

農場ネットワーク構築のための無線アドホックノードの開発

代表研究者 内 尾 文 隆 和歌山大学システム情報学センター教授

共同研究者 平 藤 雅 之 農業技術研究機構中央農業研究センター
モデル開発チームチーム長

1 はじめに

現在の日本農業は離農者の増加や、新規就農者の減少による後継者不足が深刻となっている。農業を引き継ぐ後継者がいないため、安定した収量を得るために必要な経験や勘の継承が難しい。こういった経験や勘は長い年月の農業従事が必要である。そのため経験や勘のない新規就農者には安定した生産を上げるのは困難である。

近年、情報技術による農業支援が研究されている^[1]。これは情報技術により、農作業の軽減、知識・経験や勘の不足を行おうというものである。技術支援の例としてはセンサーネットワークを用いた果樹育成システムに関する研究などがある^[2]。これはセンサー端末を作物や圃場に設置し、そのセンサーデータによって作物の状態を管理するものである。これにより農作業の管理が容易になり、作業の負担を軽減することができる。また、このセンサーデータを解析し収量・品質の関係を求めることにより、品質の向上と安定を図ることができる。センサーデータを基に作物管理が行えるようになれば、知識や勘の代わりとして新規就農者でも高い品質・収量を維持できるようにもなる。このセンサーネットワークを構築するには圃場でセンサー、圃場にある機器、人、これらを相互につなぐコンピューターネットワークが必要である。しかし、圃場では以下のような問題が存在する。ネットワーク構築のために必要な電力などのインフラ設備が存在しない。野外のため、環境の変化が頻発する。使用する人は特殊な知識を持たない農家である、などの問題が挙げられる。そんな中、無線アドホックネットワーク技術は自己形成能力を持つこと、様々な環境の中でネットワークを構築する適応性を持っていることなどから、圃場ネットワークに適している。しかし、これまでのアドホックネットワークのルーティング方式では圃場を想定したものは無かった。そこで本論文では、バッテリー残量とスループットを考慮した圃場利用のためのアドホックネットワークのための経路制御方式を提案し、そのルーティング方式をマイクロコントローラ上に一部実装した結果について述べる。さらにセンサノードは自律動作をするために太陽電池とバッテリーを電源として動作するために、連続的に動作させると消費電力の増大を招き電源のコスト増を招く。間欠動作による省電力機構も実装した。

2 バッテリー容量とスループットを考慮した経路制御方式

本論文で提案する手法は AODV の動作にパケットの優先度とバッテリーレベルとを関連付けし、経路を決定する。これは、センサー間のデータ伝送など、スループットを要求しない通信と農場からの画像・音声伝送などスループットを要求する通信に対応したものである。パケットヘッダにはバッテリー残量に応じた優先度情報を付加し、その値と各自のバッテリーレベルを参照し中継・転送を行う。

各ノードはルーティングテーブルを2つ用意しており、片方は通常用のルーティングテーブルである。もう1つはバッテリーのレベルに応じたルーティングテーブルである。通信時、送信元が通常のルーティングテーブル内を探し、経路が無い場合はルート検索を開始する。このとき、バッテリーレベルを含んだ検索パケットをブロードキャストする。ルート検索パケットを受け取ったノードはヘッダを解析し、宛先シーケンス番号から以前受け取ったことがある場合はパケットを廃棄、次にパケットヘッダのバッテリー情報を参照し、そのレベルに応じたルーティングテーブルを用いて経路探索する。また、各ノードは自己のバッテリーレベルを監視しており、バッテリーレベルの変更があった場合、レベル変更を知らせるパケットを近隣ノードにブロードキャストする。バッテリーレベル変更を受け取ったノードは以下の内容に応じ、次のようにルーティングテーブルを変更する。

1. Level1 へ変更する場合、Level2 のテーブルから、次ホップが変更を通知してきた送信者レコードを探し、Level1 としてコピーする。

2. Level2 へ変更する場合、Level1 のテーブルから、次ホップが変更を通知してきた送信者レコードを探し、Level2 として移動する。
3. Level3 に変更する場合、全てのテーブルから変更通知パケットの送信者のレコードを削除する。
- 4.

