



40km伝送を実現する5G無線アクセスネットワーク用波長多重伝送方式

Wavelength Division Multiplexing Transmission Method for 5G Radio Access Networks to Achieve 40 km Transmission

滝澤 康裕*
Yasuhiro Takizawa

田口 貴昭
Takaaki Taguchi

梅田 大助
Daisuke Umeda

当社では第5世代移動通信システム（5G）の展開に伴って増加する無線基地局を少ない光ファイバで効率的に接続するための波長多重集線装置を開発している。5G無線アクセスネットワークでは、安価に25Gイーサネット信号を波長多重で40km伝送できる技術が望まれる。本稿では実現技術として、伝送レートが25.8Gbit/sの25Gイーサネット信号を2チャンネルの12.9Gbit/sハーフレート信号に分割して伝送するハーフレート伝送方式を紹介する。

We have developed a wavelength division multiplexing transmission method to efficiently connect radio base stations and antennas with a small number of optical fibers. In fifth generation (5G) radio access networks, there is demand for a technology that can economically transmit 25G Ethernet signals over up to 40 km by wavelength division multiplexing (WDM). This paper introduces the half-rate transmission method that enables 40 km WDM transmission by dividing 25.8 Gbit/s signals into two channels of 12.9 Gbit/s signals and transmitting them.

キーワード：5G無線アクセスネットワーク、25Gイーサネット、波長多重伝送、ハーフレート伝送

1. 緒言

5G無線アクセスネットワーク^{*1}では、スモールセル^{*2}化に伴うセル数の増加や、Massive MIMO^{*3}等の無線送受信技術の活用により、無線基地局を接続する光ファイバの増加が見込まれる。将来的には、既設の未使用ファイバ（ダークファイバ）の不足が懸念されており、効率的に光ファイバを利用する手段として、波長多重集線技術^{*4}が期待されている。

また、大容量・高速化に対応するため、無線アクセスネットワークに10Gイーサネットや25Gイーサネットなどの高速光通信を利用する通信仕様のeCPRI^{*5}が規定されており、5Gでは25Gイーサネットの利用が見込まれている。無線アクセスネットワークには最大20~40kmの伝送が必要だが、光ファイバの波長分散^{*6}による光信号波形の劣化が課題になる。例えば、高密度波長多重（DWDM: Dense Wavelength Division Multiplexing）で利用されるC帯（1530~1565nm）では光ファイバの波長分散が大きく、25Gイーサネットで20km伝送した場合に5dBを超える分散ペナルティが報告されており⁽¹⁾、安定した通信が困難である。一方、波長分散が小さいO帯（1260~1360nm）では、波長間での干渉が問題になる等、利用できる波長が限られ、高集線が望めない。そのため、C帯でDWDMを利用し、25Gイーサネット信号の40km伝送が可能な波長多重伝送方式が求められる。

本稿では、25Gイーサネット信号を2チャンネルのハーフレート信号に分割して伝送することで波長分散の影響を抑

え、C帯による40km波長多重伝送を実現した「ハーフレート伝送方式」とその伝送特性を紹介する。

2. ハーフレート伝送方式

2-1 波長多重集線システム

図1にハーフレート伝送方式を利用した波長多重集線システムの構成例を示す。無線基地局を構成する無線部（RU: Radio Unit、RRH: Remote Radio Head）と無線信号処理部/データ処理部（DU/CU: Distributed Unit/Central Unit、BBU: Base Band Unit）間に波長多重集線装置を対向で設置し、5G無線用にeCPRI（25Gイーサネット: 25.8Gbit/s）Nチャンネルと、4G無線用にCPRI^{*7}（1.2Gbit/s~9.8Gbit/s）Mチャンネルを集線しており、無線部と無線信号処理部/データ処理部からの光信号を波長変換して1本の光ファイバで波長多重伝送している。

このとき、5G無線用のeCPRI信号を2チャンネルのハーフレート信号（12.9Gbit/s）に変換して伝送し、伝送後に元のeCPRI信号に復元する。一般的に波長分散による伝送ペナルティは距離に比例し、伝送レートの二乗に比例する。伝送レートを1/2に落すことで、分散ペナルティを1/4に抑えることができ、波長分散が大きいC帯による波長多重伝送が可能となる。

