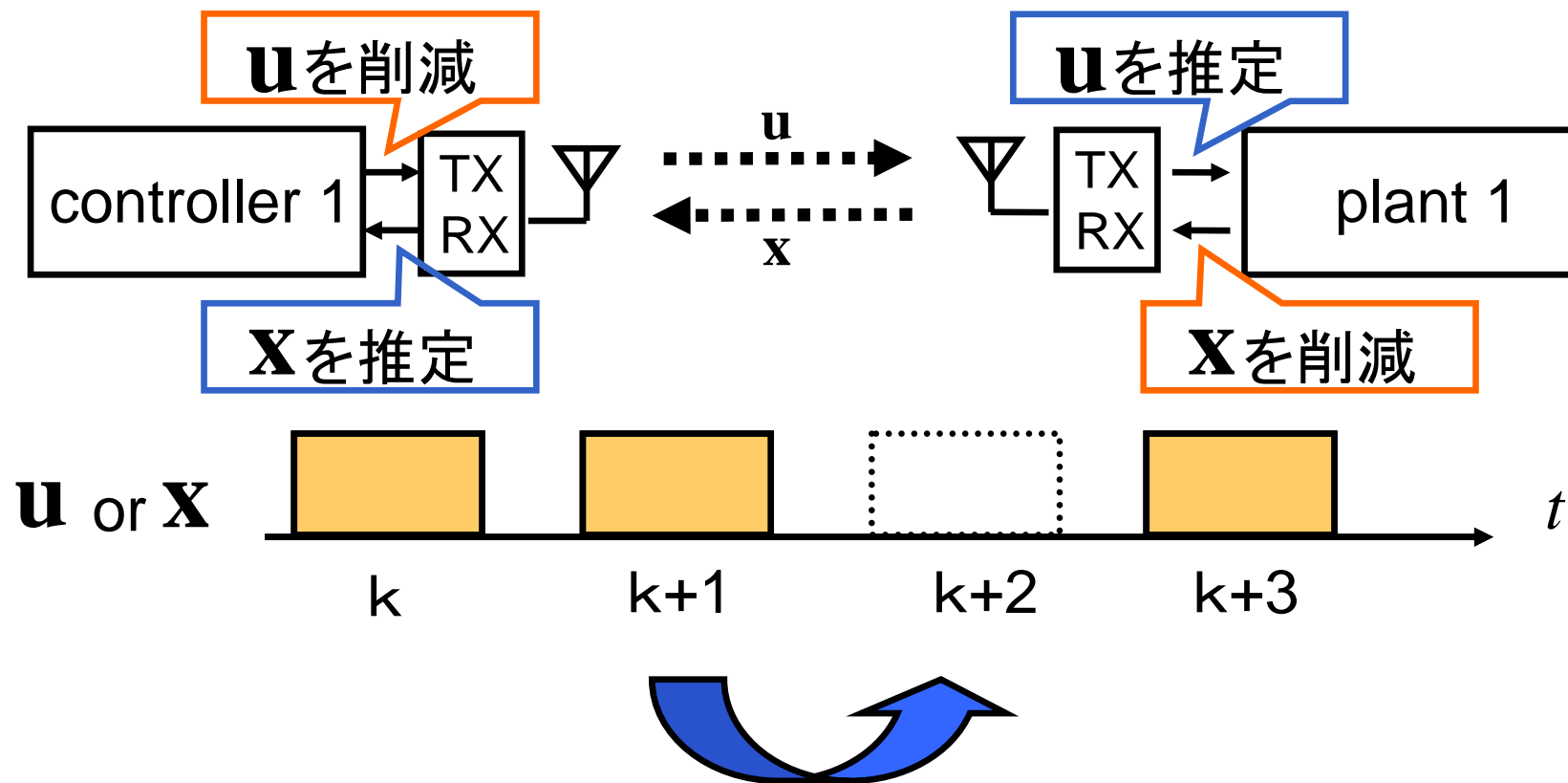
$$|\dot{\theta}[k]| < \varepsilon_1 / Ts \quad \text{かつ} \quad |\dot{\phi}[k]| < \varepsilon_1 / Ts$$

