16QAM／128QAM　多重無線装置（JUK－ZEROシリーズ）の開発
16QAM／128QAM Radio Equipment (JUK-ZERO Series)

毛利貢治　Kohji Mohri
村田真也　Shinya Murata
田中康英　Yasuhide Tanaka
加藤康之　Yasuyuki Katoh

要　旨

近年の高速データ通信の市場要求に伴い，公共業務用通信ネットワークにおいても，データの大容量化，高速化の要求が高まっている。通信網のメインの回線として，光ファイバ網が構築される一方で，被災時の重要回線のバックアップとして利用されるマイクロ波無線装置についても整備が進んでいる。公共業務用通信網はユーザごとに多様なシステム要求があるため，フレキシブルな対応が必要となる。このような市場要求を満足するために，本16QAM／128QAM多重無線装置（JUK-ZEROシリーズ）を開発した。

Abstract

Recently, along with the market demand for high speed data communication, demand is increasing for public use communication networks as well to be able to handle large amounts of data at high speed. An optical fiber network is being constructed as the main lines of the communications network, and microwave radio devices are being set up to be used as back-up for important communications lines in times of disaster. Further, flexible measures need to be taken to meet users' varied demands for public use communications networks. To satisfy such demands of the market, JRC has developed this JUK-ZERO series 16QAM/128QAM multiplex radio communication device.

1. まえがき

近年専用通信ネットワークは，データの大容量化，通信の高速化が要求されることから光ファイバ網の整備が進んでいる。一方，防災という観点では，マイクロ波無線による通信網が信頼性に優れている。よって，重要回線に位置する防災情報伝送などは品質確保のため無線を用いることは必須であり，これら災害時を想定したバックアップ回線としてはマイクロ波無線通信に対する期待は大きいものがある。

また，ユーザごとのネットワークシステムの要求も多様化していることから，伝送容量，インタフェースなどの仕様に対して，フレキシブルな対応による幅広いネットワーク事業への展開が必要となってきている。

このような市場要求にこたえるべく本多重無線装置を開発したので以下に紹介する。

製品名としては新たな気持ちで新市場に参入するという意味をこめて“ZERO”シリーズとしている。

2. 無線装置の特長と主要技術

2.1　装置構成

本多重無線装置は，高周波共用部，送受信部，送受信信号処理部，制御部，電源部及び筐体で構成されている。

装置では，現用，予備の2式の送受信部，送受信信号処理部，電源部を，高さ2,300mm，幅260mm，奥行225mm（扉を含めて240mm）の架に実装し，冗長性を高めることにより，高信頼性を確保している。本装置は，保守点検が容易に行えるように，前面からの着脱が容易なユニットプラグイン方式を採用している。上段より，高周波共用部，送受信高周波部，制御部（操作部），変復調・送受信信号処理部，電源部の順に実装している。

図1に128QAM／104Mbps容量の多重無線装置を示す。

図1　装置外観
Fig.1　External view of radio equipment

2.2 特長

(1) 省スペース化

装置の高集積，高密度実装により限られた無線局舎スペースに大容量無線装置の設置が可能（従来機の容積比50％ダウン）

(2) 低消費電力化

低電圧LSI，高集積度設計による構成ユニットの削減により低消費電力化を実現

(3) 広範囲入力，高効率電源の採用

装置電源の高効率化を図るとともに，特別な設定変更を行なうことなく，DC-24V/-48V±20％の広範囲の入力電源電圧への対応が可能

(4) フレキシブルなインタフェースへの対応

G.703，IP，光インタフェースの混在実装が可能であり，さまざまなインタフェース要求に対応が可能

(5) 活線挿抜対応

回線運用中に装置の電源をOFFすることなくパネルの着脱が可能

2.3 主要技術

(1) 波形歪等化技術

周波数選択性フェージングに対して高い等化性能を実現するために，判定帰還型等化(DFE)方式を採用した。実装するにあたり，DFE方式に好適な128QAMキャリア位相検出アルゴリズムを考案した。本アルゴリズムにより強い周波数選択性フェージング環境下にあっても，高いキャリア同期性能を維持することを可能とした。また，DFEの演算処理を最適化し，変復調デジタル部全体での残留C/N特性を37dBとした。

本装置は冗長構成を特徴としており，予備系切替時に発生する瞬断時間に対しては高い要求仕様がある。そこで，DFE引き込みシーケンスの高速化方式も合わせて考案した。本方式は切り替えの初期段階に既知シンボルを利用することで高速化を図るもので，この手法により，DFEの高い等化性能を維持しつつ，送信切替時，瞬断時間を20/50[msec]（手動/自動）以下を実現した。

