

LCGTにおける Digital制御について

2009/4/27(月) LCGT干涉計会議
東京大学宇宙線研究所 宮川 治

- LCGTではRSEを採用し、光軸、角度制御ともに複雑になるため、デジタル制御導入への流れはもう避けることができない。
- 問題はどのような手段ですか
- 昨年8月のLCGT会議の結果は「LIGOのデジタルシステムの導入」という結論だったと聞いている。
- LCGTの予算が通ってから準備するのでは手遅れになる可能性大。

- 世界の干渉計の制御はほぼ全てデジタルに置き換わっている
 - LIGO: 非常に多くの予算とマンパワーを裂いて開発、iLIGOにVMEベースのデジタル制御を導入済み。現在AdLIGO用にLinuxベースで新しくコンパクトなシステムを開発中、eLIGOで一部テスト中。新しいシステムは、LASTI、40m、GEO等、多数の場所への導入実績がすでにある。長年使われたシステムのため、多くの技術蓄積がある。
 - VIRGO: 独自のデジタルシステムを構築。初期の頃は使い物にならなかったが、Rana曰く最近のはLIGOのよりいい。
 - GEO: AdLIGOの物を一部に導入。
 - TAMA: 光軸制御の一部にDSP、遅い角度制御Labviewを用いたものが使われているが、感度を取る時はDSPでなくアナログを使う等、統合的なシステムにはなっていない。
- TAMAの延長ではLCGTの制御に耐えうる物にならない。

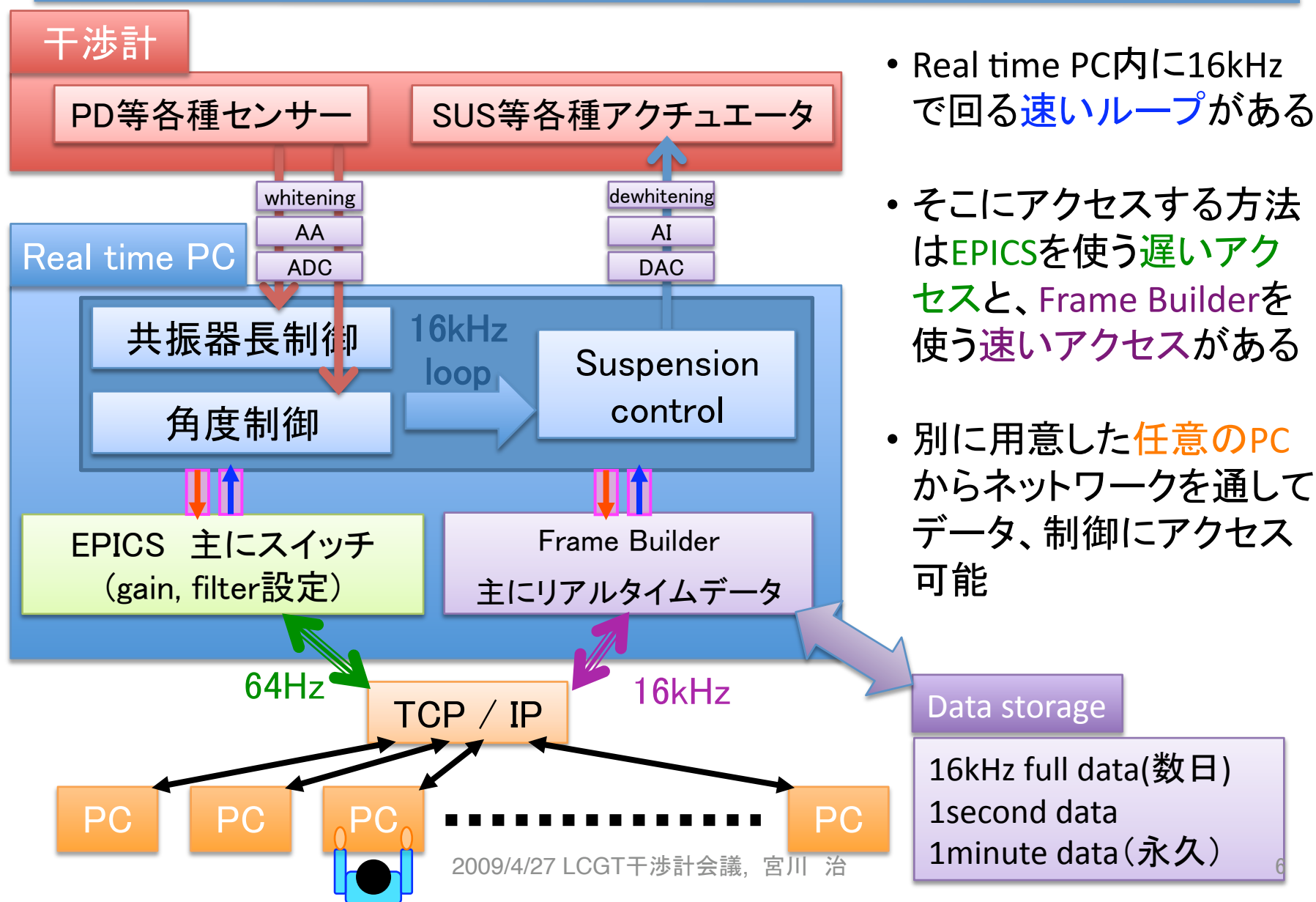
- 自前での構築は予算、期間、マンパワーどれをとっても厳しい。
- デジタル制御は重力波の検出、感度達成にとって本質的ではない。ただの手段と考えるべき。
- ならば使い勝手のよい、実績のある、導入しやすい物を持ってくるのは悪い手ではない。
- CLIOにLIGOのデジタルをテスト機として導入が進んでいる
 - LCGTで使われるかどうかとは一応独立に進んだ計画。
 - AdLIGOで使われる予定のもの(ただしまだLIGOでも変更の可能性有り)。
- LCGTではCLIOと同一の物になるとは限らない(もっと発展するという意味で)が、基本路線はこのAdLIGO用のデジタルシステムをLCGTに導入することを提案。
 - 昨年8月の提言の路線から外れた物ではない。

