

センサネットワークのためのファジィ理論を利用した省電力のアルゴリズム に関する研究

長田 陽成† 楊 濤† デマルコ ジュゼッペ†† バロリ レオナルド†† 小山 明夫†††

†福岡工業大学大学院工学研究科情報通信工学専攻

E-mail: {mgm05009, mgm05015}@ws.ipc.fit.ac.jp

††福岡工業大学情報工学部

E-mail: {demarco, barolli}@fit.ac.jp

†††山形大学工学部

E-mail: akoyama@yz.yamagata-u.ac.jp

概要

現在、センサノードの小型化、低コスト化が飛躍的に進み、センサネットワークが注目されている。センサネットワークは多くの安価な小型デバイスから構成される。センサネットワークを構成するデバイスはセンサノードと呼ばれ、センサや無線通信機を搭載している。センサノードは自身が検出した情報を発信するだけでなく、他のノードが発した情報を中継することにより、多数の通信ノードが面状に広がってセンシングを行うことが出来る。センサノードはバッテリー駆動であるが、物理的な電源管理が困難なためノードの再充電は想定されていない。よって、ノードの電力がそのままノードの生存時間となり、センサネットワークライフタイムとなる。そのため、ネットワークライフタイムを伸ばすための省電力化は重要な課題である。このような課題を克服するために、本研究ではファジィ理論を用いてセンサネットワークの省電力のためのアルゴリズムを提案する。

Application of Fuzzy Theory for Power Reduction in Sensor Networks

Yosei Nagata† Tao Yang† Giuseppe De Marco††

Leonard Barolli†† Akio Koyama†††

†Graduate School of Engineering, Fukuoka Institute of Technology

E-mail: {mgm05009, mgm05015}@ws.ipc.fit.ac.jp

††Faculty of Information Engineering, Fukuoka Institute of Technology

E-mail: {demarco, barolli}@fit.ac.jp

†††Faculty of Engineering, Yamagata University

E-mail: akoyama@yz.yamagata-u.ac.jp

Abstract

Presently, sensor networks supported by recent technological advances in low power wireless communications along with silicon integration of various functionalities such as sensing, communication and intelligence are emerging as a critically important computer class based on a new platform, networking structure and interface that enable novel and low cost applications. The sensor nodes are equipped with battery power. But physically, the management of battery is very difficult and in many cases and environments the battery recharge is impossible. Therefore, the node life depends on node battery power and the network lifetime depends on node lifetime. The extending of network lifetime is a very important problem of sensor networks. In this paper, in order to deal with this problem we propose a power reduction algorithm based on fuzzy logic for sensor networks.

1 はじめに

マイクロエレクトロメカニカルシステム(MEMS)技術、無線通信およびデジタルエレクトロニクス
の最近の進歩は、低コスト、低出力、小型化、短
距離での通信といった多機能かつ高性能なセン

サノードの開発に成功した。センシング、データ
処理および通信装置から構成される小型なセン
サノードは、多数のノードの相互接続、相互通信
に基づいたセンサネットワークについての概念に

レバレッジを導入する。センサネットワークは、従来のセンサの著しい進歩を表す。それは次の2つの方法で配置される[1]。

- センサは実際の事象から遠くに配置することができ、感覚認識によってものを捉えることができる。このアプローチでは、大きなセンサが環境上のノイズとターゲットを識別するために、いくつかの複雑な技術を使用することが要求される。
- センシングだけを行うセンサを配置することができる。センサおよび通信トポロジーの位置は、入念に計画し注意深く配置決めを行う。演算が行なわれデータが融合される場合、それらは中央のノードにセンシングされた現象の時系列にデータを送信する。

センサネットワークは多くのセンサノードから構成される。それは隙間なく事象の内部に配置され、それらは非常に密接している。センサノードの配置は、前もって工事の計画を立てる必要がない。なぜなら、海中、森、砂漠、宇宙など人間が容易に寄りつけない場所や災害救援活動における任意の配備を想定しているからである。さらに言うと、これはセンサネットワークプロトコルおよびアルゴリズムが自己編成能力を持っていないなければならないことを意味している。

