

スマート・グリッドの高速化

スマートメーターのためのより堅牢な 高速データ通信手法



ON Semiconductor®

<http://onsemi.com>

TECHNICAL NOTE

要約

スマート・グリッド性能の向上に対する要求が、スマートメーター(AMR)に使用されている従来式のPLC(電力線通信)変調手法への圧力となっており、電力会社は既存の設備との互換性を維持しながら、将来の要件を満たすより高速なデータ・レートおよび堅牢な通信を実現する方法を追求しています。このホワイトペーパーでは、スマート・グリッド・アーキテクチャによって、既存の設備への投資を保護しながら、AMR通信の速度とロバスト特性を改善する手法を考察します。

はじめに

電力会社は世界中で家庭用および業務用にスマート・メータを本格展開しているため、AMRシステムはますます一般的になってきています。大部分の実装は、とりわけ低コストであるだけでなく、開発の容易さ、拡張性を備えているため電力線通信(PLC)技術を使用しています。エネルギー分配に使用するのと同じネットワークで、スマートメーター通信用の基礎を提供しており、余分なアンテナや通信設備が不要で、分配ネットワークに沿って通信ネットワークを成長させることができます。スマート・グリッドが現在要求している高速で堅牢な通信の提供を目指す電力会社は、既存のIEC61334-5-1メータ設備(幅広く採用され配備されているAMR規格で、別名PLAN+)を、できればスペクトル容量をより効率的に使用するマルチキャリア技術に進化させたいと考えています。

電力線通信技術の進化

CENELEC(欧州電気標準化委員会)が、エネルギーの分配および検針用のAバンドを含む専用PLC周波数帯域の定義を行ってから25年近くになります。この狭帯域PLCチャネルはいくつかの課題を提示しています。すなわち、送信周波数はネットワーク・トポロジや電力線および負荷特性に応じて、大きく減衰する可能性があり、他方、送信と受信の両方に対する広いダイナミック・レンジは、PLCモデムの設計者が高信頼性の通信を達成するために、自動利得制御(AGC)などの複雑な手法を使用する必要があることを意味しています。加えて、PLCシステムは周期的な主電源関連の干渉発信源に耐えるのに十分堅牢でなければなりません。

拡散周波数偏移(S-FSK)変調は、従来の狭帯域(FSK)方式よりも性能が改善されているため(ゲインはノイズ特性に応じて5 dBから15 dB) PLANベースのAMRに幅広く採用されてきました。現在、より高いデータ・レートに対する要求が多数のキャリアを並列に使用する変調手法を推進しています。その結果、高いピーク対平均電力比(PAPRs)を有するより複雑な信号を扱う必要が生じ、直線性と電力効率の良い回路の点で新たな課題を課します。直交周波数分割多重(OFDM)に基づくソリューションが提案されてきましたが、このような方式は既存のシステムとの互換性がなくなります。したがって、必須の下位互換性を提供しながら、より高いデータ・レートおよび低消費電力の要件を満たすマルチチャネルFSKアプローチに基づくハイブリッド方式のオプションは非常に魅力的なものです。

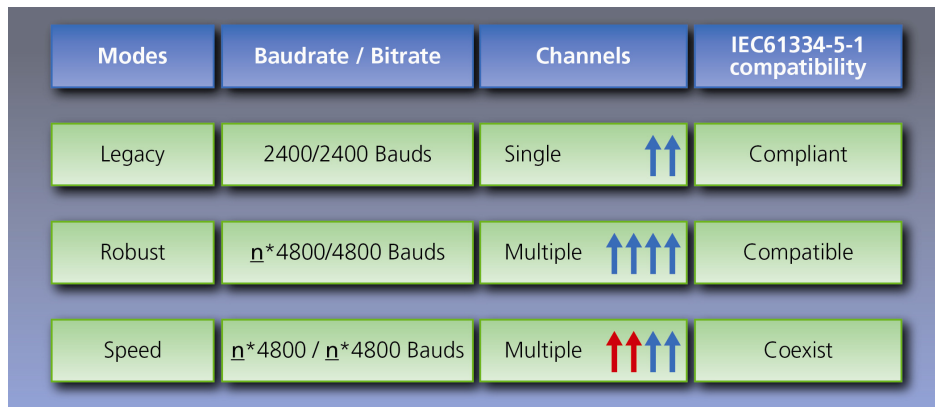


Figure 1. Supported Operating Mode of Proposed PLAN++ Technology

ハイブリッドFSK方式

チャンネル特性は、時間や周波数からネットワーク機器や位置に至るまでの各種要素によって定義されます。ヨーロッパでは、AMR周波数は標準で9 kHzから95 kHzであり、PLCは特にバックグラウンド・ノイズとインパルス性ノイズの両方、および狭帯域干渉源からの妨害を受けやすくなっています。通信品質で最も効果的な改善事項は、減衰および干渉が最小のキャリア周波数を使用し、多数の周波数による固定的送信または最適周波数の動的選択のいずれかにより達成できます。

