

情報ネットワーク特論 ネットワーク機器とFPGA

名古屋大学 情報基盤センター
情報基盤ネットワーク研究部門
嶋田 創

ネットワークのハードウェア周りを実装するには？

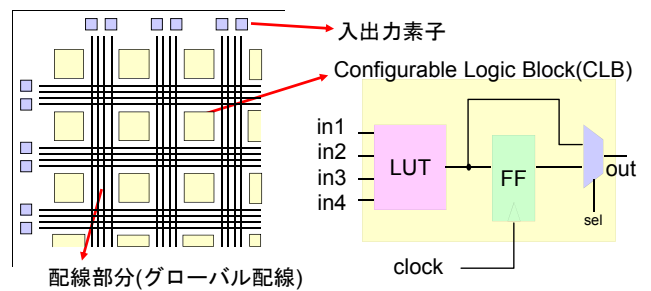
- 今までネットワークに関連するL1,L2,(L3)の世界とハードウェアの関係を見てきた
- 中身のよくわからない部分としてASICで構成されている部分がある
 - 高速化の要となっているようだが中身は細かく分からない
 - 他の企業に真似されると嫌なので、特に最近では公開されない
- ASICの部分は自分で細かく見たりすることはできない？
→FPGAで実装することで確認できるかもしれない

FPGA: Field Programmable Gate Array

- 近年多用される再構成可能ハードウェア
- LUTを使った構成が主流
 - LUT(Look-Up Table): 任意の3-8入力の信号に対して任意の値を出力する論理素子
- プロトタイピングで多用される
 - もしくは少量生産
 - ネットワーク機器ではよくある
 - もしくはASICが来るまでのつなぎ

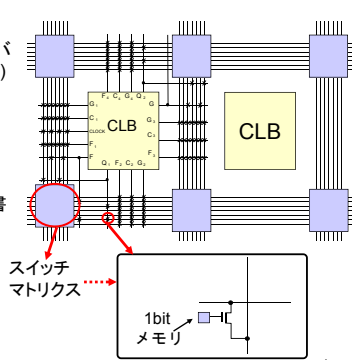


LUTを使うFPGAの概観



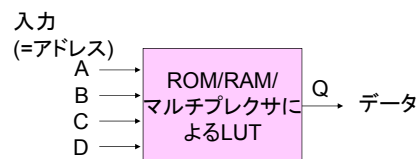
グローバル配線の構成

- 接続部分は2箇所
 - グローバル配線とグローバル配線(スイッチマトリクス)
 - グローバル配線とCLB
- 配線の接続はパストランジスタで制御される
 - パストランジスタに接続されたメモリに接続情報を書き込む



LUT(Look-Up Table): 任意の論理値を出力できる論理素子

- RAMベースのLUTを考えると考えやすい
 - e.g. 4bit入力アドレスに対して1bitを出力するRAM
- LUTはマルチプレクサやROMなどでも実現される



RAMの値

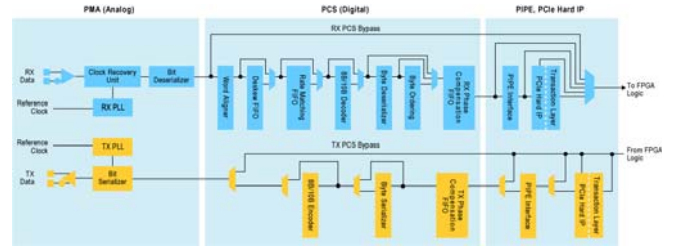
ABCD	Q
0000	0
1000	1
0100	1
1100	0
0010	1
1010	1
0110	0
1110	1
0001	1
1001	0
0101	1
1101	1
0011	0
1011	1
0111	1
1111	0

最近のFPGAはCLB以外にもいろいろ搭載している

- ブロックSRAM
 - 容量重視、速度重視などバリエーションあり
- 全加算器(高速キャリー線付き)
- 乗算器
- 組み込みプロセッサ
- DSPコア
- 高速I/O
 - おおむね3Gbps以上

Alteraの高速I/Oの物理構造

- PMS/PCSはイーサネットと同様



FPGAメーカー

- AlteraとXilinxが業界大手
 - 10G以上を実用的に使うとすると実質この2社
- Altera(2015/6にIntelに買収された)
 - 高速IO付きFPGAのバリエーションが多い
 - Intelの14nmプロセスを利用した高性能
 - Intel XeonとのMulti Chip Module版も発表された(2016/4)
- Xilinx
 - 10GのMAC IPコアを無料で使える
- その他: 1GBASEあたりまでは対応できる
 - Actel: アンチヒューズ型(高速だが書き換え回数1回をラインアップ)
 - Quicklogic: アンチヒューズ型
 - Lattice

高速IOを持つFPGA(Altera)