センサネットワークのもう1つのユニークな機能はセンサノードの相互通信である。センサノードには内蔵のプロセッサが取り付けられている。融合の原因であるノードに生データを送る代わりに、センサノードはローカルに単純な演算を計算し、部分的に処理された必要なデータだけを送信するという処理能力を使用する。

上記に記述された機能は、センサネットワークのための広範囲のアプリケーションを保証する。アプリケーションエリアには、健康・医療、軍事および防犯・防災がある[2]。

例えば、医者は、患者に関する生理学のデータを遠隔にモニターで監視することができる。これは患者にとってはとても都合がよく、さらに医者が患者の現在の状態をよりよく理解することを可能にする。

センサネットワークは、大気と水の外国の化学物質を発見することにも使用することができる。それは、汚染物質のタイプ、濃度および場所を識別することを支援する。本質的には、センサネットワークはエンドユーザに情報を提供し、環境についてより把握することができる。今後、無線センサネットワークが現代のパーソナルコンピュータより

も、私たちの生命の不可欠な部分になることに期待されている。

これらを実現するには、また他のセンサネットワークアプリケーションは無線のアドホックネットワーク技術を必要とする。多くのプロトコルおよびアルゴリズムは従来の無線のアドホックネットワークのために提案されたが、よくセンサネットワークのユニークな特徴やアプリケーション要求に適していない。以下では、センサネットワークとアドホックネットワーク[3]との相違点について概説する。

- センサネットワークにおけるセンサノードの数は、アドホックネットワークにおけるノードより桁違いに多い。
- センサノードは隙間なく配置される。
- センサノードは故障しやすい。
- センサネットワークのトポロジーは、非常に頻繁に変化する。
- センサノードは主にブロードキャスト通信パラダイムを使用する。しかし、最も多くのアドホックネットワークはポイントポイント通信に基づく。
- センサノードは電力、演算機、メモリの容量が制限されている。
- センサノードは莫大な数のセンサと莫大な量のオーバーヘッドが想定されているので、グローバルな識別(ID)を持っていない。

隙間なく配置されたセンサノードの数は多数なので、隣のノードは互いに非常に接近している可能性がある。したがって、センサネットワークにおけるマルチホップ通信が従来のシングルホップ通信より少ない電力を消費すると想定されている。さらに、伝送電力レベルは最低値にしておくことができ、それは軍事行動の中でも大いに望まれる。マルチホップ通信は、さらに長距離の無線通信に熟達した信号の伝播効果のうち、いくつか有効に打ち勝つことができる。

センサネットワークの研究分野で最も重視されているのは省電力である。以下にその理由を2つ挙げておく。

●物理的な電源管理の困難

●センサノードの小型化、低コスト化

消費電力が注目されるモバイル通信では、携帯端末を再充電したり、携帯端末と一緒に予備のバッテリーを持ち運んだりする方法が一般的である。一方センサネットワークは、数百から数千という数のセンサノードから構成されることも想定されている。このような環境では、人間が各ノードの電力を管理することは現実的でない。また、モバイル通信のように各ユーザが各自の端末だけを

管理していればよいという形態ではないため、一人当たりが管理するセンサノード数は非常に多くなる。

さらに、センサネットワークは水、森、砂漠、体内など、人が物理的に接触して管理するには困難な場所へのノードの設置も想定している。むしろ、このような人が入り込めない場所にセンサノードを設置して、有益な情報を収集することがセンサネットワークに期待されているともいえる。このように、センサノードへの電力供給は物理的に困難な場合もあり、電力の消滅はネットワーク構成要素の消滅と捉えられている。

センサノードを構成するノードは、センサから周辺情報を取得し、近隣センサと通信することが主な役割となる。携帯端末とは異なり、それ自身がユーザとのインタフェースとなるわけではないため、ディスプレイやキーボードといった入出力デバイスは必要ない。したがって、携帯端末以上の小型化が期待できる。小型化による最大の利点は、設置の際の物理的な制約が少なくなる点である。

