

무선 센서 망에서 브로드캐스팅 메시지 서비스를 위한 홉 기반 가십 프로토콜

종신회원 소원 호*

Hop Based Gossiping Protocol (HoGoP) for Broadcasting Message Services in Wireless Sensor Networks

Wonho So* *Lifelong Member*

요 약

무선 센서 망에서 사용되는 정보 전송은 플러딩 기반의 간단한 라우팅 프로토콜을 사용할 수 있다. 하지만 재전송 오버헤드가 높아 데이터의 충돌율이 높고 에너지 소비가 높은 문제점이 있다. 본 논문에서는 싱크 노드부터 각 노드까지의 홉 수를 이용하여 이웃 노드간의 관계를 분석하고 각 노드의 메시지 전달 확률을 결정하는 홉 기반 가십 프로토콜 (Hop based Gossiping Protocol; HoGoP)을 제안한다. 각 노드는 수신된 메시지를 동일한 가십 확률로 전달하지 않고 응용 계층에서 요구된 평균 수신율과 홉 정보로 알게 된 부모 노드의 수를 이용하여 가십 확률을 결정한다. 따라서 망 토폴로지에 따라서 적응적으로 확률이 결정되어 플러딩 방식보다 낮은 메시지 재전송으로도 높은 메시지 수신율을 얻을 수 있다. 제안된 방식의 성능 평가를 위하여 시뮬레이션을 이용하며 메시지 평균 수신율, 평균 전달율, 그리고 전송 효율 관점에서 기존 프로토콜과 비교 평가한다. 또한 응용에서 설정된 요구 수신율 관점에서 성능을 비교 분석한다.

Key Words : WSN, Gossiping, Routing protocol, Broadcasting Message, Energy efficiency

ABSTRACT

Flooding based routing protocols are usually used to disseminate information in wireless sensor networks. Those approaches, however, require message retransmissions to all nodes and induce huge collision rate and high energy consumption. In this paper, HoGoP (Hop based Gossiping Protocol) in which all nodes consider the number of hops from sink node to them, and decide own gossiping probabilities, is introduced. A node can decide its gossiping probability according to the required average reception percentage and the number of parent nodes which is counted with the difference between its hop and neighbors' ones. Therefore the decision of gossiping probability for network topology is adaptive and this approach achieves higher message reception percentage with low message retransmission than the flooding scheme. Through simulation, we compare the proposed protocol with some previous ones and evaluate its performance in terms of average reception percentage, average forwarding percentage, and forwarding efficiency. In addition, average reception percentage is analyzed according to the application requirement.

I. 서 론

노드의 전원과 무선 채널의 통신 범위의 제한을

* 본 연구는 본 지식재산권은 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 지원을 받아 수행된 연구결과임 (09-기반, 산업원천기술개발사업)

* 순천대학교 컴퓨터교육과 통신망시스템연구실(whso@sunchon.ac.kr)

논문번호 : KICS2009-10-459, 접수일자 : 2009년 10월 13일, 최종논문접수일자 : 2009년 12월 21일

필연적으로 수용하는 무선 센서 망 (Wireless Sensor Network; WSN)은 다양한 응용에 활용될 것으로 예상된다. 이러한 WSN에서 일반적으로 사용하는 메시지 전달방식은 브로드캐스팅 (broadcasting)으로 목적지 노드로의 경로 설정을 위한 제어신호 전송, 경고 신호 전달, 감지 데이터 전달, 명령 및 코드 갱신 등과 같이 다양한 경우에 이용된다. 메시지 브로드캐스팅을 위한 가장 간단한 방법은 플러딩 (flooding) 방식으로 새로운 메시지를 수신하면 이웃노드로 그 메시지를 다시 전송하는 방식이다. 하지만 플러딩에 의한 과도한 메시지 재전송과 이로 인한 무선 채널 혼잡과 패킷 충돌 문제 (broadcast storm problem)는 제한적인 자원을 갖고 있는 센서 노드의 심각한 에너지 낭비를 초래한다¹⁾.

일반적으로 브로드캐스팅 서비스는 전송 횟수를 최소화하고 모든 노드가 동일한 메시지를 수신하는 것을 목적으로 한다. 이를 위해 기존에 제시된 방식을 두 종류로 분류하면 결정적 방식 (deterministic approach)과 확률적 방식 (probabilistic approach)으로 분류할 수 있다. 결정적 방식에서는 메시지의 불필요한 재전송을 줄이기 위하여 적합한 이웃노드 I_n 를 결정하여 이 노드만이 메시지 전달을 허용한다. 이웃노드가 결정되는 방식은 클러스터 헤드, 다중 포인트, 또는 백본 트리 노드가 될 수 있다^{2,3,4)}. 하지만 이러한 방식은 다음과 같은 두 가지 문제점을 갖고 있다. 첫째, 결정된 이웃노드 I 에 이상이 발생되어 메시지를 전송할 수 없다면 이 노드에 의존하는 이웃노드는 메시지를 수신할 수 없기 때문에 망의 견고성이 낮아진다. 둘째, 정해진 I 만 전송에 참여하기 때문에 망의 트래픽 부하에 편중이 발생된다. 따라서 특정 노드만이 에너지 소비가 증가된다. 물론 주기적인 방법으로 I 에 해당하는 노드를 변경할 수 있지만 이러한 해결 방법은 새로운 오버헤드를 발생시킨다.

확률적 방식은 각 노드가 주어진 가십 확률 (gossiping probability)로 메시지를 전송하는 방식으로 결정적 방식보다 간단한 방식을 제공한다^{5,6)}. 확률적으로 이웃 노드들이 결정되기 때문에 추가적인 오버헤드 없이 이웃노드가 결정되며 이로 인하여 트래픽이 망에 균등하게 분포되는 장점이 있다. 하지만 임의의 망에 적합한 가십 확률 p_{gossip} 를 결정하기가 어렵고, 노드의 고장, 링크 에러, 그리고 노드 분포에 따라서 p_{gossip} 값이 동적으로 변경되어야 한다.

