

バックボーン通信用光パルスおよび 高速光無線アクセス技術の研究

野中弘二

高知工科大学 電子・光システム工学科
〒 782-8502 高知県香美郡土佐山田町宮ノ口 185

E-mail: nonaka.koji@kochi-tech.ac.jp

要約：未来の透明で制約のない通信社会の実現にとって、高速の光バックボーンネットワークと柔軟な無線アクセス技術はもっとも重要な技術群である。そこで、広帯域の光通信や計測に必要とされる光パルスの高性能化技術と、無線の便利さを維持した高速光ワイヤレスアクセス技術という2つの基盤技術を報告する。

光多重通信を中心としたバックボーンネットワークの物理層では、短光パルスの発生と制御は重要な技術である。まずこの短光パルスの発生については、利得スイッチング法を用いたタイミングジッタを抑圧した短光パルス発生装置の開発とモジュール化をおこなった。所望のタイミングで光帰還する構造により 9.7ps 程度と大きかったタイミング揺らぎが 1ps 以下に簡単に安定して抑圧できた。パルス繰り返し周期も 500MHz ~ 7GHz の範囲で変更可能であることを示した。

一方、アクセス網においては利便性の高い無線アクセス系において、高速の信号変調とビーム制御、リンク状態の維持監視を同時に実現する技術が要求されている。本論文では面発光半導体レーザーの単一光ビームと、並列複眼光受信機を用いた高速光無線アクセスシステムを検討した。高速変調された単一ビームに情報信号と制御信号を同時に搭載することにより、ギガビットレベルの高速な情報通信と、移動してもリンクが切れない端末姿勢制御信号による柔軟性を同時に満たすシステムを提案した。

Abstract : The highspeed backbone optical network and wireless access link are most important technologies for future transparent network society. This paper reports 2 researches about optical pulse generator for backbone network, and optical wireless system with smart access link.

For the backbone network, optical short pulse generation and control are very important technologies for hardware layer. I realized timing jitter suppressed optical pulse generator module by using gain-switched laser diode with optical feedback timing control mechanism. 9.7-ps timing jitter deviations are easily suppressed less than 1-ps at the wide range repetitious rate between 500MHz and 7GHz.

In another side, for the practical optical wireless systems, highspeed data-signal modulation, beam control, and link maintaining technologies are simultaneously required. Highspeed optical wireless access system by using the VCSEL single-beam and multi-optical receivers system is proposed with a smart beam control mechanism. Around Gbit/s-data and sub-Mbit/s-control signals are simultaneously

1. はじめに

近年、インターネットの普及等で情報量と活動範囲が増大し、これまで以上に高速・効率的でかつ便利な通信が要求されている。そこで、広帯域の光通信や計測に必要なとされる短光パルスの性能向上という、光通信や計測、コンピューティングに重要な要素技術である光パルスの高性能化の試みと、無線の便利さを維持した高速光無線アクセス技術という2つの基盤技術を報告する。

図1に将来期待される高速の光ネットワークの概念を示す。この通信網においては、①バックボーン光通信には高精度で柔軟な短光パルス信号の発生、制御、評価技術を必要とする。また、バックボーンの進歩は、②アクセス網の部分の広帯域化も加速することになる。ここではその利便性から無線の導入が拡大するが、通信速度・品質・秘匿性の不安定さなど課題も浮き彫りになってきている。本論文では両者の鍵となる光技術に関する研究について述べる。

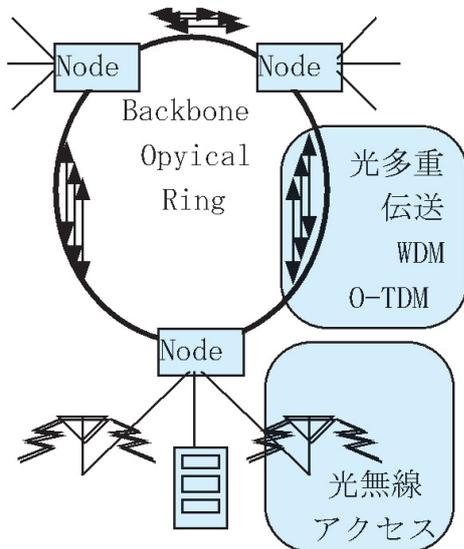


図1 超高速光ネットワークの
光基幹伝送と無線アクセス

まず短光パルスの発生については、利得スイッチング法を用いたタイミングジッタを抑圧

した短光パルス発生装置の開発とモジュール化をおこなった。所望のタイミングで光帰還する構造により9.7ps程度と大きかったタイミング揺らぎが1ps以下に簡単に安定して抑圧できた。パルス繰り返し周期も500MHz~7GHz以上の広い変調範囲で変更可能であることが示された。

