

# RF回路損失の高速デジタル補正技術

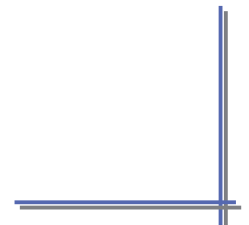
大阪府立大学 工学研究科 電気情報システム工学分野

助教 林 海  
教授 山下 勝己

# 発表概要

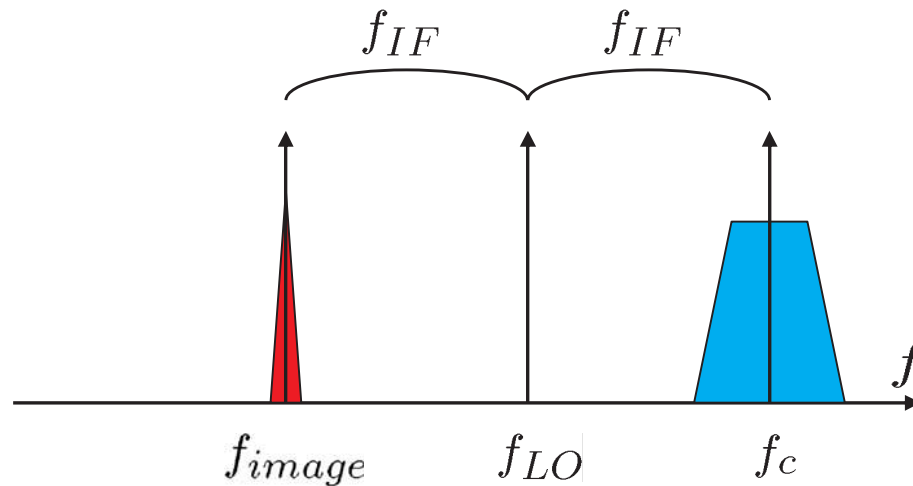


1. ダイレクトコンバージョン受信機 (DCR)
2. 直交周波数分割多重 (OFDM)
3. DCRにおけるRF回路損失
4. 従来の補正方法とその問題点
5. 高速処理可能な補正技術
6. 実用化に向けた課題

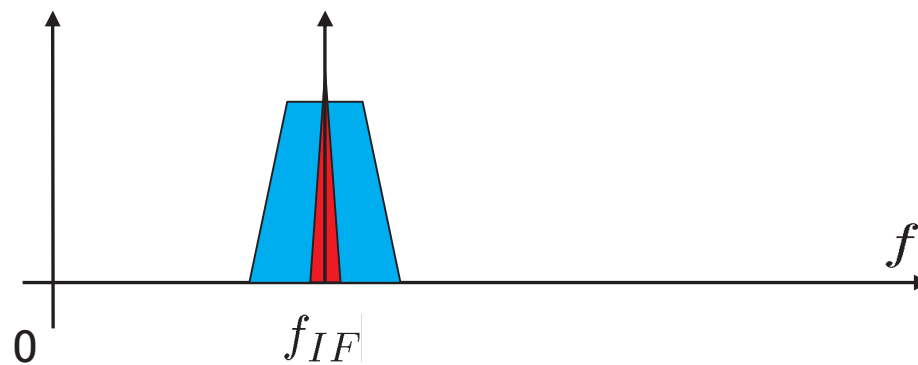




# Super-Heterodyne 受信機



↓  $f_{LO}$ でダウンコンバージョン



周波数  $f_c$  の信号を中間周波数  $f_{IF}$  に  
ダウンコンバージョンする。この時、

$$f_{LO} = f_c - f_{IF}$$

(low-side injectionの場合)

また同時に、

$$\begin{aligned} f_{image} &= f_{LO} - f_{IF} \\ &= f_c - 2f_{IF} \end{aligned}$$

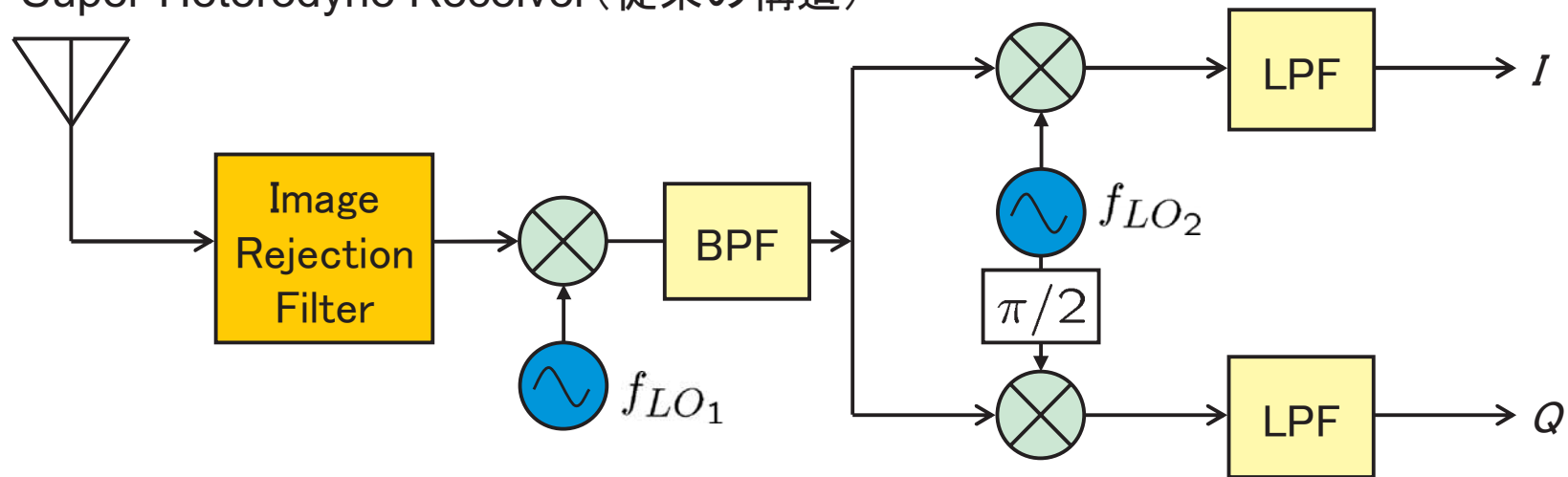
となるイメージ周波数  $f_{image}$  も  $f_{IF}$  にダウン  
コンバージョンされる。