S-FSK変調に基づくマルチキャリア技術(PLAN++とも呼ぶ)は、既存のPLC設計に類似していますが、多くの既存のPLAN+設計が基礎としている2400ボーで動作する1組のキャリア・ペアに対し、1ペア当たり最大4800ボーで動作する最大4組のキャリア・ペアを使用してデータ伝送能力を強化しています。MACレベルでは、設計者はマルチキャリア技術を駆使して、複数のキャリアで異なるMACフレームを送信してデータ・スループを向上させるか、または同じMACフレームを何回も送信して、通信の堅牢性を改善するかを選択できます。

既存のPLAN+配備との下位互換性を確保するために、スペクトル拡散に関連する実証済みIEC61334-5-1規格に従って新しい手法が動作することが重要なので、MAC層レベルではわずかな変更しか行われていません。さらに、堅牢性の強化と高スループット・ダイナミックの間で選択を行って、完全にモデムを再設定することなく、電力線状態が変化したときに管理層がデータ経路に適応できるようにすることが提案されています。

IEC61334-5-1に適合する動作

IEC61334-5-1規格は、ロングMACフレームに0x0000のフレーム・インジケータを指定し、インジケータ0x00FF、0xFF00、0xFFFFを予約しています。フレーム・インジケータ0x0FF0はロバスト・モード・フレームに使用でき、高速フレームは0xF00Fで表すことができます。リンク層は、冗長/ロバスト・モードでの2フレームの受信時にエラーを修正でき、受信したスループット増加インジケータを持つ2つ

のフレームのペイロードを、単一リンク層データ・フレームに結合できます。ロバストおよび高速MAC動作に対するビット・エラー・レートは、バディング・バイトの検査/修正を行って、また繰り返しフレームを使用してビット・エラーのあるフレームを修正することによってさらに低減されます。バースト・エラーが自身をランダム・エラーとして表示するよう強制すること、およびMACフレームのインタリービング手法も堅牢性を向上させます。このマルチキャリア・モデム設計で配備される手法の組み合わせは、計算オーバーヘッドを低減し、さらに低消費電力動作をサポートするという利点が追加されています。

開発および予測結果

オン・セミコンダクターのような半導体企業は、以前に、S-FSK変調を使用して、物理層およびMACプロトコル層を完全に処理するための完全集積型ソリューションを提供するシングルチップIEC61334-5-1準拠のPLCモデムを開発しました。これらのデバイスのマルチキャリア・バージョンの提供が、これらの技術の進化における次の論理フェーズであり、プロトタイプの評価に基づいていくつかの主な結果を予測できます。