デジタルシステムの利点と欠点



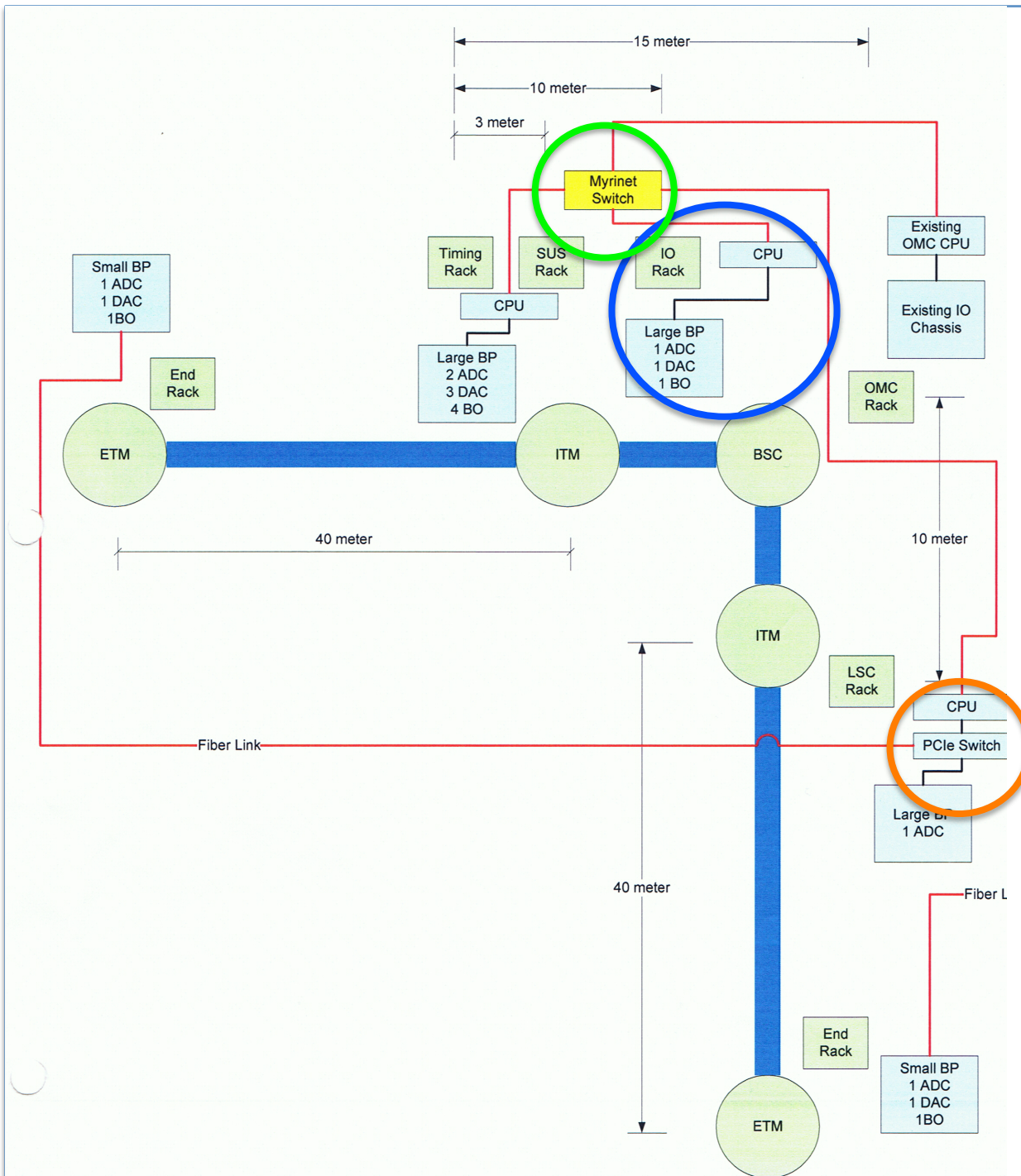
- ひと言で言うと、「干渉計へのアクセスのしやすさを提供する」
 - フィルターの設計制作が簡単
 - ゲイン、信号等の切り替えの自動化
 - 全パラメータの記憶
 - 開発された技術を簡単にコピーできる
 - 干渉計全体を把握出来る人を増やす
 - 初心者でもほんの少しの訓練で干渉計が触れる
 - 誰がやっても最適化のレベルが毎回同じで、その状態が長く続く
 - 長期観測時等のためのオペレーター制度の採用の可能性
 - 感度向上のための時間の短縮につながる
-
- デジタル固有の問題がある(ゼロ割、ゼロゲインによる遅延など)
 - 一ヶ所動かないとすべてのループがとまることがよくある
 - 遅い(16kHzサンプリングでUGF=300~400Hz)
 - LCGT、CLIOなら大丈夫
 - ADC、DACのノイズが大きい、alias, imageがある
 - whitening, dewatering, anti alias, anti imaging filterが必要