一方、アクセス網においては、敷設・運用の容易さで簡易のケーブル配線、低速の無線が主流であった。光通信はその広帯域性が魅力であるが、設置・配置コストと制限のため思ったようには普及していない。やはり家庭・オフィスとも最後の数メートルは利便性の高い無線の普及が加速しつつある。本研究では、光の高速性・秘匿性を生かしつつ柔軟な無線の利点を維持した、高速光無線アクセスの方式検討もおこなった。

面発光半導体レーザの単一光ビームと、並列複眼光受信機を用いた高速光無線アクセスシステムを検討した。高速変調された単一ビームに情報信号と制御信号を同時に搭載することにより、ギガビットレベルの高速な情報通信と、移動してもリンクが切れない端末姿勢制御信号による柔軟性を、同時に満たすシステムを提案した。

2. 短光パルス発生技術

2.1 高速通信・計測用短パルスレーザ

高速化した光通信や、LSIの計測には時間幅が短いことはもちろん、時間揺らぎ(ジッタ)や繰り返し可変な短光パルスが必要とされる。この光パルスを得る手段として、従来のファイバレーザ装置より簡便で安価な半導体レーザ(LD)の短光パルスを用いることが望ましいが、解決すべき困難な課題として大きな時間位置揺らぎ(タイミングジッタ)がある。本研究ではこのジッタを抑圧可能なLD光パルス光源の構成法と効果的構成条件の研究をおこなった。

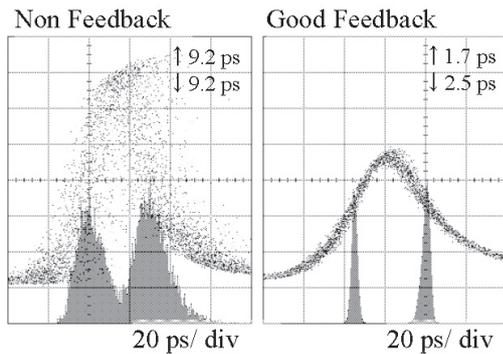


図2 帰還制御の有無による光パルス波形とジッタ広がりヒストグラムの比較

まず、簡便で、繰り返し周波数可変な短光パルス発生源として有望な半導体レーザの利得スイッチング法に着目する。単純な構成ではジッタの大きい光パルスが発生する。そこで出力光の一部を特定の条件でLD本体に帰還させるという自己パルス光フィードバック型の構成を工夫するにより大幅な性能の向上を確認した [1]。図2に本方式を用いる前の光パルスと、導入後の光パルス例を併記する。

パルス波形、ジッタとも格段に改善している。現在はSDH伝送方式の標準周波数の一つである2.488GHz (STM16)の周波数において、パルス幅<7ps、タイミングジッタ値<1psまでパルス品質の改善を確認している。本方式は1.55- μ m通信波長帯に限らず、検査・計測に用いる様々な波長の半導体レーザパルス光源に対しても同様に適用可能である。

2.2 モジュール化による短光パルスの品質向上

研究開始当初は光を帰還させる手段として、

分岐した長さの異なる複数のファイバ遅延線の着脱と光サーキュレータを用いて実現していた。これは実験室レベルでは、簡単に条件を変更可能である利点もある一方、遅延長の調整や帰還光の偏光不安定性などパルス光源の安定的運用を阻害する課題が残されていた。

今回、あらたにファイバを用いない可変遅延帰還機構を用いたLDモジュールを実現した。図3に試作したパルス光発生モジュールの外観を示す。本体であるDFB-LDと帰還光路長が可変のフィードバック機構が一体で構成されている。遅延調整用のマイクロメータをわずかに調整するだけで、所望のタイミングで光帰還する構造により9.7ps程度と大きかったタイミング揺らぎが1ps以下に簡単に安定して抑圧できる。パルス繰り返し周期も500MHz~7GHzの範囲で変更可能であった。

これにより、調整の容易化、安定性の向上に加え、ジッタ量も最少0.7ps程度以下と、電氣的測定限界近傍まで低減できた。パルス幅はそのままでは20ps以上であるが、波長分散を利用して線形圧縮をおこなうと7ps以下まで短パルス化が容易に測れた。この半導体レーザの利得スイッチング法により光パルスを発生させ、出力光の一部を特定の条件でLD本体に帰還させる構成により大幅な性能の向上を確認した [2]。現在、試作装置を改良設計し、専門知識が無いユーザでも瞬時に好条件に調整・使用可能な構成と手法を検討中である。