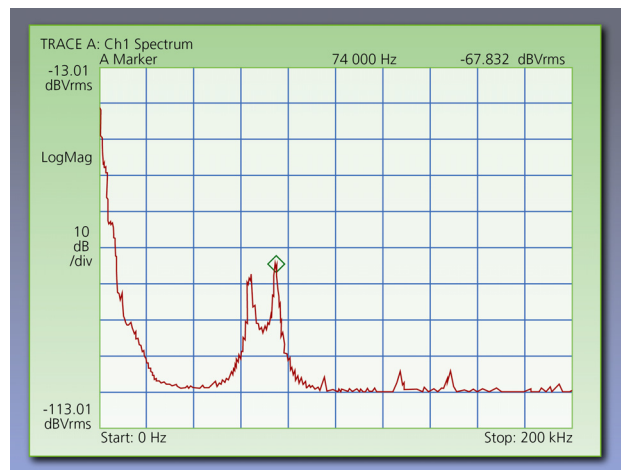


Figure 2. Standard PLAN+ Frame Spectrum

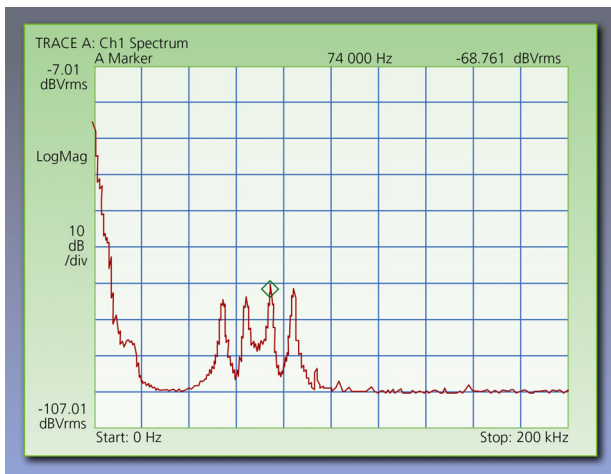


Figure 3. Projected Spectrum of Proposed PLAN++ Multicarrier Frame

例えばFigure 2は、シングル・チャンネルの標準的なPLAN+フレームのスペクトルを示しています。一方、Figure 3は、マルチキャリアのデュアル・チャンネル・フレームのスペクトル(提案)を示しています。2つの図に示すとおり、信号は約68 dB低下することが予測されます。内訳は、チャンネルの減衰率が60 dBとライン・インピーダンス安定化回路網(LISN)による8 dBです。性能評価はフレーム・エラー・レート(FER)の計算に基づき、CRCを含むフレーム・チェック・シーケンス(FCS)が有効のときにフレームが不正と見なされる条件で行われます。

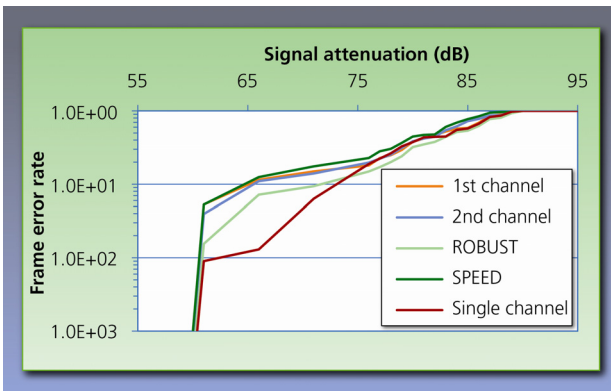


Figure 4. Frame Error Rate vs. Signal Attenuation for Multicarrier

Figure 4は両方の通信モードのフレーム・エラー率対信号減衰を示します。通信帯域にノイズがない場合、-60 dB V_{rms}までの信号は確実に受信され、このレベルから-90 dB V_{rms}まではエラー率が増加することが予測されます。このレベルより減衰が大きい場合、フレームは受信されません。

実際のAMR通信の場合は、信号の減衰を引き起こすいくつかの外的要因を克服しなければなりません。特に問題となるのは、軍事通信や全国的なラジオ放送局などの、いわゆる「狭帯域」発信源からの電波干渉です。このようなノイズがあると、信号

の広ダイナミック・レンジの利点を活かせず、AGCの機能が妨害され、伝送可能な距離が減少する可能性があります。「ノイズ発信源」を周囲に配した状態での新たなマルチキャリア通信技術の調査では、この種の狭帯域発信源からの干渉作用に対して大きな耐性があることが判明しています。

PLAN+設備のマルチキャリアPLAN++へのアップグレード

広く配備されているIEC-61334-5-1システムとの下位互換性を提供しながら、マルチキャリア通信のサポートを提供する次世代PLCの計画された可用性により、進化を続けるAMRシステムへの簡略化された低コストのルートが確保されます。

例として、PLAN+の代表的な構成をFigure 5に示します。電力会社は、データ集線装置を交換しなくても、一般住宅や商用地にすでに設置されているスマート・メータの一部を新たなマルチキャリア・メータに交換することができます。このシナリオでは、データ通信用としてわずか2つのキャリア(搬送波)を使うだけで、新しいメータがPLAN+モードで動作するように自動的に設定されます。後でデータ集線装置をマルチキャリア対応の代替装置に交換できるので、既存のメータを正常に動作させている間に、新しいメータを超ロバスト・モードで動作させることができます。すべてのメータがアップグレードされたら、設備全体が超ロバスト・モードまたは超高速モードで動作できるようになり、データ集線装置は現実の状況に基づいて最適性能を発揮できます。

