

SEMINAR REPORT

フットニックネットワークの技術動向



超高速フットニックネットワーク
開発推進協議会
副会長※

大阪大学大学院 工学研究科
電気電子情報工学専攻
教授

北山 研一 氏

超高速フットニックネットワーク開発推進協議会には技術調査部会があり、ここで行った色々な調査研究の報告書を総務省に提案して、NICTの委託研究あるいは総務省の直轄研究として色々な研究を実施してきました。

本日の私の話は分科会の報告書に基づいたものですので、まず分科会のメンバーの方々に謝辞を表しておきたいと思ひます。

Introduction

日本ではバックボーン回線として10Gb/sで100チャンネル程のWDMが既に導入されています。東名阪には40Gb/sも導入されています。

また、NTTでは既にメトロリングのネットワークにはROADM (Reconfigurable optical add/drop multiplex)がインストールされているということです。

トランスポートでは、SONET/SDHに代わって、マルチクライアントトランスポートといて、イーサネットでもSONETでも、何でも転送できるオプティカル・トランスポート・ネットワーク(OTN)の標準化がまさに終わって導入されようとしている状況です。現状の光EDFAの伝送容量は4Tbit/s程あり、50GHz間隔で100チャンネル程収容しています。

ブロードバンドサービスの場合は、FTTHとADSLのクロスオーバーが2008年に起こり、現在のユーザー数では、FTTHが約1,500万、ADSLが約1,200万と、3,000万程がケーブルTVのブロードバンドユーザーになっています。

今後トラフィックがどんどん増えると予想されています。この原因の1つがデータセンターです。データセンターが地方に分散してきていますので、ネットワークを使って大量のトラフィックが流

れていきます。消費電力も多分問題になってくると思ひます。スマートフォンは今年度1,000万を超えるという状況です。旧来の携帯やフューチャーフォンの伸びは止まっていますが、スマートフォンは伸びてきていますので、無線のバックホールとしてフットニックネットワークが非常に重要になってきています。

今後は、ビデオのコンテンツもトラフィックの中心になってくるだろうと言われていています。4Kデジタルシネマが標準化され、映画館で使われるようになっていきます。これは非圧縮では6Gb/s程になります。8KスーパーハイビジョンはNHKが2020年代に商用化を予定していますが、これは72Gb/sの非圧縮の情報量が必要になりますので、光でない家庭まで届かないということが近い将来起こってきます。

一方では、電力の問題が非常に深刻になってきています。ルーターの消費電力は非常に大きく、Ciscoのルーター、CRS-1はシャーシ72枚をフル実装すると、1.2Tb/sが16ポートで92Tb/sになりますが、消費電力はトータルで1MW以上になります。Ciscoは去年、CRS-3を出しました。これはスループットが322Tb/sと、CSR-1の3倍程になっていますが、電力は860KWと大分減っています。これでも非常に莫大な消費電力ですので、グリーンICTを実現するため、ルーターの光化は非常に重要なR&Dの課題になっています。

ルーターを使って第3層でスイッチングする代わりに、下層でスイッチングするとビット当たりの消費電力は下がります。2層ではルーターの2分の1、1層では10分の1になります。従って、光のレイヤーでスイッチングすることも必要になってきます。

Current (~ 2010)

R&D programs of photonic networks

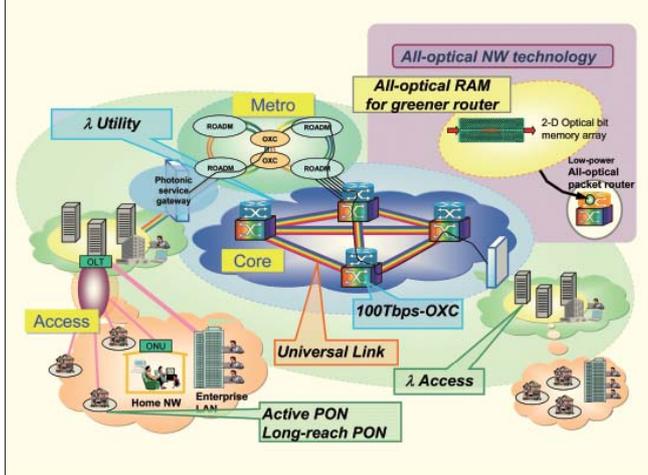
現在のフットニックネットワークのR&Dプログラムは2006年から2010年までの期間で、Photonic Phase IIというプログラムが開始されています。NGNが2008年からサービスを開始し、IPコンバージェンスがこのインフラを支えています。

図1に「Photonic NW R&D Phase II (~ 2010)」を示します。

コアのネットワークに入 Utility、Universal Link、100Tbpsの高機能ノードのプログラムがあります。LANではλ Accessというプログラムがあります。AccessではActive PONとLong-