一方、CPUやメモリといった技術の飛躍的な進歩に対して、バッテリーの進歩は非常に遅い。そのため、小型化、低コスト化にともなってバッテリーの性能がボトルネックとなってきている。なぜなら、バッテリーの小型化は電力容量とのトレードオフとなるため、小型化にしたがって電力容量が少なくなるからである。

センサネットワークではノードの再充電は想定しておらず、ノードの電力がそのままノードの生存時間となる。また、このようなネットワークは、通信性能や遅延を第一として設計されていたインターネットとは明らかに異なっている。長い年月をかけて洗練されてきたインターネットの仕組みが存在するが、それらをそのままセンサネットワークに適用することは最善の方法とはならない。省電力化への挑戦は、多くのシステム研究領域に対して新たな題材をもたらし、活発な研究が行われている[4]。

本研究は、センサネットワークの省電力化を目的としており、センサネットワークのためのファジ理論を利用した省電力のアルゴリズムを提案する。

論文は以下のように構成する。セクション 2 では、ファジ理論について説明する。セクション3では、本研究の関連研究について紹介する。セクション4では、本研究の提案手法について説明する。セクション5では、本研究のまとめを述べる。

2 ファジ理論

本研究で用いるファジ理論について説明する。この理論は、定性的な情報や事象を定量的に解説し評価する。ファジという言葉は「あいまい」という意味であり、ファジ理論はその意味する通り境界がはっきりしないようなあいまいな処理において大変有効な理論である。

これまでの科学技術は明確に定義され、厳密に記述でき、明確に推論することができる事象だけを対象にしてきた。しかしファジを扱う世界は、従来無視されてきた人間の主観に基づくあいまいな定義に注目している。つまり、従来の科学技術では考慮されていなかった人間の言葉や感情などの主観にまつわるあいまいさを積極的に取り入れ、数学的に捉えることが可能になる。

ファジは現在家電製品、プラントの制御、鉄道の自動運転など様々な分野において取り入れられており、現在非常に注目されている手法である。またファジ制御は、人間が持っている知識や経験を表現しやすい、人間のパターン認識力や総合判断力を模擬できる、頑健性に富むといった様々な利点がある。ファジ理論の応用は、実に多くの分野でさまざまなレベルで行われているが、やはりその中心は制御の分野になる。

ファジ制御はファジ理論の応用分野として、最も早くから着目され、成功を収めた分野である。ファジ制御は人間の判断など、あいまいさを含む制御アルゴリズムを if-then 形式で表現し、ファジ推論を用いて計算機に実行させるものである[5]。

本研究で用いるファジ理論におけるファジ制御の仕組みについて説明する。図1にファジ推論システムの構成図を示す。入力された数値は Fuzzifier によってファジ化され、推論を行うルールが定められた Fuzzy Rule Base にしたがって Inference Engine でファジ推論を行う。推論後に得られた解は、Defuzzifier によって非ファジ化され、再び数値として出力する。このようにファジ推論システムは、ファジ化、言語による論理、非ファジ化という手順を経ることで、最終的には数値的な入出力関係を得ることができる[6]。本研究では、この特性を用いてセンサネットワークの省電力のためのアルゴリズムへの適用を試みる。

3 関連研究

論文[7]では、ファジ理論を用いてモバイル無線 PAN のための省電力を考慮したトポロジーを提案している。

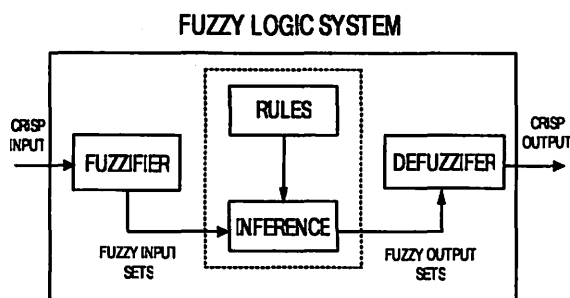


図 1 ファジィ推論システム

省電力のためのトポロジーを構築するためにマスター/コントローラー選択するところでファジィ理論を適用している。マスター/コントローラーは 2 つの入力パラメータに基づいて選択される。その 2 つを以下に記す。