(2) DPD技術

128QAM方式において，本装置が規定するBER仕様を満足するためには送信部PAのバックオフを，15dB程度とする必要がある。しかし，送信部の放熱，PAの部品ランクを勘案すると設計に大きな制約がかかる上，大幅なコスト増となる。そこで，デジタル・プリディストーション(DPD)技術を採用することとした。本方式によりバックオフ8dB程度で，所望のBER特性を実現することを可能とし，大幅なコスト削減を実現した。

本DPD方式の特徴としては，歪逆特性演算を簡素化し，DSPを利用した高度な演算を不要としている点で，このことにより，デジタル系デバイス・コストの大幅な削減と，歪補償の引き込み速度の高速化を実現している。アナログ部フィードバック系のDCオフセット，IQアンバランス，直交誤差，遅延について自動補正する機能を具備することで無調整，かつ高安定な歪補償性能を得ることを可能にした。また，適応型DPDと合わせて実装することが困難とされる，フィードバック系のレベル自動補正回路については，歪補償のLUTを正規化することで実装可能とし，レベル誤差についても自動調整が可能となる構成を実現した。

(3) 低位相ノイズシンセサイザ技術

16QAM／128QAM多重無線装置（JUK-ZEROシリーズ）に使用している局部発振器については，シンセサイザ方式を採用した。無線局に割当てられている周波数は6GHz帯で21チャネル，7GHz帯で29チャネルと多品種であるが，本シンセサイザ方式を採用することで，共通ハードウェアで容易に周波数の設定変更が可能となった。また，128QAM方式においては局部発振器に低い位相雑音特性が要求される。そこで，広い周波数範囲において低位相雑音を実現するため，位相ノイズキャンセル技術を採用した。

2.4 遠隔制御，遠隔監視，遠隔測定機能（オプション）

オプションの遠隔制御，遠隔監視，遠隔測定機能の装備により，遠隔での無線装置の動作号機切替，動作状態・障害発生状態などの状態監視，CRC符号誤り率計測，送信電力，受信電力，各部電圧などのメータ計測，ループバック制御が可能である。

また，当社の無線装置が従属接続される場合には，遠隔制御，遠隔監視，遠隔測定用のネットワークを構成することにより，中央局での集中監視制御が可能である。

当社の従来機種である，JUK-3000シリーズ4PSK多重無線装置，JUK-3200/3400シリーズ16QAM多重無線装置，JUK-3600シリーズ128QAM多重無線装置との監視・制御ネットワークを相互に構成することも可能であり，遠隔での無線装置の動作号機切替，動作状態・障害発生状態などの状態監視を実現することが可能である。

3. 装置の仕様と特性

3.1 装置の電気的仕様と系統

表１にJUK-ZEROシリーズ16QAM/128QAM多重無線装置の代表的な仕様を示す。装置の形名形態はJUK-0200番台が16QAM，JUK-0400番台が128QAMを表し，末尾が65，75，12は，それぞれRF周波数帯6.5GHz帯，7.5GHz帯，12GHz帯に対応する。また伝送容量については，16QAMが26Mbps，128QAMが52Mbps及び104Mbpsに対応している。

図2に104Mbps容量6.5GHz帯128QAM多重無線装置の系統図を示す。図の上部が送信系，下部が受信系であり，それぞれ現用・予備の2式の装置を実装している。

送信系では，主信号入力端子部より入力された6.312Mbpsバイポーラ信号または51.84Mbps光信号が，1号，2号送信信号処理部に分岐され，1号，2号送信部にてそれぞれ128QAM送信波に変調された後，所定の電力に増幅される。送信出力SWにより動作号機選択し，空中線へ出力される。

受信系では，空中線からの128QAM受信波が，HYBにより1号，2号受信部に分岐され復調された後，1号，2号受信信号処理部にて6.312Mbpsバイポーラ信号又は51.84Mbps光信号に変換し，SWにより動作号機選択して出力される。なお，51.84Mbps光インタフェース仕様を採用する場合は，装置の入出力部に，O/E変換部，E/O変換部が実装される。

インタフェースの速度は，6.312Mbpsまたは51.84Mbpsのどちらかを，52Mbps容量毎に選択することが可能であり，104Mbps容量の装置では，51.84Mbps×2または51.84Mbps×1＋6.312Mbps×8または6.312Mbps×16のいずれかの指定が可能である。