※平成23年7月15日の超高速フットニックネットワーク開発推進協議会の総会にて会長に就任されました。

〈図1〉 Photonic NW R&D Phase II (～2010)



reach PONというプログラムが走っています。チャレンジングなテーマとしては、光パケットルーターのRAM bufferを光ビットメモリーで作ろうというプログラムもあります。

λユーティリティはコアのネットワークの技術です。コアのネットワークがマルチドメインになりヘテロロジニアスになってきた時にエンド・エンドで光のパスを張る必要があります。それを実現する技術です。コントロールの技術なども含めようということで、Borderless Optical Path Control and Managementと言っています。ターゲットとして、1,000程度のノード数を目標にしています。そのリンクの技術としては多値変調、高符号化利得の誤り訂正(FEC)の技術を開発します。ノードでは光の位相変調された信号を、光のドメインで3Rができる技術開発をこのλユーティリティで行っています。

λアクセスのプロジェクトは将来的なLANを目指したもので、2つの技術課題があります。1つ目は、100Gbpsを目標にして、それをシリアルで転送しようという技術です。クライアントの信号をAggregationして、それをシリアルなフォーマットで送る技術で、距離はあまり長くありません。2つ目は、マルチλで100Gbpsを送る、例えば25Gbps×4波で送るという技術です。ジャンボフレームを細かくセグメント化して送るとか、そのMACのプロトコルなどを研究しています。このプロジェクトでは標準化にも非常に力を入れています。IEEEの802.3で40Gbps、100Gbpsのイーサネットの標準化がほぼ終わりにかけていますが、その次のステップとして、テラビットを狙ってContributeしていこうとしています。

λアクセスではフィールド実験も実施しています。NICTの小金井と大手町で、JGNのダークファイバーを使って、ROADMとかクロスコネクストスイッチでパスを張る、例えば10GbpsのN波でパラレルパスをオンデマンドでGMPLSのシグナルを使って張ります。実験では2波のパスをオンデマンドで張って、12Gbpsの4K映像をストリーミングできることをデモしています。

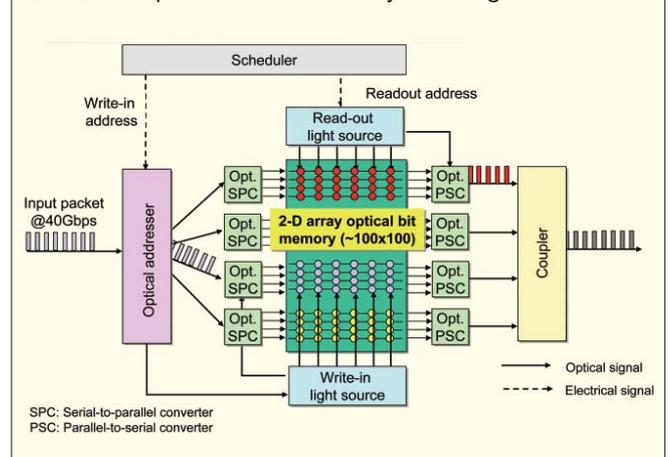
さらに、総務省の直轄研究で実施しているデジタルコヒーレント伝送のプロジェクトがあります。これは2009年の補正予算でスタートしました。コヒーレント伝送は1980年代に一時研究が盛んになりました。それは感度の改善、長距離化を目指して始まったのですが、EDFAが出て下火になりました。2005年に東大の菊池先生が、OFCでコヒーレントにデジタル信号処理を導入することを発表されてからルネッサンスが起り、今この研究が非常に活発になっています。このプロジェクトでは送信機側、

受信機側の100Gbpsの分散補償のためのDSPをワンチップで作ろうとしています。100Gbpsをリアルタイムで動作させるものは世界中どこにもないと思いますので、近々このプログラムからそういう成果が出てくると思います。

図2に「All-optical RAM buffer subsystem for greener router」を示します。

光RAMのプロジェクトはgreener routerとあるように低消費電力化を狙ったものです。光のメモリーは遅延線くらいしかなかったのですが、これはランダムアクセスにチャレンジしたもので、フォトニック結晶技術で作成した極低消費電力の光ビットメモリーの2次元アレイに、イーサネットの packets をシリアルからパラレルに変換して書き込み、シリアルで読み出すというものです。書き込みも読み出しも光パルスを使います。この仕掛けは30μmと60μmの小さいフォーマット結晶ベースのナノキャビティです。これが1ビットのフォトンを蓄えるわけです。この原理はプラズマキャリア効果が誘発する光の双安定です。既にビットの書き込み、読み出しができることは検証されています。これは非常に低パワーです。最近デモをやりました。まだどこにも発表されておりませんが、40Gbpsでビットメモリーを4つ並べて、それに各ビットを書き込みました。シリアルで流れている1,0,1,0というビットを書き込んで、読み出しパルスでこれが読み出されることを確認しました。世界初のオール光のRAMが実現されています。詳しくは今年のOFCで私が代表して紹介するつもりです。

