

## 超伝導A/D信号の分光処理

鎌崎 剛  
(国立天文台チリ観測所)

## 概要

- 10年後に1000ピクセルの  
ヘテロダイン受信機とデジタル分光計?
- 超伝導A/D信号の分光処理シミュレーション

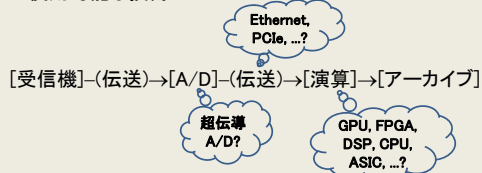
2016/03/08

第16回ミリ波サブミリ波受信機ワークショップ

2

## 10年後に1000ピクセルの ヘテロダイン受信機とデジタル分光計?

- 1000ピクセルの受信機  
→ 検討よろしくお願いします!
- 1000本の受信機信号を処理するデジタル分光計  
– 使用可能な技術は?



2016/03/08

第16回ミリ波サブミリ波受信機ワークショップ

3

## マルチビームヘテロダイン受信機用に 現在使用されている分光計

- JCMT (HARP, 16pix, 325–375GHz)  
– ACSIS (2004年、250–1860MHz/30kHz~1MHz)
- IRAM30m (HERA, 9pix x2, 215–241/272GHz)  
– FTS (2011年、Wide: 4GHz/200kHz, High: 800MHz/50kHz)



- c.f.) ALMA ACA (16ant x dual-polarization)
- ACACORR (2007年、31.25MHz–2GHz, 4096ch)  
→ 4GHzサンプリング3-bit: 12Gbps  
→ 1M-point FFT/250μs: ~170GFLOPS  
この仕様で1000ピクセルを実現するには?



2016/03/08

第16回ミリ波サブミリ波受信機ワークショップ

## 使用可能な技術は?

- A/D  
– 超伝導A/D
  - 1000本のアナログ出力は考え難い
  - 受信機信号を受信機内でサンプリングした後、光に変換して出力
- 演算処理  
– GPU
  - NVIDIA Maxwell (2014年) 単精度浮動小数点 ~5TFLOPS
  - 5TFLOPS / 170GFLOPS/pix = ~30pix/GPU
- FPGA
  - XILINX Virtex-7 (2011年) 2TFLOPS
  - 2TFLOPS / 170GFLOPS/pix = ~12pix/FPGA

2016/03/08

第16回ミリ波サブミリ波受信機ワークショップ

5

## 使用可能な技術は?

- デジタル伝送と演算部への入力  
– Ethernet 10GBASE-T (2006年) → 40/100GbE (2010年)
  - 1000ピクセル ÷ (100Gbps / 12Gbps) = ~120本の光ファイバー
  - 波長多重、多値符号、空間分割多重(マルチコア、マルチモード)
- GPU: PCIe Gen3 (2010年) → Gen4 (策定中)
  - PCIe Gen3の2倍の能力: 片方向2.0Gbyte/s/lane x 32/64-lane
  - 1000ピクセル ÷ (128Gbyte/s / 12Gbps) = ~12本の線
- FPGA (Virtex-7)
  - 28.05Gbpsトランシーバ、PCIe Gen3 x8 (~64Gbps)
  - 1000ピクセル ÷ (64Gbps / 12Gbps) = ~190本の線

2016/03/08

第16回ミリ波サブミリ波受信機ワークショップ

6

### 案1. 超伝導A/D + GPU/FPGA分光計

- 受信機信号を超伝導A/Dでデジタル化した後に光出力
- 分光演算はGPU/FPGAによる並列処理
  - GPU  

$$\frac{[30\text{pix}] - (\text{超伝導A/D} + 4\text{光多重化}) - [\text{GPU}]}{\times 33}$$
  - FPGA  

$$\frac{[24\text{pix}] - (\text{超伝導A/D} + 4\text{光多重化}) - [\text{FPGA}] \times 2}{\times 42}$$

2016/03/08

第16回ミリ波サブミリ波受信機ワークショップ

7

### 案2. 超伝導A/D + 超伝導分光計

- 受信機信号を超伝導A/Dでデジタル化
- 受信機内の超伝導デジタル回路によるF-XF分光計
  - デジタル帯域フィルターで帯域幅の選択(F部)
  - 相関処理(X部)
  - 時間積分によるデータレート削減後に光で出力(以降、受信機外)
  - 計算機上でFFT(F部)
- 演算処理可能ならばFFT分光計でも良い
- 広帯域化に対応し易い?

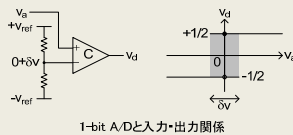
2016/03/08

第16回ミリ波サブミリ波受信機ワークショップ

8

### 超伝導A/D信号の分光処理シミュレーション

- 超伝導A/Dの既存A/Dとの違い
  - 既存A/D
    - 閾値電圧の雑音( $\delta v$ )  $\ll$  入力信号( $v_a$ )
  - 超伝導A/D (IF信号を直にA/D)
    - 閾値電圧の雑音( $\delta v$ )  $\sim$  入力信号( $v_a$ )
    - 閾値電圧の雑音の影響は?



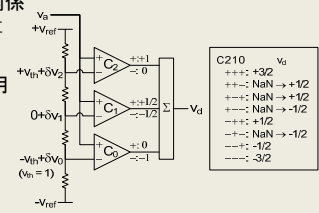
2016/03/08

第16回ミリ波サブミリ波受信機ワークショップ

9

### 2-bit量子化器の計算機シミュレーション

- 2-bit量子化器のモデル
  - 理想的な2-bit量子化器(比較器 $C_0, C_1, C_2$ )
    - + 比較器毎に独立な閾値雑音( $\delta v_0, \delta v_1, \delta v_2$ )
  - 比較結果と出力値の関係
    - 比較器出力の単純加算
  - 閾値雑音としてガウシアン雑音を使用
    - 平均0、標準偏差 $\sigma$



2016/03/08

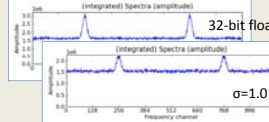
第16回ミリ波サブミリ波受信機ワークショップ

10

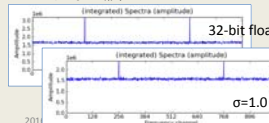
### 計算機シミュレーション結果(1)

#### スペクトル形状

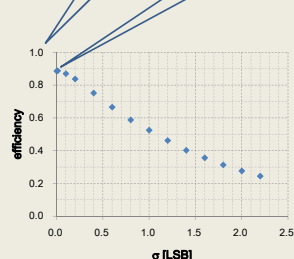
- ガウシアン形状スペクトル



- サイン波



#### 効率



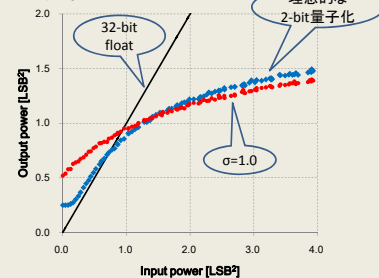
2016

第16回ミリ波サブミリ波受信機ワークショップ

11

### 計算機シミュレーション結果(2)

- 入出力間の非線形性



2016/03/08

第16回ミリ波サブミリ波受信機ワークショップ

12

## 今後の検討課題

- 量子化補正
  - スペクトルの歪み、入出力間の非線形性の補正
- 多bitの実現方法
  - 比較器出力の単純和?