このため  $f_{image}$  の周波数成分をImage  
Rejection Filterを用いて除去する必  
要がある。

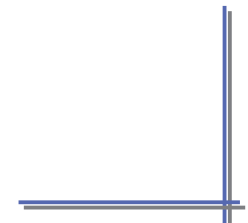
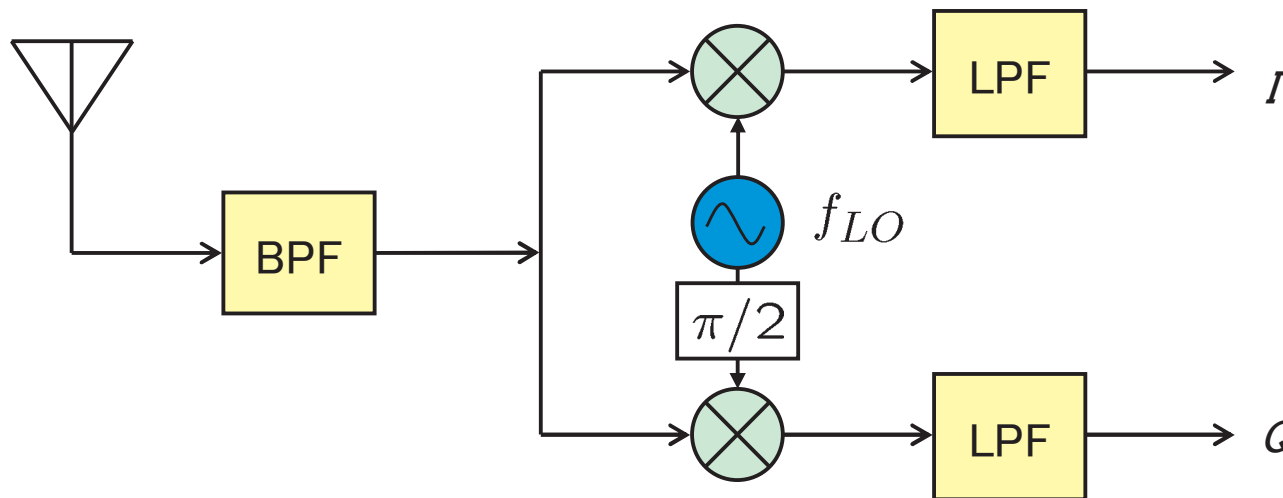
# 受信機構造の比較



## ◆ Super-Heterodyne Receiver (従来の構造)



## ◆ Direct-Conversion Receiver (DCR) (次世代の構造)





# ダイレクトコンバージョン受信機 (DCR)

RF信号直接ベースバンドに変換する方式  
従来方式にある中間周波数帯が存在しない。

## 長所

- 低コスト(高価なRF帯フィルタが少ない)
- 低消費電力(部品が少ない)
- 小型化(回路面積が小さい)



しかし

## 短所

DCオフセット、I/Q不均衡などのRF回路歪みが発生

DCRの実現には、上記のRF回路歪みを補正する技術が必要！



# 直交周波数分割多重 (OFDM)

応用例: [無線通信] デジタル放送, 802.11 a/g/n, WiMax, LTE  
[有線通信] ADSL, PLC

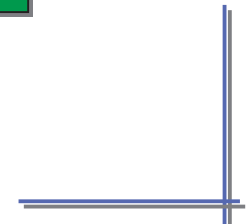
## 長所

- ✓ 周波数利用率高い (Overlapped Spectrum)
- ✓ 周波数選択性フェーディングに強い (Cyclic Prefix )

