

무선 센서네트워크를 위한 링크 계층 브로드캐스팅 기법

A Link-Layer Broadcasting Scheme for Wireless Sensor Networks

조성래*, 최원석**, 이인환***, 이우용***, 김봉수***

Sung-Rae Cho*, Won-Suk Choi**, In-Hwan Lee***, Woo-Yong Lee***, Bong-Soo Kim***



사단
법인 한국인터넷방송통신·TV학회

The Institute of Webcasting, Internet Television and
Telecommunication
(<http://www.iwit.or.kr>)

논문 2007-6-1

무선 센서네트워크를 위한 링크 계층 브로드캐스팅 기법

A Link-Layer Broadcasting Scheme for Wireless Sensor Networks

조성래*, 최원석**, 이인환***, 이우용***, 김봉수***

Sung-Rae Cho*, Won-Suk Choi**, In-Hwan Lee***, Woo-Yong Lee***, Bong-Soo Kim***

요 약

신뢰적 브로드캐스팅 기법은 네트워크 전체에 동일한 메시지를 신뢰적으로 전달하는 효율적인 방식이다. 하지만, 송신 노드에게 모든 수신 노드들이 피드백 메시지를 동시에 전달하기 때문에 잘 알려진 피드백 충돌(Feedback Implosion) 혹은 브로드캐스트 폭풍(Broadcast Storm)의 문제를 발생시킨다. 이러한 문제는 노드의 개수가 많아질수록 더욱더 네트워크에 커다란 문제를 야기한다. USN(Ubiquitous Sensor Network)에서는 노드들 간에 더욱더 많은 경쟁과 충돌, 그로인하여 더욱더 많은 전력소모를 일으킨다. 본 논문에서는 링크계층에서의 신뢰적 브로드캐스팅 방법을 제안하고 지연을 이용한 신뢰적 브로드캐스팅(DRB: Delayed Reliable Broadcast)라 명명한다. 제안된 DRB 방식은 불필요한 충돌이나 전력소모가 없도록 불필요한 피드백 개수를 효율적으로 줄인다. 성능평가를 통해 제안된 DRB 방식이 네트워크에 신뢰적으로 전달하면서 동시에 불필요한 피드백의 개수를 줄이는 것을 증명할 수 있었다.

Abstract

Reliable broadcasting is an efficient methodology to deliver the same message reliably throughout the network. However, reliable broadcast intrinsically entails the well-known problem of feedback implosion or broadcasting storm since it is possible that every receiver node sends their feedback simultaneously to their transmitter. This problem is exacerbated as the number of receiver nodes increases. In the domain of USN(Ubiquitous Sensor Network), this problem results in more contention, collisions, and thus more power consumption. In this paper, we propose a link-layer reliable broadcasting scheme referred to as delayed reliable broadcast (DRB) algorithm. The proposed DRB scheme efficiently reduces a number of redundant feedbacks which equally avoids the unnecessary collisions and power consumption in the uPAN networks. Performance evaluation shows that our proposed DRB scheme effectively reduces the unnecessary feedback while providing successful reliability in the network.

Key Words : Ubiquitous Sensor Networks, Reliable Broadcast, Broadcast Storm, Delayed ACK

*정희원, 중앙대학교 컴퓨터공학부

**준희원, 중앙대학교 컴퓨터공학부

***정희원, 한국전자통신연구원

접수일자 2007.8.21. 수정완료 2007.10.26

1. 서 론

최근 저가 및 고기능의 무선기기 개발기술이 발전하고, 무선 개인 통신에 대한 요구가 커짐에

따라 저속 및 고속의 개인거리 영역에서의 유비쿼터스 (Ubiquitous) 개인 거리 통신 네트워크에 관한 관심이 증대되고 있다.