본 논문에서는 가십 확률을 결정하기 위하여 메시지의 소스로부터 각 노드까지의 홉(hop) 정보를 이용한다. 홉 수에 따라서 각 노드의 메시지 전달 의존성을 구하고 자식 노드가 요구하는 가십 확률을 고려하여 각 노드에 맞는 가십 확률을 결정한다. 따라서 임의의 망 토폴로지에 적합한 가십 확률을 결정할 수 있으며, 이로 인하여 과도한 메시지 재전송을 줄임으로써 에너지 소비를 줄일 수 있다. 제안된 방식은 시뮬레이션을 통하여 기존 방식과 비교되며 전달 효율향상과 가십 확률의 다양한 설정에 대하여 논의한다.

논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 기존의 확률적 방식을 살펴보고 연구의 동기를 제시한다. 제안된 방식은 3장에서 기술하며 4장에서 성능을 평가한다. 또한 5장에서 추가적인 논의를 진해하고 마지막으로 6장에서 결론을 맺는다.

II. 관련 연구

일반적으로 WSN이 구성될 때, 정해진 위치에 센서 노드가 설치되는 경우도 있지만 임의의 위치에 노드가 설치되거나 위치하게 된다. 따라서 본 논문에서는 N 개의 노드가 이동하지 않고 WSN을 구성하며 노드의 고장, 에너지 고갈, 그리고 무선 채널의 고장에 의한 망 토폴로지의 변화만을 고려한다. 또한 브로드캐스팅 메시지는 하나의 싱크 노드에서 발생되어 망 전체로 전달됨을 가정한다.

따라서 싱크 노드를 제외한 나머지 노드는 브로드캐스트 메시지를 전달하는 중간 노드로서 적합한 가십 확률을 결정해야 한다. 만일 s 번째 브로드캐스팅 패킷을 중간 노드 X 가 수신하여 전달할 때 중간 노드 X 는 가십 확률 $p(X,s)$ 로 패킷을 전송해야 한다.

플러딩에 의한 메시지 전달의 오버헤드를 줄이기 위하여 기존에 제시된 가십 확률 방식은 정적 가십 (static gossip)과 적응적 가십 (adaptive gossip)로 크게 분류된다. 정적 가십 방식에서는 모든 노드가 동일한 가십 확률을 갖는 경우로서 균등 가십 (uniform gossiping) 확률 방식과 그 변형된 방식으로 분류되며 $G(p_{gossip})$ 와 $G(p_{gossip},k)$ 로 표현된다. 여기서 G 는 가십 방식을 의미하며 p_{gossip} 은 가십 확률, k 는 싱크 노드로부터 임의의 중간노드까지의 홉 수이다. 첫 번째 방식인 균등 가십 확률 방식의 가십 확률은 모든 노드가 같은 확률을 사용하기 때

문에 $p(X,s) = \{p_{gossip} | \forall X\}$ 로 정의된다.

두 번째 방식인 $G(p_{gossip}, k)$ 는 k 번째 홉까지는 $p(X,s) = 1$ 로 설정하고 k 보다 큰 홉 수를 갖는 노드는 p_{gossip} 로 가십 확률을 설정하는 경우로서 $p(X,s) = \{1 | X_h \leq k\}$ 또는 $p(X,s) = \{1 | X_h > k\}$ 이다. 메시지의 수신율을 높이기 위하여 처음 k 홉은 플러딩 방식으로 전송하고 나머지 홉에서는 가십 확률을 사용하기 때문에 첫 번째 방식에 비해서 낮은 가십 확률로 높은 메시지 전송율을 갖고 있다. 하지만 두 가지 방식 모두 임의의 토폴로지를 갖는 WSN에 적합한 p_{gossip} 와 k 를 미리 결정해야만 한다.

적응적 방법은 [5]에서 분류했듯이 적응적 이웃 (adaptive neighbor)과 적응적 오버헤드 (adaptive overhead), 그리고 이웃 노드의 의존 관계를 이용한 스마트 가십 (Smart Gossiping) 방식 등이 있다. 적응적 이웃 방식은 $G(p_{gossip}, k, 1, n)$ 로 표현되며 $G(p_{gossip}, k)$ 와 같은 방식으로 운용되지만 $X_h > k$ 인 노드 중에서 이웃 노드의 개수 $X_b \geq n$ 이면 플러딩을 하는 방식이다.

적응적 오버헤드 방식은 이전 패킷의 중복 전송을 측정하여 가십 확률을 결정하는 방식이다. 즉, $s-1$ 번째 브로드캐스팅 패킷에 대하여 노드 X 가 똑 같은 패킷을 d 개 수신하였다면 s 번째 패킷에 대한 가십 확률 $p(X,s) = 1/d$ 로 결정된다. 하지만 위에서 설명한 두 방식은 다음과 같은 경우에 메시지의 전달이 보장받을 수 없는 경우가 발생된다^[6].

그림 1에서 노드 A는 싱크이고 나머지 노드는 패킷을 수신하고 전달한다. 또한 설명을 간단하게 하기 위하여 무선 링크를 실선으로 표시한다. 만일 적응적 이웃 방식으로 F가 패킷을 전달한다면 $p_{gossip} = 1/4$ 로, G의 경우에는 $p_{gossip} = 1/2$ 설정되고, 적응적 오버헤드 방식이라면 각각 $p_{gossip} \geq 1/4$, $p_{gossip} \geq 1/2$ 을 만족하는 임의의 확률로 패킷을 전달한다. 따라서 그림에서 알 수 있듯이 노드 H는 경우에 따라서 패킷을 수신하지 못하여 패킷을 모든 망에 전달하지 못한다. 뿐만 아니라 그림처럼 노드 H이후에 다수의 센서 노드로 구성된 WSN이

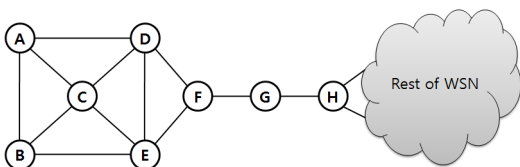


그림 1. 가상 무선 센서 망

있다면 노드 F와 G의 p_{gossip} 에 대한 결정이 매우 중요하다.

