

氏 名	古賀 英嗣
学 位 の 種 類	博 士 (情報工学)
学 位 記 番 号	情工博甲第305号
学位授与の日付	平成27年6月30日
学位授与の条件	学位規則第4条第1項該当
学位論文題目	産業用電力線通信システムに関する研究
論文審査委員	主 査 教 授 尾知 博
	〃 藤原 暁宏
	〃 伊藤 博
	准教授 黒崎 正行

学 位 論 文 内 容 の 要 旨

メンテナンス性や低コスト化のための省配線化が産業用機器で求められており、この省配線化には電力線通信が期待されている。民生品では既にIEEE802.3afやIEEE1901により家電を電力線通信で制御できる製品が開発されている。しかし、民生品には産業用途として制御通信を行える程のリアルタイム性と通信信頼性がないという課題や、工場環境下で発生するスイッチング電源の雑音が影響して通信誤りを起こすことが課題となっている。

そこで本論文ではIEEE802.11aの通信物理層をベースにリアルタイム性と通信信頼性を向上させる産業用電力線通信システムに関する研究を行っている。

まず、第1章では本研究の背景および目的を述べ、本研究の位置づけについて言及している。具体的には、フィールド・バスで産業用機器の制御通信は省配線化されてきているが、機械が可動部を持つ場合や、多くの電気機器で構成される産業機械の場合、機械本体内の配線のメンテナンス費用や機械本体の小形化の課題などで更なる省配線が望まれていることを述べ、省配線化が可能となる電力線通信が期待されていることを言及している。

第2章では、既存技術である電力線通信の2つの国際規格について製品応用の概要と産業用機器に必要な性能について説明し、産業用途に適用した場合の課題を示している。

第3章では、IEEE802.11aの回路をベースにリアルタイム性を追求した産業用電力線通信システムについて提案している。具体的には電力線通信する産業用機器の実際の電源線路から測定した伝達特性でチャンネルモデルを開発し、この電源線路のチャンネルモデルを使って提案する産業用電力線通信システムの検証が行える伝送路エミュレーションシステムを開発している。次に、産業用電力線通信システムの送受信機において、シリアル信号処理が一般的であるスクランブラ/デ・スクランブラ回路および畳み込み符号器の回路構成を並列化して高速化を図り、次に、提案する産業用電力線通信システムの回路において、ベースバンド信号を効率よくパスバンド信号に変換するためにダイレクトコンバージョン方式を用いている。最後に、帯域制限フィルタのロールオフ率を適正な値に設計し、通信エラー率の向上を確認している。提案する電力線通信システムを用いれば、リアルタイム性が確保でき

ることをシミュレーションおよび実機で確認している。

第4章では、数十 μ sオーダーのリアルタイム性を保ちつつ、スイッチング雑音の影響が回避できる産業用電力線通信システムについて提案している。具体的にはサーボアンプから発生するスイッチング雑音が電力線通信の通信フレームに重なると通信エラーになることが確認できる検証システムを開発し、このシステムを使って通信エラーが発生する現象を再現している。次に、サーボアンプから発生するスイッチング雑音が発生する期間は、サーボアンプを制御するコントローラで推定できることとし、スイッチング雑音と指令値の関係からスイッチング雑音が発生するタイミングの関係式を導いている。さらに、この関係式からスイッチング雑音が発生しない期間を推定してサーボモータを制御することがコントローラ側で可能であることを述べ、スイッチング雑音推定器を用いた通信アルゴリズムを提案している。最後に、本スイッチング雑音推定器を用いれば、リアルタイム性が損なわれることなくエラーレートが改善することをシミュレーションにより確認している。

第5章では、第4章の提案システムで改善できなかったスイッチング雑音と電力線通信のフレームが重なるタイミングの電力線通信でもリアルタイム性を保ちつつ、スイッチング雑音の影響が抑制できる産業用電力線通信システムについて提案している。具体的にはサーボアンプに搭載されるGaN (Gallium Nitride) 素子から発生されるスイッチング雑音は、広帯域にわたり一定な雑音電力ではないことを観測し、この現象の発生要因が回路定数に現れない基板パターンの寄生インダクタンスで決まる固有の周波数でスイッチング雑音の電力のピークがあることを推定しシミュレーションにより検証している。次に、固有の周波数で雑音電力がピークとなるスイッチング雑音と熱雑音とが正規分布し、その現象が互いに独立していることを利用して、受信回路の誤り訂正回路で符号判定に用いるLLRにスイッチング雑音の周波数成分を考慮したスイッチング雑音対応型LLRを提案している。最後に、本スイッチング雑音対応型LLRを用いた産業用電力通信システムを用いれば、リアルタイム性が損なわれることなくエラーレートが改善することをシミュレーションにより確認している。

最後に、第6章で本研究の成果を要約している。

学位論文審査の結果の要旨

産業用通信システムでは、メンテナンス性や低コスト化のための省配線化が産業用機器で求められている。省配線化には電力線通信が期待されているが、民生品には産業用途として制御通信を行える程のリアルタイム性と通信信頼性はない。本研究ではIEEE802.11aの物理層をベースに産業用電力通信システムを実現するための回路構成及び評価方法について提案し、FPGAにてリアルタイム性および通信信頼性の実機検証も行っている。また、スイッチング電源から発生するスイッチング雑音の影響を抑えたビット誤り率の性能改善方法について提案している。これらの回路方式の採用により、産業用向け電力線通信システムのリアルタイム性と通信信頼性が著しく改善されるので、工学的価値の高い論文内容となっている。

以上により、論文調査及び最終試験の結果に基づき、審査委員会において慎重に審査した結果、本論文が、博士（情報工学）の学位に十分値するものであると判断した。