표준화 단체에서는 이러한 개인거리 통신 네트워크에 대한 표준화를 이루고 있는데 IEEE 워킹 그룹 (WG: Working Group) 15 에서는 최근 고속을 위한 기술 (태스크 그룹 3^[11]) 와 저속을 위한 기술 (태스크 그룹 4^[2])을 표준화 하였다^[6]. 지그비 얼라이언스 (ZigBee alliance^[6])에서는 기존의 IEEE 802 태스크 그룹 4에서 제정한 MAC/PHY 표준위에 상위 계층을 표준화함으로써 진정한 개인 통신 네트워크를 형성하려 하고 있다. 이러한 기술은 전 세계적으로 깊은 관심을 갖는 유비쿼터스 센서 네트워크 (USN: Ubiquitous Sensor Network) 에 센서 노드들 간의 신뢰적 통신을 위한 메쉬 라우팅 기능을 제공할 것으로 기대되고 있다. 좀 더 최근에는 IEEE 802.15의 태스크 그룹 5^[3] 가 신설되어 데이터 링크계층에서 신뢰적이고 상호 연동 가능한 메쉬 라우팅 기능을 담당하고 이를 위한 MAC과 PHY 기능에 필요한 메커니즘을 결정하고 가능한 수정을 도모하는 시도가 있다.

이러한 USN의 메쉬 네트워크화를 위한 기술은 USN에서 반드시 필요하며 유비쿼터스 및 엠비언트 (Ambient) 컴퓨팅 시장의 확장에도 요구되는 앞으로 각광 받을 기술로 인식되고 있다. 그럼에도 불구하고 이러한 유비쿼터스 컴퓨팅환경의 실현을 위해 선행되어야 할 중요한 기술적 난제들이 있다. 다음은 그 난제들 중 많은 연구가 진행되고 있는 기술들을 나열한다.

- (1) 저전력의 메쉬 라우팅 기술
- (2) 신뢰적 브로드캐스팅 기술
- (3) 다른 기기들과의 상호 연동 기술
- (4) 이동성 관리 기술.
- (5) 서비스 품질 (QoS: Quality of Service)을 보장하는 기술
- (6) 동적 스펙트럼 분배 기능과 같은 효율적인

전과 관리 기술

상기 기술 중에서 신뢰적 브로드캐스팅 기술은 소프트웨어 업데이트 및 쿼리 (Query) 전달 등 다양한 서비스를 제공하기 위하여 매우 중요한 기술로 평가되고 있다. 신뢰적 브로드캐스팅 기법은 네트워크 전체에 동일한 메시지를 신뢰적으로 전달하는 효율적인 방식이다. 하지만, 송신 노드에 모든 수신 노드들이 피드백 메시지를 동시에 전달하기 때문에 잘 알려진 피드백 충돌 (Feedback Implosion) 혹은 브로드캐스트 폭풍 (Broadcast Storm)의 문제를 발생시킨다.

예를 들어 소프트웨어 업데이트는 수신 노드들로 부터의 피드백 메시지 (ACK 이나 NAK) 에 의해 전송의 성공 여부를 판단할 수 있게 되어 피드백의 충돌 현상이 발생한다. 이러한 문제는 노드의 개수가 많아질수록 더욱더 네트워크에 커다란 문제를 야기한다. USN (Ubiquitous Sensor Network)에서는 노드들 간에 더욱더 많은 경쟁과 충돌, 그로인하여 더욱더 많은 전력소모를 일으킨다.

만약 이러한 수신 노드들로 부터의 피드백 메시지를 줄일 수 있다면 많은 불필요한 충돌 및 전력 소모를 방지할 수 있을 것이다. 본 논문에서는 다음의 목표를 둔 링크 계층에서의 신뢰적 브로드캐스팅 방법을 제안하고 지연을 이용한 신뢰적 브로드캐스팅 (DRB: Delayed Reliable Broadcast)라 명명한다.

- 신뢰적 통신
- 저전력 통신

기본적인 개념은 수신 노드들이 고의로 그들의 피드백 메시지 (ACK 혹은 NAK)을 지연시킴으로써 첫 번째의 피드백 메시지가 다른 노드들에게 피드백 정보를 알려 다른 노드들로 하여금 피드백 메시지전송을 중단하거나 계속하게 하는 방식이다. 이러한 방식으로 제안된 DRB 방식은 불필요한 충돌이나 전력소모가 없도록 불필요한 피드백 개수를 효율적으로 줄인다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 제안된 지연을 이용한 신뢰적 브로드캐스팅 (DRB) 기법을 기술하고 III장에서는 제안된 DRB의 수학적 및 시뮬레이션에 의한 성능평가를 정리하며 IV장에서 본 논문의 결론을 도출한다.