- Distance of Cluster Centroid
- Remaining Battery Capacity

1 つ目のパラメータは、クラスター中心とノードの距離を表し Antecedent1, 2 つ目は残りのバッテリー容量を表し Antecedent2 と定義している。クラスター中心とノードの距離に使用されるファジィ集合は、3 つのレベルに分割している。これを以下に示す。

- Near
- Moderate
- Far

また、残りのバッテリー容量に使用されるファジィ集合にも 3 つのレベルに分割している。これを以下に示す。

- Low
- Moderate
- High

次に、得られた解を示す出力パラメータは 1 つ挙げられている。

- Cluster Head Probability

これは、ノードがクラスタヘッドに選ばれる確率を表しており、Consequent と定義されている。ノードがクラスタヘッドに選ばれる確率は 5 つのレベルに分割している。

- Very strong
- Strong
- Moderate
- Weak
- Very weak

これら入出力パラメータのメンバーシップ関数を図 2 に示す。ファジィ集合の Near, Low, Far, High, Very strong, Very weak は台形の形を

したメンバーシップ関数を使用している。また、Moderate, Strong, Medium, Weak は三角形のメンバーシップ関数を表している。

マスター/コントローラーがクラスター中心に非常に接近していて、非常に長持ちするバッテリー容量を持っていないなければならないという条件に基づいて、表 1 に示すようにルールを使用して、ファジィ推論システムを設計している。

表 1 は、省電力を考慮したパケットルーティング制御のためのルールベースである。Antecedent1 はクラスター中心とノードの距離を表し、Antecedent2 は残りのバッテリー容量を表している。また、Consequent はこのノードが Cluster Head に選ばれる確率を表している。

ここで、Antecedent1 の入力数値を x_1 , Antecedent2 の入力数値を x_2 と定義する。すべての入力 (x_1, x_2) については、ファジィ推論システムを使用して出力結果が計算する。

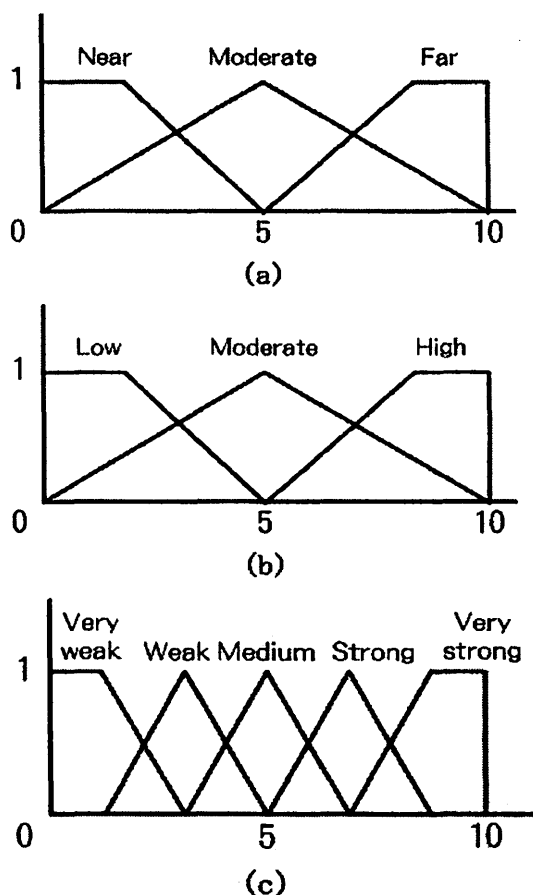


図 2(a)Antecedent1 のメンバーシップ関数
(b)Antecedent2 のメンバーシップ関数
(c)Consequent のメンバーシップ関数

表 1 ファジールールベース

| Rule | Antecedent1 | Antecedent2 | Consequent |
|------|-------------|-------------|-------------|
| 1 | Near | Low | Medium |
| 2 | Near | Moderate | Strong |
| 3 | Near | High | Very strong |
| 4 | Moderate | Low | Weak |
| 5 | Moderate | Moderate | Medium |
| 6 | Moderate | High | Strong |
| 7 | Far | Low | Very weak |
| 8 | Far | Moderate | Weak |
| 9 | Far | High | Medium |