## 短所

- キャリア周波数オフセット(CFO)に弱い

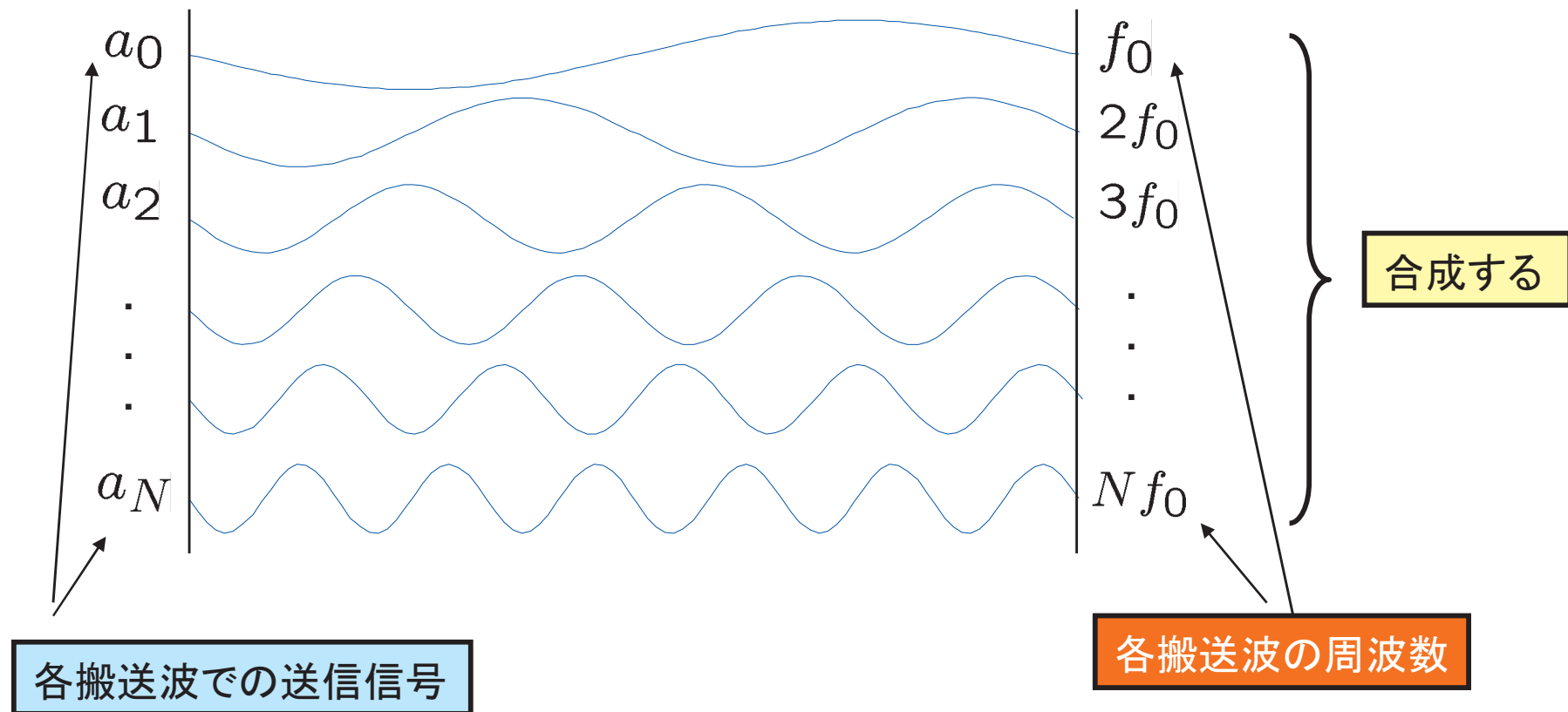
CFOにより、キャリア間干渉が発生、性能劣化。



# OFDM通信方式



- 複数の直交搬送波(サブキャリア)を持つ多重通信方式





# OFDM スペクトラムとCFO

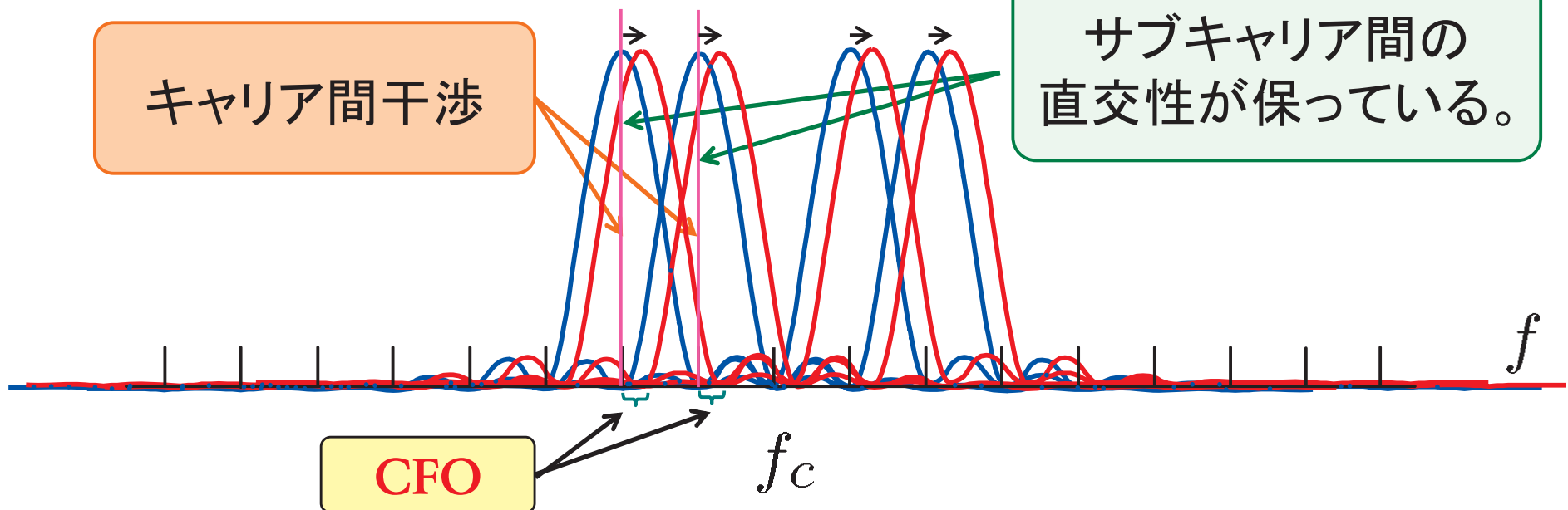
- ・ トップラー効果
- ・ 送受信機LOの周波数ずれ