II. 지연을 이용한 신뢰적 브로드캐스팅 (DRB: Delayed Reliable Broadcast)

제안된 지연을 이용한 신뢰적 브로드캐스팅 (DRB: Delayed Reliable Broadcast)에서는 각 수신 노드가 송신된 브로드캐스팅 메시지를 수신하게 되면 0과 D 사이에서 랜덤하게 발생된 타이머를 이용하여 피드백 메시지를 전송한다. 피드백 메시지가 손상될 수 있기 때문에 송신 노드는 재전송 타이머 D 를 둔다. 즉, D 시간이 지난 후에 수신 노드로부터 아무 응답이 없으면 브로드캐스팅을 다시 하게 된다.

1. 송신 노드의 동작

제안된 DRB 기법에서 송신 노드가 순서에 상관없이 다음의 절차를 수행한다.

가. 브로드캐스트를 할 데이터가 있을 때

(1) 업스트림 (Upstream)

Child로부터 데이터가 있을 때, 다음과 같은 절차를 정해진 스케줄에 맞추어 동작한다.

- 송신 노드는 Parent에게 데이터를 유니캐스트 (Unicast)하고 타이머 D 를 세팅한다.
- 송신 노드는 Childern 과 송신 노드에 연결된 이웃 노드들에게 ACK/NAK이 첨가된 데이터를 브로드캐스트하고, 타이머 D 를 세팅한다.

(2) 다운스트림 (Downstream)

Parent로부터 데이터가 왔을 때

- 송신 노드는 Childern 과 송신 노드에 연결된 이웃 노드들에게 데이터를 브로드캐스트하고, 타이머 D 를 세팅한다.

(3) 기타의 경우

송신 노드가 브로드캐스트 데이터의 시작 노드이면 다음의 작업을 전송을 위한 적절한 스케줄에 맞추어 처리한다.

- 송신 노드는 Childern 과 송신 노드에 연결된 이웃 노드들에게 데이터를 브로드캐스트하고, 타이머 D 를 세팅한다.
- 송신 노드는 Parent에게 데이터를 유니캐스트 (Unicast)하고 타이머 D 를 세팅한다.

(4) 모든 경우

다른 노드로부터 브로드캐스트 데이터를 수신하면 전송한 그 노드에게 다시 유니캐스트를 하지 않는다. 또한, 타이머 D 가 피드백 (ACK/NAK)을 수신하기 전에 종료하면 이전의 데이터를 재 브로드캐스트 (Rebroadcast) 한다.

나. 피드백 메시지를 수신하였을 때

(1) NAK을 수신하였을 때

송신 노드가 NAK을 수신하였을 때, 가절에서 언급한 방식과 같이 에러를 복구하기 위하여 데이터를 재 브로드캐스트하고 타이머 D 를 세팅한다.

(2) ACK을 수신하였을 때

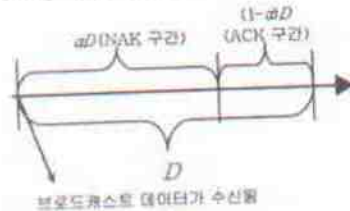


그림 1. 각 수신 노드에서의 타이머 세팅
Fig. 1. Timer Setup at Each Receiver Node

송신 노드는 가절에서 설명된 바와 같이 다음 데이터를 브로드캐스트하고 타이머 D 를 세팅한다.

2. 수신 노드의 동작

제안된 DRB 기법에서 송신 노드가 순서에 상관없이 다음의 절차를 수행한다.

가. 브로드캐스트 데이터를 수신하였을 때

(1) 수신 노드는 수신된 데이터의 상태에 따라 다음과 같은 반응을 한다.

- 수신된 데이터에 에러가 발생하면 수신 노드는 NAK 타이머를 구동시킨다.
- 수신된 데이터에 아무 에러가 없으면 수신 노드는 ACK 타이머를 구동시킨다.

(2) 수신 노드의 타이머가 종료하면 노드는 해당 피드백 (ACK 혹은 NAK)을 송신 노드에게 전송한다.

(3) 그림 1에서와 같이 수신노드의 NAK 타이머는 0과 αD 사이의 랜덤 값으로 발생되며 ACK 타이머는 αD 와 D 의 사이에서 랜덤하게 발생된다.

- NAK의 더 짧은 타이머를 사용하는 이유는 에러 정정을 위하여 ACK보다는 더 빨리 전송하기 위함이다.
- ACK 타이머는 모든 연결된 수신 노드들이 성공적으로 데이터를 수신할 때 발생해야 하므로 NAK 타이머보다 더 늦게 발생된다.