図1の構成例では、5G無線用のNチャンネルのeCPRI信号をハーフレート伝送で、4G無線用のMチャンネルのCPRI信号を元の伝送レートで波長多重伝送しており、上り/下り

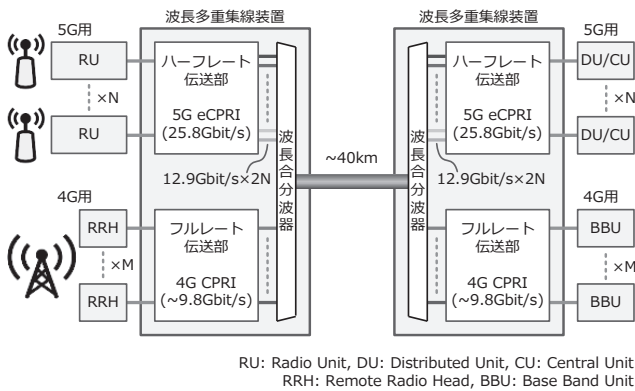


図1 ハーフレート波長多重集線システムの構成例

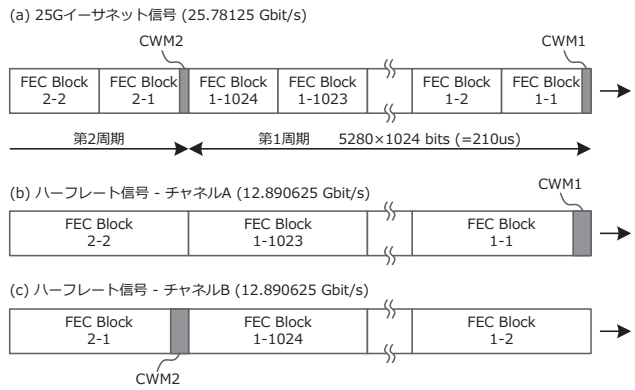


図2 25Gイーサネット信号とハーフレート信号のデータ構成

方向それぞれ (2N+M) 波長で多重伝送している。

ハーフレート信号の波長多重伝送には10Gイーサネット用のDWDM光トランシーバを利用している。ハーフレート信号の伝送レート12.9Gbit/sは10Gイーサネットの伝送レート10.3Gbit/sより1.25倍高速で、約1.6倍の分散ペナルティが見込まれるが、10Gイーサネットでは最大80km伝送をサポートする10GBASE-ZR仕様が規格化されており、同光伝送技術を利用することで50km程度まで分散ペナルティを実用レベルに抑えられる。

2-2 ハーフレート変換／復元処理

つぎに図2と図3を用いて、ハーフレート信号への変換処理と復元処理を説明する。処理は上り／下り方向で同じである。図2は25Gイーサネット信号とハーフレート信号のデータ構成、図3は集線装置のハーフレート伝送部における変換処理部と復元処理部の構成を示している。

ハーフレート伝送では、25Gイーサネット信号を2チャンネルに分割して伝送するため、ハーフレート信号のチャンネル間での伝搬遅延差を受信側の復元処理で補償する必要があり、本稿では25Gイーサネットのデータ構成を利用して伝搬遅延差を検出している。25Gイーサネットでは誤り訂正^{*8} (FEC: Forward Error Correction) にリード・ソロモン符号^{*9} RS (528, 514) が利用され、図2 (a) に示すように5280ビット長のFECブロックの集合として伝送される。このとき、1024ブロック毎に、つまり約210usの周期でFECブロック (1-1、2-1、…) の先頭に257ビット長のコードワードマーカ (CWM) と呼ばれる特殊コードが伝送されている⁽²⁾。

図3の変換処理部では、25Gイーサネット信号のCWMを検出し、CWMの位置を基準として、例えば、25Gイーサネット信号をFECブロック単位で2チャンネルのハーフレート信号AとBに分割する。このとき、CWMが両チャンネルに配置されるように割り振る。