LIGOのデジタル制御の概念図



- Real time PC内に16kHzで回る**速いループ**がある
- そこにアクセスする方法は**EPICS**を使う**遅いアクセス**と、**Frame Builder**を使う**速いアクセス**がある
- 別に用意した**任意のPC**からネットワークを通してデータ、制御にアクセス可能

- 自動ロック
 - Initial alignment自動調整
 - ロック状態の自動判断
 - ロック状態に応じたゲイン、フィルターの自動選択
 - ロック状態に応じた制御信号の切り替え
- 光路長制御信号に複雑な計算式を使える
- I&Q復調を用いた復調位相の自動調整
- 入射パワーを変えた時の各自由度の自動ゲイン調整
- 入射パワーに応じたフィルターのダイナミックな変更
- 常時感度モニタ
- 温度、レーザーパワー、地面振動等の長期モニタ
- Wave Front Sensor (WFS) マトリックスなどの最適化
- 鏡へのビームセンタリング



•CLIO1st の規模

- Endまで届けるのに必要
- 複数の計算機をつなぐのに必要

LCGTにかかるコスト(概算)

- 計算機 3台 x \$4K = \$12K
- 拡張box 5台 x \$4K = \$20K
- ADC 6枚 x \$4K = \$24K
- DAC 6枚 x \$4K = \$24K
- BO 7枚 x \$0.3K = \$2K
- Optical adapter 5台 x \$1K = \$5K
- Optical cable 3km x2, 100m x6 計\$20K??
- PCIe switch \$4K
- Myrinet switch \$4K??
- Software \$40K?
- Analog circuit (AA/AI/WT/DWT各\$2kと仮定x24台) \$48K
- Timing \$15K??
- Data storage \$30K??
- Monitor PC \$20K?
- Network \$10K?

Total \$250K??

- ADC/DACのノイズ: 数 $\mu\text{V}/\sqrt{\text{Hz}}$
 - Whitening/dewhitening filterが必須
 - Anti Aliasing /Anti Imaging filterも必須
- 16kHz sampling(64kHzくらいまでは実用上拡張可能)
- 実現できるUGF: だいたい300～400Hz
- チャンネル数
- 32ch/ADC、16ch/DAC、32ch/BO
- 一台のPCで最大14枚のカード
 - 複数台のPCを用いる

- Timing signal
 - エンドまでどのようにtimingを取るか
- 複数のPCでうまく接続できるか
- 3kmはなれたところの接続
- Data storage
 - どれくらいの期間フルデータを一時的に溜め込むのか
 - その後の永久保存はテープ?、大容量HD?