操作量 \mathbf{u} の削減

$$|\mathbf{u}[k] - \mathbf{u}[k-1]| < \varepsilon_2$$

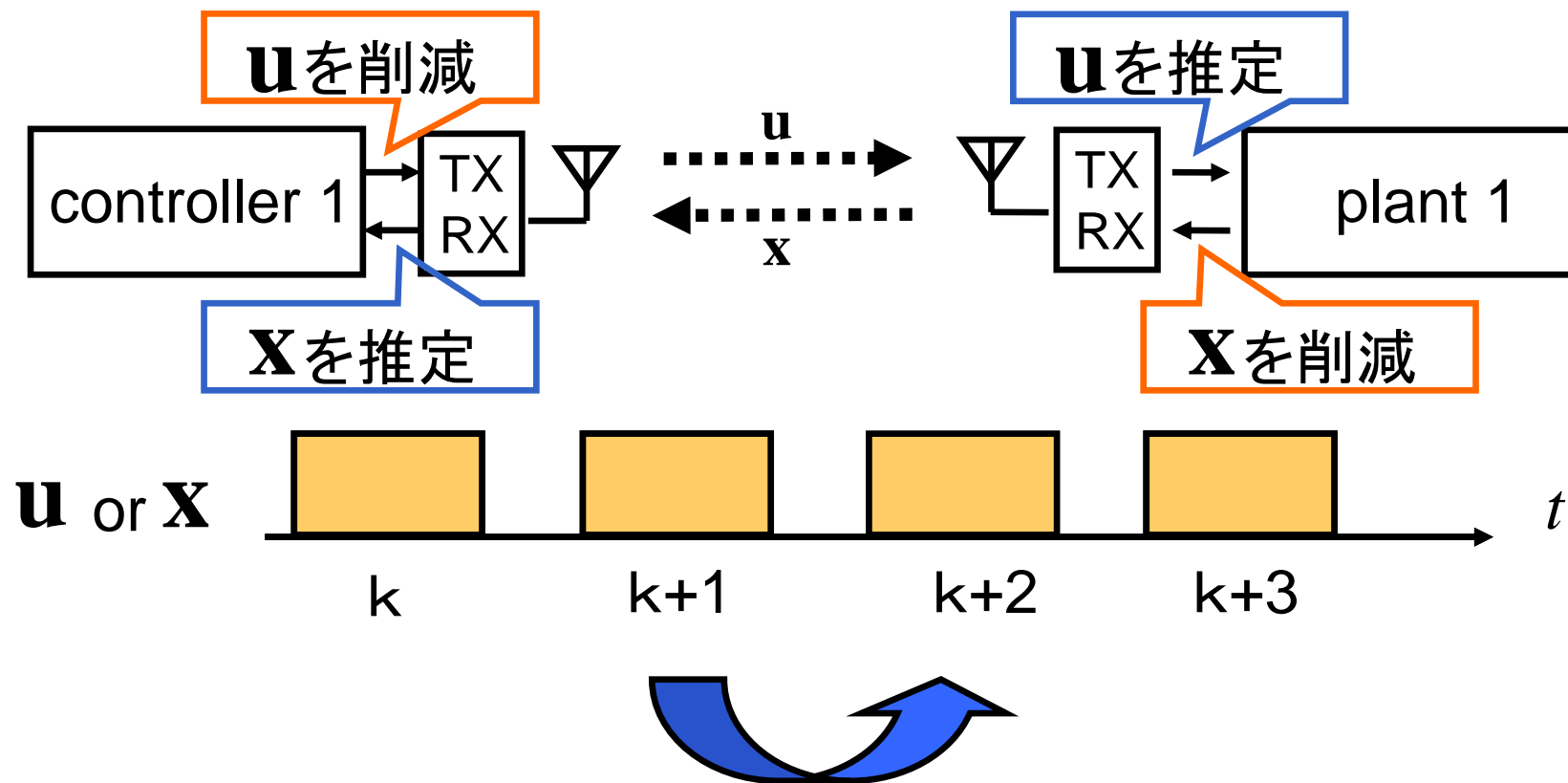
振子、アームが静止状態とみなし伝送を削減

削減した情報の推定

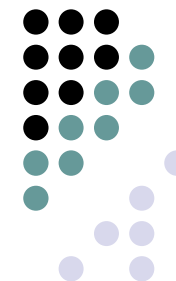


削減された情報は1サンプル前の値により推定

削減した情報の推定



削減された情報は1サンプル前の値により推定

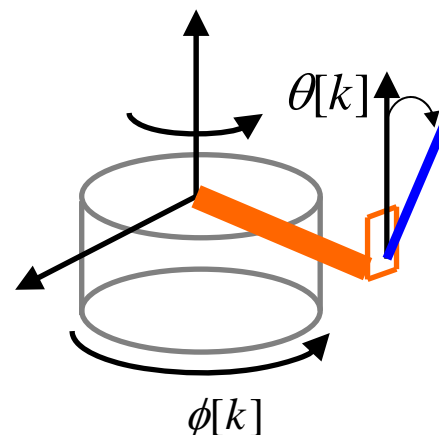


シミュレーション条件

