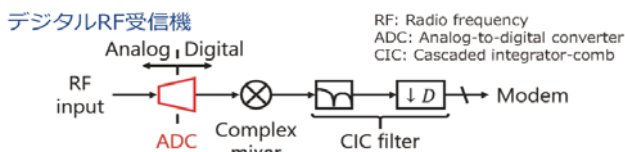


# デジタルRF受信機における時間インターリーブADC変換器のデジタルミスマッチ補正

## 背景と目的

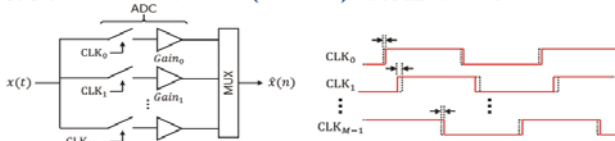


- ADCでRF信号を直接サンプリングする。
  - ミキサとフィルタをデジタル回路で実現する。
- ➡ アナログ回路を減らし、開発コストを低減する。

### RFサンプリングADCの要求

- 高速サンプリング (GS/s)
  - 高分解能 (BLE: SFDR > 74 dB)
- S/s: Samples per second  
BLE: Bluetooth low energy  
SFDR: Spurious-free dynamic range

### 時間インターリーブADC (TI-ADC) と特性ミスマッチ



- ADC単体のサンプリングレートを低減できる。
  - 各ADC間の特性ミスマッチでエイリアス信号 (不要波) が発生し、SFDRが劣化する。
- ➡ ミスマッチを補正する必要がある。

### 従来の補正回路

- 高いデータレート (GS/s) で動作が難しい。
- 多チャンネルTI-ADCにおいて補正回路が複雑になる。

デジタルRF受信機における多チャンネルTI-ADCのミスマッチを補正するデジタル回路を示す。

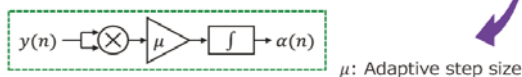
## 補正構成



補正後の信号  $y(n)$ : 入力信号  $\hat{x}_{CIC}(n)$  から補正信号を減じる。  

$$y(n) = \hat{x}_{CIC}(n) - \alpha(n)\hat{x}_{CIC}(n)$$
 補正信号

補正係数  $\alpha(n)$ : ミスマッチ検出ブロックで生成する。



ミスマッチ検出ブロック: CACFで  $y(n)$  の複素共役成分を検出する。

- CACF:  $C_y \cong E[y^2(n)]$
- ミスマッチがない場合:  $C_y = E[y^2(n)] = E[y(n)(y^*(n))^*] = 0$

CACF: Complementary auto-correlation function  
 $E[\cdot]$ : Expected value

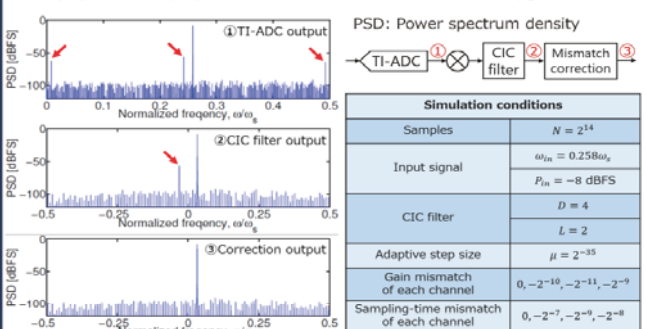
### 適応信号処理を用いたCACF

- $C_y$  が "0" になるように  $\alpha(n)$  を収束させる。  

$$\alpha(n+1) = \alpha(n) + \mu y^2(n)$$

## シミュレーション

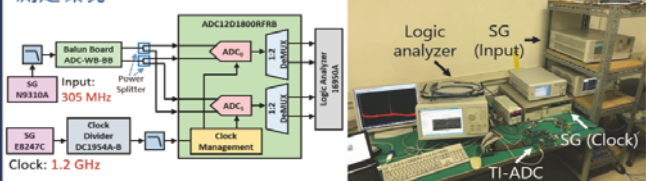
4チャンネル12ビットのTI-ADCをMATLABでモデル化した。



スプリアスが消え、SFDRが47.9 dBから82.8 dBに向上した。

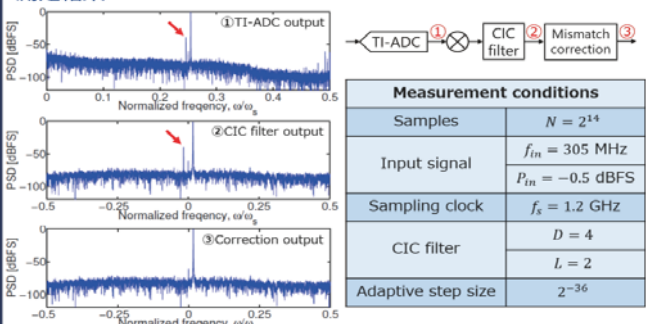
## 測定

### 測定環境



- 市販の2チャンネル12ビットTI-ADCを使用した。
- 補正回路を実装したFPGAを用いて補正した。

### 測定結果



スプリアスが消え、SFDRが38.5 dBから59.6 dBに向上した。

## 従来手法とのハードウェアの比較

	Number of ADC channels	Bandwidth	Number of adders	Number of multipliers	FIR filters
This work	$M$	$\pm\omega_s/2M$	7	7	No
MTT'15	2	$\pm\omega_s/2$	6 or 8	7	HTF
TCAS-I'15	4	$\pm\omega_s/2$	27	21	HTF, LPF, HPF
TCAS-I'13	$M$	$\pm\omega_s/2$	$2M-1$	$4(M-1)$	Derivative filter

MTT: IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques  
 TCAS-I: IEEE Transactions on Circuits and Systems-I Regular papers  
 HTF: Hilbert transform filter, LPF: Low-pass filter, HPF: High-pass filter

### 提案手法の優位性

- 加算器と乗算器が最も少ない ( $M \geq 4$ )。
- FIRフィルタを必要としない。