移動体通信システム用デジタル光伝送装置の開発
Development of Digital Optical Repeater

西部匡豊 Masatoyo Nishibe　田子晃 Akira Tago　河住典久 Norihisa Kawasumi
祖山渉 Wataru Soyama　青木俊之 Toshiyuki Aoki

要　旨

移動体通信システム用光伝送装置とは，携帯電話基地局だけではカバーできないエリアの通信品質改善に使用する装置である。当社では，従来アナログ式光伝送装置の商品化を主流としてきたが，市場での小型，軽量，低価格化への要求，および低品質光伝送路（ダークファイバ等）に対応するため，高効率DPDアンプを搭載し，デジタル式光伝送技術を採用した装置を開発した。その結果，許容光伝送損失20dB，許容反射減衰22dBを達成し，容積14.9リットル，質量12kg以下の小型軽量化を実現した。これは当社従来装置（アナログ方式）比で，それぞれ52%減となる。

Abstract

The digital optical repeater for the mobile communication system is the equipment to improve the communication quality at the area where is not covered by the mobile communication BTS. JRC has developed mainly analog optical repeaters. This time we developed the digital optical repeater by adopting the high efficiency DPD amplifier and digital optical communication technologies in order to fulfill market requirements of smaller size, lighter weight, lower cost, and availability on the low speed optical transmission line (dark fiber, etc). The newly developed repeater has the tolerant optical transmission loss of 20dB and the tolerant return loss of 22dB, and achieves the small size of the 14.9 liter volume and the weight ≦12 kg. These are corresponding to 52% reduction of the volume and weight respectively at the comparison with the existing analog optical repeater.

1. まえがき

当社では，従来アナログ式光伝送装置の商品化を主流としてきたが，市場での小型，軽量，低価格化への要求，および低品質光伝送路（高減衰，劣悪な反射減衰特性を持ったダークファイバ等）や長距離伝送路条件に対応するため，高効率DPDアンプを搭載し，デジタル式光伝送技術を採用した光伝送装置を開発した。ここでは，デジタル光伝送方式の技術概要を述べるとともに，小型軽量化への取り組みについて報告する。

2. 装置概要

2.1　装置構成

本装置は基地局側無線機と接続して使用する親機と，通信品質改善エリアに設置する子機で構成される。親機と子機間の伝送媒体には１芯のシングルモード光ファイバケーブルを使用する。BTSとの接続はBTS出力のRF信号を使用するため，汎用性のあるインタフェースとしている。

親機１台に対し，分岐4×カスケード4＝16台まで子機を増設可能であり，屋外エリア，ビル内等の不感エリア対策として適用範囲が広い。図1に概要系統図を示す。

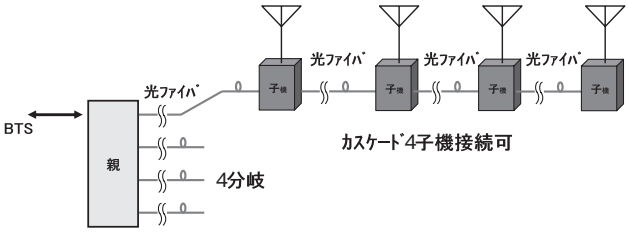


図１　概要系統図
Fig.1 Schematic diagram

以下，図2にて信号の流れを簡単に説明する。

下り系：BTSから出力された高周波信号は親機に同軸ケーブルで接続される。信号は親機内のDUPを経由し，デジタル処理部で電気信号をデジタル光信号に変換し光ファイバにて子機へ伝送する。子機では到達したデジタル光信号をデジタル処理部で高周波信号に変換しDPD PAで増幅しDUPを経由してANT端子より出力する。

上り系：携帯端末から発信された高周波信号はANTにて受信したのち，子機に入力される。入力された信号は，DUP,LNAを経由し，デジタル処理部でデジタル光信号に変換し光ファイバを経由して親機に伝送する。親機では到達したデジタル光信号をデジタル処理部で高周波信号に戻し，DUPを経由してBTSへ出力する。