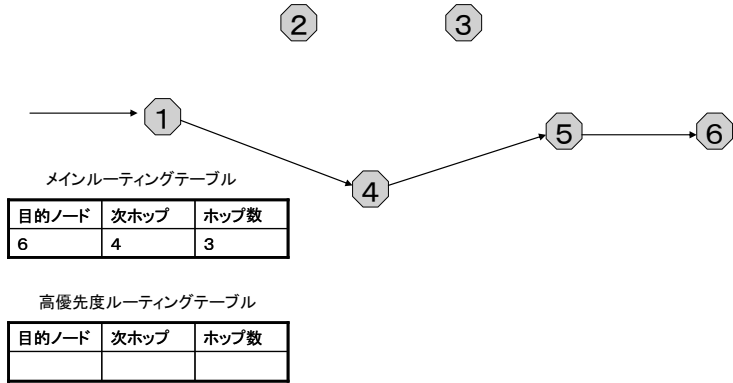


図1.1 通常のルーティング

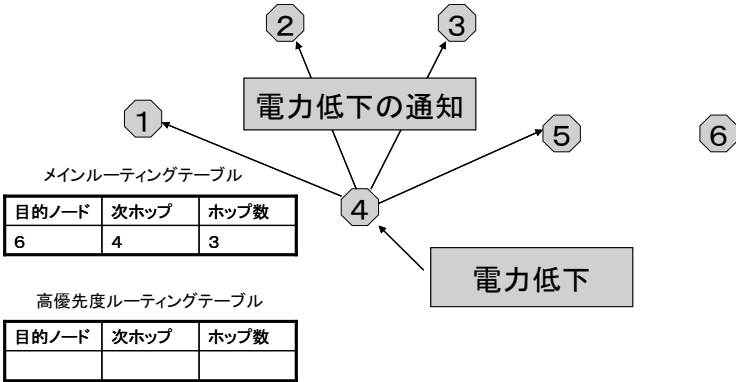


図1.2 電力変更のブロードキャスト

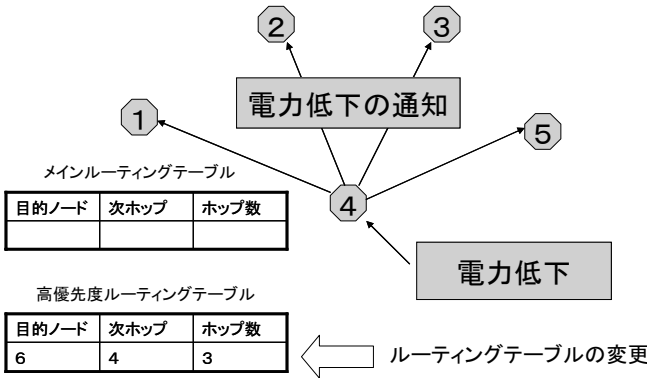


図1.3 ルーティングテーブルの変更

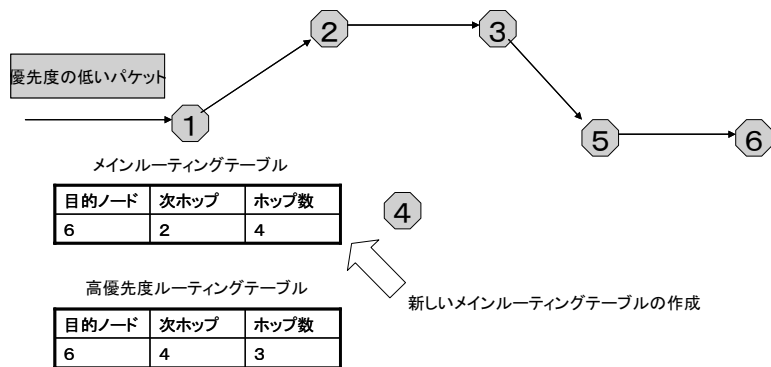


図1.4 低優先度のパケット送信

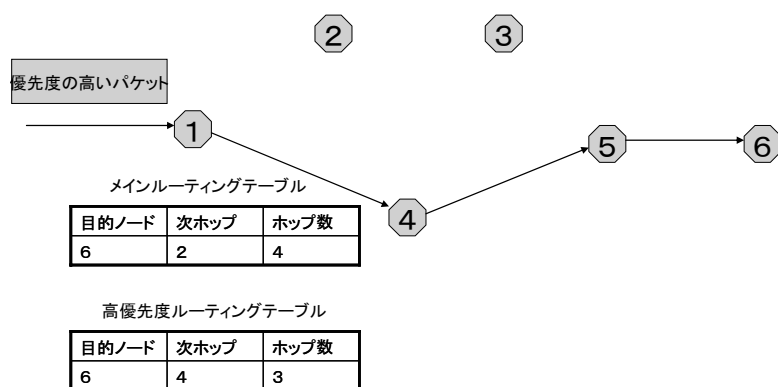


図1.5 高優先度のパケット送信

ノード1からノード6に向けて通信が行われていたとする（図1.1）。このときノード4の電力が低下してバッテリーレベルが2に変更されたとする。このとき、ノード4はレベル変更パケットを隣接ノードにブロードキャストし（図1.2）、このパケットを受け取ったノードは現在使っているルート情報を、優先度の高いパケット用のルーティングテーブルに書き換える（図1.3）。優先度の低いパケットがノード1に到着した場合は新たにルート検索を行い、ノード4を中継しないルーティングテーブルを作成する（図1.4）。一方、優先度の高いパケットがノード1に到着したら、優先度の高いパケット用のルーティングテーブルを参照することで中継を行う（図1.5）。

