

(続紙 1)

京都大学	博士 (情報学)	氏名	鍋谷 寿久
論文題目	サイバーフィジカルシステム実現に向けた無線LANシステムの高度化に関する研究		
(論文内容の要旨)			
<p>AI (Artificial Intelligence) 技術の普及に伴い、コンピュータで構成されるサイバー空間とフィジカル空間と呼ばれる実世界を高度に融合させたサイバーフィジカルシステム (Cyber Physical Systems :CPS) に関心が高まっている。このCPSの実現のためには、サイバー空間とフィジカル空間を繋ぐ通信が必要不可欠となるが、移動性等多くのメリットが見込める無線通信への期待が高い。中でも無線LAN (Local Area Network) は、高速・大容量通信が免許不要な自営網ネットワークとして低コストかつ簡易に導入可能な無線システムであることから特に期待を集めている。しかし、主に家庭やオフィス等での用途に比べ、工場やプラントといったインダストリアル環境等の社会インフラにおいてCPSを実現するために無線LANを利用することを想定した場合、無線LANには以下に示す技術課題がある。</p> <p>まずCPSでは、カメラ映像を含む各種多様のセンサ情報をサイバー空間に集約・収集する必要がある。そこでCPSの実現に向けては、第一に多数端末収容に伴うスループット低下の改善を実現する通信が求められる。次に、CPS導入が期待されるインダストリアル環境では、多数の金属機器や配管に起因したマルチパスフェージングや、インバータ等の機器からの特殊ノイズなど、特有な無線通信環境の中でリアルタイムな通信が求められる。そこでCPSの実現に向けては、第二にCPSの利活用が期待される現場で生じる様々な無線通信環境において高信頼な通信が求められる。さらにCPSでは、サイバー空間に集約・収集・制御するセンサ・アクチュエータ等の数も今まで以上に増大し、またその実行・制御にリアルタイム性が求められる用途も多く、上り通信と下り通信を併せたRound Trip Timeでの低遅延化が必要になる。そこでCPS実現に向けては、第三に更なるシステム容量増大および低遅延化が求められる。本論文では、無線LANを適用したCPS実現を目指し、上記課題解決に向けた無線LANの高度化技術に関する研究を行う。</p> <p>本論文の構成は、まず第1章で、CPSの概要とCPSに無線LANを適用する意義や適用した場合の課題を述べる。第2章では、これまでのIEEE 802.11 無線LANの進展について整理し、CSMA/CA(Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) によるアクセス制御やARQ(Automatic Repeat reQuest) による再送制御といった基本MAC(Medium Access Control) プロトコル等無線LANの特徴を概説する。そしてこの無線LAN の特徴を踏まえた上で、CPS実現に向けて無線LAN を適用した場合の三つの課題を挙げ、その重要性を示し、本論文が対象とする課題の意義を示す。第3章では、第一の技術課題である多数端末収容に伴うスループット低下の改善に向けて、端末台数が増加した場合でも高効率に無線伝搬路情報の取得が可能なDL-MU-MIMO(Down-Link Multi-User Multiple-Input Multiple-Output) 伝送向けサウンディング方式とよばれるAP (Access Point) と端末間の電波伝搬特性取得方式を提案する。そして、提案方式が標準化された従来の無線LANで規定されていた方式と比較し、多数端末収容に伴</p>			

うスループット低下の改善という課題に対して有効な方式であることを明らかにする。第4章では、第二の技術課題である無線LANの高信頼化に向けて、各端末が複数のAPと同時に通信を行う新たなマルチAPダイバーシチ手法を提案し、計算機シミュレーションによる性能評価により、提案方式の有効性を示す。また、提案方式の動作実現性を確認するために試作機を開発し、試作機を通じて提案方式の実現性を実証するとともに、実際の工場環境下にて無線性能評価実験を行い、提案方式の有効性を実験的に明らかにする。第5章では、第二の技術課題である無線LANの高信頼化に向けてさらに実運用の観点から検討を行うために、CPS 導入の期待が高い現場の1つである発電プラントを想定し、火力発電プラント環境における無線伝搬特性無線伝搬特性のモデル化を行っている。また、この環境において空間ダイバーシチ技術の適用が無線通信の信頼性向上に繋がる有効な手段であることを示している。第6章では、第三の技術課題である更なるシステム容量の増大および低遅延化に向けてFull Duplex技術に着目し、無線LANへのFull Duplex 技術の適用に向けた方式検討を無線LAN標準化で議論されている方向性の流れを勘案し行う。そしてFull Duplex技術を適用した場合の遅延時間性能評価を行い、Full Duplex技術が無線LANの低遅延化に高い有効性を示すことを示している。最後に第7章で本論文の結論を述べる。

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、サイバーフィジカルシステム (CPS) の実現のために、サイバー空間とフィジカル空間を繋ぐ通信として無線LANを用いる場合に必要となる各種課題を解決する無線LANの高度化技術に関して実機実装・標準化も想定し提案を行い、その有効性を示したものである。本研究で得られた主な研究成果は以下の通りである。

1. 多数端末収容に伴うスループット低下の改善に向けて、DL-MU-MIMO伝送で必須となるサウンディング方式と呼ばれるAP (Access Point) と端末間の電波伝搬特性取得方式に関し、新たな制御フレームを活用し、各端末における電波伝搬特性を同時に収集する方式を提案している。また、提案方式は端末台数の増加に伴いサウンディングに要する所要時間の短縮効果が得られ、結果的に無線LANのシステムスループットを改善できることを明らかにしている。
2. CPSの利活用が期待される現場環境において高信頼な無線LANを実現するために、各端末が複数のAPと同時に通信を行う新たなマルチAPダイバーシチ方式を提案している。また、提案方式を実現する試作機を開発し、提案方式が複数APから同時にフレーム衝突することのなく端末への応答が実現でき、高信頼でかつ低遅延の通信が実現できることを実際の工場環境において評価をすることにより実証している。加えてCPSの利活用が期待される火力発電プラント環境における無線伝搬特性のモデル化を実測データと確率統計手法を用い実施し、環境特有の伝搬特性を有することを示し、この環境において空間ダイバーシチ技術の適用が無線通信の信頼性向上に繋がる有効な手段であることを示している。
3. 更なるシステム容量の増大および低遅延化に対し、Full Duplex技術に着目し、無線LANへの適用に向けた方式検討を無線LAN標準化で議論されている方向性の流れを勘案し行っている。そして検討方式の遅延時間性能評価を行うことにより、Full Duplex技術が無線LANの低遅延化対して高い可能性を有していることを明らかにしている。

以上、本論文は、無線LANを適用したCPS実現を目指す上での各種課題解決に向けた無線LANの高度化技術に関する研究を行い、多数端末収容、高信頼化、低遅延化につながる有用ないくつかの要素技術に関して知見を与えたものであり、学術上また実用上、将来の無線通信システムの発展に貢献するところが少なくない。よって、本論文は博士 (情報学) の学位論文として価値あるものと認める。

令和4年8月18日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。また、本論文は、京都大学学位規程第14条第2項に該当するものと判断し、公表に際しては、当面の間当該論文の全文に代えてその内容を要約したものとすることを認める。

要旨公開可能日： 令和4年10月1日以降