

# 超高速光スイッチが拓く時空融合光信号処理

成瀬 誠

(独) 情報通信研究機構(NICT) 超高速フォトニックネットワークグループ

〒184-8795 東京都小金井市貫井北町 4-2-1

E-mail : naruse@nict.go.jp

超高速領域におけるタイミング揺らぎ (ジッター・ワンダー・スキュー) に対応する時空融合光信号処理を示すとともに, ダイナミクスと空間に関する階層的アーキテクチャや面型光スイッチの高速性と並列性を生かした光領域での時空融合コンピューテーションを示す.

## 1. 時空融合光処理

あらゆるコミュニケーションの情報伝送ニーズに応えるため, 超高速ネットワーク[1]やルータ等の機器間・機器内のインターコネクト技術[2]として超 100Gbps 級の光技術の有効性が期待できる. 特に回線速度が超高速化した領域では, 時空変換は相対的に低速な系との接続に必須の基本的構造でありその歴史は相当古いが [3], フェムト秒テクノロジープロジェクトにおいて開発された新デバイスの特徴的性質や VLSI 技術等の周辺技術, さらにフィードバック構造や信号処理の幾何学的構造を踏まえれば, 時空融合型システムアーキテクチャの可能性がさらに広がる.

## 2. 時空融合階層的並列処理

超高速領域において信号のタイミング揺らぎ (ジッター・ワンダー・スキュー) は極めて重要な問題である. FESTA 富士ゼロックス分散研究ユニットと共同で, 有機色素膜 FESLAP[4,5]を用いてこの問題にアプローチした. FESLAP は制御光照射部のみ信号光の通過を許すので, 制御光の到着タイミングを FESLAP デバイス内の位置毎に異ならせれば, 信号光の通過位置を知ることによって逆にその到着タイミングを知ることができる. したがって信号光のタイミング揺らぎは FESLAP の透過光の位置揺らぎとして検出できる.

しかしながら, FESLAP の特徴である空間

域での超並列性を生かすためには受光系及び後段の処理系にもボトルネックのない機構を備える必要がある. たとえば検出系に CCD カメラを用いればサンプリングレートは 30Hz に制限され超高速光スイッチの潜在性能は大いに制約される. こうした局面では光電子融合 VLSI との融合も有効であり [6], 図 1 (a) に示されるシステムでは, 左方の【全光処理部】で入力光パルスが斜め入射される制御光により空間域に切り出されたのち, 右方の【光電子部】において検出器毎に処理系を備えたアレイサイズ 128×128 光電子並列 VLSI によって, パルスの重心情報 (すなわちタイミング) が高フレームレート (1000 frame/sec) で抽出される. 図 1 (b) は 100 fs パルスのタイミングのパルス毎 (繰り返し 1kHz) 計測の例である. このようなシステムでは, システム全体として, 全光処理部が超高速現象を観測可能としながら, 光電子部が機能的役割を担った, ダイナミクス (時間) 及び空間構造についての階層並列アーキテクチャが構成されている.

タイミング揺らぎ低減システムとしては様々な構成が可能になる. たとえば検出されたタイミング揺らぎを相殺するだけの遅延を信号光にフィードバックする構成が考えられる. 図 1 (c) は piezo-actuator を用い, 約 500 fs のタイミング揺らぎを約 1/10 に低減制御した様子を示す [7].