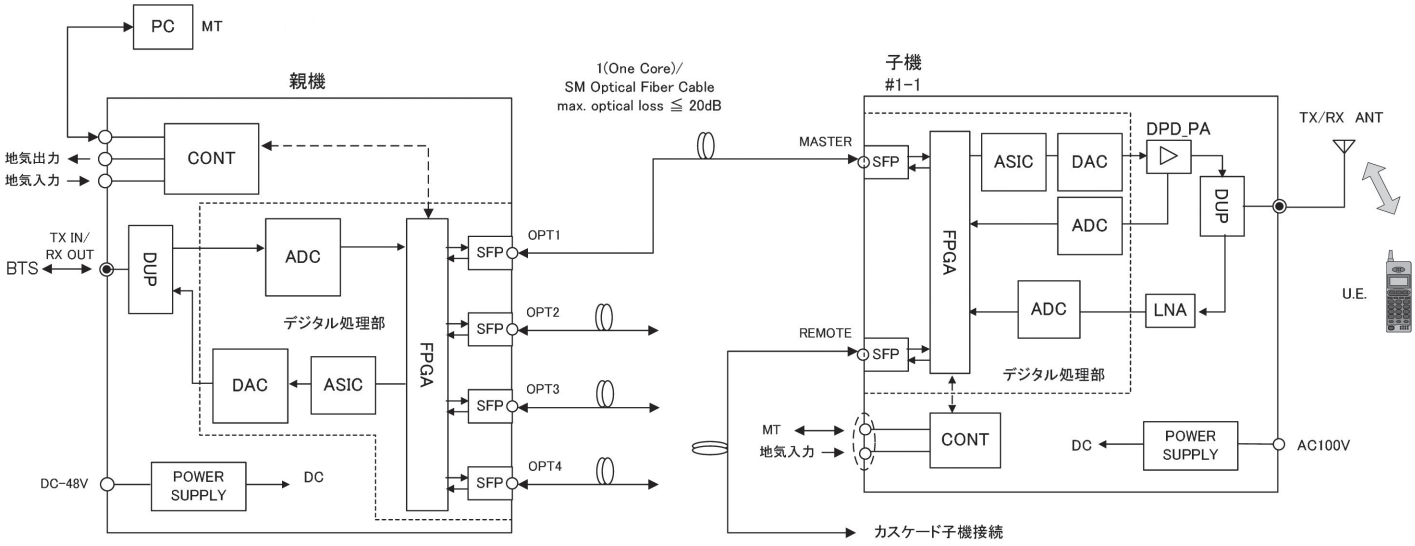


図2　概略系統図例
Fig.2　Schematic diagram example

2.2　親機説明

親機は19インチラック実装型の屋内仕様であり，自然空冷方式である。BTSと接続するRF端子は7/16-Jコネクタ，制御入力，地気出力端子は32pinのD-subコネクタ，MT用PCとの接続は9pinのD-subコネクタである。施工，保守性を考慮し，全て前面からの接続を可能としている。

