Optical LAN Card for a Laptop PC

Seiji Fukushima Non-member (NTT Photonics Laboratories, fksm@aecl.ntt.co.jp)

Naoto Sugimoto Non-member (NTT Electronics, sugimoto@atsu1.nel.co.jp)

Yuji Akatsu Non-member (NTT Photonics Laboratories, akatsu@aecl.ntt.co.jp)

Yoshihisa Sakai Non-member (NTT Photonics Laboratories, sacay@aecl.ntt.co.jp)

Kimio Oguchi Member (Seikei University, oguchi@st.seikei.ac.jp)

Keywords : laptop PC, optical local area network, hybrid optical circuit, wavelength division multiplexing

Toward realization of photonic home network or fiber-to-the-desktop (FTTD) network, we have developed optical LAN interface cards for a laptop computer. Optical network has been applied to high-bit-rate communication network, and the merit of high bit rate remains the same even in the home network. We show, in this paper, that a-few-hundred-Mbit/s communication is achieved by using our LAN cards.

We developed two kinds of LAN cards; one for 100BASE-FX and another 1000BASE-LX protocol. The two cards are called a 100M-card and a 1G-card in this summary. The 100M-card consists of a planer-light-circuit optical transceiver and some electronic interface circuits, equipped with a MU optical connector and a PCMCIA electric connector. The 100M-card is thin and small, as shown in Fig. 1. Its volume and weight is 37 ml and 53 g, respectively. Although the communication distance of unshielded-twisted-pair cable 100-Mbit/s Ethernet is limited to about 150 m, the distance of optical Ethernet was measured as 30

km. The power consumption is only 2 W, which can be taken from a PCMCIA bus.

The light wavelengths are 1.3 μm and 1.55 μm for an up stream and a down stream, both of which are wavelength division multiplexed (WDM). Due to the WDM employment in a single-mode fiber, users can connect the LAN cards easily.

The 1G-card is larger than the 100M-card since some devices are larger. For example, the employed optical transceiver is a small-form-factor pluggable module, which is much larger than the integrated planar light circuit. The volume and weight of the 1G-card is 112 ml and 99 g, respectively.

The maximum communication distance was measured as 60 km; however, the throughput was 200 Mbit/s even though we used the 1000BASE-specification devices. A primary reason of slowing down seems an insufficient performance of a PCMCIA driver in our laptop computer in the experimental setup. Table 1 shows characteristics of our LAN cards and commercial interfaces. As can be seen, our LAN card is compatible with the CardBus and consumes less power. Hence, these interface cards will play a great roll in the home network.

Fig. 1. Photograph of the 100M-card

Table 1. Characteristics of the network interfaces

	Developed 1-Gb/s optical LAN card	Developed 100M LAN card	NIC for optical Ethernet
Bus interface	CardBus	CardBus	PCI
Optical interface	SC simplex	MU simplex	SC duplex
Size (L x W x H, mm)	159.0 x 57.0 x 10.5	130.6 x 54.0 x 4.2	~130 x ~80 x ~19
Maximum power (W)	3	2	5-14
Throughput (Mb/s)	200	95	~500
Communication distance (km)	~60	~30	0.5- 60

ノート PC 用光 LAN カード

非会員 福島 誠治* 非会員 杉本 直登**
 非会員 赤津 祐史* 非会員 界 義久*
 正 員 小口 喜美夫***

Optical LAN Card for a Laptop PC

Seiji Fukushima*, Non-member, Naoto Sugimoto**, Non-member, Yuji Akatsu*, Non-member,
 Yoshihisa Sakai*, Non-member, Kimio Oguchi***, Member

Toward the realization of fiber-to-the-desktop network, we have developed optical LAN card interfaces that are compatible with a PCMCIA interface of laptop PCs. This paper reports the structures and characteristics of the interfaces. Some applications are discussed, including office and home network.