表１　無線装置諸元

Table 1　Performance of radio equipment

項　目	JUK-0265/0275 JUK-0465/0475	JUK-0212 JUK-0412
無線周波数帯	6570～6870 / 7425～7750MHz	12.2～12.5GHz
伝送容量	26Mbps，52Mbps，104Mbps	
予備方式	セット予備方式	
変調方式	16値直交振幅変調（16QAM）（電波型式D7W） 128値直交振幅変調（128QAM）（電波型式D7W）	
送信出力	0.8W / 1.0W / 1.6W / 2.0W	0.1W / 0.3W
スペクトラム整形	コサインロールオフ（ロールオフ率0.5） コサインロールオフ（ロールオフ率0.25）	
復調方式	同期検波瞬時検出	
※スペースダイバーシチ（オプション）	同相合成スペースダイバーシチ受信方式	—
雑音指数	3dB以下	4dB以下
サービスチャンネル	6CH	
電源	DC－24V/－48V±20%	
消費電力	250W以下	
環境条件	仕様満足：温度－10～＋50℃，湿度30～90% RH	

※スペースダイバーシチ（オプション）は，6.5GHz帯，7.5GHz帯装置に実装可能。

3.2　装置の特性

図3に6.5GHz帯104Mbps仕様の送信スペクトラムを示す。128QAM変調方式では，増幅回路などの飽和等による非直線歪が装置の特性を大きく劣化させてしまう。本装置では，電力増幅器で発生する非直線歪をDPD技術により補償し，混変調歪積の小さい良好な送信スペクトラムを実現している。

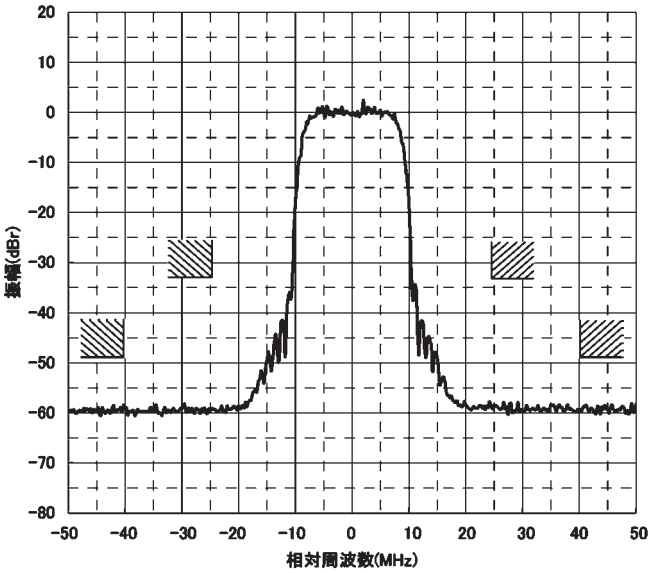

図3　送信スペクトラム

Fig.3　Power spectrum

図4に受信機の128値復調コンスタレーションを示す。波形歪，飽和などの劣化がある場合は，128個の信号点が格子状に配置されず，符号誤り率が劣化することとなる。本装置のコンスタレーションは，128点が格子上にのっており，良好な特性を実現している。

