

氏 名 KIEN NGUYEN

学位(専攻分野) 博士(情報学)

学位記番号 総研大甲第 1557 号

学位授与の日付 平成24年9月28日

学位授与の要件 複合科学研究科 情報学専攻
学位規則第6条第1項該当

学位論文題目 EFFICIENT MAC PROTOCOL DESIGN FOR WIRELESS
SENSOR NETWORKS

論文審査委員 主 査 教授 計 宇生
教授 山田 茂樹
准教授 阿部 俊二
准教授 鯉渕 道紘
准教授 福田 健介
助教 鄭 顕志

The past two decades have seen increasing interests in the field of wireless sensor networks (WSNs), which have potential applications covering all aspects of the human life. The major issue in WSNs is power conservation since wireless sensors are usually battery-powered. In a typical sensor node, the wireless interface consumes the largest share of the power budget. Hence, an energy efficient medium access control (MAC) protocol is vital. The MAC protocol always adopts the duty cycling mechanism to reduce idle listening, which is the most significant energy wastage. The mechanism, however, has negative effects on latency and throughput performance. Meanwhile, an increasing number of prospective applications impose requirements not only on energy efficiency but also on other Quality of Services (QoS) parameters. Therefore, it is great of importance to design new efficient MAC protocols, which meet the requirements.

We first focus on designing energy efficient low latency MAC protocols for low data rate WSNs. The traditional approach is letting a duty cycling MAC protocol forward packets via multiple hops in a cycle, i.e., the multi-hop MAC. However, the original multi-hop MAC protocol incurs a large control overhead, and a so-called long listening period. We propose a low latency low control overhead MAC protocol (the LO-MAC), which overcomes the disadvantages by exploiting the physical properties of wireless channel. LO-MAC has a traffic adaptive scheme based on carrier sensing characteristics. The scheme effectively controls the length of listening period following the traffic load. Moreover, LO-MAC takes full advantages of the broadcast nature and lets a packet has different meanings when it in transmission range of different nodes. Therefore, the control overhead is significantly reduced.

Secondly, we introduce an approach in designing efficient MAC protocols in dynamic load environments. We propose MAC² protocol, a novel Multi-hop Adaptive MAC protocol with packet Concatenation. MAC² achieves energy efficiency, low latency and high throughput. The protocol controls the adaptation to the traffic load by using a new traffic adaptive scheme and a demand wakeup manner. The scheme and the manner are based on a synchronization process and a proportional mapping function, respectively. Besides that, the protocol has a concatenation scheme, which concatenates several queued packets into a bigger one before sending out of a node. The concatenation scheme reduces not only the control overhead but also the average latency. Additionally, MAC² is numerically optimized to achieve minimum latency and guarantee no data transmission collision.

Finally, we also target the dynamic load environments, but take an asynchronous approach of the efficient MAC design. We propose an efficient Asynchronous MAC protocol with QoS awareness (the AQ-MAC). AQ-MAC achieves energy efficiency and collision avoidance by utilizing a receiver-initiated transmission and the concatenation scheme derived from MAC². Moreover, AQ-MAC adopts the differentiate service (DiffServ) model to provide QoS. Data packets are provided different transmission strategies depending on their levels of importance.

博士論文の審査結果の要旨

本博士論文は「Efficient MAC Protocol Design for Wireless Sensor Networks (無線センサーネットワークのためのメディアアクセス制御 (MAC) プロトコルの設計)」と題し、無線センサーネットワークにおけるノード間の通信を司る MAC プロトコルの設計と性能評価に関する研究である。

無線センサーネットワークのノードは大きさ、処理能力、消費エネルギーなどの制約があり、その動作の合理化と最適化が強く要求される。一方、典型的なセンサーノードでは、無線通信のために消費されるエネルギーが大きな割合を占めている。したがって、性能を保証しながら、高いエネルギー効率を実現するためには、効率的な通信プロトコルの設計が必要である。エネルギーの消費を減らすために、センサーネットワークの MAC プロトコルでは、Duty Cycling のメカニズムを導入し、通信しないアイドルの時間をスリープ状態にすることが提案されている。本研究は Duty Cycling のメカニズムを利用した効率的な MAC プロトコルの設計と性能評価に関するものである。

論文は 6 章から構成され、第 1 章及び第 2 章の研究の背景、関連研究に続いて、第 3 章から第 5 章では、無線センサーネットワークに対する様々な性能と機能の要求を満足するための MAC プロトコルの設計に関する研究内容と結果について述べている。

第 3 章では、MAC プロトコルにおける制御オーバーヘッドを最小限に抑え、特にトラフィック負荷の少ない無線センサーネットワークにおいて、エネルギー効率を高めるための MAC プロトコル LO-MAC について提案している。LO-MAC は無線キャリアのセンシングによるトラフィックの検知を行ったり、データパケットに複数の役割を持たせて制御用にも使ったりすることによって、通信制御のオーバーヘッドを減らしている。シミュレーションによる評価では、LO-MAC は既存の MAC プロトコルよりも高いエネルギー効率を実現できることを確認した。

第 4 章では、パケット連結によって高いスループットを実現し、種々の負荷環境に対応するためのプロトコル MAC² について述べている。センサーネットワークにおけるパケットは通常、パケットサイズが小さく、同じ目的地に向かっている。MAC² プロトコルはこれらの特徴を利用して、キューイングされる複数のパケットを一つの大きなパケットにまとめて送出し、かつ一つの Duty Cycle に複数ホップの転送を行うメカニズムを提供することによって、その目的を実現している。また、解析とシミュレーションによってその性能を示した。

第 5 章では、アプリケーションによって要求されるサービス品質 (QoS) に対応しながら高いエネルギー効率を実現するための AQ-MAC について提案している。同じセンサーボードに複数種のセンサーが搭載されている場合が多く、異なる種類のデータが生成される。それぞれのサービス品質に対応すべく、AQ-MAC では、非同期的な Duty Cycle を導入し、受信側によって通信を始めることによって、パケットの遅延を適応的に制御することを可能にした。

また、第 6 章では結論として、本論文のコントリビューションと考察についてまとめ、提案プロトコルの実装および災害用無線センサーネットワークに関する今後の研究課題を提示した。

なお、研究成果として、出願者は主著でジャーナル論文1篇（他、共著1篇）、査読付国際会議8篇（他共著1篇）、その他の学会発表5件を行っている。

以上を要するに、本論文は高いエネルギー効率及要求される無線センサーネットワークのノード間通信制御のためのメディアアクセス制御プロトコルについて、異なる利用シナリオを想定し、それらに適したプロトコルの設計を提案し、その有効性を示したものであり、より安全で便利な社会を作っていくための無線センサーネットワークの実現に貢献するところが大きい。よって、本論文は博士の学位請求論文として合格と認められる。