〈図2〉 All-optical RAM buffer subsystem for greener router



Next(2011～)

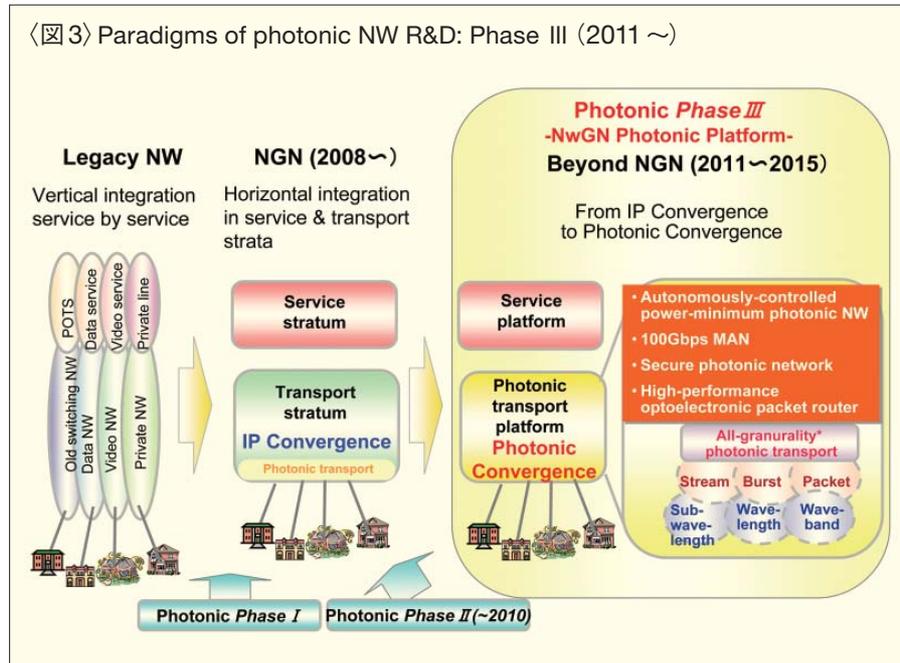
R&D programs of photonic networks

2011年というのは色々な節目がある年です。国のレベルでも科学技術基本計画がスタートします。その内容は既に明らかになっており、グリーンイノベーションとライフイノベーションが強みを生かす成長分野として強くうたわれています。予算を獲得するために、このどちらかに資するという考えながらシナリオを作っています。

基本的にはさらなる大容量化もありますが、もう少し生活に役に立つ色々なアプリケーションと、これから出てくるものに対して、フォトニックネットワークはこうやって役に立つのだということを主張して提案しています。

今後のフォトネットワークの目指す方向性は、フォトニックネットワークを高速大容量化するとともにその領域を拡大し、アクセ

〈図3〉 Paradigms of photonic NW R&D: Phase III (2011 ~)



スのトランスポート機能を取り込むことで共通プラットフォーム化と利便向上 / 経済化を図ることです。

我々の認識は、データセンター NW、無線系 NW、映像系 NW をうまく収容するための技術要件を満たすような技術開発をしていかなければいけないということです。

図3に「Paradigms of photonic NW R&D: Phase III (2011 ~)」を示します。

すべての光のパスはサブλからλ、あるいはウエーブバンドを自由に使えなければいけないということと、パケットからバーストそしてストリームまでのすべての粒度のパスをうまく選択して送り、転送することができないといけないということがベースになっています。こういうものをフォトニックプラットフォームといて、このプラットフォームの上にすべてのアプリケーションを収容しているということでフォトニックコンバージョンと言っています。

Phase IIIは、λフレックス (Autonomously-controlled power-minimum network)、λリーチ (100Gbps MAN)、λセキュリティ (Secure photonic network) などのテーマの研究を、2011年から実施する予定ですが、予算の関係があり、一部はスタートを少し遅らせたり、少し規模を縮小したりして実施することになります。

λフレックスはコアの技術です。ネットワークのエネルギーを2020年に現在の1,000分の1に下げると、トラフィックの伸びを考慮すると2020年のエネルギーは10分の1になります。そのためには、Wavebandや Wavelength pathを自在に使って、ノードも一部をスリープすることができるような構造のノードを作ることが必要になります。エネルギーを下げるもう1つの方法として、コアの中に2本のパスが生きている時に、トラフィックを片方の1本に収容して、残りのパスをダークにして休ませるといったパスに片寄せ方法があります。そういうパスの設定を行うための管理技術など含めて研究しようとしています。