[7]에서 제시된 스마트 가십 방식은 패킷에 부모 ID (pid 필드)를 설정하여, 패킷을 전달하는 노드의 관계를 결정하고 부모 노드의 수에 의해서 가십 확률을 부모 노드에게 요청하는 방식이다. 예를 들면 노드 F의 경우에 동일한 패킷을 D와 E로부터 받았다면, 노드 F는 $p_{req} = 1/2$ 로 D와 E에 가십 확률을 요청한다. G의 경우에는 F만이 유일한 부모 노드이기 때문에 $p_{req} = 1$ 로 노드 F에게 요청하게 되어 항상 패킷의 전송을 보장 받을 수 있다. 따라서 이 방식이 정상적으로 동작하기 위해서는 부모 노드, 형제 노드, 그리고 자식 노드의 모든 정보를 항상 유지하여 필요에 따라서 p_{req} 를 상위 부모노드에게 요청해야 한다. 또한 [8]에서는 메시지의 소스가 여러 개인 경우에 적합한 스마트 가십 방식을 제시한다.

본 논문에서는 스마트 가십 방식에서 사용하는 노드의 관계를 이용하지만 활용하는 정보는 노드의 ID가 아닌 홉(hop)으로 단순화 하고, 각 노드는 부모, 형제, 그리고 자식 노드의 개수만 관리하도록 하여 적응적 가십 방식을 단순화한다.

III. 홉 기반 가십 프로토콜

임의의 WSN이 구성되고 필요에 따라서 소스 노드와 목적지 노드 간의 경로설정, 새로운 코드 갱신, 경고 신호 전송, 그리고 주기적인 질의 전송 등과 같은 응용이 필요할 때, 브로드캐스팅 폭풍과 같은 문제없이 메시지가 모든 노드로 전송되어야 한다. 또한 WSN의 망 수명에 관계되는 중요한 요소인 에너지 효율을 고려하여 라우팅 프로토콜이 설계되어야 한다. 따라서 본 논문에서는 모든 노드가 평균적으로 수신하는 브로드캐스팅 메시지의 비율을 높이고 같은 메시지를 필요 이상으로 전달하지 않도록 하기 위한 홉 기반 가십 프로토콜 (Hop based Gossip Protocol; HoGoP)을 제안한다.

본 논문에서는 가십 확률 결정 문제를 임의의 WSN에서 최소한의 정보를 이용하여 오버헤드를 줄이고, 응용계층에서 요구하는 메시지 평균 수신율 (average reception ratio)을 만족시키면서 메시지 평균 전달율 (average forwarding ratio)을 최소화하는 문제로 규정한다. 따라서 싱크에서 모든 노드로 같은 브로드캐스팅 메시지를 전송하고 그 메시지를 중복 전송하여 발생하는 에너지의 소비를 줄임으로

써 망의 생존성을 증가시킬 수 있도록 한다.

3.1 가십 확률 결정 문제

싱크 노드로 부터의 전송되는 i 번째 브로드캐스팅 메시지 M_i 를 모든 노드로 전송하기 위해서는, 메시지를 먼저 받는 노드가 처음으로 받은 i 번째 메시지만을 다음 노드로 전달하는 방식을 사용한다. 따라서 임의의 노드 X 는 M_i 를 먼저 수신한 노드, 즉 부모 노드 (parent node)에 의존적이며 X 를 통하여 M_i 를 수신하는 노드는 자식 노드 (child node)로 정의할 수 있다. 또한 노드 X 와 같은 부모 노드에 의존하여 M_i 를 수신하는 노드도 있을 수 있는데 이러한 노드는 형제 노드 (sibling node)라 할 수 있다.

무선 신호의 채널 특성을 고려하여 부모, 자식, 그리고 형제 노드의 관계를 노드 X 가 알 수 만 있다면 부모 노드로 적합한 가십 확률 p_{req} 을 요청하여 메시지를 수신할 수 있다. 즉, 노드 X 주위에 많은 부모 노드가 있는 경우에는 낮은 p_{req} 를 요청하고 상대적으로 적은 부모 노드가 있는 경우에는 높은 p_{req} 을 요청하는 방안을 일반적으로 생각할 수 있다. 마지막으로 각 노드는 가십 확률을 결정하는데, 자식 노드로부터 도착한 p_{req} 중에서 가장 큰 값을 가십 확률 $p_{gossip} = \max\{p_{req}\}$ 로 결정한다. 이것은 자식 노드마다 부모노드에 의존하는 특성이 다르기 때문에 가장 높은 p_{req} 를 요청한 자식 노드의 메시지 수신을 최선으로 선택한다. 따라서 노드 X 의 모든 부모 노드를 구분할 수 있다면 정확한 가십 확률을 결정할 수 있다.

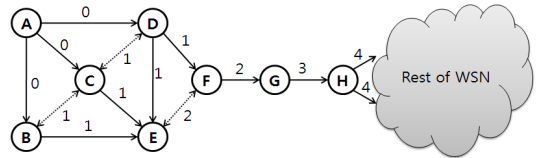
3.2 홉 기반 노드 관계

노드 X 의 부모 노드를 구분하는 방법은 전송되는 메시지 M_i 를 간단히 엿들어 그 메시지를 전송하는 노드를 부모노드로 정할 수 있다. 하지만 노드 X 가 전송한 M_i 를 자식 노드 또는 형제 노드가 다시 전송하는 경우에 부모 노드로 오판하는 경우가 발생할 수 있으므로, 이 방법은 적합한 방법이 아니다. 이를 해결하기 위하여 본 논문에는 브로드캐스팅되는 메시지에 홉 정보를 추가하여 메시지가 전달될 때, 각 노드에서 홉을 1씩 증가시킬 수 있는 메시지 M_i^h 를 사용한다. 또한 부모, 자식, 그리고 형제 노드의 개수를 확인할 수 있는 변수를 각각 C_p , C_c , 그리고 C_s 로 정하여 이용한다.

