

農業向け高信頼双方向多点無線 センサ/アクチュエータネットワークシステムの実装

井林 宏文† 鈴木 雄也†† 今原 淳吾‡ 大石 直記‡ 黒田 正博‡‡ 峰野 博史††

†静岡大学情報学部 ‡静岡県農林技術研究所

‡‡情報通信研究機構 ††静岡大学情報学研究所

1 はじめに

近年、無線センサ技術の進歩により農業分野でも様々な環境情報を収集可能となった。しかし、高温多湿な農業環境では、無線 LAN と同じく産業科学医療用(ISM)周波数帯を用いた IEEE802.15.4 等の無線通信では、送信電力が小さいかつベストエフォート型無線通信規格であるため、確実なデータ送受信が望めなかった。また、高温多湿かつ植物等の様々な障害物の存在する過酷な農業環境では、栽培期間中継続して不具合無く稼働する無線制御システムを実現するのは困難であった。

本研究では、高温多湿で過酷な農業環境でも 99.99%以上稼働する高信頼な双方向多点無線センサ/アクチュエータネットワークシステムを構築し、農作物の栽培期間中に確実な稼働を保證する農業環境制御システムを実現する。様々な障害発生時に自動復旧する仕組みをシステム内に組み込みつつ、429MHz 帯無線通信で医療用途向け短距離無線通信規格の IEEE802.15.6 方式を適用するという特徴を持つ。本稿では高信頼な農業向け双方向多点無線センサ/アクチュエータネットワークシステムを実装し、静岡県農林技術研究所の施設園芸環境で実施中の実証実験結果について報告する。

2 関連研究

ISM 周波数帯を用いる通信規格は Wi-Fi や Bluetooth, ZigBee がある。このうち ZigBee をはじめとした IEEE802.15.4 は他 2 つの無線通信規格と比較すると低速だが省電力性に優れることから、農業向け WSN で主に使用されている[1]。この IEEE802.15.4 に改良を加え IEEE802.15.4e TSCH (Time Slotted Channel Hopping) のようにさらなるデータ到達率の向上を図る研究もあり、ノード間通信におけるデータ衝突の回避やトラフィックを分散させる機構を IEEE802.15.4 に取り入れることで従来よりも高いデータ到達率を目指した研究も行われている[2]。しかし、実際にシステムの中に組み込むには、シミュレーション上での評価だけではなく気候や設置物によって環境が変化する実環境における評価も重要となる。また、WSN を用いた環境モニタリングで 99.99%以上の信頼性を目指す研究[3]も進められているが、環境制御システムではデータの収集のみではなく制御についても 99.99%以上の信頼性を達成することが重要である。

本研究では、高温多湿で植物のような水分を含む障害物や多数の金属パイプなどが存在する過酷な農業環境でも確実なセンサデータの受信とアクチュエータの動作を保證する高信頼な双方向多点無線センサ/アクチュエータネットワークシステムを提案する。

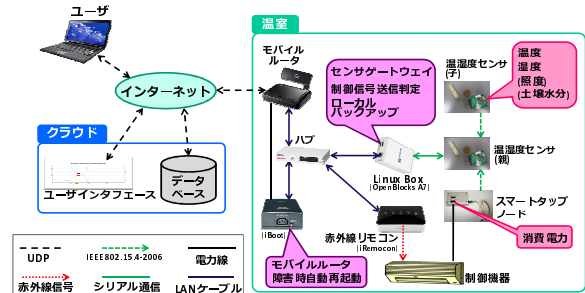


図1: 農業向け無線ネットワークシステムアーキテクチャ

3 無線制御システムの概要

3.1 高信頼なシステムの機能要件

フィードバックシステムにおける機能要件

環境制御は収集した環境データに基づいて行うため、システム全体の安定稼働には収集データを確実に制御モジュールまで伝達させることが重要である。

図1に農業向け無線双方向多点無線センサ/アクチュエータネットワークシステムのアーキテクチャを示す。データ収集部では温湿度センサ(子)が温度および湿度、スマートタップが消費電力をそれぞれ収集する。収集したデータは親となる温湿度センサを介し、センサゲートウェイ(以降センサ GW)ノード上にて稼働するプログラム(以降センサ GW プログラム)で時刻処理・フォーマット加工・DBMS 登録・制御モジュールへの橋渡しの処理がなされる。温湿度センサ(子)とスマートタップは収集データの違いからデータフォーマットが異なるが、センサ GW プログラムのフォーマット加工部でセンサ種別を判断する仕組みとすることで 1 つの親で両センサに対応可能とし、農業環境下に設置するハードウェアの個数削減を図る。

