

小島佐和子*
明星慶洋**
安藤重男*

メタル線IPモデム“MLCNET”

Metal Cable IP Modem "MLCNET"

Sawako Ojima, Yoshihiro Akeboshi, Shigeo Ando

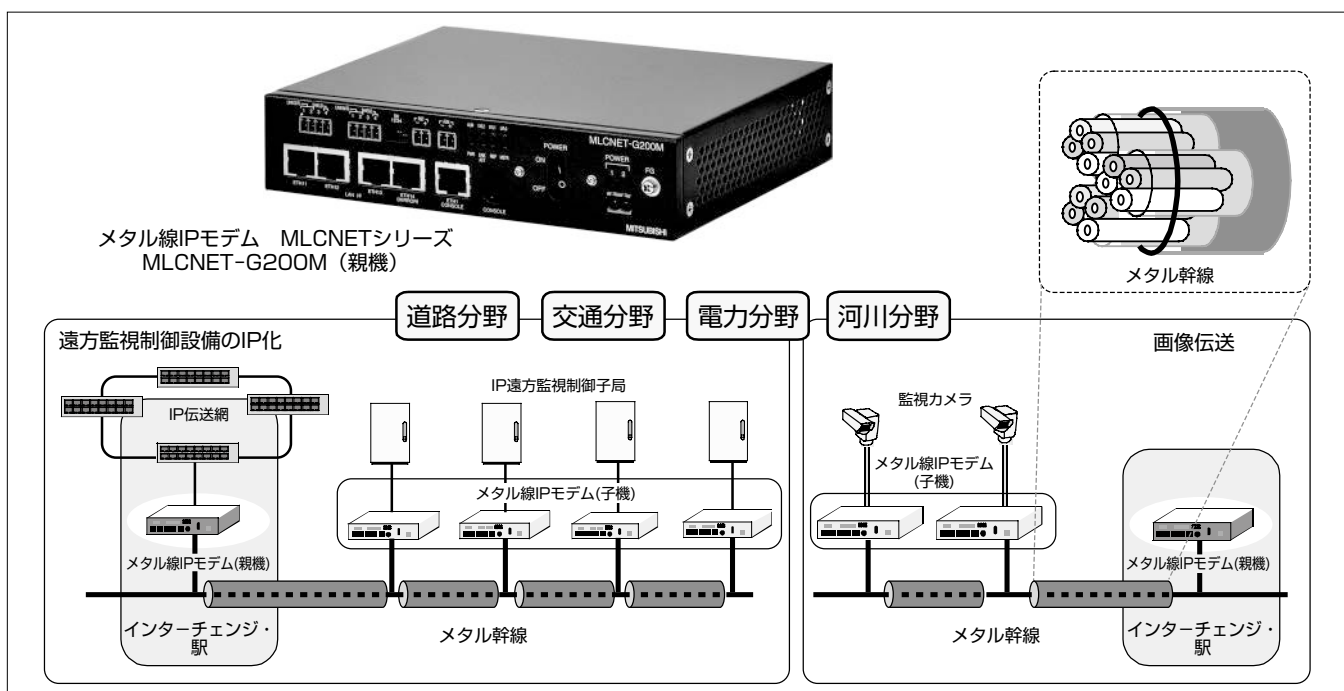
要旨

道路、交通、電力、河川等の社会インフラは多くの設備で構成され、従来、メタル線にアナログモデムを接続した専用の低速シリアル通信によって、これらの設備は運用・管理されていた。近年の、ネットワークの高速化・IP (Internet Protocol) 化の急速な進展に伴い、工事費削減のため幹線のみ光化し設備監視用は既設のメタル線を利用したいというニーズが大きい。

今般、既設のメタル線を活用し様々なネットワーク構成でメタル線通信をIP化する製品として、伝送帯域の周波数利用効率に優れたOFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing: 直交周波数分割多重方式) 方式を採用し、高速道路のインターチェンジ間や鉄道の駅間の長距離伝送を実現するメタル線IPモデム“MLCNET (Metal Line Communication NETwork) -G100”及び監視カメラなどの画像伝送によるトラフィック量の増大化に対応した高速伝送を実現する“MLCNET-G200”の2機種を開発を完了した。本稿では、その内容について述べる。