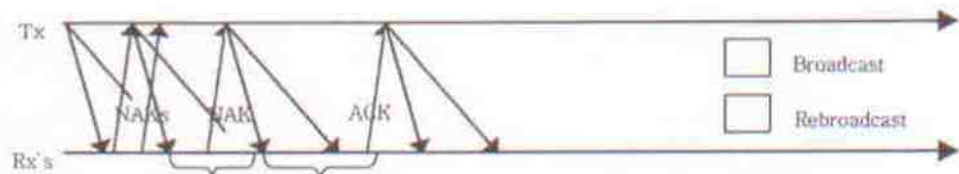
가. 재 브로드캐스트 데이터를 수신하였을 때
(1) 수신 노드는 수신 노드의 타이머 (ACK 타이머 혹은 NAK 타이머)를 취소한다.

(2) 이러한 방식은 송신 노드들의 피드백 메시지를 효율적으로 줄이게 된다. 수신 노드 / 의 타이머가 수신 노드 / 의 타이머 보다 먼저 종료되어 전송이되면 수신 노드 / 는 수신 노드 / 의 피드백 메시지를 수신함으로 전송할 피드백을 취소할 가능성이 많아진다.

(3) 에러의 검출의 여부에 따라 수신 노드는 ACK 혹은 NAK 타이머를 구동시킨다.

이러한 일련의 절차는 미리 정해진 재전송의 횟수까지 반복이 되며 전체적인 동작은 그림 2의 예와 같이 설명될 수 있다.

먼저 송신 노드는 데이터를 브로드캐스트 한다. 브로드캐스트 데이터가 수신되면 각 수신 노드들은 에러 유무에 따라 각각 NAK 타이머와 ACK 타이머를 구동시킨다. NAK 타이머는 앞에서 언급한 바와 같이 먼저 종료가 되어 에러가 발생한 몇몇의 수신 노드들은 NAK을 보내게 된다. 그 중 가장 빠른 NAK이 송신 노드에게 에러가 존재함을 알리게 되고 송신 노드는 이에 반응하여 데이터를 재전송하게 된다. 이때 재전송 데이터가 자신의 타이머가 종료하기 전에 도착하면 해당 수신 노드들은 자신의 타이머를 취소시킨다. 이렇게 함으로써 본 알고리즘은 불필요한 피드백 메시지를 줄일 수 있다. 여전히 재전송된 데이터에 에러가 존재하면 에러가 있는 수신 노드는 또 NAK 타이머를 구동시킨다. 앞에서처럼 그 중 가



많은 수신 노드들은 이 구간 동안에 자신의 피드백을 취소시킨다.

그림 2. 전체 동작의 예
Fig. 2. Overall Behavior (Example)

장 빠른 NAK이 데이터의 재전송을 야기하고 결국 모든 수신 노드들이 성공적으로 데이터를 수신하면 각 수신 노드들은 ACK 타이머를 구동시킨다. ACK 타이머가 종료되면 그 중 가장 빠른 ACK이 송신 노드로 하여금 다음 프레임을 전송하도록 한다. 다음프레임이 수신되면 다른 수신 노드들은 자신의 ACK 타이머를 취소한다.

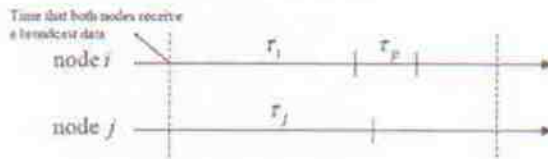


그림 3. 노드 i가 노드 j의 NAK을 중지시키지 못할 확률의 계산

Fig. 3. Computation of the Probability that node i cannot suppress node j's NAK.

III. 성능 분석

1. 수학적 성능분석

제안된 알고리즘이 수신 노드들이 모두 NAK을 보내는 경우와 비교해서 얼마나 전력 효율이 있는지 알아보기 위하여 수학적 모델링을 한다. 우선 하나의 송신 노드와 N개의 수신 노드가 있다고 가정하자.