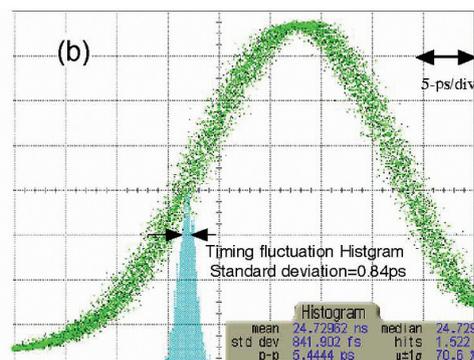
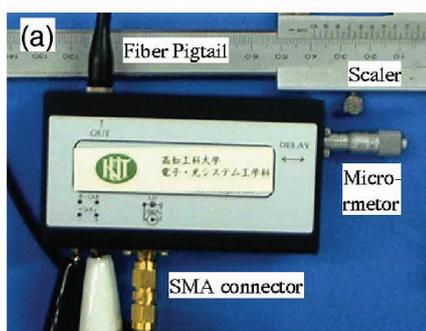


図3 (a)安定化光パルスモジュールと(b)パルス波形、ジッタ計測ヒストグラム

3. 無線通信技術

3.1 レーザ光による無線通信

近年の移動通信端末の著しい普及やインターネット技術の広帯域化により、無線アクセス系においても高品質、大容量のデータ伝送が要求されつつある。現在、無線 LAN の主流を行く電波では 5GHz の高周波帯域を用いても 54Mbps 以下の伝送速度にとどまっている [3]。一方、光はその直進性、融通性の欠如によって電波ほど普及していないが、周波数は数 100THz であり、高速通信能力、データの秘匿性、信号品質の良さなど次世代の高速無線通信を担う可能性を秘めている。LED を使用した最近の光無線システムは雑音に弱く、低速 (~Mbps) ・通信可能距離が短いという問題がある [3] ため、今回、高速変調可能 (~Gbps) でビーム指向性の高い面発光半導体レーザ (VCSEL) による高ビットレートの光無線を検討した。LD 使用により高速性・指向性が向上し、通信可能距離が飛躍的に伸びるが、無線 LAN の利点である移動の柔軟性には欠ける。そこで通信端末が移動してもリンク断とならないように送受信器方位を制御し補正動作を行う送受信システムを検討した。その結果について今回報告する。

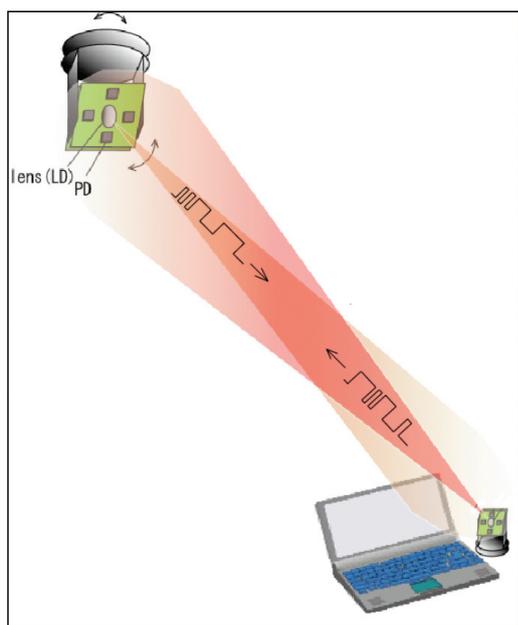


図 4. 端末間通信のイメージ

3.2 実験構成

移動端末として PC 間の通信に使用した例を図 4 に示す。使用環境として大きめの講義棟を考え、天井の通信ノードから端末までの最大通信距離は 30m 程度、端末の大きさを無線 LAN カードに乗せられるサイズを想定した。光ビームは高速情報信号 (> 100 M bps) と低速制御信号を両立させ、単一ビームで送信する。受信部として発信部 (LD) 周囲に PD を上下左右に 4 個 (複眼) 配置する。

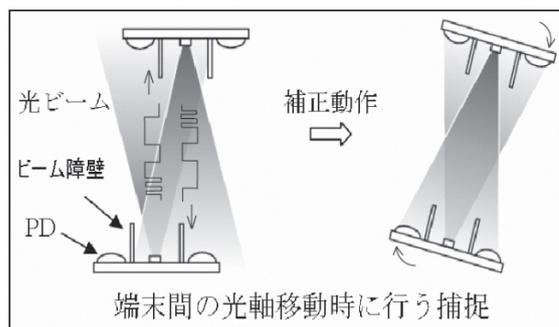


図 5. 捕捉動作によるビーム制御

情報信号ビーム、受信器方位の関係が最適配置からずれた場合、複眼から得られる情報信号の受信パワーレベルに差が生じる。この差分を利用し補正する方向に制御命令を出すことにより、別途アライメントビーム無しに信号捕捉が可能となる (図 5)。