CFO発生

キャリア間干渉

サブキャリア間の直交性が保っている。

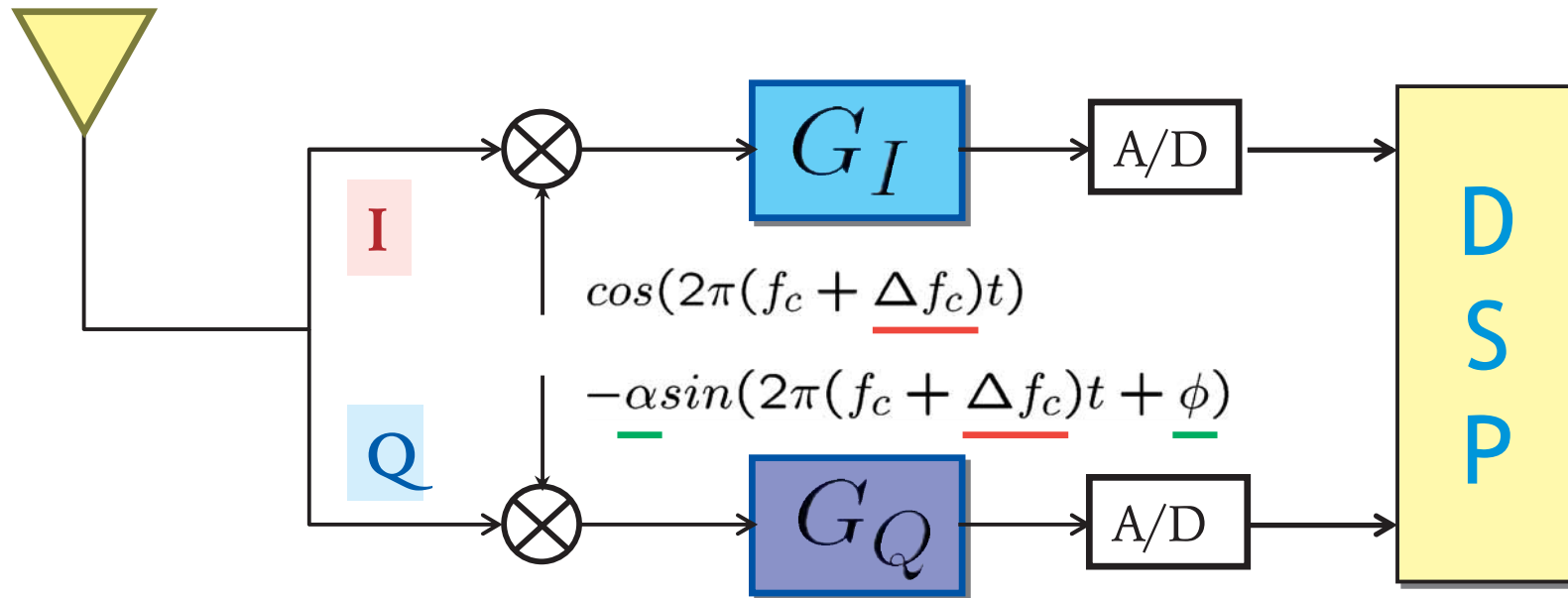


CFOを補正しなければならない





# DCRにおけるRF回路損失



理想状態



$$\begin{aligned} \Delta f_c &= 0 & \alpha &= 1 \\ \phi &= 0 & G_I &= G_Q = LPF \end{aligned}$$