전력 효율을 η 라고 하고 프레임 에러율을 q 라고 하면 η 는 다음과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned} \eta &= E[\# \text{ of NAKs}] / (qN) \\ &= P(\text{node } j \text{ sends NAK}) \\ &= (P(\text{node } i \text{ cannot suppress node } j \text{'s NAK}))^{N-1} \end{aligned} \quad (1)$$

노드 i가 노드 j의 NAK 전송을 막지 못할 확률은 그림3에서와 같이 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\begin{aligned} P(\text{node } i \text{ cannot suppress node } j \text{'s NAK}) &= P(\tau_i < \tau_j + \tau_p) \\ &= 1 - (1 - \tau_p / (\alpha D))^2 / 2 \end{aligned} \quad (2)$$

여기서 τ_i 와 τ_j 는 각각 노드 i와 노드 j의 타이머이고 τ_p 는 수신 노드와 송신 노드사이의 Round-Trip 시간이다.

수식 (2)에서 보듯 N의 개수가 크면 클수록 전력 효율은 향상됨을 알 수 있다. 이것은 에러율이 높은 상황에서도 마찬가지로의 결과를 나타냄을 알 수 있다.

2. 시뮬레이션에 의한 성능분석

제안된 알고리즘의 성능을 분석하기 위하여 이벤트 기반 시뮬레이션 프로그램을 작성하였다. 우선 수학적 성능 분석에서처럼 한 개의 송신 노드와 N 개의 수신 노드로 구성된 간단한 네트워크를 가정하였고 수신 노드가 성공적으로 데이터를 수신할 때까지 송신 노드가 전송을 계속하는 것으로 가정하였다. 또한 송신 노드에서 수신 노드까지의 전송 지연시간은 지수분포로 발생하였으며 알고리즘에서 설명한대로 타이머는 균일 분포로 발생하였다

프레임 에러율을 10^{-3} 으로 하여 시뮬레이션을 수행하여 동일 프레임의 전송 횟수 (Avg. Trans) 및 Throughput 을 측정하였다.

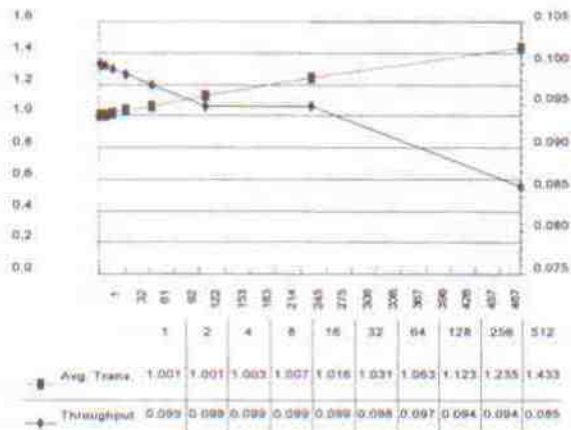


그림 4. 수신 노드의 개수를 X축으로 설정했을 때의 결과 그래프

Fig. 4. Average Number of Broadcasting Transmission of a Message and Throughput vs. the number of Nodes

위의 그래프로 보아 수신 노드의 수가 아주 적을 때, 동일 프레임의 전송 횟수가 1에 가깝게 나타남을 볼 수 있다. 하지만 수신 노드의 수가 늘어갈수록 같은 데이터를 재전송하는 횟수가 선형적으로 늘어가는 것을 볼 수 있다. 이는 제안된 알고리즘이 지수적으로 증가하는 다른 기법보다 성능 측면에서 훨씬 우수함을 증명하는 것이다. 또한, Throughput의 결과 그래프는 수신 노드의 수가 많을수록 역시 선형적으로 감소함을 볼 수 있다. 일반적으로 parent 노드에 연결된 child 노드의 개수가 200 이하이므로 제안된 알고리즘은 Scalability 와 효율 측면에서 타 방법보다 우수함을 볼 수 있고 이것은 앞 절에서 수학적 분석 결과와 일치된다.

IV. 결 론

신뢰적 브로드캐스팅 기법에서 기존의 방식은 송신 노드에게 모든 수신 노드들이 피드백 메시지를 동시에 전달하기 때문에 피드백 충돌(Feedback Implosion) 혹은 브로드캐스트 폭증(Broadcast Storm)의 문제를 발생시킨다. 이러한 문제점은 노드의 수가 많아질수록 더욱더 네트워크에 커다란 문제를 야기한다. 이는 USN(Ubiquitous Sensor Network)에서 노드들 간에 더욱더 많은 경쟁과 충돌이 발생하고, 더 많은 전송을 시도하게 됨으로써 전력 소비량을 증가시키기 때문이다.