センサ GW ノードの設置場所は現場のローカル環境とクラウド上の 2 箇所が考えられるが、親ノードが直接インターネットを介してクラウド上のセンサ GW ノードへデータ送信する手法では、データ格納モジュールまでの経路長が長くなり、伝達中にデータが消失する可能性も高まる。したがって提案システムでは現場に Linux カーネルを稼働可能な Linux Box を設置しセンサ GW プログラムを実行する。過酷な農業環境に設置するため熱暴走対策として低負荷な GW プログラムを実装し、万が一 CPU が高負荷となった場合にはアラートメールを管理者へ送信する仕組みを取り入れた。さらにインターネット障害発生時でもデータ欠落が発生しないよう、センサ GW プログラムを稼働させる Linux Box にローカルバックアップとして SQLite のような軽量 DBMS を組み込む。

本システムは、各種機能をモジュール化することでコンポーネントベースの開発を進めており、異なる WSN への容易な置き換えや将来的に予測制御アルゴリズムをシステム内に組み込む際にも制御モジュール改良のみで実現可能とする。

インターネット通信障害発生時における対策

本システムでは、インターネットへの接続に設置容易性が高い携帯電話回線を使用する。これにより Wi-Fi 通信インフラが設置されていないような農業環境でも容易なシステム構築が可能となる一方、無線でのインターネット接続となるため、障害

Implementation of high reliability wireless sensor / actuator network system for agricultural use

Hirofumi Ibayashi†, Yuya Suzuki††, Jungo Imahara‡, Naoki Oishi‡, Masahiro Kuroda‡‡, Hiroshi Mineno††

†Faculty of Informatics, Shizuoka University ‡Shizuoka Prefectural Research Institute of Agriculture and Forestry ‡‡National Institute of Information and Communications Technology ††Graduate school of Informatics, Shizuoka University

等の発生により通信の切断が発生する可能性も考えられる。そのため提案システムではルータに対して一定周期で ping を送信し、一定回数連続して ping 応答が無い場合はネットワークに障害が発生したものとみなしルータを再起動する仕組み(iBoot)を取り入れている。これによりインターネットに障害が発生した場合でも自動復旧できるようにする。

3.2 429MHz 帯無線モジュールの適用

我々がこれまで研究開発してきた農業環境向け無線制御システムや一般的な無線センサネットワークでは、ノード間通信に ZigBee をはじめとした 2.4GHz 帯 IEEE802.15.4-2006 を使用している。日本では 2.4GHz 帯を産業、科学および医学用として割り当てており、無線 LAN や Bluetooth などに利用される。2.4GHz 帯のような高周波数帯は電波の直進性が強いので、植物の畝など多数の障害物が想定される農業環境下では、障害物の影響を受けるため通信品質が低下する。実際にノード間通信に 2.4GHz 帯を用いた場合、データ欠損が生じていた。そのため、2.4GHz 帯よりも回折性に優れた医療用途向け IEEE802.15.6 方式適用の 429MHz 無線モジュールをノード間通信に適用することで、高温多湿で植物のような水分を含む障害物や多数の金属パイプが存在する農業環境下でもデータ欠損が発生しないノード間通信の実現を目指す。

4 プロトタイプ実装と評価

4.1 無線制御システム評価

図 1 に示した農業向け双方向多点無線センサ/アクチュエータネットワークシステムのプロトタイプを開発し、静岡県農林技術研究所の温室で動作検証を実施した。動作検証として収集データから暖房機の ON/OFF 制御による温室内の気温制御実験を実施する。暖房機制御は、制御期間内で収集データが制御設定気温を下回ると暖房機の電源を入れ、制御設定気温以上となると暖房機の電源を切る。システム評価用に暖房機の消費電力を測定するセンサ(スマートタップ)を設置し、消費電力から暖房機の稼働状態を判断する。農業従事者と検討のうえ、制御設定温度を下(上)回ってから 10 分以内に暖房機が ON(OFF)となることを制御成功とする。制御期間および気温は暖房機ごとに異なる値とし、各暖房機を独立して制御可能なことも確認する。

図 2 に 2013 年 12 月 10 日午前 5 時における暖房機を用いた温度制御の結果を示す。また、表 1 に制御期間、制御設定気温ならびに温湿度センサ ID とスマートタップ ID の対応を示す。制御設定期間(1), (2), (3)で設定気温を下回った後 1 分以内に暖房機の電源が入り、設定気温以上となると暖房機の電源が切れたことから、収集データからの温室内気温制御が行われていることがわかる。また、3 台の暖房機それぞれに異なる気温を設定しているため、暖房機 3 台の独立した制御を確認した。上記試験を繰り返し実施し、いずれの場合でもから制御設定温度を下(上)回ってから 10 分以内での暖房機の ON/OFF 制御に成功することができ、提案システムは正常に稼働することを確認した。