基本制御フローを図 6 に示す。複眼から得られた信号平均パワーを比較検知し補正指示をかけて制御モータを駆動させる。光パワーの差分が無い状態では制御モータを初期化し、待機状態とする。また、受信部を複眼にすることによって、端末の移動中に数個の PD が受信不可になった場合も、他の PD と中央の発信部によって継続したリンク (通信) を維持したまま正しい位置への補正が可能となる。今回は光軸のずれを明確に PD に示し、正確な修正動作を行うため、上下左右の PD を隔離する障壁を設置した。

3.3 動作評価

受信器を実際に試作し、対向端末からの信号ビームとして赤外 LED を用いて捕捉の基本動

作確認の実験（図7）を行った。その結果、捕捉可能範囲 $\pm 60^\circ$ 、光源の移動先に対する受光部の捕捉動作先の角度誤差は平均1.5度以内となり捕捉角度範囲に収まることが確認できた[4]。しかし平均1.5度の一定でない誤差は、光軸のずれ、つまり受光パワーの低下が即、信号品質に関わるという特性の光無線通信システムとしては決して満足できる値ではない。そのため、初期の「捕捉」動作後も、位置制御信号による精密且つ応答の早くなめらかな「追尾」動作をすれば、より正確な光軸合わせ動作が可能となる。

4. まとめ

- ①バックボーン光ネットや高速計測に重要な繰り返し可変な短光パルス光源を、半導体レーザーと簡便な制御機構を用いて実現した。タイミングジッタの抑圧条件について調査した。
- ②ファイバ遅延線を用いないコンパクトなモジュール装置化を実現したことにより、繰り返し周波数可変範囲0.5～7GHz、パルス幅～7ps、ジッタ量も0.7ps以下と、並列コンピューティングのマスタークロックや評価用パルス光源として十分な性能を安定に得ることに成功した。調整法も至極簡便である。試作装置を設計し、専門知識が無いユーザでも瞬時に好条件に調整・使用可能な構成と手法をさらに検討中である。
- ③光無線通信の研究においては、受信器を実際に試作し、対向端末からの信号ビームとして赤外LEDを用いて捕捉の基本動作確認の実験を行った。その結果、捕捉可能範囲 $\pm 60^\circ$ 、光

源の移動先に対する受光部の捕捉動作先の角度誤差は平均1.5度となり捕捉角度範囲に収まることが確認できた。

「捕捉」動作後の、位置制御信号による早くなめらかな「追尾」動作を実現することにより、より正確で瞬時の光軸合わせ動作が可能となる。今後は、受信側の回路構成の研究を含め制御信号と情報信号を合分岐する回路と姿勢制御アルゴリズムのLSI化により、小型低消費電力を維持しつつ、柔軟で高速な光無線アクセスリンクの実現を目指す。

[文献]

- [1] K. Nonaka et.al. LST30-4,pp21-26,Proceedings of 30th Meeting on Light Sensing Technology, December, 2002
- [2] K. Nonaka et.al. IEEE-LEOS summer topical meeting, Vancouver ,CANADA,July. 2003
- [3] IEEE P.802.11,The Working Group for Wireless LANs <http://grouper.ieee.org/groups/802/11>
- [4] K.Nonaka et. al. Proceeding of APOC 2003, Wuhan Nov. 2003

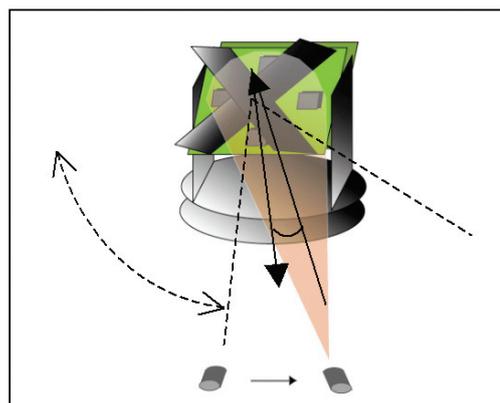


図7. 捕捉動作追従範囲確認実験

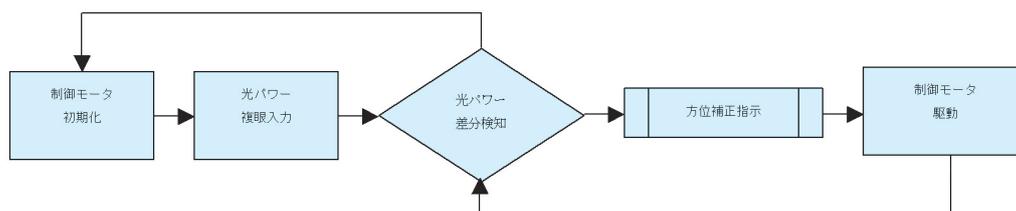


図6. 捕捉動作基本フロー