親機の外観写真を図3に示す。

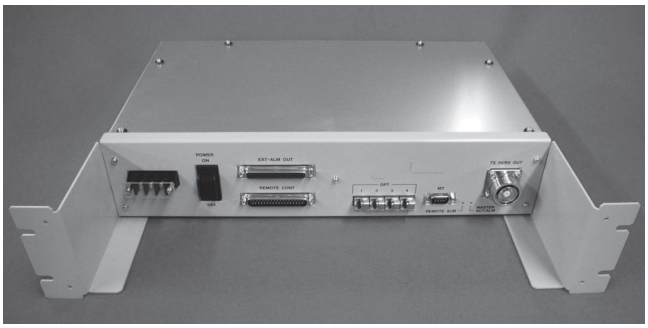


図3　親機外観写真
Fig.3　Outside View of MASTER UNIT

2.3　子機説明

子機は屋外設置可能な構造となっており，IP55の防水防塵性能を有す。また，ポールや壁面の設置に対応可能であり，自然空冷のためメンテナンスフリーである。

子機にはDPD PA，LNA，デジタル処理部，POWER SUPPLY，DUPなどのユニットを効率良く実装している。

また，防水型光コネクタ，電源コネクタおよび監視コネクタにワンタッチ式を採用することで，コネクタ脱着の作業性が向上した。

子機外観写真を図4に示す。

子機についてはDPD PAによる高効率化により，図5に示すように，当社従来装置と比較して大幅な低消費電力化，小型軽量化・低価格化を実現している。

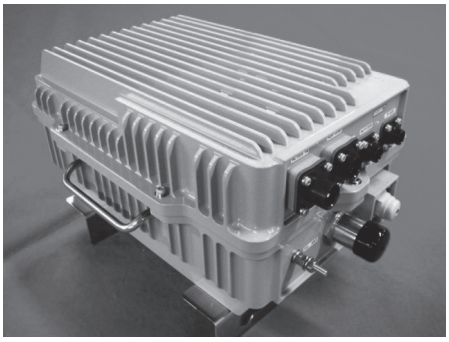
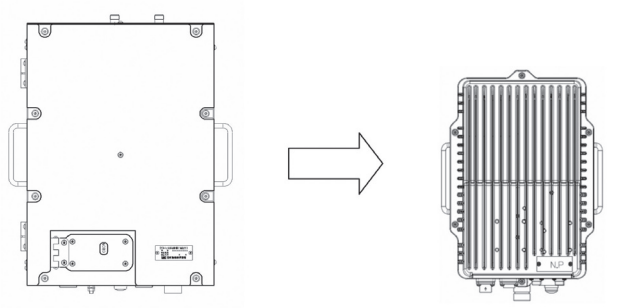


図4　子機外観写真
Fig.4　Outside View of REMOTE UNIT



容積	31.1L	→	14.9L	（約52%の削減）
質量	25kg以下	→	12kg以下	（約52%の削減）
消費電力	330VA以下	→	140VA以下	（約58%の削減）

図5　従来装置と本装置との比較（当社比）
Fig.5　Evolution of Remote Unit

2.4　装置主要諸元

以下の表1に，装置の主要な諸元を示す。

表1　デジタル光伝送装置諸元
Table 1　Specification of the Digital Optical Repeater

周波数帯	2GHz帯（UTRA/FDD BAND Ⅰ）
電源電圧	親機：DC－48V / 子機：AC100V
消費電力	親機：30W以下 子機：140VA以下
動作温度範囲	親機：－10 ～ ＋50℃
	子機：－20 ～ ＋50℃
外形寸法 （W×H×D）	親機：480×99×350mm 子機：230×360×180mm
質量	親機：5kg以下 子機：12kg以下
防水防塵構造	IP55（子機）

3.　特長となる技術

3.1　デジタル光伝送

アナログ伝送方式の当社従来装置では，RF特性が光区間品質の影響を受けるため，許容反射減衰40dBという高い品質の光伝送路を必要としていた。また，許容光損失は15dB以下となっていた。

今回，光伝送方式をデジタル化することによってRF特性が，光区間の品質に依存し難くすると共に，高減衰，劣悪な反射減衰特性に対応したSFP光トランシーバを選択することで，許容反射減衰22dB，許容損失20dBを実現した。

親機，子機のデジタル処理部の構成を図6に示す。

デジタル処理部で採用している特長となる技術を以下に述べる。

(1) デジタル光多重伝送

FPGAに入力されるデジタル信号を，デシメーション及びキャリア毎の信号切り出しと波形成形を行い，キャリア毎の低いサンプリング周波数のデジタルデータに変換して時間多重化することで，シリアル・パラレル変換を行うSERDESとSFP光トランシーバの低コスト化が可能となった。

また，双方向CWDM対応のSFP光トランシーバを採用することで，親機と子機間のデジタル光伝送を1芯のシングルモード光ファイバで実現している。

(2) 子機カスケード接続

親機は下り信号を4系統に分配し，子機は受信した下り信号を送信すると同時に後段の子機へ送出する。子機は前段の子機からの上り信号をデジタル加算して親機へ送出し，親機は4系統の上り信号をデジタル加算することで，子機のカスケード接続を実現している。

アナログ光伝送方式では，光区間の伝送距離に応じたレベルの減衰が発生するため，信号の加算時にレベルの補正を必要としていたが，デジタル化することで補正が不要となるメリットがある。

3.2　高効率アンプ

高効率アンプ技術にて，アンプの発熱量を大幅に削減することにより，放熱構造を小型化し，装置の小型，軽量，低価格化を達成した。

装置出力20Wの高出力にて高効率かつ低歪を実現するために，DPD方式の歪補償回路とGaNトランジスタを用いたHPAを組み合わせ，低歪かつ高効率なLPAを実現した。