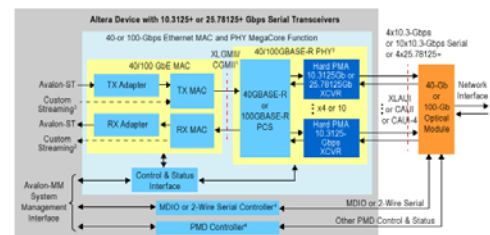
- Stratix
 - Stratix V GX(28nm): 14.1Gbps x66
 - Stratix V GT(28nm): 28.05Gbps x4, 12.5Gbps x32
 - Stratix 10 GX(14nm): 30Gbps x96
 - Stratix 10 GT(14nm): 56Gbps x?
- Arria
 - Arria V GZ(28nm): 12.5Gbps x36
 - Arria 10 GT(20nm): 25.8Gbps x 96
- Cyclone
 - Cyclone IV GX(40nm): 3.125Gbps x8
 - Cyclone V GT(28nm): 6.144Gbps x12

高速IOを持つFPGA(Xilinx)

- Virtex
 - Virtex-7(28nm): 28.05Gbps x16, 12.5Gbps x72
 - Virtex UltraScale(20nm): 30.5Gbps x60
 - Virtex UltraScale+(16nm): 32.75Gbps x128
- Kintex
 - Kintex-7(28nm): 12.5Gbps x32
 - Kintex UltraScale(20nm): 16.3Gbps x64
 - Kintex UltraScale+(16nm): 32.75Gbps x32
- Artix-7(28nm): 6.6Gbps x16
- Spartan-6 LXT(40nm): 3.2Gbps x8

高速I/Oを使ったイーサネットのMAC層

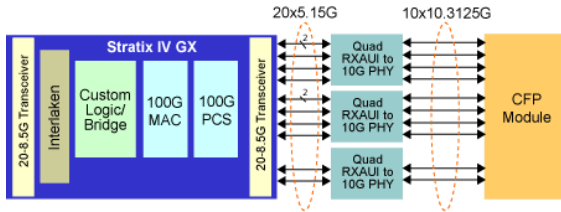
- 通常、FPGAメーカーから汎用バスインタフェースを持つMAC層がIPコアとして提供されている
- MAC部は全てFPGA内に実装可能
- Alteraの40G/100G IP Core(下图)



Alteraによる高速イーサネット実装例 (1/2)

12

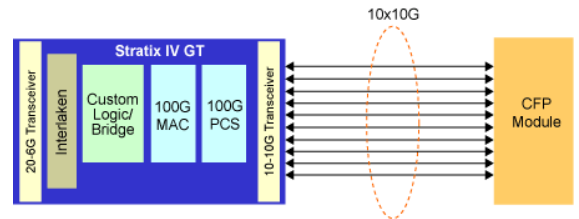
- Stratix IV GXを利用した100GbEの実装
- 10G用PHYを使う構成
 - 10Gbps以上のI/Oを持たないFPGAでも対応可能



Alteraによる高速イーサネット実装例 (2/2)

13

- Stratix IV GTを利用した100GbEの実装
- 10Gbps以上のI/Oを持つFPGA用
 - 10Gbpsちよい上のI/Oは



高速I/Oを利用して実装できる他の高速通信規格

14

- Interlaken: 3.125-6.375Gbps
- 10GbE XAUI: 3.125Gbps
- Fibre Channel: 1.0625, 2.125, 4.25, 8.5Gbps
- OTN(OTN(Optical Transport Network)-4: 9.9-11.3Gbps
- 10G FibreChannel: 10.3125Gbps
- 40GbE: 10.3125Gbps x4
- 100GbE: 10.3125Gbps x10

高速通信が使えるFPGAボードの例

15

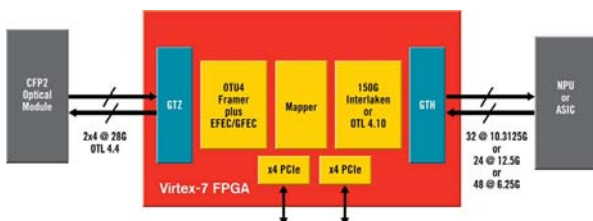
- Stratix V GX エディション \$24,995
 - SMA インタフェース用: 2 チャンネル
 - SFP+ インタフェース用: 4 チャンネル
 - QSFP インタフェース用: 8 チャンネル
 - CFP インタフェース用: 10 チャンネル
 - Interlaken インタフェース用: 24 チャンネル



Xilinxの100G x2実装

16

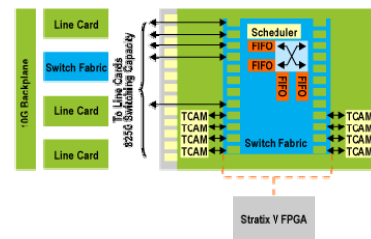
- Virtex-7を利用
- 28.05Gbpsトランシーバ x8で片方の100Gを実装
- 12.5Gbpsトランシーバ x10でもう片方の100Gを実装