このメタル線IPモデムは、1台の親機に複数の子機をマルチドロップ接続することを可能とする特長を持っており、主要な開発課題は、長距離化、高速化、並びにメタル線の線路上に存在する多様かつ時間的に変動するノイズ環境下で高品質な伝送を行う耐雑音性能の実現である。長距離化に対しては、アナログ送信部における低歪(ひず)み特性を確保した高送信電力化によって高ダイナミックレンジを実現し、MLCNET-G100で最大伝送距離10kmを実現した。高速化に対しては、アナログ受信部のS/N (Signal to Noise ratio: 信号対雑音比) の改善と多値変調化を図ることで、MLCNET-G200で物理速度最大50Mbpsを実現した。伝送路ノイズに対しては、変動するノイズに動的に追従可能なS/N推定機能によって、耐雑音性能を向上させ、高品質・高信頼な伝送を実現した。

メタル線IPモデムMLCNETの開発によって、今後の社会インフラ事業のネットワーク基盤の1つとして、市場拡大を図る。



メタル線IPモデム “MLCNET”

メタル線IPモデムMLCNET-G100M (親機) / G100 (子機) 及び、MLCNET-G200M (親機) / G200 (子機) の、社会インフラ各分野への適用イメージを示す。道路・鉄道沿線等の既設のメタル線を活用し、設備監視を目的としたIPネットワークを構築する。親機に対し複数子機を接続するマルチドロップ接続を可能とし、また中継機による距離延伸を可能としている。

1. ま え が き

メタル線を使用し、高品質なIP通信を実現する産業用のメタル線IPモデムとして、高速道路のインターチェンジ間や鉄道の駅間等の長距離伝送を実現するMLCNET-G100並びに監視カメラの画像伝送などの大容量データの伝送に対応した高速化及び多段中継による距離の延伸を実現したMLCNET-G200の2機種を開発を完了した。この2機種の開発における主要な技術課題は、長距離化、高速化、並びにメタル線上のノイズ環境下での高品質な伝送を可能とする耐雑音性能の確保である。本稿では、その内容について述べる。

2. メタル線IPモデムMLCNET

2.1 MLCNETシリーズの諸元

MLCNETシリーズ(親機)の外観を図1に、諸元を表1に示す。-20~+60℃までの広い温度範囲を実現した耐環境性仕様、現地配線工事の容易化のため外部インタフェースをすべて前面に配置した前面保守構造、並びにAC100V、DC100V、DC48Vの3種類のマルチ入力電源を内蔵し、屋外を含む様々な設置場所に対応可能とする小型ユニット構造を実現した。

2.2 MLCNETシリーズの特長

2.2.1 OFDM方式の採用

図2に装置ブロック図を示す。メタル線インタフェース



図1. MLCNETシリーズ(親機)の外観

表1. MLCNETシリーズの諸元

項目	MLCNET-G100シリーズ	MLCNET-G200シリーズ
モデム型名	MLCNET-G100M(親機) MLCNET-G100(子機)	MLCNET-G200M(親機) MLCNET-G200(子機)
子機接続台数	6台	8台
キャリア周波数帯域	100kHz~2MHz	1~10MHz
物理速度	最大10Mbps	最大50Mbps
変調方式	OFDM多重方式 QAM変調方式	同左
無中継伝送距離	10km	2km(多段中継による 10km延伸可能)
入力電圧	DC48V, DC100V, AC100V	
外形寸法	187(W)×153(D)×42(H)(mm)	
動作温度範囲	-20~+60℃(AC100V, DC100V) -10~+60℃(DC48V)	

QAM: Quadrature Amplitude Modulation

は、図3に示すように、多数のキャリアを周波数軸上に直交に多重するOFDM方式を採用し周波数利用効率を上げることが可能とした。各キャリアの変調方式は、最大256QAMからBPSK(Binary Phase Shift Keying)まで、S/Nに応じて変調度を自動制御する適応変調方式を実現することで、周波数特性を持つ伝送路の減衰やノイズ特性に最適化し高ビットレートを確保した。イーサネットインタフェース^(注1)は4ポートを持ち、複数のIP機器との接続を可能としている。

(注1) イーサネットは、富士ゼロックス株の登録商標である。

2.2.2 マルチドロップ接続機能

メタル線IPモデムは、1本のメタル線で1台の親機と複数の子機の通信を可能とするマルチドロップ接続機能を持つことを特長とする。図4に、通信フレームの構造を示す。親機と複数の子機の通信を時間軸上に多重化することで、複数の子機分のメタル線の芯数を必要とせず、省線化を実現した。さらに、各子機のデータを、トラフィックに応じて動的にデータ長を最適化することで、通信効率を向上させた。