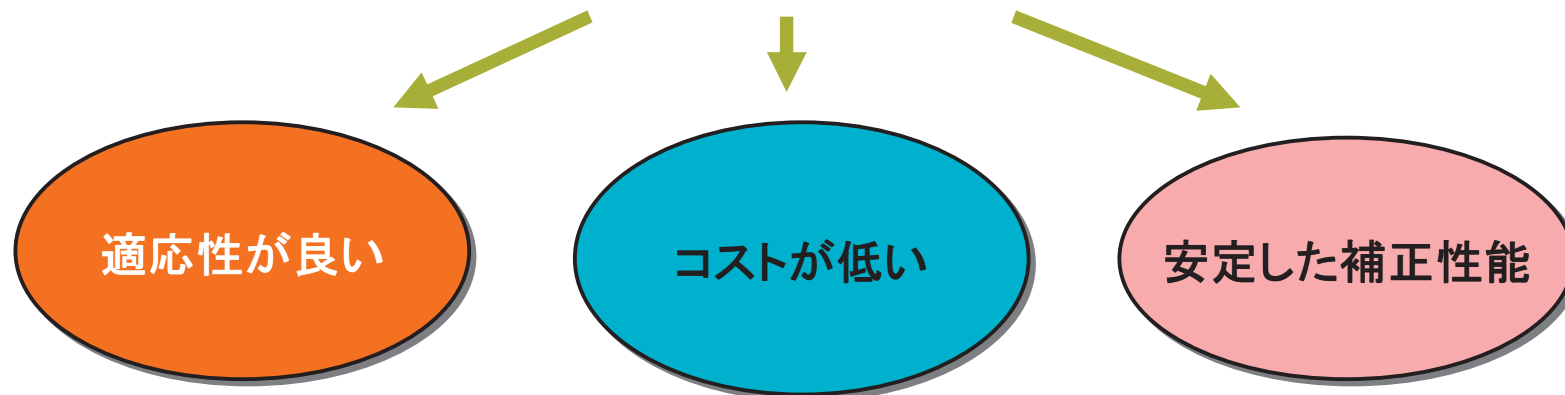
部品の誤差による**非**理想状態、干渉信号が発生する！



# デジタル信号処理による補正

- アナログ部品のため、特性に誤差とばらつきがある。
- 高精度RF部品はコストがかかる。
- キャリブレーションまたアナログ補正は限界があり、余計なコストになる。