싱크 노드 S 는 자신의 i 번째 메시지 M_i^0 를 전송하고 이 메시지를 처음으로 수신한 노드들은 홉을 1증가 시켜 M_i^1 로 메시지를 전달하게 된다. 이때 M_i^0 를 수신한 노드들은 자신의 C_p 를 1씩 증가하며, S 는 i 번째 메시지에 대하여 얼마나 많은 노드가 같은 메시지 M_i^1 를 전송하는지 엿들을 수 있고, S 의 C_c 를 엿들은 수만큼 증가시킨다. 또한 자신이 전송한 M_i^1 와 같은 메시지를 수신하면 C_s 값을 증가한다. 이와 같은 방식으로 메시지가 모든 노드에 전송될 때, 모든 노드의 C_p , C_c , 그리고 C_s 가 결정되며 이러한 값은 임의의 노드 X 에 대하여 $X(C_p, C_s, C_c)$ 로 나타낸다.

그림 2는 가상 무선 센서 망에서 싱크 노드 A 가 전송하는 메시지의 홉 변화를 보여주고 있다. 그림에 나타난 홉 정보를 이용하여 각 노드의 C_p , C_c , 그리고 C_s 는 다음과 같이 결정된다. 이때 초기값은 0으로 설정됨을 가정한다.

싱크 노드인 A 는 부모와 형제 노드가 없고 3개의 자식 노드를 갖는다. 노드 B, C, D 는 단지 A 로부터 메시지를 수신하기 때문에 A 에 요청할 가십 확률 $p_{req} = 1$ 이 되어야 한다. 노드 E 의 경우에는 노드 B, C, D 와 같이 3개의 부모노드가 존재하기 때문에 낮은 확률 값으로 가십 확률을 요청한다. 즉, 노드 B, C , 그리고 D 중에서 하나의 노드만 전



(a) 가상 무선 센서 망에서의 홉 정보 변화

노드	$X(C_p, C_s, C_c)$
A	$A(0, 0, 3)$
B	$B(1, 1, 1)$
C	$C(1, 2, 1)$
D	$D(1, 1, 2)$
E	$E(3, 1, 0)$
F	$F(1, 1, 1)$
G	$G(1, 0, 1)$
H	$H(1, 0, 2)$

(b) 각 노드의 $X(C_p, C_s, C_c)$

그림 2. 홉 정보에 의한 노드 관계

송해도 E는 메시지를 수신한다는 의미이다. 또한 E는 자식 노드가 없기 때문에 메시지를 다시 전송하지 않는다. F의 경우를 보자. 부모, 형제, 그리고 자식 노드가 모두 1개씩 존재한다. 따라서 $p_{req} = 1$ 로 요청한다. 이때 노드 D는 노드 E와 F로 부터 두개의 가십 확률이 요청된다. 따라서 만일 노드 D가 E로부터 받은 가십 확률이 $p_{req} < 1$ 인 1/3이라면, 노드 D의 최종적인 가십 확률은 $\max\{1/3, 1\}$ 으로, $p_{req} = 1$ 이 된다. 노드 G와 H의 경우에도 부모 노드가 1개씩 존재하기 때문에 $p_{req} = 1$ 로 요청하게 된다.

그림 3은 제안된 홉 기반 방식의 가십 확률 결정을 위한 각 노드의 처리를 나타낸다. 먼저 노드 X는 부모, 형제, 그리고 자식 노드의 수를 0으로 초기화 하고 이웃 노드의 개수 C_n 도 0으로 초기화한다. 또한 싱크 노드로부터의 홉 수 X_h 를 결정되지 않은 상태인 null로 설정한다. 순서 번호를 이용하여 새로운 메시지를 구분하고 메시지의 홉 정보를 이용하여 부모, 형제, 그리고 자식 노드의 개수를 증가시킨다. 만일 처음으로 도착한 메시지이면 메시지 M_i^h 의 h값을 이용하여 $X_h = h + 1$ 로 설정하고 $C_p = C_p + 1$ 이 된다. 만일 새로운 메시지가 아닌 경우에는 메시지 M_i^h 의 h값을 비교하여 C_s 와 C_c 이 결정된다.

```

INITIALIZATION:  $C_n = 0, X(0, 0, 0), X_h = null$ 
PROCEDURE: When a message arrives at node X,
     $h =$  the hop value of  $M_i^h$ 
     $C_n = C_n + 1$ 
    if ( $M_i^h$  is a new one?)
         $X_h = h$ 
         $C_p = C_p + 1$ 
    else if ( $X_h > h$ )
         $C_p = C_p + 1$ 
    else if ( $X_h == h$ )
         $C_s = C_s + 1$ 
    else
         $C_c = C_c + 1$ 
    endif
    Transmit  $M_i^{h+1}$ 

```

그림 3. 홉 기반 가십 확률 결정을 위한 처리

3.3 요구 수신율을 고려한 가십 확률 결정

WSN이 처음으로 구성되는 경우에는 모든 노드의 가십 확률은 $p_{gossip} = 1$ 로 설정된다. 싱크 노드가 메시지를 전송하기 시작하면 각 메시지에 따른 가십 확률이 결정되는데, 이때 앞에서 설명한 처리 방법에 의해서 부모, 형제, 그리고 자식 노드의 개수가 결정된다. 이제 임의의 노드 X의 C_p 가 K일 때, 부모 노드 Y로 전달해야 하는 p_{req} 를 결정해 보자.

먼저 본 논문에서는 응용 계층이 브로드캐스팅 서비스를 제공받을 때, WSN을 구성하는 모든 노드로 메시지가 전달되는 평균 수신율을 응용 계층에서 설정함을 가정한다. 이때 응용 계층에서 요구하는 메시지 평균 수신율을 τ_{arp} 로 표기한다. 만일 응용 계층에서 90%의 평균 수신율을 요구한다면 싱크 노드는 $p_{gossip} = 0.9$ 로 설정하여 다음 노드로 메시지를 전송할 것이다. 하지만 그 다음 노드에서 이와 같은 가십 확률로 메시지를 전달한다면 평균 수신율은 81% (0.9×0.9)로 떨어지게 된다. 따라서 모든 노드가 τ_{arp} 를 만족하기 위해서는 싱크 노드부터의 홉을 이용하여 각 노드의 실제 평균 수신율 τ_{real} 을 다음과 같이 구해야 한다⁷⁾.

$$\tau_{arp} = (\tau_{real})^h \quad \therefore \tau_{real} = (\tau_{arp})^{\frac{1}{h}} \quad (1)$$