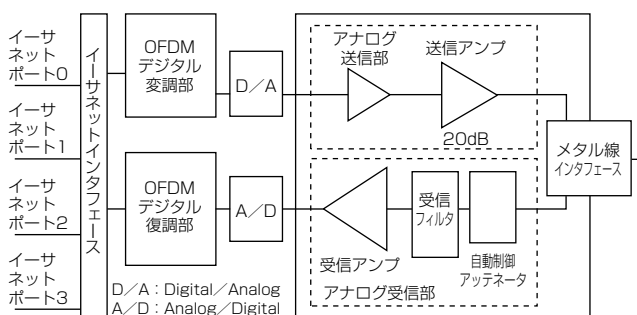


図2. MLCNETの装置ブロック図

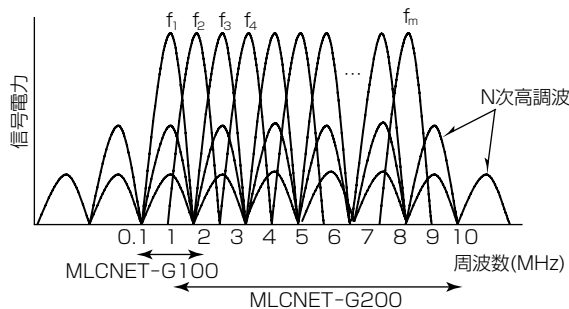


図3. OFDM方式によるマルチキャリア多重

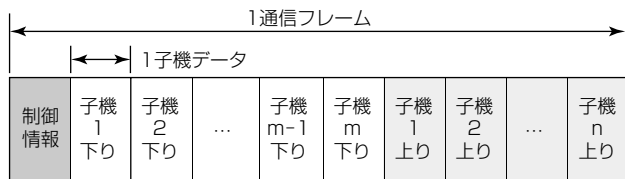


図4. 通信フレーム構造

3. メタル線伝送の技術課題と設計目標

3.1 長距離化

メタル線(0.9mmφツイストペア線)の減衰特性の規格⁽¹⁾⁽²⁾に基づく計算値を図5に示す。線路長10kmの場合、0.6MHzで約90dBの減衰量となる。高速道路のインターチェンジや鉄道の駅間等の10km区間の通信を可能とするための、ダイナミックレンジ90dB以上を確保した高ダイナミックレンジを目標とした。

3.2 高速化

MLCNET-G200の高速化のためには、多値変調化が必要である。多値変調化にはアナログ部でのS/Nの確保が必要であり、最大256QAM変調の実現のための設計目標S/Nを装置マージンを含め40dBとした。

3.3 変動する伝送路ノイズに対応する高品質な伝送

メタル線伝送では、既設のメタル線を使用して高周波を使用した高速伝送を実現する。伝送路上には他機器の電源ノイズ、通信信号の漏洩(ろうえい)、外来の環境ノイズ等の各種のノイズが混入する。図6に、現地で測定したノイズ特性の一例を示す。ノイズ電力は、設置場所によって様々で周波数範囲も広く、時間的な変動が観測される。このように変動するノイズに動的に追従してS/N推定を行い、最適なビットレートを決定して高品質な伝送を行う機能が必要となる。

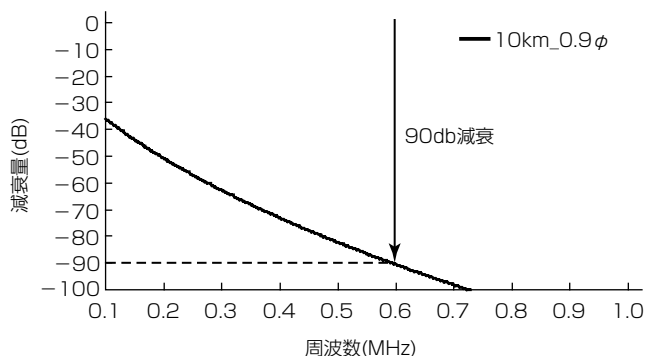


図5. メタル線減衰特性計算値(0.1~1.0MHz,10km, 0.9φ)