DPD方式の歪補償回路には，HPAの効率を改善するため変調信号のピーク圧縮を行うCFRの機能を共にASIC化した信号処理回路を採用した。このASICは当社独自のCFR及びDPDアルゴリズムによる信号処理に基づき開発され，デジタル信号処理部の大幅な消費電力低減に貢献している。

図7にHPAデバイス構成を示す。HPAはアイソレータ，小信号アンプ，ドライバアンプ，および終段のDohertyアンプから構成される。ドライバアンプ及び終段アンプは高効率化のため，GaNトランジスタを用いた。

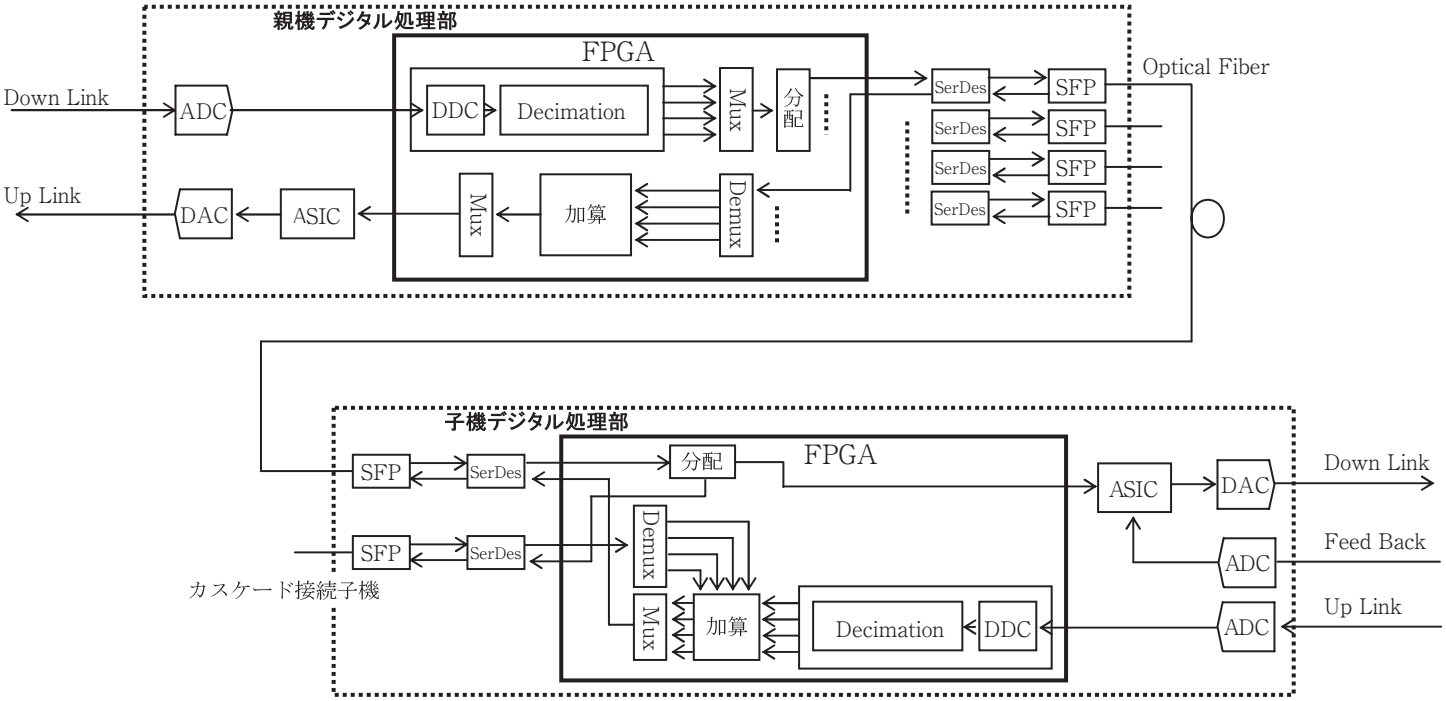


図6　デジタル処理部系統図概要

Fig.6　Schematic diagram of digital circuit

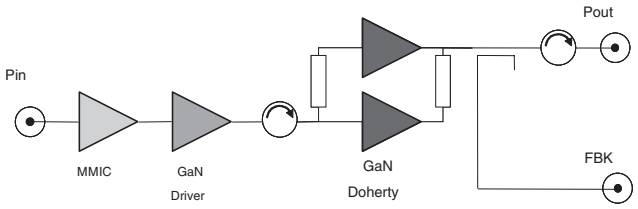


図7　HPAデバイス構成

Fig. 7　Device Line-up of HPA

さらに高効率化のため，終段アンプはDoherty方式の構成とした。Doherty方式は効率が高い反面，高次の相互変調歪を発生するが，DPDにより十分な歪補償特性が得られている。一例としてWCDMA（4波）にて，歪補償後のスペクトラム画像を図8に示す。ACLR：－55dBc以下の低歪と同時に，終段アンプの効率は47％と高効率である。