Alteraによるクロスバススイッチの実装例

17

- Stratix V GXを利用
- 14.1Gbpsのトランシーバ x66間の通信のスイッチング
- ルーティングのためのTCAMを併用



(高速)高頻度トレードにおけるFPGA利用

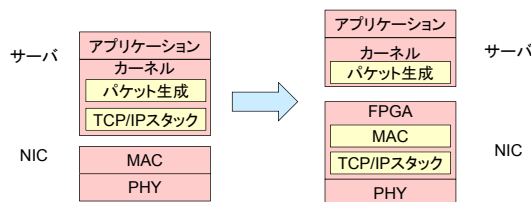
18

- HFT: High Frequency Trading
 - アルゴリズムによる(株式)取引方法の1つ
 - 取引時のマージンを低くするが、高頻度で取引をすることで
 - ミリ秒単位の高速(株式)取引が重要になる
 - "2005円で売り"と"2010円で買い"が出そうならば、"2006円で買って2009円で売る"という
 - 最近だとマイクロ秒とかのオーダーに...
- このような取引では取引依頼の少しの遅延が大きな損失に
 - FPGAによる取引依頼部ハードウェア化
 - アルゴリズムの部分は引き続きサーバ部分

HFTのネットワークにおけるFPGA利用 (1/3)

19

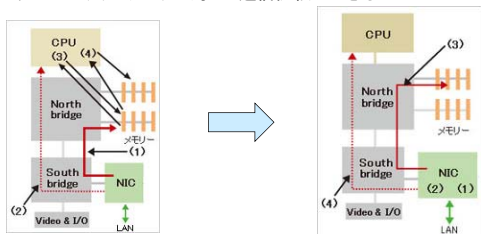
- 初期: FPGA付きNICによるTCPオフローディング
 - TCPオフローディング: TCP/IPスタックをFPGA側で実行することでサーバ側の負荷を軽減
 - サーバで生成した取引発注の通信内容をFPGA側のTCP/IPスタックにて送信
 - FIXプロトコル:金融取引の標準プロトコル



TCPオフローディング

20

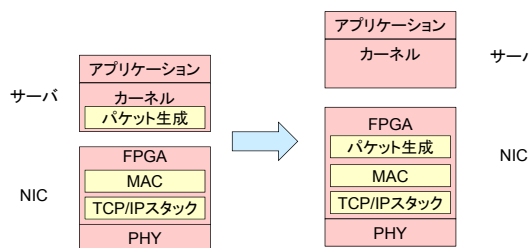
- 従来
 - パケットデータのメモリへの読み書きにCPUが介在
- TCPオフローディング
 - パケットデータはメモリに書き込まれてから受信通知が来る
 - メモリ上のパケットデータに対して送信依頼ができる



HFTのネットワークにおけるFPGA利用 (2/3)

21

- 中期:
 - 発注の通信をFPGA内部で生成
 - サーバ側は取引発注内容自体のリクエスト処理のみ

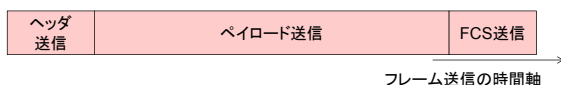


HFTのネットワークにおけるFPGA利用 (3/3)

22

- 最終形: 投機的な取引リクエスト
 - 過去の値動きを元に発注すべき取引内容を予測
 - 最新の値動き結果が来る前に取引内容(イーサネットフレーム)を送信開始
 - 予定通りの値動き: そのまま送信
 - 予定とは異なる値動き: イーサネットフレームの送信をキャンセル
 - フレーム最後のFCSに誤った値を付与
 - 非常に迷惑な行為なので、当然、証券会社側の確認は取っているはず

→あまりにもえげつないのでHFTは規制される傾向



高速トレードにおけるFPGA(小ネタ)

23

- J.P.MorganがポートフォリオのリスクシミュレーションにFPGAアクセラレータ利用(2011)
 - x86サーバ数千台並列で8-12時間
 - アクセラレータ付属サーバ40台で4分(120倍の高速化!)
 - 途中でGPUで14-15倍の高速化も行った
- AristaがFPGA内蔵ネットワークスイッチを出しているの、それを使ったソリューションも出てくるかも?

FPGA関連小ネタ

24

- IP Coreもアップグレードできる(される)
 - 例: Alteraは2013/11に10G/40G/100G Ethernet IP Coreを更新
 - 100Gは55%小型化、70%低レイテンシ
 - 40Gは40%小型化、60%低レイテンシ
 - 10Gは20%小型化、24%低レイテンシ
 - OpenCoresとかでも新しいコアが出ることはある