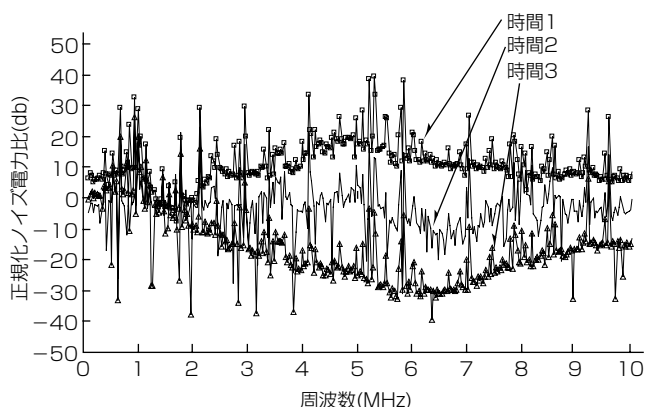


図6. メタル線ノイズ特性測定値

4. メタル線IPモデムの技術課題への対策

4.1 長距離化のための高ダイナミックレンジ設計

MLCNET-G100の長距離化のための高ダイナミックレンジ設計は、アナログ送信部のS/Nを確保した高出力化によって実現した。アナログ送信部の課題は、D/A変換後における送信信号の高出力化及び歪みによるS/N劣化の抑制である。高出力化は、送信アンプの多段化及び並列化による利得の向上を行うことで実現した。OFDM信号は、ピーク振幅が平均振幅の数倍以上になる。したがって、ピーク時の信号振幅をクリップさせずアンプのリニアリティを確保する設計が重要である。この課題は、アンプ電源の高電圧化並びに増幅率と歪み特性の最適化をシミュレーション及び試作での実測による検証を繰り返すことで解決した。

送信部でS/N劣化が生じる主要因は、相互変調歪みである。OFDM信号は、図3に示すようにマルチキャリア方式であり、複数の搬送波の異なる周波数成分 f_1 と f_2 の相互変調歪みによる生じる高調波成分が、S/Nを劣化させる。この課題は、送信アンプの差動信号において、浮遊容量やインダクタンス成分によって生じる不平衡要因を排除した平衡度の高い回路及びパターン設計並びに低歪みの結合トランスの設計を行うことで解決した。図7に、D/A出力に対するアナログ送信信号の基本波と相互変調歪波の関係を示す。設計値であるD/A出力比0dBにおいて、出力を20dB増幅した場合、送信信号の基本波に対する相互変調歪波は-60dBであり、十分なS/Nを確保して高出力化を図ることができ、長距離化のための高ダイナミックレンジを実現した。

4.2 高速化のための多値変調化

MLCNET-G200の高速化は、高S/Nを確保した多値変調化によって実現した。アナログ受信部は、メタル線から入力された信号をフィルタによって不要な帯域を除去し、低いノイズレベルを維持した増幅を行いA/D変換へ送信する必要がある。アナログ受信部の高S/N化は、①受信信