본 논문에서는 노드들의 데이터 브로드캐스팅 시, 데이터 전송에 지연 시간을 들이므로써 충돌을 회피하고 신뢰적으로 데이터를 전송하는 방식 DRB(Delayed Reliable Broadcast)를 제안 하였다. 제안된 DRB 방식은 DRB 방식을 사용하지 않는 데이터 브로드캐스팅 방식에 비해 노드 수가 증가함에 따라 지수적으로 증가하는 충돌 횟수를 줄여, 불필요한 전력 소모를 줄일 수 있었다.

예를들어, DRB를 사용한 네트워크의 경우 노드의 수가 512 개일 때, 평균 전송 횟수가 1433 회로 나타났다. 따라서 제안된 DRB 방식은 전력 소모가 중요시 되는 USN에서 기반 기술로서 활용될 수 있으며 IEEE 802.15.5 와 같은 표준 기술로도 활용될 수 있으리라 기대된다. 향후 이러한 기술을 토대로 하여 저전력에 적합한 데이터 전송 방법을 구현하고 다양한 성능 분석을 통해 DRB 방식의 최적화를 수행할 계획이다.

참 고 문 헌

- [1] IEEE 802.15.3, Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for High-Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs), September 2003.
- [2] IEEE 802.15.4, Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs), September 2003.
- [3] IEEE P802.15.5, Draft Recommended Practice to Standard for Information Technology - Telecommunications and information exchange between systems - Local and Metropolitan networks - Specific requirements - Part 15.5: Mesh Enhancements for High-Rate WPANs, July 2007.
- [4] S. Cho, A. Goulart, I. F. Akyildiz, and N. Jayant, "An Adaptive FEC with QoS Provisioning for Real-Time Traffic in LEO Satellite Networks," in Proc. of IEEE ICC, Helsinki, Finland, pp. 2938-2942, June 2001.
- [5] J. Zheng and M. J. Lee, "Will IEEE 802.15.4 Make Ubiquitous Networking a Reality?: A Discussion on a Potential Low Power, Low Bit Rate Standard," IEEE Communications Magazine, June 2004.

[6] ZigBee Alliance, ZigBee Specification, July, 2007.

※ 본 연구는 정보통신부 HNRC-ITRC 지원 연구 결과입니다.

— 저 자 소 개 —



조성래(정회원)

- 1992년 고려대학교 전자전산 공학과 학사 졸업.
- 1994년 고려대학교 전자공학과 석사 졸업.
- 1994년 2월 ~ 1996년 8월 ETRI 연구원



최원석(준회원)

- 2007년 중앙대학교 컴퓨터공학부 학사 졸업.
- 2007년 현재 중앙대학교 컴퓨터공학부 석사과정.
- <주관심분야> : 유비쿼터스 통신, 방송, 네트워크>

- 2002년 미국 조지아공대 전기및컴퓨터공학과 박사 졸업
- 2003년 1월 ~ 7월 : 삼성종합기술원 전문연구원
- 2003년 8월 ~ 2006년 7월 : 미국 조지아서던대학교 전산학과 조교수
- 2006년 9월 ~ 현재 중앙대학교 컴퓨터공학부 조교수.
- <주관심분야> : 유비쿼터스 통신, 방송, 네트워크



이인환(정회원)

- 1988년 2월 : 한양대학교 전기공학과 (학사)
- 1990년 2월 : 한양대학교 대학원 전기공학과 (석사)
- 2007년 현재 한양대학교 대학원 전자컴퓨터통신공학과 박사과정



이우용(정회원)

- 1989년 고려대학교 학사 졸업.
- 1991년 한국과학기술원 석사 졸업.
- 1997년 한국과학기술원 박사 졸업.
- 1997년~현재 한국전자통신연구원 책임연구원.
- <주관심분야> : 이동통신 모뎀/MAC개발

- 1990년 1월 ~ 1993년 3월 : 동동아전기 연구원
- 1993년 4월 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 RFID/USN연구그룹 USN네트워킹연구팀 선임연구원
- <주관심분야> : 디지털 이동통신, Wireless Sensor Network



김봉수(정회원)

- 1982년 홍익대학교 전자공학과 학사 졸업
- 1984년 홍익대학교 대학원 전자공학과 디지털통신 전공, 석사 졸업
- 1984년~현재 한국전자통신연구원 USN네트워킹연구팀 팀장

<주관심분야> : 유비쿼터스 통신, 임베디드 S/W, 네트워킹 프로토콜