## デジタル信号処理による補正



ベースバンドLSIチップに補正法を追加する  
またはコンパニオンチップ



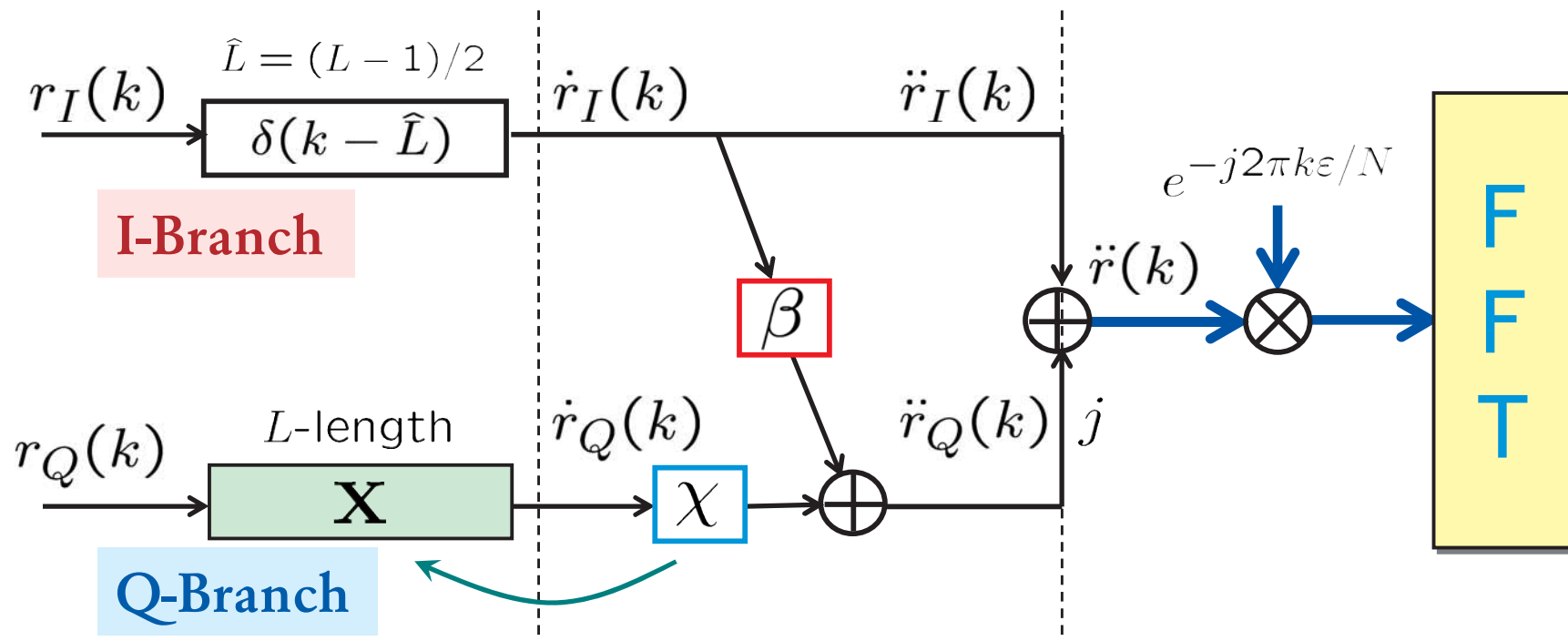
# 補正構造

周波数選択性I/Q不均衡の補正: デジタルフィルタ

$\mathbf{X}$

周波数非選択性I/Q不均衡の補正: スカラー

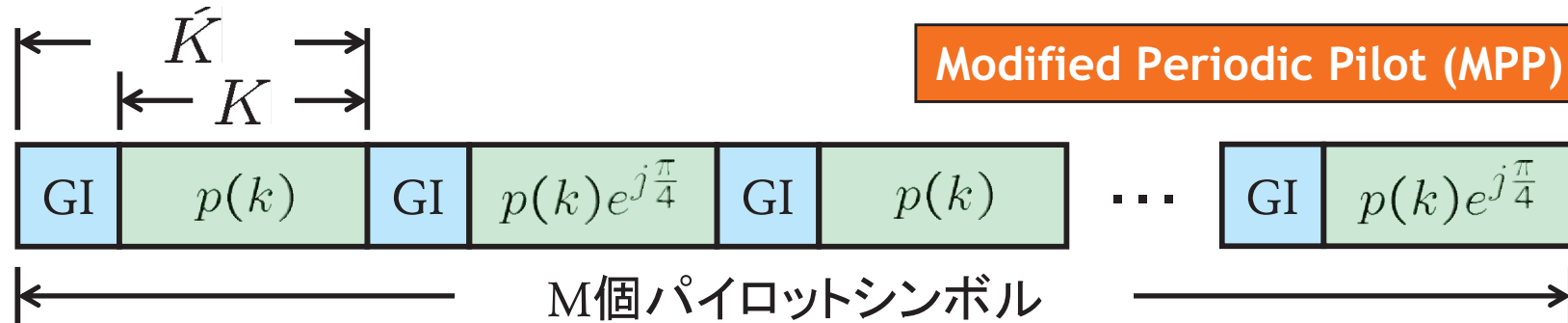
$\tan \phi$ ,  $\sec \phi$



$\mathbf{X}$ ,  $\beta$ ,  $\epsilon$  を推定しないといけない



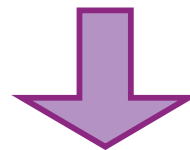
# 従来法 (特殊なパイロットを利用)



① CFO推定

② I/Q不均衡補正パラメータを求める

CFO推定のコスト関数 (非線形最小二乗問題)



解析解は存在しないため、解を求めるには次元探索が必要



## 従来法の問題点

- CFO推定は**非線形最小2乗問題**であり、計算負荷が大きい。また、推定精度は探索の最小単位に依存することになる。
- I/Q不均衡の補正係数はCFO推定値に依存して、**計算効率は悪い**。
- CFO推定は**正確なタイミング同期を必要**とする。しかしながら、補正前に正確なタイミング同期をとるのが容易ではない。