キーワード：ノート PC, 光 LAN, ハイブリッド光回路, 波長分割多重

Keywords : laptop PC, optical local area network, hybrid optical circuit, wavelength division multiplexing

1. 序 論

FTTH の進展に加え、オフィスや家庭内のような短距離ネットワークの進展は著しい。とりわけ、動画像のような容量の大きなデータのやりとりが可能になり、さらなる大容量化も期待されている。IP 系の LAN においては、100BASE-TX から 1000BASE-T へと進化してきた。100Mb/s から 1Gb/s へとデータレートは向上しているものの、一般には UTP (unshielded twisted pair) ケーブルを用いた LAN が標準的である。メタル系の配線においては、接続距離、電磁界漏洩、敷設が課題となる。また、10Gb/s への高速化においては、接続距離の問題はさらに顕著になる。一般にメタル系が 100m 程度の接続距離であるのに対して、長波長光ファイバでは 1000BASE-LX で 5km(波長 1310nm)、10GBASE-ER で 40km(波長 1550nm)の接続距離が実現できる⁽¹⁾。

また、光イーサネットはアクセス系にも適用されている⁽²⁾。現段階の家庭における光化は OE 変換を担う ONU やメディアコンバータ(MC)までとなっているが、近い将来光イ

ンタフェースを搭載した PC が実現され、光化はラスト 1cm まで実現可能であると考えられる。この状態を、FTTD (fiber-to-the-desktop)と呼ぶ。我われはノート PC に標準的に装備された PCMCIA インタフェース互換のノート PC 用光 LAN カードの研究開発を進めてきた。現在ギガビットイーサ対応カードまで実現している。本論文ではこれらの光 LAN カードの構造、性能、応用を報告する。

2. FTTD インタフェース

現在のところ、イーサネット接続の規格'NIC' (network interface card)としてはメタル系の 1000BASE-T と 100BASE-TX が主に使用されている。また、PC 側では PCI や CardBus インタフェースが広く採用されている。一部で使用されている NIC の光規格 1000BASE-SX では、PCI カードと SC コネクタがそれぞれ PC 側とネットワーク側のインタフェースとして採用されている。LAN の光化を展望した場合、1000BASE-SX では小型化などが FTTD 汎用化の障害となりうる。デスクトップにおいてもノート型 PC を採用した場合、インタフェースは PC にふさわしい小型で低消費電力のものが望まれる。ノート PC では PCI バスでなく PCMCIA が標準的であり、PCMCIA から取得可能な電力は 2W であるため、対応の低電力化も必要である。汎用化にあたっては低コストであることも重要であるが、現在の光ファイバインタフェースの NIC はメタル系 NIC より 10 倍程度高価である。

また、現存の光系 NIC ではアップ/ダウンリンクに 2 心の光ファイバが使用されている。NIC に波長分割多重

* 日本電信電話株式会社 NTT フォトニクス研究所
 〒243-0198 神奈川県厚木市森の里 3-1
 NTT Photonics Laboratories, NTT Corporation
 3-1 Morinosato Wakamiya, Atsugi, Kanagawa 243-0198

** NTT エレクトロニクス株式会社
 〒194-0004 東京都町田市鶴間 1841-1
 NTT Electronics Corporation
 1841-1 Tsuruma, Machida, Tokyo 194-0004

*** 成蹊大学 理工学部
 〒180-8633 東京都武蔵野市吉祥寺 3-3-1
 Faculty of Science and Engineering, Seikei University
 3-3-1 Kichijouji, Musashino, Tokyo 180-8633

(WDM)を導入すれば、ファイバがさらに有効に使用され、光ファイバの扱いに慣れないユーザによる接続もより容易になる。FTTH のようなアクセス系ですでに広く WDM は採用されており、小型化の問題を克服すれば FTTH においても WDM 化によるメリットは多い。