- アームの目標値を5秒ごとに
0と $\pi/2$ [rad]で切り替え
- いずれかの振子の角度が $\pi/6$ [rad] をこえた場合、
振り子が転倒したものとみなし
その回のシミュレーションを終了
- ◆シミュレーション時間: 1000秒
- ◆シミュレーション回数: 100回
- ◆パケット消失率: 0.05
- ◆省略閾値 $\varepsilon_1, \varepsilon_2 = 0.001$

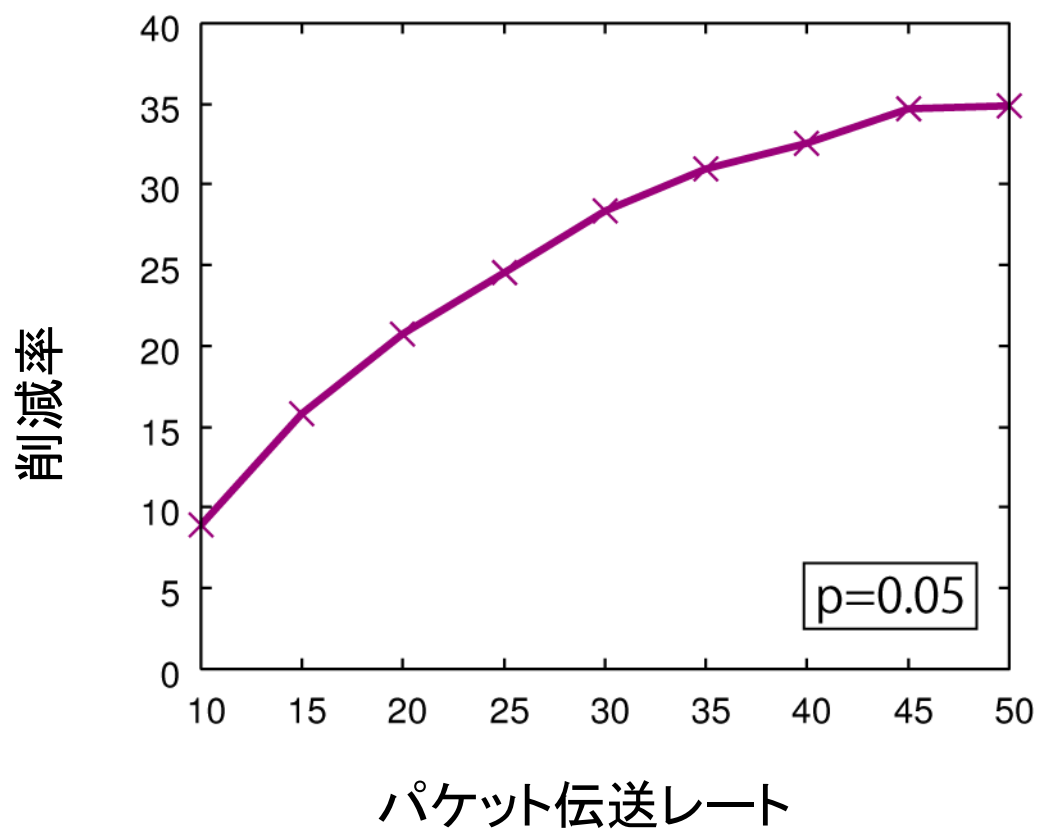
評価指標

- 振子の転倒率 (制御の安定性)
- アームの角度のRMSE (制御の正確さ)