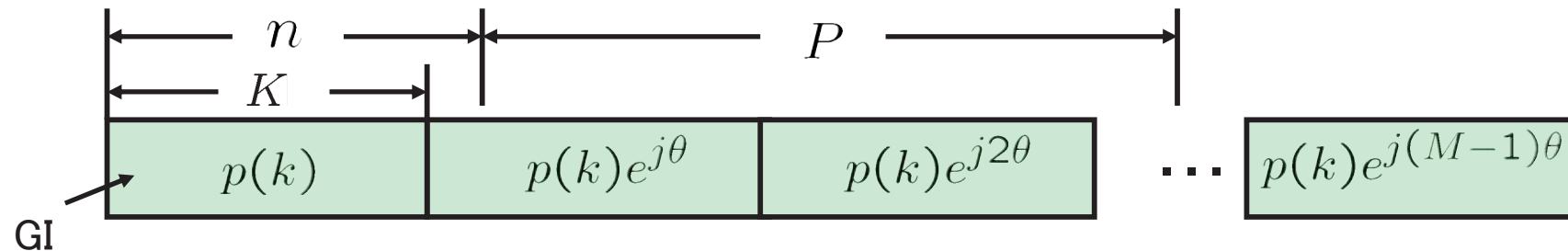


実用には  
非常に困難

特殊なパイロットが必要、現存規格には対応不可能



# 高速処理可能な補正法



CFOと I/Q不均衡補正パラメータを同時推定

コスト関数（線形最小二乗問題）

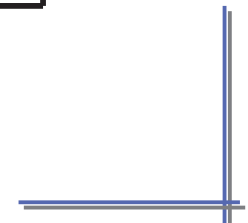
解析解で必要なパラメータを求める

# シミュレーション条件



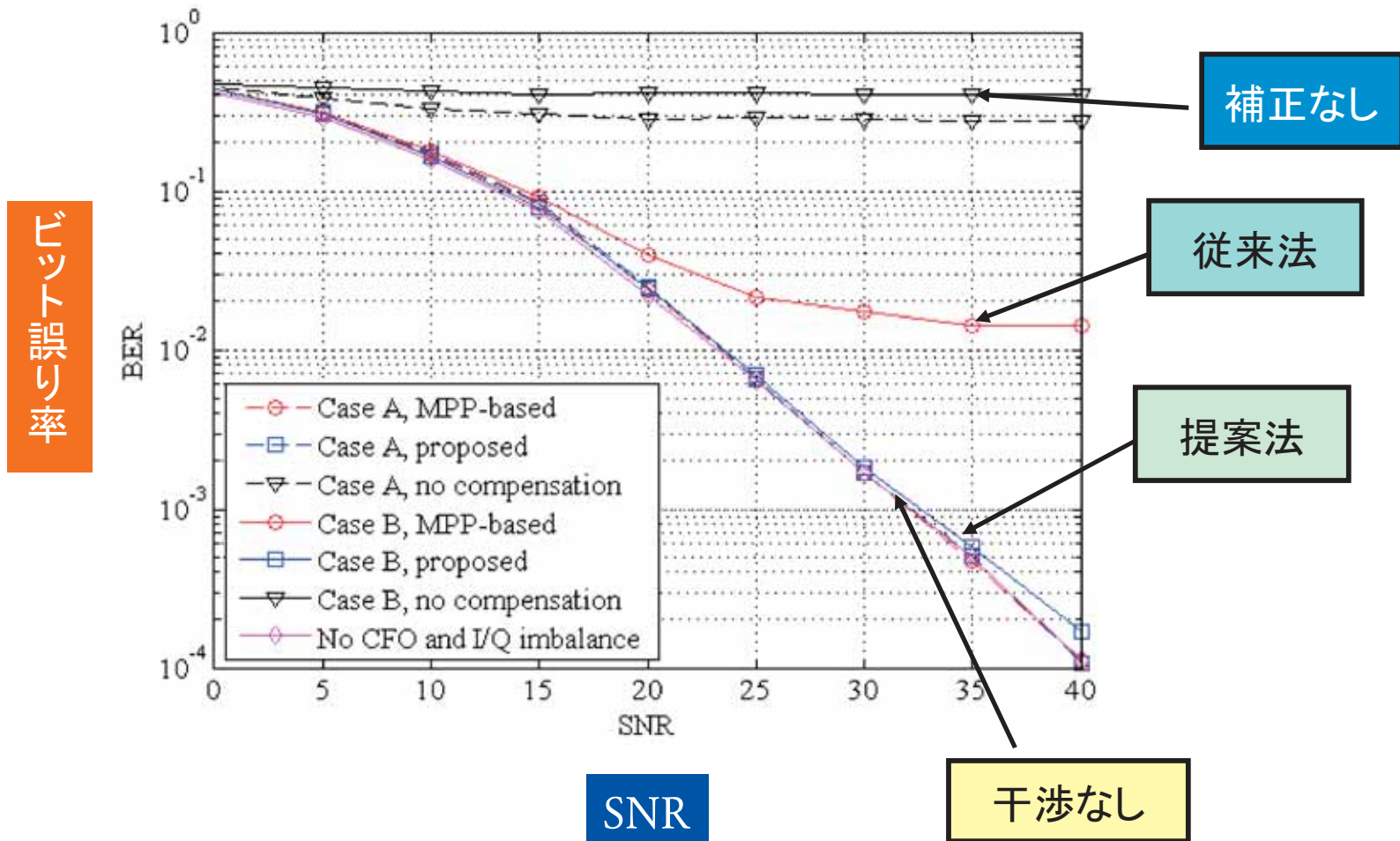
## Parameters of OFDM System: IEEE 802.11a -like

Parameter	Value
Signal Constellation	16-QAM
Number of subcarriers	64
Length of cyclic prefix	16
Number of data modulated subcarriers	52
Number of Null subcarriers	12
Carrier frequency	5GHz
Total system bandwidth	20MHz