光 LAN カードの特徴から考えられる応用領域について述べる。FTTH を実現した場合には、LAN の高スループット化によって動画などのより多彩なアプリケーションやコンテンツが実現できる。この恩恵の影響はオフィス LAN だけでなくホームネットワークやアクセス系ネットワークも同様である。とりわけ高画質の動画を扱う場合には、大きなスループットが要求される。メタルに対する光ファイバの優位性として、高スループットや低損失の他に低電磁誘導が挙げられる。この特徴は高雑音環境である工場のネットワーク化で有効となる。すなわち、比較的大きな雑音を発生する機器とその制御系を光ファイバにより分離することで、電磁誘導を最小限にすることができる。低電磁誘導は病院のネットワーク化でも有効であると考えられる。この場合は、PC やネットワーク機器と微弱信号を扱う医療機器とを電氣的に分離することで、電磁誘導を抑えることが可能になる。

3. 100Mb/s 光 LAN カード

本研究開発の第 1 歩として、100Mb/s 光 LAN カードの試作を行った。PC 側のインタフェースは PCMCIA (Type II) で、ネットワーク側のインタフェースは MU コネクタ経由の 1 心 SMF (single mode fiber) である。1 心インタフェースの実現のために、ネットワークから PC へのダウンリンクに $1.55\mu\text{m}$ 帯、PC からネットワークへのアップリンクに $1.3\mu\text{m}$ の波長帯の WDM を用いた。ただし、製作した光 LAN カードの測定のために対向して使用できる光 LAN カードも試作した。この光 LAN カードでは、ダウンリンクが $1.3\mu\text{m}$ 帯でアップリンクが $1.55\mu\text{m}$ 帯となる。WDM システムでは、このように 2 種の波長構成が必要となるが、構成部品のうち取り替える必要があるものは LD のみであるため、WDM のために開発コストが著しく大きくなることはない。

光 LAN カードの中には、光トランシーバ(TRX)モジュール、光コネクタ、電子部品(100BASE-FX MAC チップ、PHY チップ)、PCMCIA コネクタを実装した。図 1 に 100Mb/s 光 LAN カードの構造と寸法を、図 2 にその写真を示す。用いた光部品について説明する。Type-II PCMCIA を実装するために、光コネクタとして MU 型³⁾を用いた。MU コネクタは基本的な仕様が SC コネクタと同様であるが、コネクタ体積が SC の 1/4 と小型であり、光 LAN カードの小型化へのキーテクノロジーのひとつであった。さて、光 TRX モジュールとしては LD、導波型 PD(WG-PD)、モニタ PD、波長分割多重(WDM)フィルタをハイブリッド集積した PLC 回路を用いた。これらの部品の使用によって、重量 53g でノート PC に収まる光 LAN カードを実現した。

低コスト化可能な部品のみで構成したため、ノート型 PC のオプションとしても将来の価格は現実的なものになると考えられる。

表 1 に試作した光 LAN カードと市販された NIC の性能比較を記す。本光 LAN カードの寸法は $130.6\times 54.0\times 4.2\text{ mm}$ (最厚部は 9.7 mm) で、小型である。体積は 37 ml で、重量は 53 g である。消費電力は約 2 W で、CardBus 端子から取得可能な電力である。電力の大部分は光部品でなく、MAC チップや PHY チップなどの電気系インタフェースで消費されている。

図 3 はスループットのファイバ長依存性の測定系で、図 4 はその測定結果である。スループットは 1 MB のファイルを FTP 転送する時間測定によって計測した。ここでスループットとは、IP 層のスループットである。PC の CPU は 2 台

図 1 100Mb/s 光 LAN カードの構造と寸法(mm)

Fig. 1. Structure and dimensions (in mm) of the developed 100-Mb/s optical LAN card

図 2 100Mb/s 光 LAN カードの写真

Fig. 2. Photograph of 100-Mb/s optical LAN card

とも Pentium 4 である。図 4 では、光 LAN カードの結果と 100BASE-TX のメタル系インタフェースの結果を比較した。150m 以下の短い距離においては、いずれのインタフェースも 85-95Mb/s 級のスループットが実現される。メタル系がわずかに 150m でスループット急落するのに対して、光 LAN カードでは 30km までほぼ一定のスループットを示した。なお、スループット急落の原因は、光ファイバにおいては光ファイバの損失に起因する感度不足であり、メタル