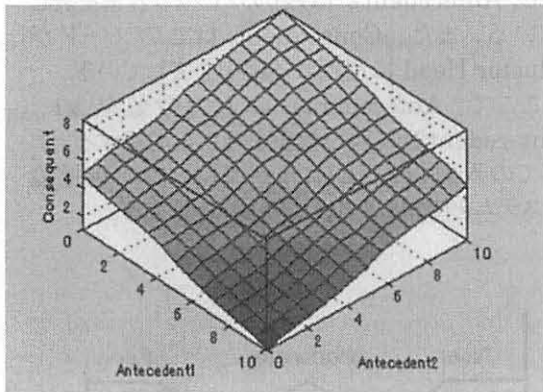


図 3 シミュレーション結果

ファジィ推論の計算の繰り返しによって、図 3 に示されるように、超曲面 $y(x1, x2)$ を得ます。これは、ファジィ推論システムの入出力関係を示す。

4 提案手法

本研究では、ファジィ理論を用いてセンサネットワークの省電力を目指したアルゴリズムを提案する。まず、本研究でもファジィ推論システムを使用することを検討しており、入力パラメータを以下に示す。

- Signal to Noise Ratio
- Sensor Power
- Interface Factor
- Distance
- Traffic
- Degree

パラメータの Signal to Noise Ratio は、センサノードの SN 比、Sensor Power はセンサノードの電力、Interface Factor はセンサノード間のセンシングの干渉や雑音に関するパラメータである。Distance はセンサノード間の距離、Traffic はセンサノードのトラフィック量、Degree はセンサノ

ードのマルチホップ通信の数を表すパラメータである。以上 6 つを入力パラメータとする。

次に、出力パラメータを以下に 1 つ示す。

●Cluster Head Probability

これは、センサノードがクラスタヘッドになる確率を表す。

5 まとめ

本稿では、センサネットワークの省電力を目指すために、ファジィ理論を用いた入出力パラメータについて提案した。今後は、提案した入出力パラメータに即したファジィ集合、メンバーシップ関数を発案する。また、センサネットワークの省電力を促すためのファジールールベースを作成し、シミュレーションを行う予定である。提案したパラメータをファジィ化するのが困難なので、それを克服することが今後の課題となる。

参考文献

- [1] C. Intanagonwiwat, R. Govindan, D. Estrin, "Directed Diffusion: A Scalable and Robust Communication Paradigm for Sensor Networks", Proc. of ACM MobiCom'00, Boston, MA, pp. 56-67, 2000, .
- [2] 阪田 史郎, 田中 成興, 西室 洋介, 川崎 光博, 福井 潔, "ZigBee センサネットワーク 通信基盤とアプリケーション", 秀和システム, 2005.
- [3] C. Perkins, "Ad Hoc Networks", Addison-Wesley, Reading, MA, 2000.
- [4] 安藤 繁, 田村 洋介, 戸辺 義人, 南 正輝, "センサネットワーク技術 ユビキタス情報環境の構築に向けて", 東京電機大学出版局, 2005.
- [5] 菅野 道夫, "ファジィ制御", 日刊工業新聞社, 1993.
- [6] T. Onel, C. Ersoy, "A Fuzzy Inference System for the Handoff Decision Algorithms in the Virtual Cell Layout Based Tactical Communications Systems", Proc. of MILCOM-2002, Vol. 1, pp. 436-441, 2002.
- [7] Q. Liang, "A Design Methodology for Wireless Personal Area Networks with Power Efficiency", Proc. of WCNC-2003, Vol.1, No.1, pp. 1475-1480, 2003.