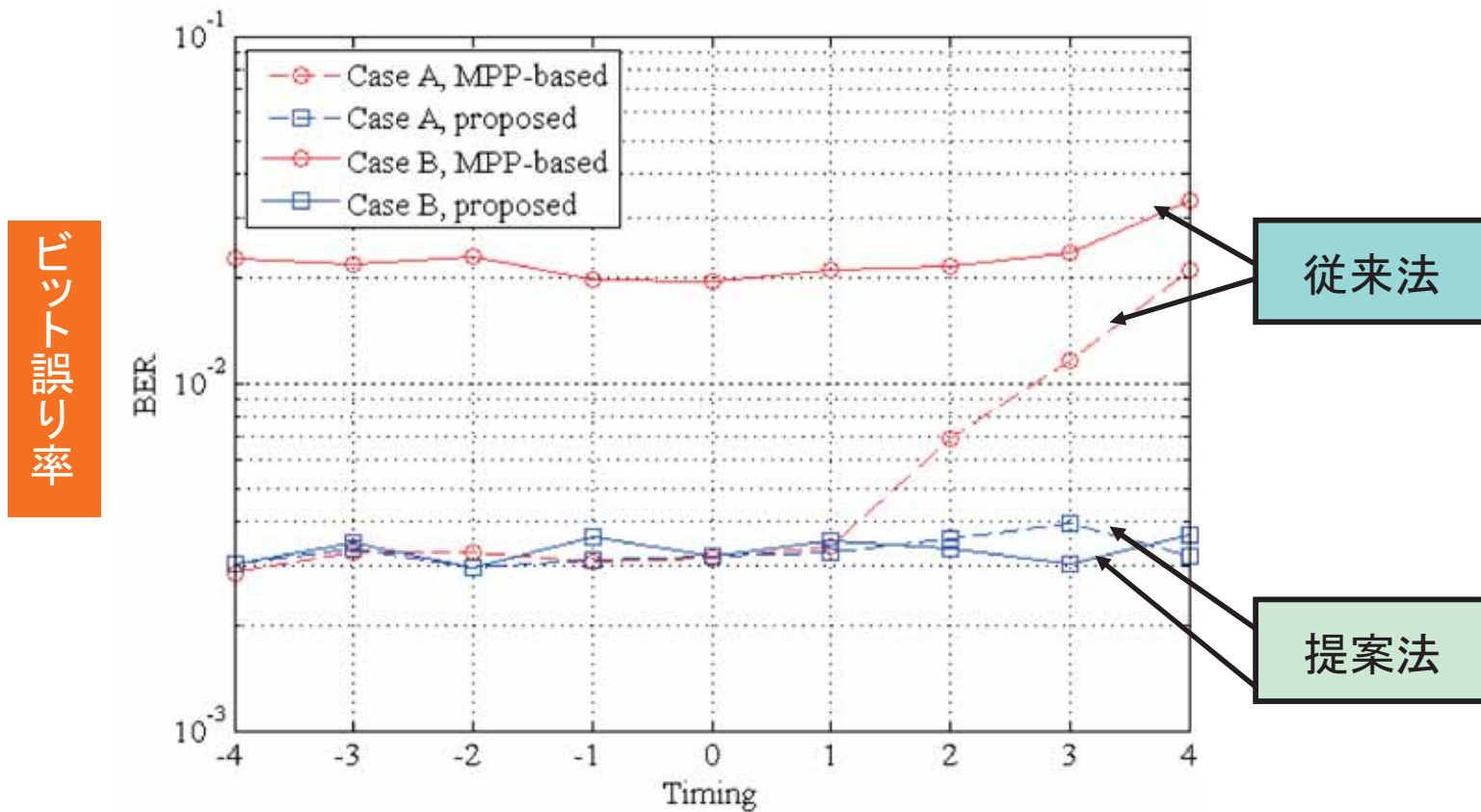


# シミュレーション結果

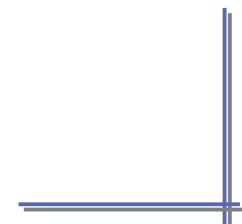




# シミュレーション結果



タイミング同期エラー





# 提案法のまとめ

- 解析的かつ同時にパラメータを求める
- 計算量は非常に少ない(従来の千分の一以下)
- 補正性能は理想に近い
- タイミング同期エラーの影響殆ど受けない
- 現存規格の周期性パイロットに対応
- MIMO-OFDMに拡張できる

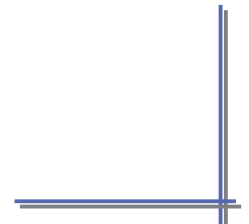


実時間処理  
可能な方法

# 実用化に向けた課題



- LSIへの実装
- 低SNR状況下の性能改善
- すべての通信規格に適用できる補正法

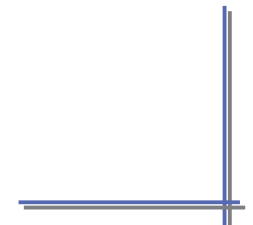




# 想定される用途

---

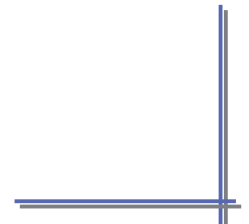
- 無線LAN
- ソフト無線
- 各種小型・低コスト無線通信端末



# 企業様への期待



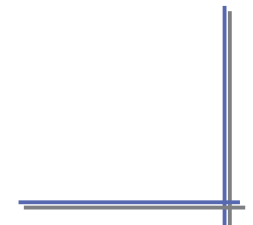
- 無線端末製造企業との共同研究を希望。
- 次世代通信LSIを開発中の企業、本技術の導入が有効と思われる。



# 本技術に関する知的財産権



- 発明の名称： キャリア周波数オフセットとIQインバランスの補償方法
- 出願番号： 特願2007-303581
- 出願人： 大阪府立大学
- 発明者： 林 海、山下勝己



# お問い合わせ先



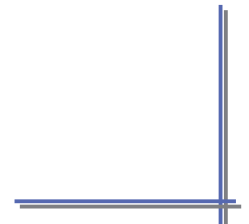
大阪府立大学  
産学官連携コーディネーター

阿部 敏郎  
田中 政行

Tel: 072-254-9128

Fax: 072-254-9874

Email: [abe@iao.osakafu-u.ac.jp](mailto:abe@iao.osakafu-u.ac.jp)  
[tanaka@iao.osakafu-u.ac.jp](mailto:tanaka@iao.osakafu-u.ac.jp)



# おわり



## ■ ご清聴ありがとうございました!

大阪府立大学 工学研究科  
電気情報システム工学分野

知的情報通信研究室

<http://www.eis.osakafu-u.ac.jp/~iic>

Email: [lin@eis.osakafu-u.ac.jp](mailto:lin@eis.osakafu-u.ac.jp)  
[yamashita@eis.osakafu-u.ac.jp](mailto:yamashita@eis.osakafu-u.ac.jp)