表 1 100Mb/s NIC の性能

Table 1. Characteristics of 100-Mb/s NICs

	Developed Optical LAN card	Main interface card for Ethernet		
		Metal-medium		Optical
Bus interface	CardBus	PCI	CardBus	PCI
Optical interface	MU simplex	-----	-----	SC duplex
Size (L x W x H, mm)	130.6 x 54.0 x 4.2	~130 x ~60 x ~19	85 x 54 x 5	~130 x ~80 x ~19
Maximum power	2 W	~ 6 W	~ 1 W	5-14 W
Suitable for laptop PCs	○	×	○	×
Communication distance	~30 km	~150 m	~150 m	0.5- 60 km
Unaffected by electromagnetic noise	○	×	×	○

図 3 光 LAN カードのスループット測定系

Fig. 3. Measurement setup of optical LAN cards

図 4 100Mb/s 光 LAN カードスループットのファイバ長依存性

Fig. 4. Dependency of 100-Mb/s optical LAN card throuput on optical fiber length

系においては媒体の大域不足であると考えられる。直結時の光 LAN カードとメタル系インタフェースのスループットの差は本質的なものではなく、それぞれで使用されたインタフェース IC の性能差によるものと考えられる。

4. 1Gb/s 光 LAN カード

第 2 ステップとしてギガビットイーサ用 1Gb/s 光 LAN カードの試作を行った。図 5 は、この光 LAN カードの構造である。WDM 化した 1 心ファイバであることは前章の結果と同じであるが、寸法が大型である。PCMCIA の Type-II 規格にすべての部品を実装できなかったため、Type-III 規格である。ネットワーク側の規格は 1000BASE-LX であり、コネクタは SC 型である。光 TRX としては、1.3/1.49 μ m 帯 WDM 一心型 SFP (small form-factor pluggable) 光 TRX を用いた。なお、SFP は光 TRX モジュールの標準規格のひとつである。製作した光 LAN カードの最小受信感度は -24dBm, 最大受信感度は -3dBm であった。また、SC コネクタ端で測定された LD の出力光強度は -6dBm である。

本光 LAN カードのスループットの測定結果を図 6 に示す。前章と同様に 1MB のファイル転送(FTP)により、測定を行った。本光カードではファイバ長 100m において 200Mb/s のスループットを示し、距離が延びるにともないスループットは低下した。最大伝送距離は約 60km であったが、この距離は光ファイバの損失や光 TRX の性能から見積もられる計算値とおおよそ一致する。しかし、スループットの光ファイバ長依存性曲線は 100Mb/s 光 LAN カードの結果とは異なり、光ファイバ長の増加につれて少しずつ低下する。この原因は検討中であり、今後改善をはかりたい。1Gb/s 光 LAN カードの光 TRX 性能は、100Mb/s 光 LAN カードのそれより優れているため、ビットレートがより大きいことにかかわらず、より長距離の光ファイバ伝送が可能であった。

また、最大スループットは光 TRX モジュールの性能にかかわらず、使用したノート PC の CardBus ドライバによって律速された。実験における最大スループットは約 200Mb/s であった。ノート PC で標準的に装備されたイン

図 5 1Gb/s 光 LAN カードの構造と寸法(mm)

Fig. 5. Structure and dimensions (in mm) of the developed 1-Gb/s optical LAN card

