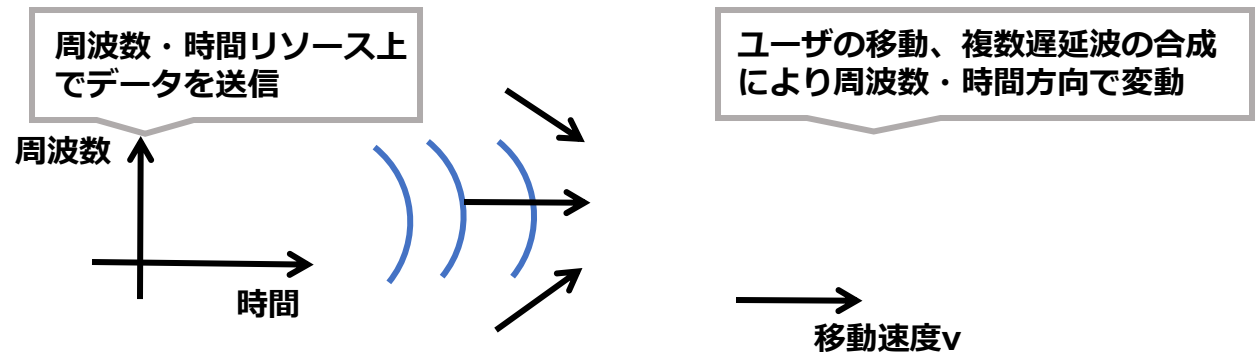
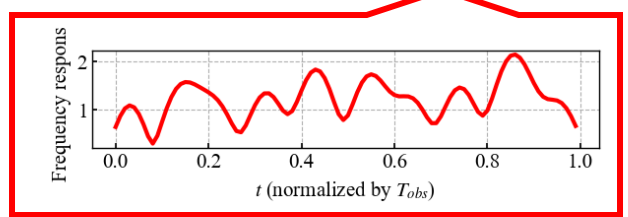
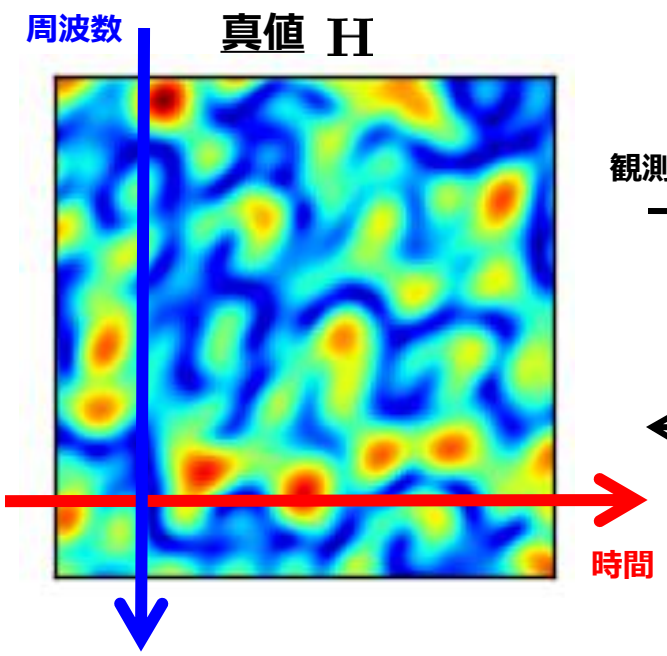
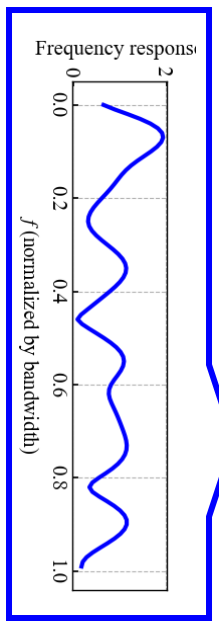