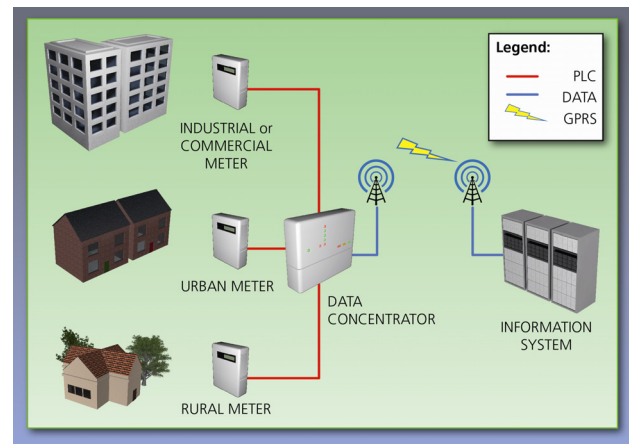


Figure 5. Typical AMR Infrastructure

まとめ

すべての物理層およびMAC層処理を管理できるICへのS-FSK、PLCマルチキャリア技術の実装により、AMRデータ転送を通信の速度と堅牢性の両面において改善できる潜在能力が得られます。さらに、この手法はOFDMに基づく代替手法とは異なり、既存のIEC-61334-5-1システムと下位互換性があり、電力会社や装置メーカーは既存のスマート・グリッドの投資を保護しながら、PLAN+からPLAN++へ進化させる時期と速度を選択することができます。

ON Semiconductor及びONのロゴはSemiconductor Components Industries, LLC (SCILLC)の登録商標です。SCILLCは特許、商標、著作権、トレードシークレット(営業秘密)と他の知的所有権に対する権利を保有します。SCILLCの製品/特許の適用対象リストについては、以下のリンクからご覧いただけます。www.onsemi.com/site/pdf/Patent-Marking.pdf。SCILLCは通告なしで、本書記載の製品の変更を行うことがあります。SCILLCは、いかなる特定の目的での製品の適合性について保証しておらず、また、お客様の製品において回路の応用や使用から生じた責任、特に、直接的、間接的、偶発的な損害に対して、いかなる責任も負うことはできません。SCILLCデータシートや仕様書に示される可能性のある「標準的」パラメータは、アプリケーションによっては異なることもあり、実際の性能も時間の経過により変化する可能性があります。「標準的」パラメータを含むすべての動作パラメータは、ご使用になるアプリケーションに応じて、お客様の専門技術者において十分検証されるようお願い致します。SCILLCは、その特許権やその他の権利の下、いかなるライセンスも許諾しません。SCILLC製品は、人体への外科的移植を目的とするシステムへの使用、生命維持を目的としたアプリケーション、また、SCILLC製品の不具合による死傷等の事故が起こり得るようなアプリケーションなどへの使用を意図した設計はされておらず、また、これらを使用対象としておりません。お客様が、このような意図されたものではない、許可されていないアプリケーション用にSCILLC製品を購入または使用した場合、たとえ、SCILLCがその部品の設計または製造に関して過失があったと主張されたとしても、そのような意図せぬ使用、また未許可の使用に関連した死傷等から、直接、又は間接的に生じるすべてのクレーム、費用、損害、経費、および弁護士料などを、お客様の責任において補償をお願いいたします。また、SCILLCとその役員、従業員、子会社、関連会社、代理店に対して、いかなる損害も与えないものとします。SCILLCは雇用機会均等/差別撤廃雇用主です。この資料は適用されるあらゆる著作権法の対象となっており、いかなる方法によっても再販することはできません。

PUBLICATION ORDERING INFORMATION

LITERATURE FULFILLMENT:

Literature Distribution Center for ON Semiconductor
P.O. Box 5163, Denver, Colorado 80217 USA
Phone: 303-675-2175 or 800-344-3860 Toll Free USA/Canada
Fax: 303-675-2176 or 800-344-3867 Toll Free USA/Canada
Email: orderlit@onsemi.com

N. American Technical Support: 800-282-9855 Toll Free
USA/Canada

Europe, Middle East and Africa Technical Support:
Phone: 421 33 790 2910

Japan Customer Focus Center
Phone: 81-3-5817-1050

ON Semiconductor Website: www.onsemi.com

Order Literature: <http://www.onsemi.com/orderlit>

For additional information, please contact your local
Sales Representative