図6 1Gb/s 光 LAN カードスループットのファイバ長依存性

Fig. 6. Dependency of 1-Gb/s optical LAN card throughput on optical fiber length

図7 スループットのファイル容量依存性

Fig. 7. Throughput dependency on the file size

表2 1Gb/s NIC の性能

Table 2. Characteristics of 1-Gb/s NICs

	Developed 1-Gb/s optical LAN card	Developed 100M LAN card	NIC for optical Ethernet
Bus interface	CardBus	CardBus	PCI
Optical interface	SC simplex	MU simplex	SC duplex
Size (L x W x H, mm)	159.0 x 57.0 x 10.5	130.6 x 54.0 x 4.2	~130 x ~80 x ~19
Maximum power (W)	3	2	5-14
Throughput (Mb/s)	200	95	~500
Communication distance (km)	~60	~30	0.5- 60

タフェースを前提とする場合、USB 2.0 端子を用いれば 480Mb/s のスループットが実現され则认为られる。

上記の実験では転送されるファイルの容量を 1MB 一定で行ったが、次にファイル容量依存性を調べた。ファイバ長は 2m で、使用した PC は他の実験と同じである。図 7 に示されるようにメタル系の 100BASE-TX の NIC と 100Mb/s 光 LAN カードにおいては、ファイル容量を 1MB から 50MB の間で変化させてもスループットの変動はほとんど観測されなかった。100BASE-TX の NIC の場合は約 85Mb/s 一定で、100Mb/s 光 LAN カードの場合は約 95Mb/s であった。一方、1Gb/s 光 LAN カードでは、ファイル容量 1MB から 30MB の間ではスループットが約 200Mb/s 一定で、ファイル容量が 50MB ではスループット約 140Mb/s まで低下した。このスループット低下は PC 内のハードディスクアクセスに基づくものであると考えられる。

表 2 に試作した光 LAN カードの主要性能を示す。製作した 1Gb/s 光 LAN カードの寸法は、159.0×57.0×10.5 mm である。これはデスクトップ PC 用の市販 NIC とほぼ同じ寸法である。光 LAN カードの体積と重量は、それぞれ 112ml, 99g であった。MAC チップや PHY チップのような電気系インタフェースに関して、100Mb/s 光 LAN カードではノート PC 用に市販された小型薄型の IC を用いることができたが、1Gb/s 光 LAN カードではデスクトップ用の大きな部品を使用せざるをえなかったことも大型化の原因である。消費電力も 100Mb/s 版より大きく、光 LAN カード全体の消費電力は 3W であった。1Gb/s 光 LAN カードにおいても、電力の大部分は MAC チップや PHY チップによって消費された。光 TRX やインタフェース IC が小型化されれば、1Gb/s 光 LAN カードも Type-II 準拠とすることが可能であると考えられる。特にこれらの部品は厚さが大きいいため Type-II 規格に収納できず、1Gb/s 光 LAN カードは Type-II の 2 倍の厚さの Type-III 規格となった。ノート PC 用であって、スループットが 1Gb/s の MAC, PHY チップセットと CardBus ドライバ IC が入手可能になれば、ホームネットワークにおいても光の低損失、高速性をいかして 1Gb/s のスループットが実現できると考えられる。スループットや伝送距離のメリットに加えて、電磁環境の観点からも光 LAN カードの工場や病院利用が期待される⁽⁵⁾。

5. 結 論

小型でかつ一心双方向通信可能な 2 種類の光 LAN カードの研究開発の進展状況およびその応用について報告した。いずれもノート PC で標準的に装備された PCMCIA 準拠しており、FTTD を実現するポテンシャルを持つことを確認した。また、イーサネット側のインタフェースはそれぞれ 100BASE-FX, 1000BASE-LX であった。最大スループットはそれぞれ約 95Mb/s, 約 200Mb/s であることが実験的に確認された。光 TRX モジュールがカード内で必須であるが、媒体の部分でメタルより光ファイバの方が廉価であることを考慮すれば、光部品によるコスト増も吸収しうるも

のと考えられる。また FTTH の普及が光部品の低コスト化を促し、より短距離なネットワークの光化が現実のものになるであろう。これらの光 LAN カードは近い将来、LAN やのホームネットワークの光化に貢献するであろう。

(平成 18 年 1 月 30 日受付, 平成 18 年 6 月 16 日再受付)