背景

基地局と端末の図



複数遅延波の合成による周波数変動

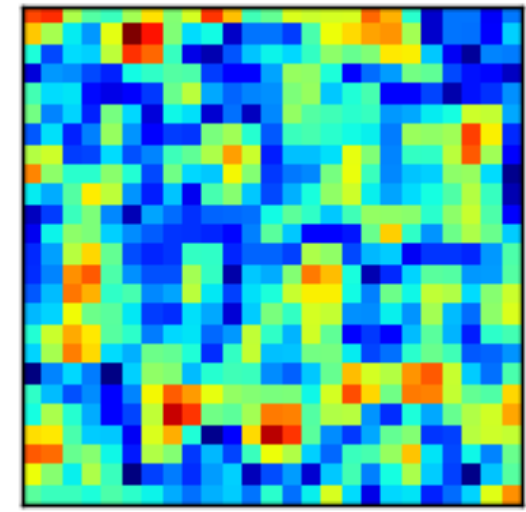


ユーザの移動による時間変動

観測 (1/4サンプリング)

復元 (欠損補間)

観測値 H_{obs}



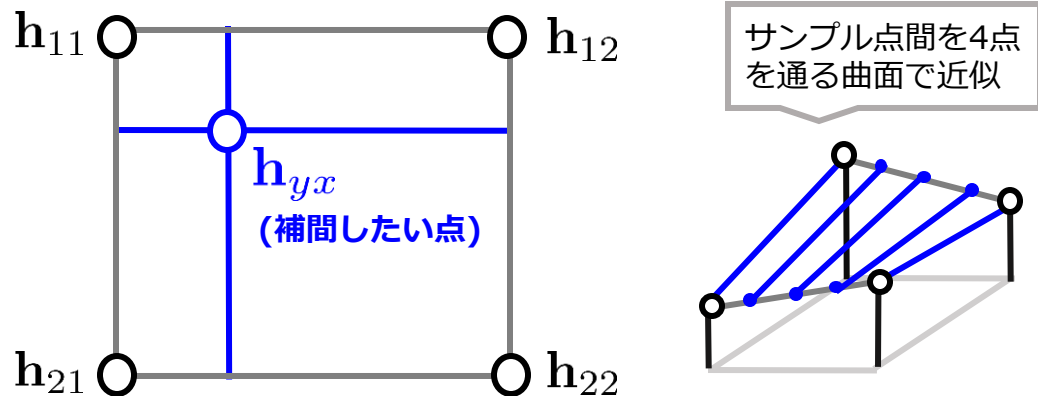
観測値から元信号を復元したい！

欠損補間手法

- 双線形補間 (linear)
- DFT補間 (dft)
- ガウス過程回帰 (gp)

手法

双線形補間 (bilinear)