λリーチはMANの技術で、100Gbpsを目指しています。100Gbpsに必要な技術はリンクのアダプテーションを行う技術です。変調フォーマットを状況に応じて、例えば QPSK から 16QAM に切り換えるというようなことです。

今回の新しいプロジェクトでは非線形の補償も DSP で行おう

と考えています。

ノードでは、カラーレス、ディレクションレス、コンテンションレスといった CDC-ROADM を作れば省電力化ができますので、こういう技術も開発します。イーサのフレームを OTN (Optical Transport Network) に収容するためのクロスレイヤーのコントロールの技術などもこのプロジェクトの研究課題です。

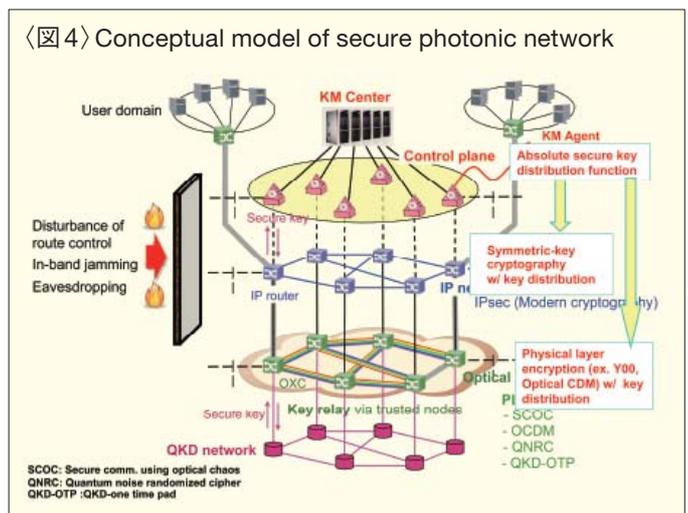
PONなどで今後考えられるセキュリティの脅威としては、ファイバーを曲げてそこから漏れる信号を盗聴したり、オーソライズされていない ONU が潜り込んだりといった脅威が考えられます。これは今でも AES 128 という暗号をかけてある程度は阻止できるのですが、研究では、計算機的安全性ではなくて情報理論的安全性、いわゆる絶対安全を目指したフィジカルなレイヤーでのセキュリティの確保を目指しています。

ノードで非常に強いパワーを入ると、このクロストークが信号に漏れ込んで、次々伝搬していく、クロストークアタックというものも将来起こり得るだろうということです。

図4に「Conceptual model of secure photonic network」を示します。

コントロールプレーンでシグナリングの情報を書き換え、パスを混乱させるとか、物理レイヤーで強い光を入れてONUを盲目に

〈図4〉 Conceptual model of secure photonic network



してしまうとか、盗聴などに対して完全なファイアーウォールを作りたいということで、我々が提案しているのは、QKDのネットワークをこれに導入することです。各リンクにQKDを生成できるようにします。例えばパスの要求があったとすると、QKDを要求に応じて送ります。キーマネジメントエージェントとGMPLSのコントローラーが協調して、このシグナリングの情報などを、量子鍵を使って暗号化するという事です。

IPレイヤーではIPsecというセキュリティの機能がありますし、光のパスのレイヤーでもOCDMなど色々な技術があります。それに対して量子鍵を配送し、これを使って情報を暗号化することができれば絶対安全の情報交換ができます。研究課題は沢山ありますが、こういうものにチャレンジしてみたらどうかと思っています。

フォトニックネットワークの仮想化についても新世代ネットワーク推進フォーラムなどと連携しながら研究開発をしていくべきではないかと考えており、現在PIFの分科会で積極的に議論しています。こういうものも次に提案していきたいと考えています。

おわりに

急速に成長しているクラウドサービス、スマートフォン、ビデオ・ストリーミングなどにより、今後もトラフィックはこれまでのペースか、あるいはそれ以上のペースで増大していくと予想されています。

フォトニックネットワークの2010年までの研究開発プログラムの結果は、100Gbpsリンクとスケーラブルな光ネットワークの確立に役立っています。

フォトニックネットワークに関する2011年からの研究開発プログラムは、デジタルコヒーレントとダイナミック光ネットワーク技術に基づき、クラウドサービス、スマートフォン、ビデオ・ストリーミングなど個々の大容量サービスに適した仮想的なフォトニックプラットフォームを提供する技術を確立することを目的としています。