バッテリー残量は図2のように3つのレベルを設ける。レベルはバッテリー容量によって単純に決まるが、充放電による容量の変化を考慮して、バッテリー容量とレベルの間にはヒステリシスを持たせてある。

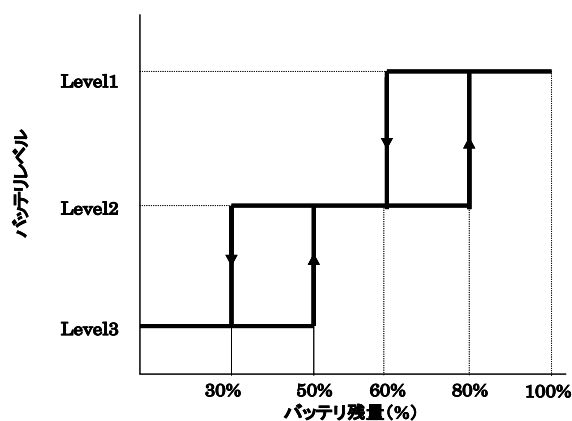


図2 バッテリー容量とレベルの状態遷移図

3 センサノードのハードウェア構成

3.1 センサノードの構成

本システムで使用するセンサノード（図3参照）は、CPU と無線 LAN 回路でできたセンサエンジン部と、データ計測を行うインタフェース回路で構成されており、バッテリー電源で動作を行う。センサとしては農家から要望の多かった雨量，風力，風速計を用いた。

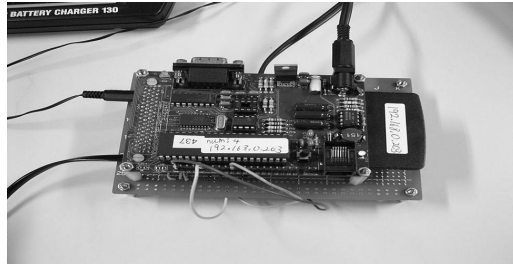


図3 システムで使用するセンサノード

(1) センサエンジン部

センサエンジン部には Iosoft 社の ER25^[3]を用いる。ER25 の CPU 部分には PIC マイクロ（以下 PIC）を用いており、A/D 変換，割り込み機能，無線 LAN の動作停止による省電力機構など多数の機能が使用できる。また ER25 は TCP/IP，HTTP，SMTP などの基本的なプロトコルが使用可能である。また，802.11b の無線 LAN 回路も組み込まれている。