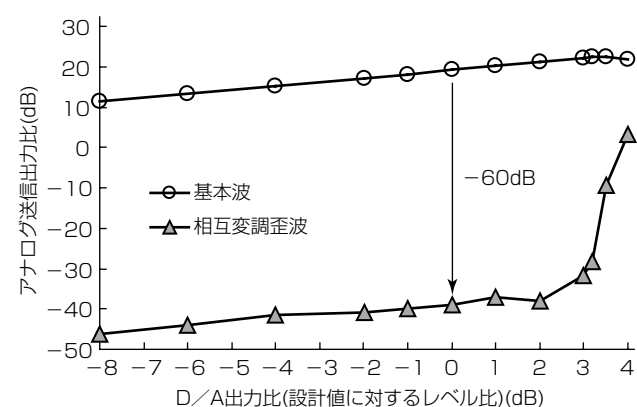


図7. アナログ送信部における基本波と相互変調歪波

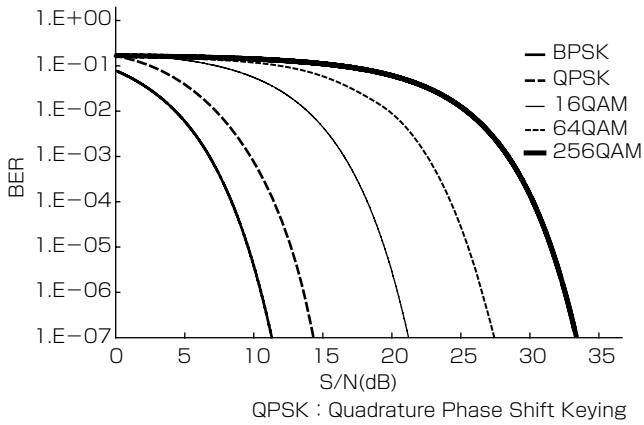


図8. 多値変調におけるS/NとBERの関係

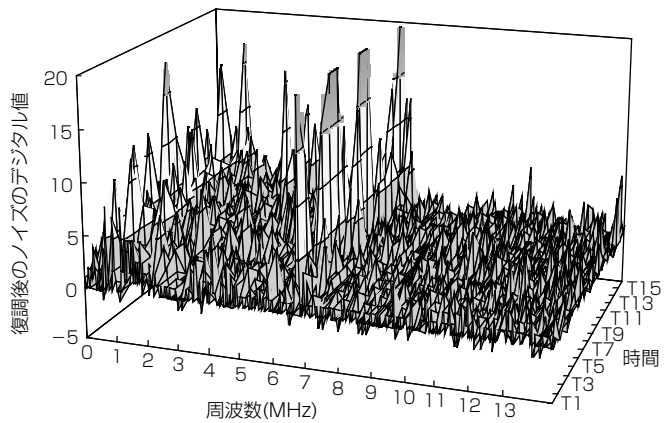


図9. モデムで検出した復調後のノイズのデジタルデータ

特集
I

号の歪みの低減, ②受信アンプ等のアクティブノイズの低減, ③差動回路のバランス設計によるコモンモード成分の低減, 及び④基板内ノイズの低減によって実現した。①及び②は, 送信部と同様, 受信アンプにおけるリニアリティを確保した設計及び低ノイズレベルを考慮した利得設計を実施した。③は, 差動型フィルタなどで発生する不平衡成分の抑制を行った。④は, 微弱信号を増幅するアナログ受信部において, デジタル部や電源から発生するノイズの影響を回避するためシールド設計を十分に実施した。これらの対策によって, アナログ部のS/N40dBを達成した。図8に, 参考として多値変調で必要とするS/NとBER(ビットエラーレート)の関係を示す。高い変調度に対しては高いS/Nを必要とすることを示す。

4.3 変動するノイズに動的に追従するS/N推定機能

メタル線のノイズ環境下で高品質な伝送を行うため, 各種のノイズ変動に動的に追従するS/N推定機能を実現した。デジタル復調部では, キャリアごとにS/Nに応じて変調度を制御する適応変調を行う。S/N推定機能において, 瞬時的なノイズやバースト的に発生するノイズを判別し, ノイズが発生した場合はノイズ電力の学習をすみやかにし, S/N推定値を低下させることでエラーレートを改善し, ノイズが消滅した場合には, S/N推定値を上げることで, 速度の復帰機能を実現した。図9に, 時間軸で変動するノイズをモデムで検出し復調した結果のデジタルデータを示す。ノイズ変動に追従した動的な復調とS/N推定によって高品質な伝送を可能とした。

5. その他の実現技術

5.1 近接設置を可能とした自動アッテネータ制御機能

モデムの設置形態は, 長距離から近距離まで様々である。従来, 近接設置時は, 送信信号が減衰せずに直接アナログ受信部に入力されるため, 飽和が発生し, この場合受信信号を正しく復調できず, ビットエラーを引き起こす場合が

あった。対策として, 図2のブロック図に示すように, 受信部にアッテネータ回路を設け, 受信電力を判定し信号減衰量の自動制御を行うことによって, 近接設置を可能とした。

5.2 中継機能による長距離化の実現

高速化を実現したMLCNET-G200では, 高速化のため高周波数帯域までの広帯域を使用することから信号減衰が大きくなり長距離化に課題があった。時分割方式で複数のモデムを多段接続する中継機能を実現することで, 距離の延伸を可能とし, 長距離化を実現した。

6. 設計目標の達成

- (1) 長距離伝送のための高ダイナミックレンジ設計目標に対しては, 高送信電力化によって, ダイナミックレンジ90dBを達成し, MLCNET-G100において, 最大伝送距離10kmを実現した。
- (2) 高多値変調による高速化に対しては, アナログ受信部の高S/N化を図り, MLCNET-G200において物理速度最大50Mbpsを実現した。
- (3) メタル線のノイズに対しては, 変動する線路ノイズに動的に追従するS/N推定機能を実現し, 高品質・高信頼の伝送を可能とした。

7. むすび

今後, メタル線IPモデムを広く社会インフラネットワークの基盤とするための, 様々な市場に適用可能とする機能の提供及び更なる市場展開を図る。

参考文献

- (1) ITU-T G.992.1-1999, ITU-T Series G: Transmission Systems and Media, Digital systems media, ITU-T (1999)
- (2) ITU-T G.996.1-1999, ITU-T Series G: Transmission Systems and Networks, ITU-T (1999)