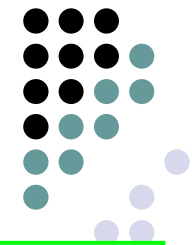


時間的な削減での削減率

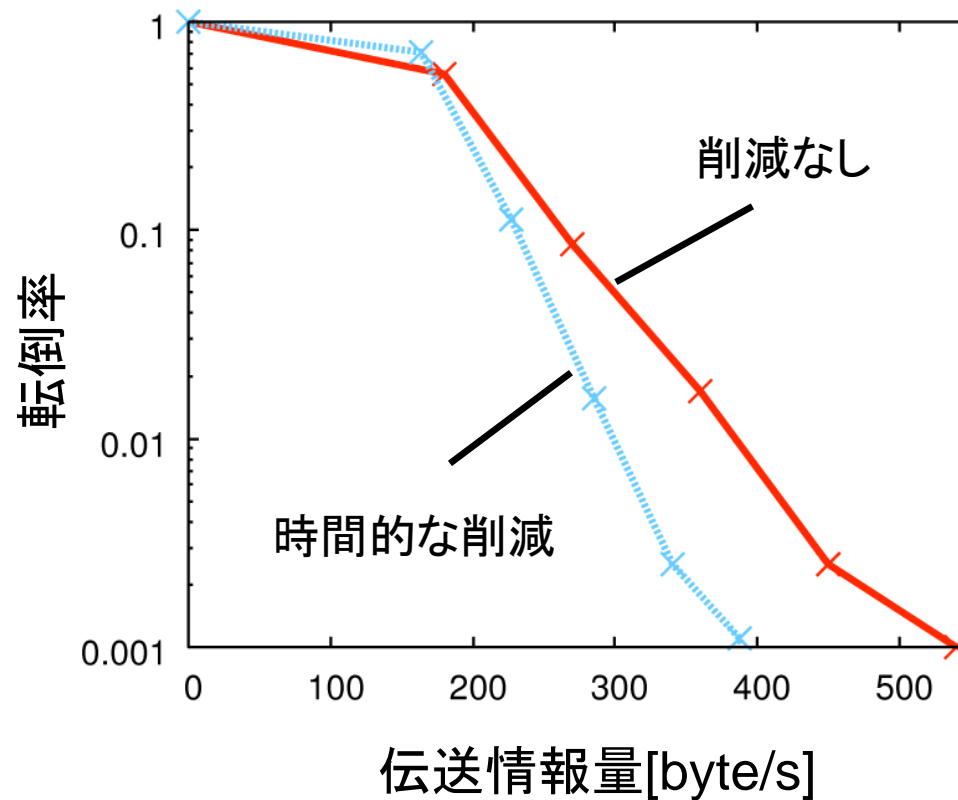
削減率 = 削減したデータ量 / 全データ量



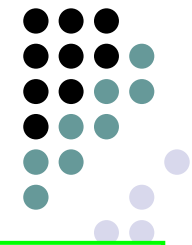
時間的削減での 転倒率の評価(安定性)



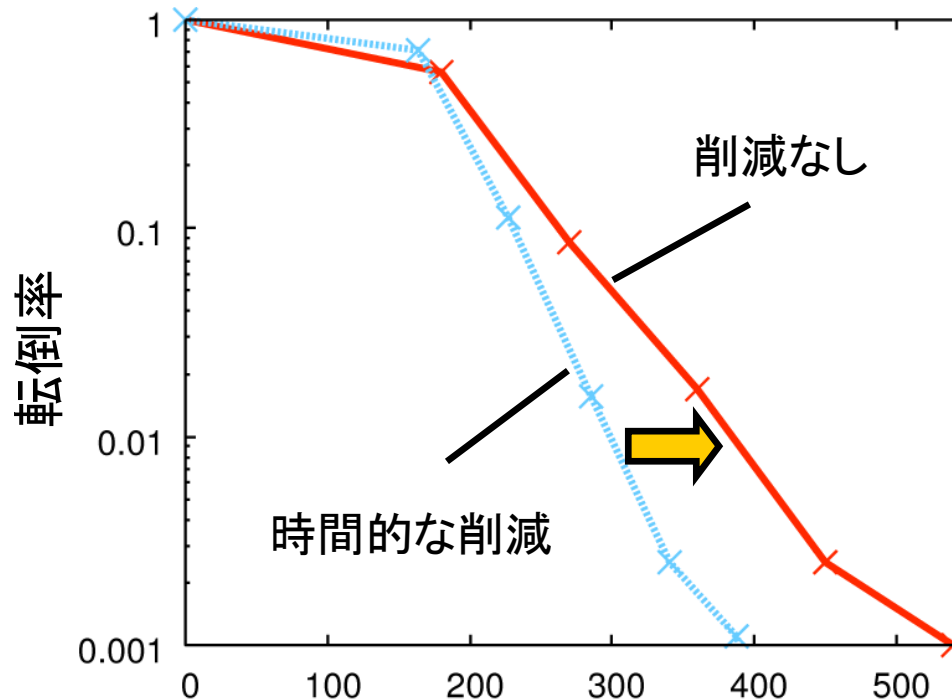
伝送情報量=パケット伝送レート×1パケットのデータ量×(1-削減率)
転倒率=振り子が転倒した試行回数/全試行回数