(2) インタフェース回路部

インタフェース回路部では CMOS 回路で構成した計測用回路に雨量，風速，風向計を接続し，常時データ計測を行う。また，RTC (Real Time Clock) を搭載する事で間欠動作も可能にしている。

RTCは3.4.1節で述べたセンサノードのインタフェース回路部に設計されている。今回使用するものは PC-BUS[®] インタフェース方式の RTC-8564NB チップが搭載された RTC である（図4参照）。この RTC によりセンサノードの sleep 動作や割り込みによる sleep からの復帰を実現している。

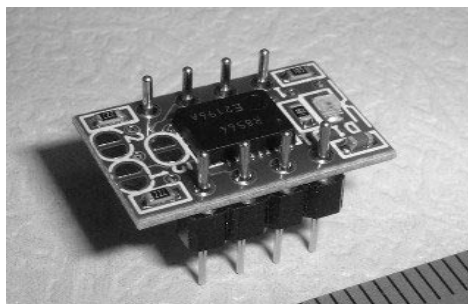


図4 リアルタイムクロックモジュール

3.2 RTC を用いたセンサノードの省電力化

インタフェース回路部の消費電力が約 $70\mu W$ であるのに対し，センサエンジン部の消費電力は約 $1W$ である。センサノードの省電力化を実現するには，消費電力の大きい無線 LAN を有するセンサエンジン部を間欠動作させることが必要不可欠である。しかし，風速や雨量のように常時監視が必要な情報を収集するためには，常時計測を行う必要がある。そこで，本システムではセンサエンジン部とインタフェース回路を分離しインタフェース回路のみ常時電力を供給し，センサエンジン部は間欠動作をさせることで省電力化を図る。

センサエンジンで用いている PIC には通常動作の RUN モードと省電力動作の SLEEP モードがある。この

モードを使用することで、センサエンジン部全体の消費電力制御を行うことが可能となる。SLEEP モードから RUN モードに復帰するためには RTC からの割り込みを用いる本システムのアルゴリズムを以下に示す（図 5 参照）。

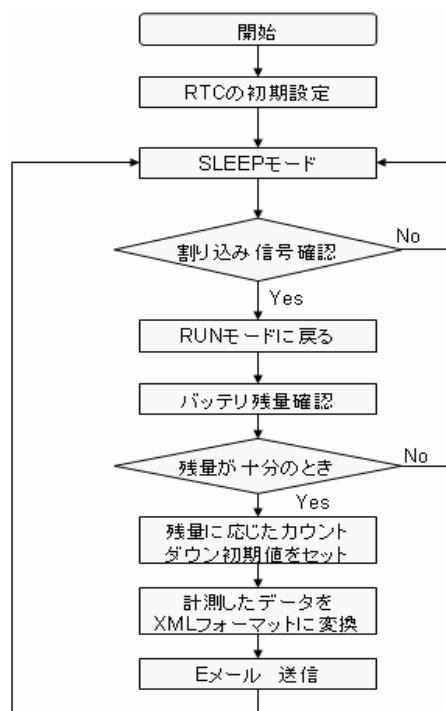


図 5 RTC を使用した動作チャート図

バッテリー残量が十分にある場合、残量に応じてカウントダウンの値を RTC に設定する。カウントダウンの値によって、次回に割り込み信号を出力する時刻を指定する。取得したデータを XML フォーマットにし、Eメールで送信する。送信完了と同時に、SLEEP 状態に移行し、待機状態に戻る。この動作をループして行い、バッテリーが 4V 以下になるとセンサノードの動作が停止する。

4 実験

2 節で述べた経路制御を実際に PIC を用いた ER25 上に実装し評価実験を行った。ER25 で用いた PIC は EEPROM と RAM 容量の関係で提案手法の完全な実装には無理があった。したがって、AODV のような経路制御を交換するプロセスまでの実装は行わず、予め与えられた経路制御テーブルを用いたバッテリー残量による経路変更機能を実装し、経路変更が正しく動作するを確認した。