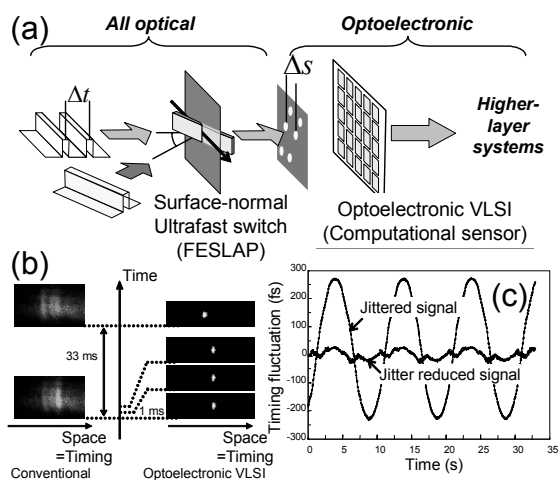


図1 FESLAPを用いたタイミング計測  
及びタイミング揺らぎ低減

### 3. 時空融合論理処理

階層的並列処理のさらなる例として、超高速の光領域においてエラー検出やデータフィルタリング等の一定の機能性を備えるため基礎として論理の完備系を考える。ここではパルス位相変調と論理演算を光領域で対応づけたアーキテクチャを示す[8]。すなわち2値論理を時間軸上の2タイムスロットを用い、光パルスの{1,0}, {0,1}と対応づける。たとえば反転(NOT)はタイムスロットの入れ替え操作と等価となる。入力信号Aを{ $a_1, a_2$ }と入力信号Bを{ $b_1, b_2$ }とすれば、論理の完備系を構成するためのNOT, AND, ORはタイミング制御と各タイムスロットでの内積演算及びタイミング調整により再構成される。図2(a)のようなダイアグラムを用いれば、4個の内積( $a_1 \cdot b_1, a_1 \cdot b_2, a_2 \cdot b_1, a_2 \cdot b_2$ )を、適当な線分により2領域に分離することが演算に対応する。ところで前記のFESLAPは制御光・信号光を2個の入力信号と見なせば、内積演算を空間並列に大量に同時実行するリソースと見なせる。2値論理の場合には、3個の異なる相対的タイミング差に対応した入力系列に対してスイッチングを行うことでAND及びORが実行されると分かる(図2(b))。図2(c)はAND動作の原理確認実験結果であり、タイミング調整と光スイッチ動作のみで実現されることを確認した。実験のタイムスロットは400 fsで、ビットレート換算2.5 Tbpsの超高速信号に対する論理処理に対応する。

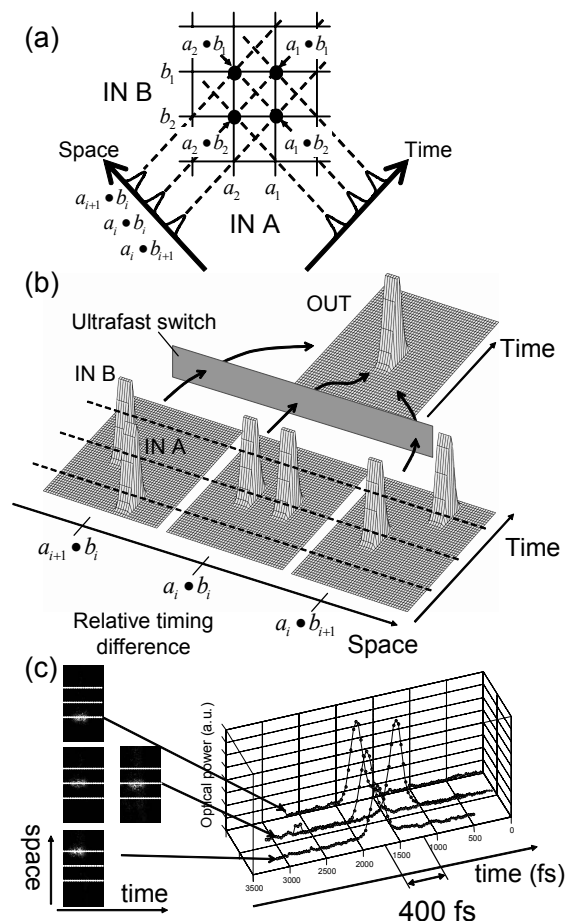


図2 時空融合論理処理

### 4. まとめ

時空融合光信号処理に関し、FESTA 富士ゼロックス研究ユニットとNICTの共同研究成果例を示した。階層的並列構造や時空融合は、NTTによるSi CMOSと面型光スイッチを用いたラベルスイッチング[9]等の具体的応用のほか、抽象的には負荷分散スイッチングのような新しい制御方式[10]の背景ともなっており、今後も陰に陽に鍵となるコンセプトとなると思われる。

### 引用文献

- 1) S. A. Hamilton et al., OFC, WD1 (2004)
- 2) 光回路実装技術ロードマップ(03年度版), エレクトロニクス実装学会 (2003)
- 3) E. P. Ippen et al., Techniques for Measurement, in S. L. Shapiro ed. Ultrashort Light Pulses, Springer-Verlag (1977)
- 4) M. Furuki et al., Appl. Phys. Lett. **78**, 2634 (2001)
- 5) M. Tian et al., J. Am. Chem. Soc. **125**, 348 (2003)
- 6) M. Naruse et al., OFC, FF6 (2004)
- 7) M. Naruse et al., Appl. Phys. Lett. **83**, 4869 (2003)
- 8) M. Naruse et al., Opt. Lett. **29**, 608 (2004)
- 9) T. Nakahara, ECOC, Th3.6.2 (2004)
- 10) A. Goulet et al., OECC/COIN, PD 1-1 (2004)