이제 각 노드에서 제공 받아야 하는 실제 평균 수신율 τ_{real} 을 결정했기 때문에, 이 값을 만족시킬 수 있는 요구 가십 확률을 부모 노드의 개수에 따라서 결정해야 한다. 만일 임의의 노드 X의 부모 노드의 개수가 $C_p = K$ 라면, 이 노드의 τ_{real} 을 만족하기 위해서는 다음 식으로 p_{req} 를 구하고 부모 노드로 가십 확률을 요청해야 한다.

$$\tau_{real} \leq \sum_{i=1}^K \binom{K}{i} (p_{req})^i (1-p_{req})^{K-i} \quad (2)$$

이 식은 X의 부모 노드 K 중에서 하나 이상이 메시지를 전달해야 τ_{real} 을 만족시킬 수 있음을 의미이다. 하나 이상의 부모 노드가 메시지를 전달하는 경우를 사건 A라 할 때, $P(A)$ 는 위 식의 우변이 되며, 이 사건의 여사건에 해당하는 K 중 아무도 메시지를 전달하지 않는 경우를 사건 B라 하면 $P(B) = 1 - P(A)$ 관계가 성립한다. 따라서 K개의

부모 노드를 갖는 임의의 노드에서 τ_{real} 를 만족하는 p_{req} 를 다음과 같이 결정할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 P(A) &\geq \tau_{real} \\
 1 - P(B) &\geq \tau_{real} \\
 1 - \binom{K}{0} (p_{req})^0 (1 - p_{req})^{K-0} &\geq \tau_{real} \quad (3) \\
 (1 - p_{req})^K &< 1 - \tau_{real} \\
 \therefore p_{req} &\geq 1 - (1 - \tau_{real})^{\frac{1}{K}}
 \end{aligned}$$

IV. 성능 평가

제안된 HoGoP에 대한 성능을 평가하기 위하여 ns2를 이용하여 20개의 WSN 랜덤 토폴로지를 생성하고 기존 방식과 비교 평가한다⁹⁾. 실험을 단순화하기 위하여 각 토폴로지마다 100개의 센서 노드를 생성하여 1000m×1000m 영역에 랜덤하게 배치하고 그 중 하나를 싱크 노드로 설정한다. 전송하는 브로드캐스팅 메시지는 매 1초마다 싱크노드에서 발생되며 응용 계층에서 요구 평균 수신율을 설정하여 망에 전송한다. 모든 센서 노드는 이동 특성이 없으며 250m 통신 반경을 갖고 500초 동안 실험을 수행한다.

성능 평가는 메시지의 평균 수신율 (average reception percentage), 평균 전달율 (average forwarding percentage), 그리고 전달효율 (forwarding efficiency)을 이용하여 다음과 같이 정의된다.

$$\begin{aligned}
 \text{평균 수신율} &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{\text{노드 } i \text{에서 수신한 메시지 수}}{\text{싱크노드에서 전송한 메시지 총 수}} \\
 \text{평균 전달율} &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{\text{노드 } i \text{에서 다시 전송한 메시지 수}}{\text{노드 } i \text{에서 수신한 메시지 총 수}} \\
 \text{전달 효율} &= \frac{\text{평균 전달율}}{\text{평균 수신율}}
 \end{aligned}$$

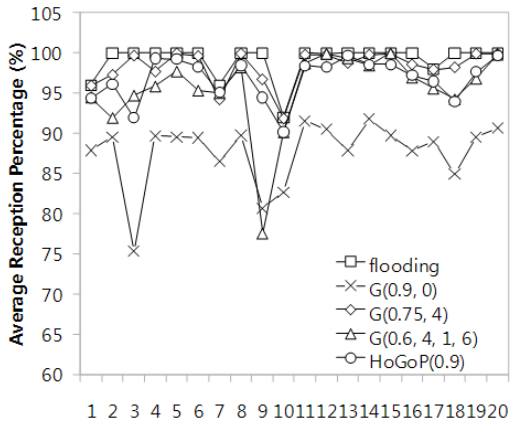
본 논문에서 제안된 HoGoP는 라우팅 프로토콜로서 데이터 계층인 MAC (Medium Access Control) 프로토콜에 의지하여 메시지를 전달한다. WSN을 위한 일반적인 MAC 프로토콜인 S-MAC과 T-MAC 같은 프로토콜을 사용해야 하지만 실험의 평가 대상이 라우팅 프로토콜이므로 사용한 시뮬레이션의 MAC 프로토콜은 CSMA/CA 기반의

802.11b이다. 따라서 제안된 HoGoP의 성능은 향후에 MAC 계층과의 연계를 고려하여 확장될 수 있다.

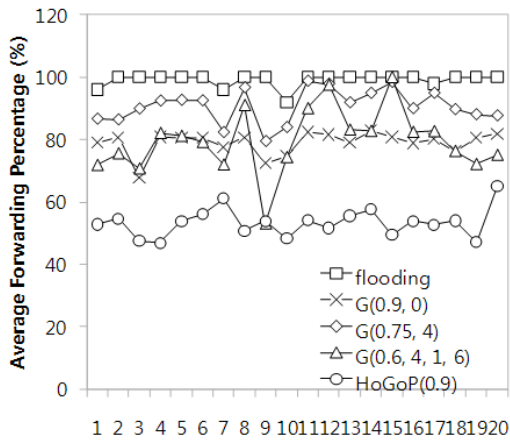
제안된 HoGoP의 성능을 평가하기 위하여 가장 단순한 플러딩 기법과 기존 확률적 접근 방법의 정적 가십 확률 방식과 동적 가십 확률 방식을 같이 비교한다. 정적 확률 방식으로는 $G(p_{gossip}, k)$ 를, 동적 가십 확률 방식에는 $G(p_{gossip}, k, 1, n)$ 을 사용한다. 제안된 방식은 스마트 가십 방식과는 다르게 홉 정보만을 이용하며 요구 가십 확률을 부모노드에게 전송할 때는 새로운 제어 메시지를 사용하지 않고 데이터 메시지를 같이 사용한다. 따라서 본 논문에서는 홉 정보만을 이용하는 가십 프로토콜로서 제안된 방식을 기존 방식과 비교하며 스마트 가십과의 상세한 비교는 향후 연구에서 진행한다.