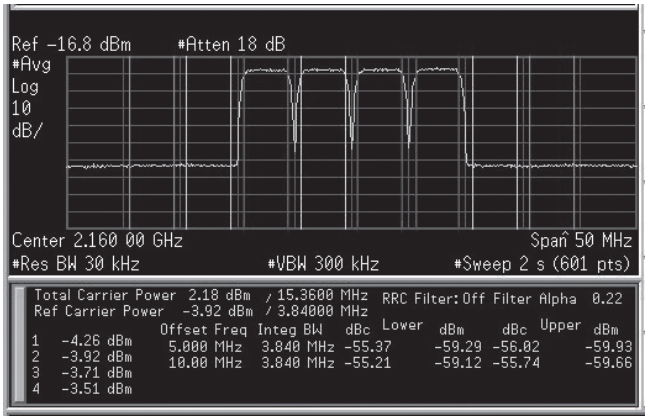


図8　DPD後のスペクトラム

Fig.8　Spectrum of DPD amplifier.

4. あとがき

今般スマートフォンの普及と共に情報収集，伝達手段として，移動体通信の重要性が飛躍的に高くなっており不感地対策装置の需要は今後も増え続けることが予想される。

今回開発した装置は，2GHz帯WCDMA専用であるが，デジタル処理部およびDPD技術は他の周波数帯およびLTE等他の変調方式にも応用可能である。

今後，本開発での技術を基に光伝送装置，RF無線レピータへの展開を進め，小型軽量，高効率な不感地対策装置を市場に投入していく予定である。

5．参考文献

(1)“次世代基地局向けDPDパワーアンプの開発”，日本無線技報No.55，2008
(2)“携帯電話基地局用アンプの移り変わり”，日本無線技報No.60，2011

用語一覧

ACLR：Adjacent Channel Leakage power Ratio（隣接チャンネル漏洩電力比）
ADC：Analog to Digital Converter（アナログデジタル変換器）
ANT：Antenna（空中線）
ASIC：Application Specific Integrated Circuit
BTS：Base Transceiver Station（基地局装置）
CICフィルタ：Cascade Integrator Comb Filter（カスケード積分くし型フィルタ）
CFR：Crest Factor Reduction（ピーク・平均電力比を調整しアンプの高効率化を実現する技術）
CWDM：Coarse Wavelength Division Multiplexing（伝送路中に増幅器を必要としない比較的短距離向けの光波長多重）
ダークファイバ：敷設している光ファイバのうち，使用せずに空いている線
DAC：Digital to Analog Converter（デジタルアナログ変換器）
Doherty: 電力増幅器の高効率化技術のひとつ
DPD：Digital Pre-Distortion（デジタルプリディストーション）
DUP：Duplexer（送受信共用器）
FIRフィルタ：Finite Impulse Response Filter（有限インパルス応答フィルタ）
FPGA：Field Programmable Gate Array（プログラマブルLSI）
HPA：High Power Amplifier
GaN：Gallium Nitride（窒化ガリウム）
LNA：Low Noise Amplifier（低雑音アンプ）
LPA：Linear Power Amplifier（線形電力増幅器）
LTE：Long Term Evolution（第3.9世代の規格の一つ）
MMIC：Monolithic Microwave Integrated Circuit（モノリシックマイクロ波集積回路）
MT：Maintenance Tool（メンテナンス用ツール）
PAPR：Peak to Average Power Ratio（ピーク対平均電力比）
RF：Radio Frequency（無線周波数）
SERDES：SERializer/DESerializer（シリアルパラレル変換器）
SFP：Small Form factor Pluggable（プラグイン型光トランシーバ）
U.E：User Equipment（携帯端末）
WCDMA：Wide band Code Division Multiple Access（広帯域符号分割多元接続）