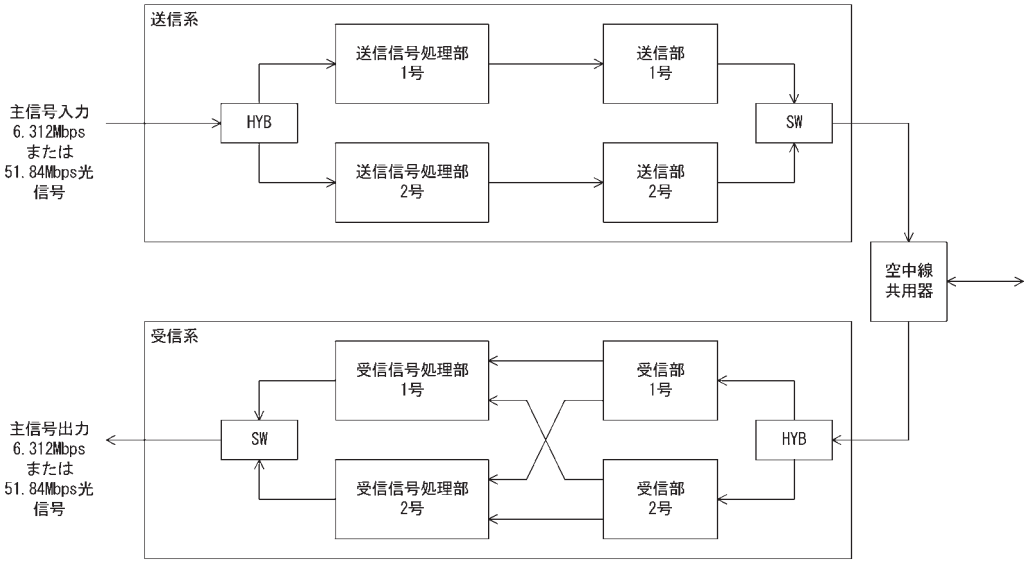

図2　104Mbps容量6.5/7.5/12GHz帯128QAM多重無線装置系統図

Fig.2　Block diagram of radio equipment

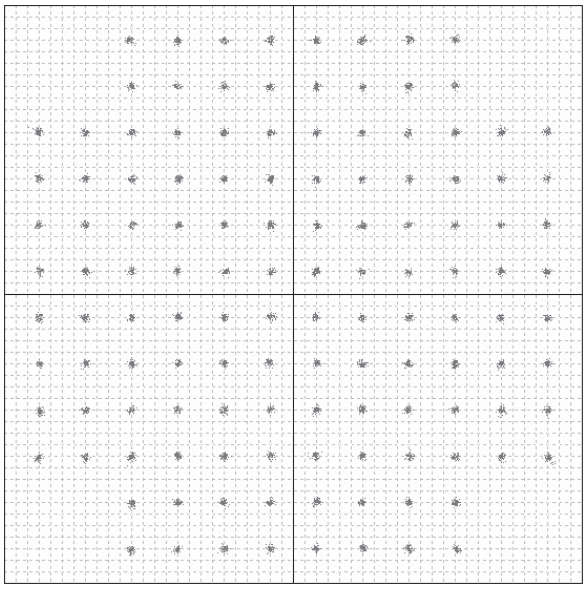

図4　128QAMコンスタレーション
Fig.4　128QAM Constellation

図5に6.5GHz帯104Mbps仕様の送受信総合符号誤り率特性を示す。本特性の規格は，符号誤り率（BER）が1×10^{-4}である時の受信機入力レベルが，-69.2dBm以下となることである。本装置は規格を十分に満足している。

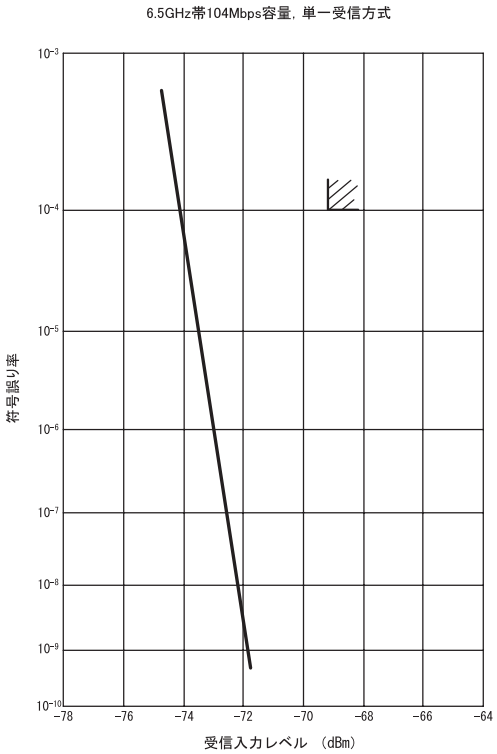

図5　符号誤り率特性
Fig.5　BER characteristics

4. あとがき

従来機種JUK-3000シリーズの16QAM/128QAM多重無線装置の後継モデルとして，JUK-ZEROシリーズ16QAM/128QAM多重無線装置を製品化した。従来は変調方式ごとに異なる製品ユニットで構成していたものを共通化設計することにより，様々な顧客ニーズに迅速かつフレキシブルに対応することが可能となった。今後はシリーズ化として小中容量4PSK多重無線装置の開発により，更なるラインナップ強化を行う。

災害に強いマイクロ波無線ネットワークは，防災管理上重要なシステムであり，今後も全国で整備，導入されていくものと考える。

用　語　一　覧

IP：Internet Protocol　(インターネットプロトコル)
DFE：Decision Feedback Equalizer　（判定帰還型等化器）
DPD：Digital Pre Distortion　（デジタルプリディストーション）
BER：Bit Error Rate　(符号誤り率)
LUT：Look Up Table　（ルックアップテーブル）
CRC：Cyclic Redundancy Check　(巡回冗長検査)