그림 4는 20개의 WSN 랜덤 토폴로지에 대한 실험 결과이다. 그림 4(a)와 (b)는 각각 평균 수신율과 평균 전달율에 대한 비교로서 플러딩 기법에 의해서 메시지가 가장 잘 전달됨을 알 수 있다. 그 이유는 평균 전달율의 결과에서 알 수 있듯이 모든 메시지를 $p_{gossip} = 1$ 로 다시 전송하기 때문이다 (플러딩은 $G(1, 0)$ 과 같다). 그림에서 어떤 토폴로지의 경우에는 100%에 도달하지 못한 경우가 있는데, 이것은 싱크 노드가 있는 서브망의 무선 통신 범위에서 벗어난 센서 노드들이 있기 때문이다.

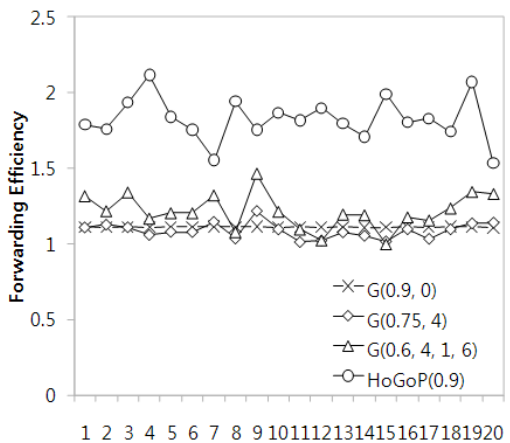
$G(0.9, 0)$ 는 90%이상의 평균 수신율을 얻기 위한 정적 가십 확률 기법으로서 망을 구성하는 모든 노드가 같은 가십 확률 ($p_{gossip} = 0.9$) 갖기 때문에 싱크노드로부터 멀리 떨어진 노드로 전달될수록 평균 수신율이 급격하게 감소되어 노드 전체적으로 성능이 낮고 평균 전달율은 플러딩에 비해 좋은 특성을 갖는다. 같은 정적 가십 확률 기법인 $G(0.75, 4)$ 은 낮은 평균 전달율을 갖고 플러딩의 평균 수신율(100%)에 근접시키기 위한 기법으로서 평균 수신율은 좋은 특성을 보인 반면, 평균 전달율은 $G(0.9, 0)$ 보다 높은 단점을 보인다. 제안된 방식에 대한 결과는 응용 계층에서 90%의 평균 수신율을 요구하도록 설정하여 메시지를 전달한 결과이다. 즉, $\tau_{arp} = 0.9$ 이며 각 노드는 τ_{real} 과 부모 노드의 개수에 의해서 p_{req} 를 결정한다. 따라서 거의 모든 랜덤 토폴로지에서 90%이상의 평균 수신율을 만족하며, 어떤 경우에는 플러딩과 유사한 성능을 보인다. 뿐만 아니라 WSN 망의 생존성과 관계되는 에너지의 손실을 줄이는 메시지의 재전송이 가장 낮음을 그림 4(b)를 통하여 알 수 있다. 따라서 그림



(a) 평균 수신율



(b) 평균 전달율



(c) 전달 효율

4(c)에 알 수 있듯이 플러딩 기법을 제외한 모든 노드에서 1 이상의 효율을 보이는데 그 중에서도 제안된 방식이 가장 높은 효율을 보임을 알 수 있다. 이것은 중간 노드에서 자식노드가 요구한 가십 확률 (p_{req})에 근거하여 불필요한 재전송을 최소화했기 때문이다.

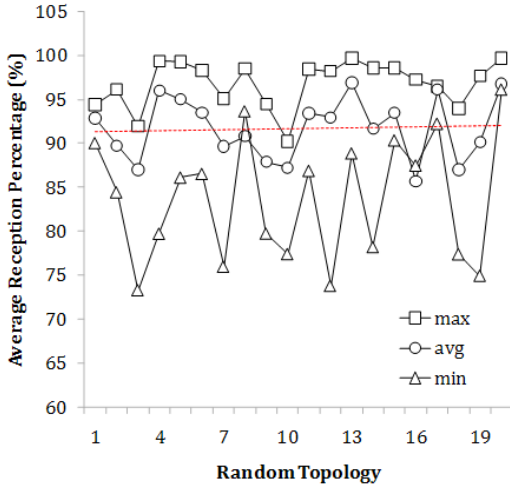
제안된 프로토콜은 자식노드가 요청하는 가십 확률 중에서 가장 큰 p_{req} 를 그 노드의 p_{gossip} 으로 설정한다. 하지만 지금까지 살펴본 결과를 볼 때 응용 계층에서 요구한 평균 수신율 90%을 넘는 결과가 거의 모든 랜덤 토폴로지에서 발생된다. 이것은 제안된 방식으로 결정된 가십 확률 p_{gossip} 이 다소 높다는 것을 의미한다. 즉, 아직도 메시지의 불필요한 중복 전송이 발생되고 있으며 이것은 WSN의 생존 시간을 줄이는 요인이 된다. 응용 계층에서 요구하는 평균 수신율에 맞는 최적의 가십 확률을 결정하는 문제는 다음 장에서 다시 논의하기로 하고 여기서는 자식 노드가 D 개 있는 노드 X 에 대하여 자식 노드들이 요청하는 p_{req} 을 세 가지 방식으로 계산하여 비교한다. 첫 번째는 $\max\{p_{req}^1, \dots, p_{req}^D\}$ 를 이용하는 최대값을 이용하는 방법이고, 두 번째는 $\min\{p_{req}^1, \dots, p_{req}^D\}$ 을 이용하는 최소값으로 가십 확률을 결정하는 방법이다. 마지막 방법은 $1/D(\sum_{m=1}^D p_{req}^m)$ 을 이용하여 평균값을 구하여 가십 확률로 사용하는 방법이다.