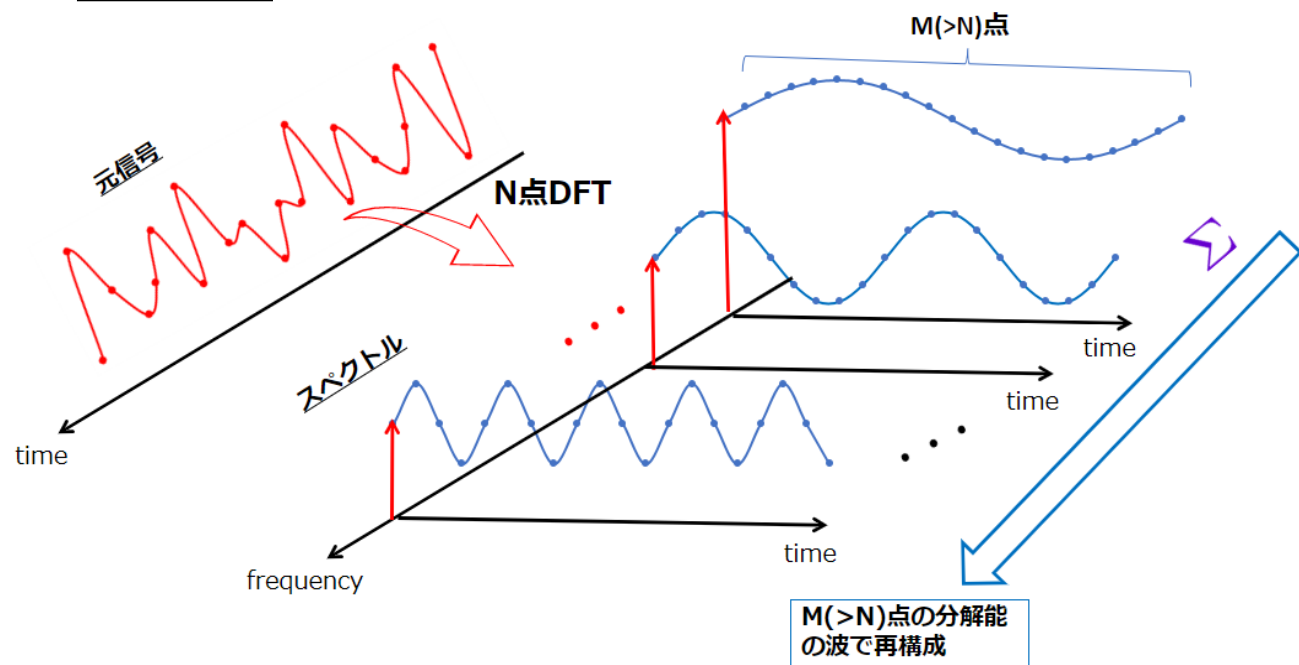


内点 h_{yx} を近傍の4点 $\{h_{11}, h_{12}, h_{21}, h_{22}\}$ から補間

$$h_{yx} = \underline{c_{11}}h_{11} + \underline{c_{12}}h_{12} + \underline{c_{21}}h_{21} + \underline{c_{22}}h_{22}$$

結合係数 c は補間点までの近さに基づく指標から決定

DFT補間



- 周波数, 時間の2次元に対して適用

$$\begin{matrix} M \\ \left[\begin{array}{c} \hat{\mathbf{H}} \end{array} \right] \\ M(>N) \end{matrix} = \mathbf{F}_f \times \begin{matrix} N \\ \left[\begin{array}{c} \mathbf{H}_{\text{obs}} \end{array} \right] \\ N \end{matrix} \times \mathbf{F}_t$$

手法

ガウス過程回帰 (GP)

- 2次元無線チャネルを結合ガウス分布でモデリング

$$\mathbf{h} \sim \mathcal{N}(\mathbf{h} | \mathbf{0}, \mathbf{K}_\theta)$$

$$\left[\begin{array}{l} \text{観測値: } \underline{\mathbf{h}_{\text{obs}}} \\ \text{欠損値: } \underline{\mathbf{h}_{\text{loss}}} \end{array} \right] \sim \mathcal{N} \left(\left[\begin{array}{l} \underline{\mathbf{h}_{\text{obs}}} \\ \underline{\mathbf{h}_{\text{loss}}} \end{array} \right] \middle| \left[\begin{array}{l} \mathbf{0} \\ \mathbf{0} \end{array} \right], \left[\begin{array}{cc} \mathbf{K}_{\theta_{\text{obs,obs}}} & \mathbf{K}_{\theta_{\text{obs,loss}}} \\ \mathbf{K}_{\theta_{\text{loss,obs}}} & \mathbf{K}_{\theta_{\text{loss,loss}}} \end{array} \right] \right)$$

- パラメータ θ の学習 (最尤推定)

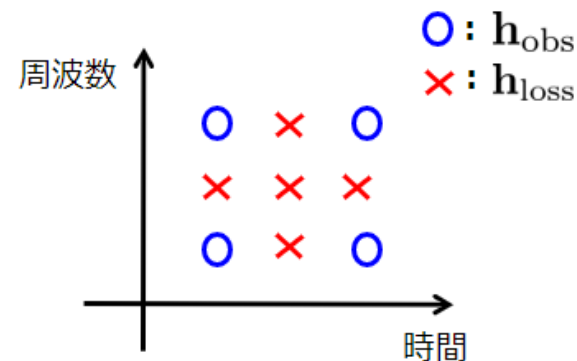
$$\max_{\theta} \ln p_{\theta}(\mathbf{h}_{\text{obs}})$$