また、経路制御時の効率を評価するためにノードを直線的に配置し Web 画面を表示させスループットの計測を行った。その結果図 6 のようになった。



図 6 ホップ数とスループット

無線 LAN としては 802.11b を用いているが、1hop でのスループットが 100kbps 程度となっている。これは、PIC の演算部が低速であるために転送動作に時間がかかっているためと思われる。また、ノード間で同じ無線チャンネルを使用しているためと考えられる。

また、省電力化の効果を調べるために、通常動作のノードを省電力動作（10分毎の間欠動作）のノードの動作時間を調べた。12V2.2Ah の鉛蓄電池をノードに接続し動作時間を計測した。その結果省電力動作をさせた。ノードは 2 倍以上の動作が可能になった。また、和歌山県での太陽電池出力を基に計算した結果、出力 2W 程度の太陽電池パネルがあれば年間を通して自律運転が可能ながことが判明した。これは約2000円程度の太陽電池パネルを用いれば、年間を通して安定に動作させることができる。

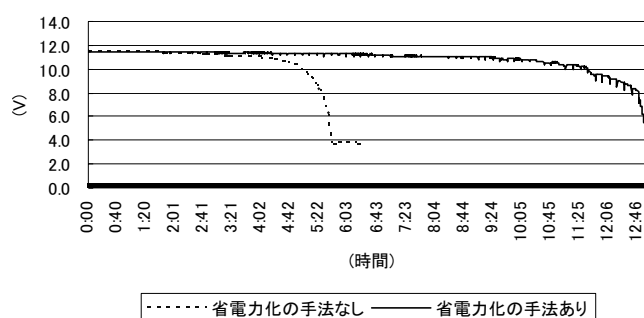


図7 省電力の効果

5 まとめ

本論文では、圃場モニタリングのためのセンサーノードを開発しその動作について述べた。PIC を用いた ER25 ボードに提案した経路制御方式の一部と雨量、風力を計測するためのインタフェースを開発し動作の検証を行った。その結果実験室レベルでは圃場での計測利用可能である事がわかった。しかし今後以下のような問題点が残った。

① 経路制御方式の実装

今回は PIC のメモリ容量により経路制御部分の実装が不可能であった。今後 H8CPU を用いた高性能ノードの開発が必要である。また経路制御プロセスが平行に動作する必要があるため、RTOS の導入も必要である。

② 接続可能なセンサーの種類の増加

今回はノード開発の初期段階のため、雨量計と風力計を用いたが、実際には土壌水分や生体情報などの高度な情報が必要である。

今後これら問題点を改善しながら、H8 を用いたノードの開発を行っている。さらに大規模実証に向けて準備を行っている。

参考文献

- [1] 農林水産業の高度情報システム、農林水産業における高度情報システム開発に関する調査委員会
- [2] テキストマイニングによる果樹育成知識の体系化
張勇, 瀧寛和, 松田憲幸, 内尾文隆, 安部憲弘, 堀聡, 亀岡孝治, 井口信和第61回農業機械学会年次大会講演要旨 8-24 pp2 農業機械学会
- [3] フィールドサーバ <http://model.job.affrc.go.jp/FieldServer/default.htm>
- [4] 深津時広・平藤雅之 (2003) 圃場モニタリングのためのフィールドサーバの開発. 農業情報研究12(1), 2003, 1-12.
- [5] 田尻久幸, 井口信和, 内尾文隆, 張 勇, 松田憲幸, 瀧 寛和: “果樹育成のためのレトロフィットエージェント” 電気学会 産業システム情報化研究会資料 IIS-02-4-pp.4-9 (2002)
- [6] IO SOFT ER25 (<http://www.iosoft.co.uk/wlan2.php>)

〈発 表 資 料〉

題 名	掲 載 誌 ・ 学 会 名 等	発 表 年 月
農作業支援のための自立型圃場モニタリングシステム	電子情報通信学会関西支部学生研究発表講演会	2005年 3 月
圃場利用のためのアドホックネットワークノードの開発	電子情報通信学会関西支部学生研究発表講演会	2005年 3 月
農作業支援のための統合型センサー生育情報管理システム	電子情報通信学会関西支部学生研究発表講演会	2005年 3 月