이와 같은 방법을 사용하는 이유는 그림 2(a)에서 알 수 있듯이 노드 E는 B, C 뿐만 아니라 D에 의존하여 메시지를 수신한다. 이때 D는 $p_{gossip} = 1$ 이기 때문에, E는 부모 노드인 B와 C가 전송하지 않더라도 D에 의해서 항상 메시지를 수신하게 된다. 즉, B와 C는 E가 요청한 가십 확률로 불필요한 메시지 전달을 하고 있다고 할 수 있다. 또한 망의 토폴로지에 따라서 형제 노드에 의한 메시지 전송이 가능하기 때문에 다양한 방법으로 HoGoP의 성능을 확인하고자 한다.

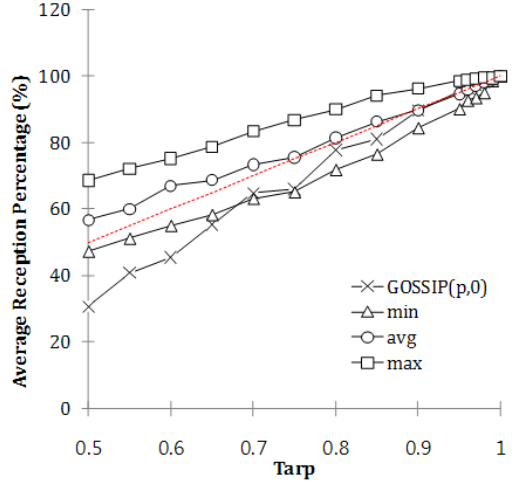
그림 5(a)는 랜덤 토폴로지에 대하여 세 가지 방식을 비교한다. 응용 계층에서 90%의 평균 수신율을 요청할 때에 최대값과 평균값은 비슷한 추세로 결과를 나타낸다. 반면에 최소값에 의한 방식은 요구 성능에 많이 미치지 못한다. 특히 평균값을 이용하는 경우에는 15개의 랜덤 토폴로지에서 90%의 평균 수신율을 만족한다.

그림 5(b), (c), 그리고 (d)는 두 번째 랜덤 토폴

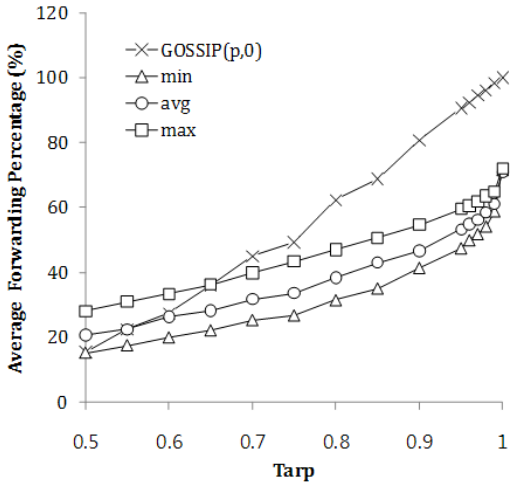
그림 4. WSN 랜덤 토폴로지에 대한 성능 비교



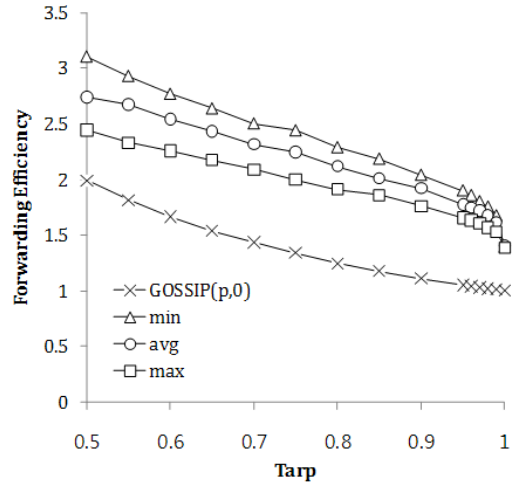
(a) 랜덤 WSN 토폴로지에 대한 평균 수신율



(b) τ_{arp} 에 따른 평균 수신율



(c) τ_{arp} 에 따른 평균 전달율



(d) τ_{arp} 에 따른 전달 효율

그림 5. p_{req} 의 최대, 최소, 평균에 따른 성능 비교

로지를 선택하여 정적 가십 방법인 $G(0.9,0)$ 와 HoGoP의 세 가지 방식과 비교한다. 응용 계층의 요구 평균 수신율 τ_{arp} 을 0.5에서 0.9999까지 변화시켜 결과를 확인하며 그래프에서 점선에 해당된다. 기존 방법인 $G(0.9,0)$ 는 요구 평균 수신율이 낮을 수록 성능이 매우 낮음을 알 수 있으며 그 값이 증가하면서 요구 평균 수신율에 근접한다. 하지만 평균 전달율과 효율의 성능이 급격하게 낮아지는 문제점을 갖는다. 자식 노드의 p_{req} 중에서 최대값을 사용하는 경우는 가장 높은 평균 수신율을 보이지만 평균 전달율이 높아서 전달 효율이 $G(0.9,0)$ 보

다는 높지만 다른 방식보다 상대적으로 낮다. 최소 값을 이용하는 경우에는 요구 평균 수신율을 충족하지 못하기 때문에 평균 전달율과 효율에 대한 좋은 특성은 의미가 없다. 반면에 평균값을 이용하는 경우에는 요구 평균 수신율에 근접한 성능을 보이며 평균 전달율과 전달 효율에서 좋은 결과를 보인다.