- 観測値の下での欠損値の事後分布を求める

$$p(\underline{\mathbf{h}_{\text{loss}}} \mid \underline{\mathbf{h}_{\text{obs}}}) = \mathcal{N}(\underline{\mathbf{h}_{\text{loss}}} \mid \underline{\mu_{\text{loss}|\text{obs}}}, \underline{\Sigma_{\text{loss}|\text{obs}}})$$

$$\text{欠損値の期待値 } \underline{\mu_{\text{loss}|\text{obs}}} = \mathbf{K}_{\theta_{\text{loss,obs}}} \mathbf{K}_{\theta_{\text{obs,obs}}}^{-1} \mathbf{h}_{\text{obs}}$$

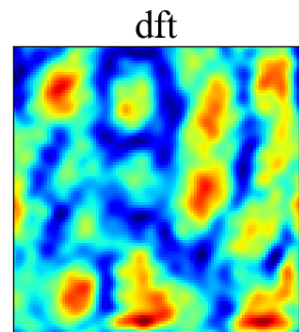
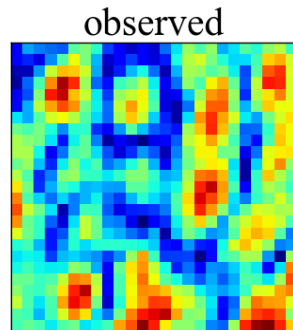
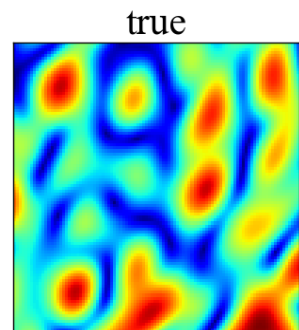
$$\underline{\Sigma_{\text{loss}|\text{obs}}} = \mathbf{K}_{\theta_{\text{loss,loss}}} - \mathbf{K}_{\theta_{\text{loss,obs}}} \mathbf{K}_{\theta_{\text{obs,obs}}}^{-1} \mathbf{K}_{\theta_{\text{obs,loss}}}$$