時間的削減での 転倒率の評価(安定性)

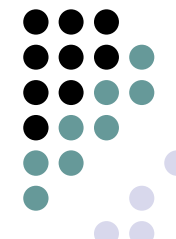


伝送情報量=パケット伝送レート×1パケットのデータ量×(1-削減率)
転倒率=振り子が転倒した試行回数/全試行回数

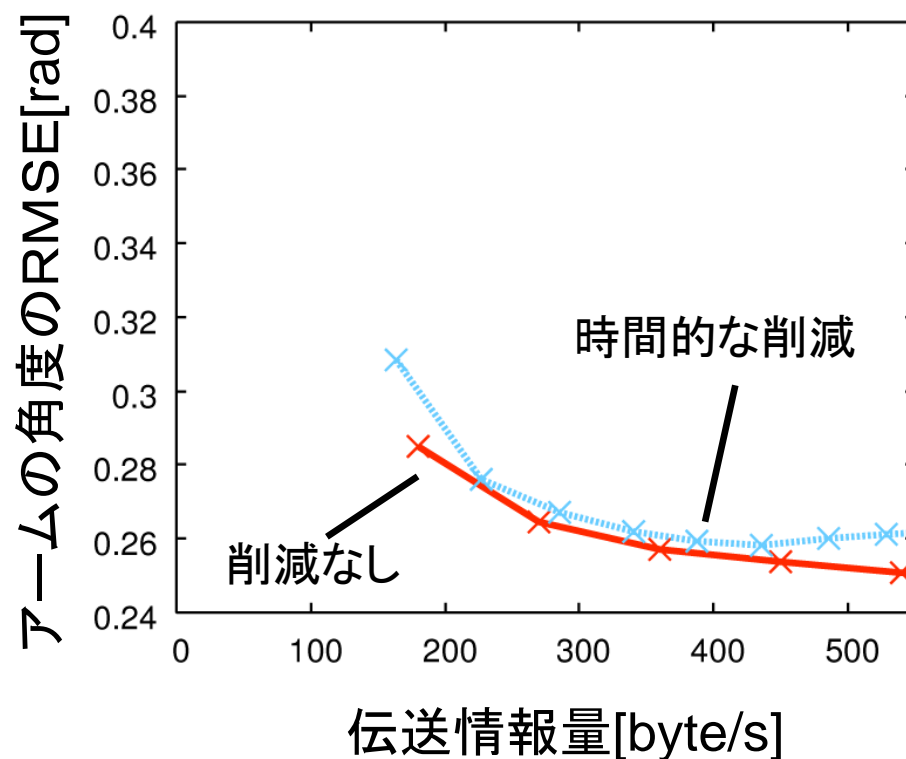


安定性を保つのに必要な伝送情報量を約20%削減

時間的削減での RMSEの評価(追従性)

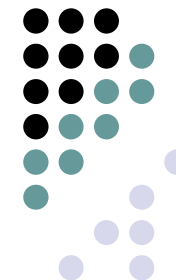


伝送情報量=パケット伝送レート×1パケットのデータ量×(1-削減率)
RMSE=目標値と実際の値との誤差平均



追従性においては削減による影響は小さい

まとめ



周波数有効利用のための伝送情報量削減

- ◆ 状態量の重要度に基づく削減
 - ・削減する要素により
安定性を保つのに必要な伝送情報量を削減
- ◆ 時間的な重要度に基づく削減
 - ・制御対象の安定性を保つのに必要な伝送情報量を削減

<発表業績>

- ・電子情報通信学会 RRRC研究会(2012-10)
- ・電子情報通信学会 英文論文誌(採録決定)
- その他 国内発表4件