文 献

- (1) K. Oguchi, N. Sugimoto, Y. Suzuki, and H. Toba : "Optical Ethernet, its relevant technologies and applications", Proc. SCI 2002, Vol. XX, p.25 (2002)
- (2) M. Yamamoto, T. Sano, M. Miyai, K. Sato, and E. Maekawa : "The access system for 100Mb/s services", Proc. SCI 2002, Vol. X, p.221 (2002)
- (3) R. Nagase, E. Sugita, S. Iwana, K. Kanayama, and Y. Ando : "Miniature optical connector with small zirconia ferrule", IEEE Photon. Technol. Lett., Vol.3, pp.1045-1047 (1991)
- (4) T. Hashimoto, T. Kurosaki, M. Yanagisawa, Y. Suzuki, Y. Akahori, Y. Inoue, Y. Tohmori, K. Kato, Y. Yamada, and N. Ishihara : "A 1.3/1.55- μ m wavelength-division multiplexing optical module using a planer lightwave circuit for full duplex operation", *IEEE J. Lightwave Technol.* Vol.18, pp.1541-1547 (2000)
- (5) N. Sugimoto, S. Fukushima, Y. Sakai, K. Oguchi, and Y. Akatsu : "A small optical Ethernet PC card for fiber-to-the-notebook PCs and its applications", Proc. Asia-Pacific Optical Communications (APOC2004), paper 5625-68, Beijing, China (2004-11)

福 島 誠 治

員。工学博士。

(非会員) 1962 年生。1986 年九州大学大学院修士課程修了。これまでに強誘電性液晶空間光変調器や VCSEL などの面型光変調器と応用, 光インタコネクション, マイクロ波フォトニクス用光デバイスの研究開発に従事。現在, NTT フォトニクス研究所にてアクセス用光部品の研究開発を担当。IEEE/LEOS, OSA, 日本液晶学会, 応用物理学会, 電子情報通信学会各会

杉 本 直 登

(非会員) 1961 年生。1986 年九州大学大学院理学研究科物理学専攻修士課程修了。1997 年博士 (工学) 取得。1986 年 4 月日本電信電話株式会社入社, 以来光通信用材料, デバイス, 機器の開発に従事。2004 年 NTT エレクトロニクス株式会社に出向し現在にいたる。IEEE/LEOS, OSA, 応用物理学会, 日本物理学会各会員。

赤 津 祐 史

(非会員) 1988 年北海道大学大学院工学研究科博士課程修了, 同年日本電信電話株式会社入社, 光エレクトロニクス研究所勤務。現在フォトニクス研究所主幹研究員。主に光半導体の結晶成長, 集積光デバイス, 光モジュールの研究開発に従事。電子情報通信学会, 応用物理学会, IEEE 各会員。

界 義 久

(非会員) 1986 年金沢大学工学部電子工学科卒業, 1988 年同大学院工学研究科電子工学専攻修士課程修了, 同年 NTT に入社, 光エレクトロニクス研究所勤務。1995 年工学博士。同年電子情報通信学会学術奨励賞受賞。現在フォトニクス研究所主幹研究員。半導体レーザの波長安定化技術, 光加入者用半導体レーザの研究開発, 次世代フォトニックネットワークの開発に従事。著書 "Frequency stabilization of semiconductor laser diodes (共著)" (Artech House Publishers, 1995)。

小 口 喜 美 夫

(会員) BE, ME, 工学博士を名古屋大学にてそれぞれ 1978, 1980, 1995 年に取得。1980 年電電公社横須賀電気通信研究所勤務。1980 年から 2004 年まで光 LAN, ATM システム, 先端光デバイスの研究に従事。ITU-T, SG 13 及び 15 にて標準化業務に従事。現在成蹊大学理工学部教授。OECC'97, NOC'97, OECC'98 でそれぞれ Best Paper Award 受賞。電気学会, 電子情報通信学会, IEEE, OSA 各会員。