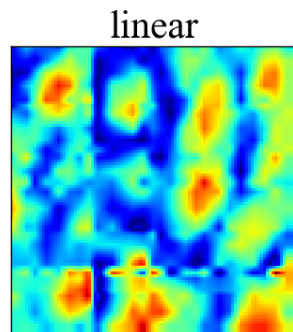
結果

周波数・時間変動チャネル

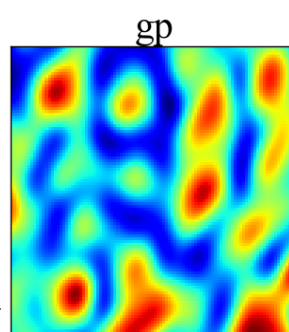
$$f_d T_s = 0.4, \tau F_s = 0.2$$



MSE:
0.01772



MSE:
0.03012



MSE:
0.00702

dft : DFT補間
linear : 双線形補間
gp : ガウス過程回帰

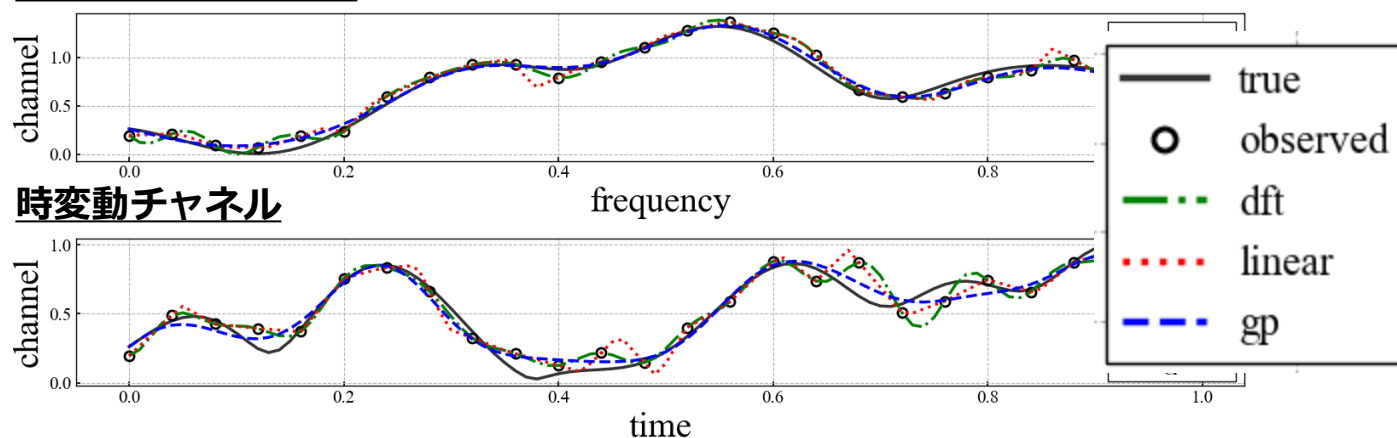
シミュレーション条件

- 入力サイズ(観測): 25×25
- 出力サイズ(補間): 100×100
- 正規化ドップラー: 0.1, 0.2, ..., 0.5
- 正規化遅延時間: 0.1, 0.2, ..., 0.5
- SNR=20 dB
- RBFカーネル(最適化パラメータ数:3)

- ← 性能 : **linear < dft < gp**
gpはdftと比較して**MSEが約2/5倍**

周波数変動チャネル

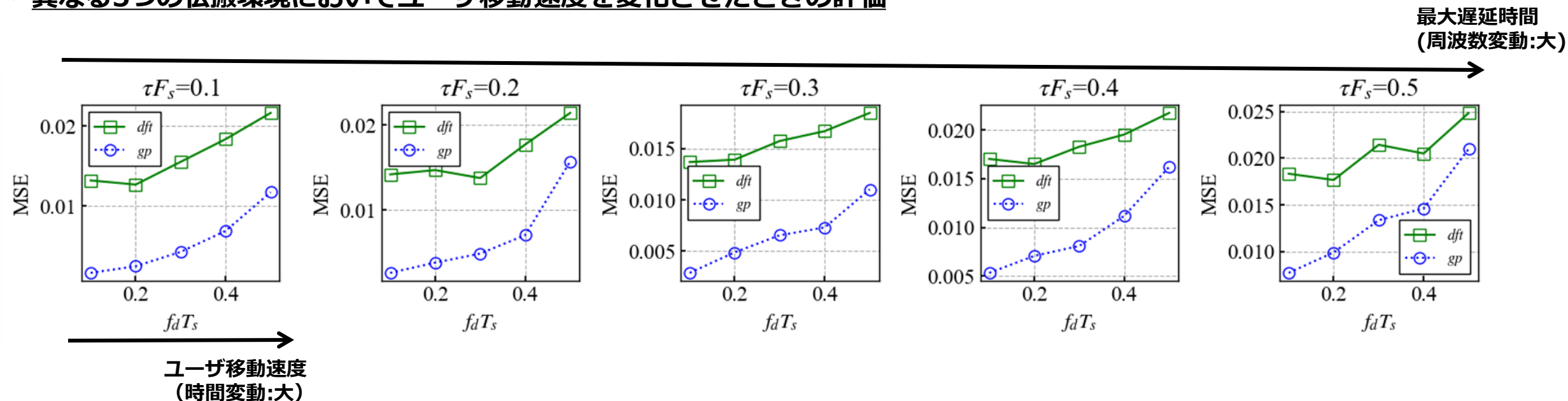
$$f_d T_s = 0.4, \tau F_s = 0.2$$



時変動チャネル

結果

- 異なる5つの伝搬環境においてユーザ移動速度を変化させたときの評価



まとめ

- FdTs=0.4, tFs=0.2 の環境において, GPを利用することでDFT補間と比較してMSEが2/5倍に改善
- 異なる周波数,時間変動環境においてGPの有効性を確認
- 課題
 - SinGANを適用したが上手く補間できなかった
 - 複素数での適用 (今回は絶対値をとったデータに対して適用)
 - リアルタイム動作の考慮