図2の例では、25Gイーサネット信号をFECブロック (1~1024) に分割し、第1周期では奇数番のブロック (1-1、

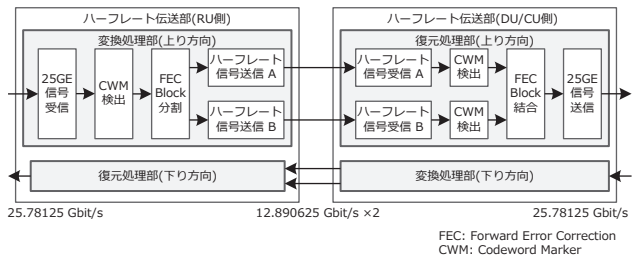


図3 ハーフレート変換処理と復元処理

1-3、…、1-1023) をチャンネルA、偶数番のブロック (1-2、1-4、…、1-1024) をチャンネルBに割り振り、第2周期では奇数番のブロック (2-1、2-3、…、2-1023) をチャンネルB、偶数番のブロック (2-2、2-4、…、2-1024) をチャンネルAに割り振っている。周期毎に奇数番と偶数番のブロックのチャンネルAとBへの割り振りを入れ替えることで、図2 (b) (c) のようにCWMが両チャンネルに配置される。

図3に戻り、復元処理部ではハーフレート信号のCWMを検出し、CWMの位置を基準としてFECブロックの境界を判断することで、チャンネル間の伝搬遅延差を補正し、元の25Gイーサネット信号を復元することができる。

なお、集線装置では誤り訂正処理は行わず、無線基地局の無線部と無線信号処理部／データ処理部で処理される。

3. 伝送特性

今回、FPGA^{*10}を利用して、図3のハーフレート伝送部を原理試作し、25Gイーサネットのハーフレート伝送特性を評価した。ハーフレート信号 (12.9Gbit/s) の光伝送には、10Gイーサネット80km伝送用のDWDM光トランシーバ (10GBASE-ZR仕様、送信波長1558.17nm、送信パワー+2.15dBm) を利用した。10Gイーサネットより伝送レートが高速になる分、復元処理部の受信部にイコライザ^{*11}を実装して光トランシーバの帯域不足を補った。

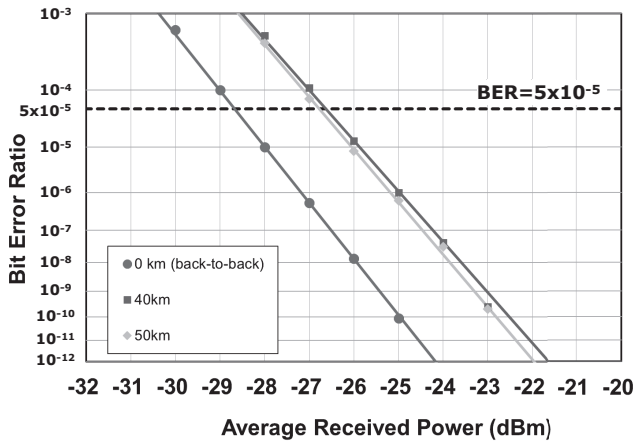


図4 受信ビットエラー特性 (リミティング受信)

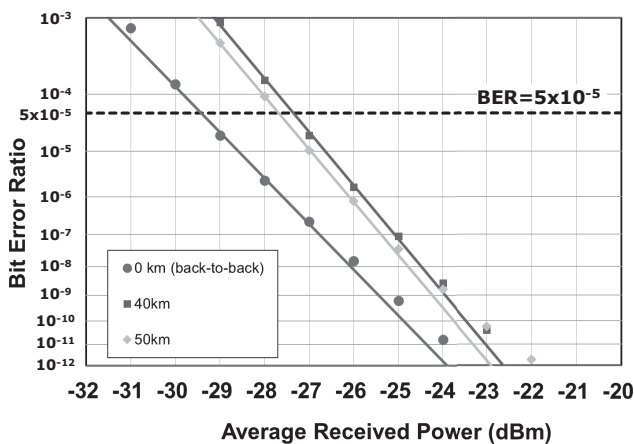


図5 受信ビットエラー特性 (リニア受信)