4.2 429MHz 帯無線モジュールにおける評価

ノード間通信に IEEE802.15.4-2006 方式適用の 2.4GHz 帯無線モジュールを用いた場合と医療用途向け IEEE802.15.6 方式適用の 429MHz 無線モジュールを用いた場合でのデータ到達率の比較実験を実施した。現場環境は静岡県農林技術研究所のトマト温室に温湿度センサ 2 個、親 1 個を両無線規格に対してそれぞれ設置した。温湿度センサのデータ送信間隔は 1 分であるため、24 時間では 1440 個のデータがクラウド上の DBMS へ登録されたときデータ到達率は 100%とする。

図 3 に本比較実験の結果を示す。2.4GHz 帯無線モジュールで実験期間中平均データ到達率 93.42%に対し、429MHz 帯無線モジュールでは同 99.68%となりデータ到達率向上を確認できた。また、実験期間中 429MHz 帯無線モジュールでは 2 分以上連続するデータ欠損が無かったため、要求仕様である 10 分以内のアクチュエータ制御も実現可能であることを確認した。

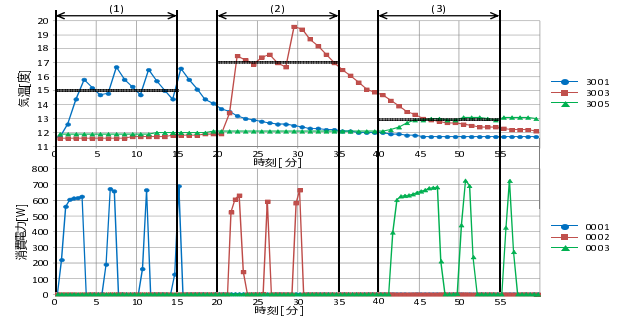


図 2: 暖房機制御実験

表 1: 制御設定一覧およびセンサ対応表

No.	設定期間	設定気温	温湿度センサ(子) ID	スマートタップ ID
(1)	5:00~5:15	15 度	3001	0001
(2)	5:20~5:35	17 度	3003	0002
(3)	5:40~5:55	13 度	3005	0003

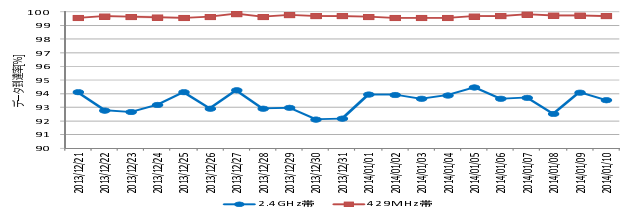


図 3: 2.4GHz 帯と 429MHz 帯の平均データ到達率

5 おわりに

本研究では、高信頼な双方向多点無線センサ/アクチュエータネットワークシステムについて提案し、プロトタイプを実装して実証実験を行った。提案システムは 10 分以内に制御設定に基づくアクチュエータ制御が行えることを確認し、またノード間通信に医療用途向け IEEE802.15.6 方式適用の 429MHz 無線モジュールを用いることで平均データ到達率 99.68%を実現し、2 分以上連続するデータ欠損が発生しないことを確認した。これにより要求仕様を満たすシステムの正常稼働を確認したため、システム稼働率 100%を達成した。

今後は温湿度センサと無線モジュール間のデータの送受信に使用される UART 通信部への ACK 応答実装を行い、データの取得漏れが発生しない仕組みとすることでデータ到達率 99.99%以上を実現しシステム全体の信頼性向上を図るほか、429MHz 帯無線最適チャンネル選択の実装と空間ダイバーシティを導入するなど更なる無線通信部分の信頼性向上を図る。

謝辞

本研究は、総務省・2013 年度戦略的情報通信研究開発推進制度(SCOPE)地域 ICT 振興型研究開発により実施したものである。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- [1] Shang, Minghua, et al. "Greenhouse Wireless Monitoring System Based on the ZigBee." *Computer and Computing Technologies in Agriculture VI*. pp.109-117, 2013.
- [2] Young-Duk KIM et al, "RMRP: A Reliable MAC and Routing Protocol for Congestion IEEE 802.15.4 Based Wireless Sensor Networks", *IEICE Transactions on Communications vol.E96-B No.12*, pp.2998-3006, 2013.
- [3] Lance Doherty et al, "Towards 100% Reliability in Wireless Monitoring Networks", *ACM PE-WASUN*, pp.132-135, 2006.