図4と図5に0km、40km、50kmのハーフレート伝送における受信ビットエラー特性を示す。図4は光トランシーバの受信部に一般的なリミティング受信^{*12}タイプ、図5はリニア受信^{*13}タイプを使用しており、イコライズ処理と相性の良いリニア受信タイプが約0.7dB良好な受信感度となった。それぞれ、ハーフレート伝送の一方のチャンネルに挿入した光アッテネータで受信パワーを下げながら伝送エラーを発生させ、25Gイーサネット信号のフレームエラーとして測定した後に、ビットエラー率に換算している。測定では、25Gイーサネットの誤り訂正処理を無効にしているが、有効時にエラーフリーとなるビットエラー率 5×10^{-5} を基準として評価した。

表1は波長合分波器を除くハーフレート伝送区間のパワーバジェット^{*14}として整理した結果である。40km伝送時のバジェットがリミティング受信タイプで28.8dB、リニア受信タイプで29.5dBと、ともに40kmの波長多重伝送で想定される27dBのバジェットを満足する結果が得られた。ここ

表1 パワーバジェット測定結果

送信パワー (dBm) A	受信タイプ	距離 (km)	受信感度 BER= 5×10^{-5} (dBm) B	パワーバジェット (dB) A-B
+2.15	リミティング	0	-28.64	30.8
		40	-26.63	28.8
		50	-26.90	29.1
	リニア	0	-29.29	31.4
		40	-27.31	29.5
		50	-27.66	29.8

で、27dBには波長合分波器 (アレイ導波路回折格子^{*15}) の損失11dBと、光ファイバの損失16dB (0.4dB/km) を見込んだ値である。

4. 結 言

本稿では5G無線アクセスネットワークで利用される25Gイーサネット信号を波長多重で40km伝送可能なハーフレート伝送方式と波長多重集線システムへの適用例を紹介した。10G DWDM光トランシーバ技術を利用でき、安価に5G無線アクセスネットワークにおける光ファイバの利用効率を向上できる。

用語集

※1 無線アクセスネットワーク

移動体通信システムにおいて、コアネットワークと移動端末を接続する無線基地局やアンテナなどで構成されるネットワーク。

※2 スモールセル

小さい通信可能エリア。無線アンテナを高密度に配置して大容量の通信を実現する。

※3 Massive MIMO

Multiple Input and Multiple Output : 複数のアンテナを使ってデータの送受信を行う無線通信技術。

※4 波長多重集線技術

異なる波長を利用して、複数の光信号を1本の光ファイバに多重集線する技術。

※5 eCPRI

Evolved CPRI : 無線基地局とアンテナ部の通信に使用されるイーサネットをベースとした通信規格。

※6 波長分散

波長によって光ファイバ伝搬時間に遅延差が生じる現象。

※7 CPRI

Common Public Radio Interface: 無線基地局とアンテナ部の通信に使用される通信規格でアナログ信号のデジタルサンプリングを基本とする規格。

※8 誤り訂正

データの符号誤りを検出して訂正する技術。

※9 リード・ソロモン符号

高い訂正能力を持つ誤り訂正符号の1つ。

※10 FPGA

Field Programmable Gate Array: 書き換え可能な集積回路デバイス。

※11 イコライザ

信号の劣化を補償する回路。ここでは光トランシーバの送受信処理の帯域不足を補償。

※12 リミティング受信

受信信号を高利得で飽和増幅（リミティング）する受信。

※13 リニア受信

受信信号の形状を保った状態で線形増幅（リニア）する受信。受信信号のイコライズ処理に適している。

※14 パワーバジェット

送信器の送信パワーと受信器の受信感度の差。

※15 アレイ導波路回折格子

アレイ導波路による光回折を利用した波長合分波器。小型化、多チャンネル化に適し、高密度波長多重（DWDM）で利用される。

執筆者

滝澤 康裕* : 情報ネットワーク研究開発センター
主査



田口 貴昭 : 情報ネットワーク研究開発センター
主査



梅田 大助 : 情報ネットワーク研究開発センター
グループ長



*主執筆者

・イーサネットは富士ゼロックス(株)の登録商標です。

参考文献

- (1) D.Umeda, "25G NRZ Transmission," IEEE P802.3ca Task Force, May 2016 contribution
- (2) "RS-FEC sublayer for 25GBASE-R PHYs," IEEE Standard for Ethernet 2018, Chapter 107
- (3) 滝澤康裕、梅田大助、[5G モバイルxホール用波長多重ハーフレート伝送]、2020年総合大会 B-8-5、(社) 電子情報通信学会