V. 토 론

제안된 가십 프로토콜은 기본적으로 홉 수가 하나 적은 자식 노드로부터 p_{req} 을 요청받고 그 중에

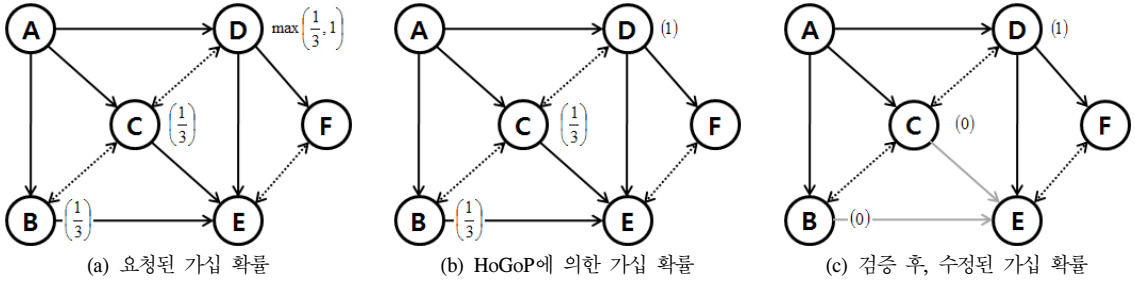


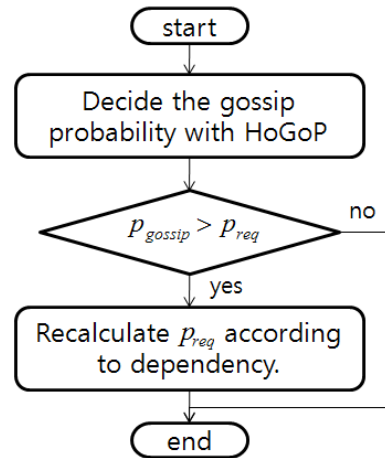
그림 6. 검증과정을 이용한 가십 확률 최적화

서 최대값을 노드의 가십 확률로 결정한다. 따라서 앞 장에서도 보았듯이 응용 계층에서 요구하는 평균 수신율보다 높은 성능을 보장받게 된다. 이것은 제안된 방식이 기존의 플러딩과 정적인 가십 확률에 비해서 높은 전달 효율을 나타내지만 아직도 불필요한 메시지 재전송이 발생되고 있음을 나타낸다. 이 장에서는 이러한 문제를 정의하고 개선할 수 있는 방안을 정리해 본다.

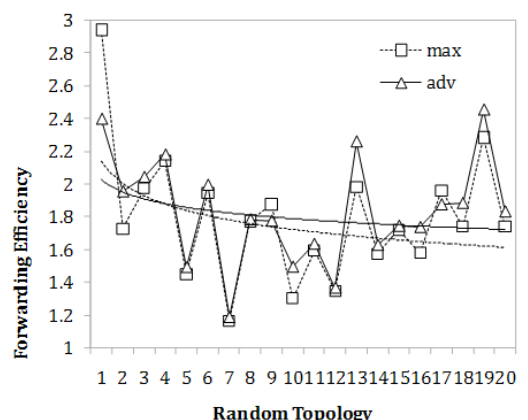
그림 6은 그림 2의 가상 무선 센서 망의 앞부분이다. 그림 6(a)는 자식 노드 E와 F로부터 p_{req} 를 1/3과 1로 요청 받은 경우로서 노드 B와 C는 1/3로, D는 1/3과 1을 요청 받는다. 그림 6(b)는 최대값으로 p_{gossip} 이 설정된 것을 나타내며, 그림 6(c)는 검증 후에 최종적으로 수정된 가십 확률을 나타낸다. 마지막 단계는 다음과 같이 정리할 수 있다. 이제 자식 노드 E는 결정된 가십 확률로 메시지를 B, C, D로 부터 수신하게 된다. 만일 부모 노드가 결정된 최종 가십 확률을 메시지 전달시 $M_{(i,p_{gossip})}$ 가 이 전송한다면 노드 E는 자신이 요청한 가십 확률과 비교할 수 있다. 처음에 노드 E가 세 개의 부모 노드 (B, C, D)에 대하여 $p_{req} = 1/3$ 로 요청한 경우라면, 노드 D가 보낸 $p_{gossip} = 1$ 에 의해서 이제 부모 노드 D는 $M_{(i,1/3)}$ 이 아닌 $M_{(i,1)}$ 의 가십 확률 1로 메시지를 전송하고 있음을 알게 된다. 결과적으로 노드 E는 부모 노드 B와 C에 대하여 새로운 가십 확률을 요청할 수 있다. 본 예시의 경우에는 노드 D가 항상 메시지를 재전송해 주기 때문에 나머지 부모 노드인 B와 C는 메시지를 다시 전송할 필요가 없고 최종적으로 $p_{req} = 0$ 이 된다.

가십 확률 검증 방법은 제한적인 망 토폴로지에서 만 새로운 가십 확률을 결정하는데, 그림 6의 노드 B와 C가 노드 E외에 다른 자식 노드가 있는 경우에는 적용하지 않는다. 따라서 WSN 망의 토폴로지에 따라서 이것이 가능한 경우가 많이 발생되지

는 않는다. 그림 7에 새로운 p_{req} 를 계산하기 위한 방법과 제시된 검증 방법 (adv)에 의한 전달 효율을 비교한다. 향후 최적의 가십 확률 결정 및 검증 방법에 대한 추가적인 연구가 요구된다.



(a) 가십 확률 검증 방법



(b) 전달 효율 비교

그림 7. 검증 방법과 비교 평가

VI. 결 론

본 논문에서는 WSN에서 브로드캐스팅 메시지 서비스를 제공하기 위한 동적 가십 확률 프로토콜인 HoGoP를 제시한다. 제시된 기법은 싱크 노드로부터 각 노드까지의 홉 정보만을 이용하여 각 노드의 부모, 형제, 그리고 자식 노드의 개수를 결정한다. 또한 결정된 부모 노드의 개수를 통하여 각 노드의 가십 확률을 결정한다. 이를 통하여 응용 계층에서 요구하는 평균 수신율을 만족하며 메시지를 모든 노드에 전송할 뿐만 아니라 플러딩 방식과 같은 불필요한 메시지 재전송을 줄일 수 있다. 따라서 임의의 랜덤 토폴로지를 갖는 망에서도 정적인 방법 아닌 동적인 방법으로 노드간의 의존 관계를 이용하여 적합한 가십 확률을 결정할 수 있다. 마지막으로 다양한 요구 평균 수신율을 주어 가십 확률을 최대값, 최소값, 그리고 평균값으로 결정하여 분석하였으며 이를 통하여 최적의 가십 확률 결정을 위한 향후 연구의 기본 자료를 제공한다.

참 고 문 헌

- [1] S.-Y. Ni, Y.-C. Tseng, Y.-S. Chen, and J.-P. Sheu, "The broadcast storm problem in a mobile ad hoc network," in *Mobicom*, 1999.
- [2] I. Stojmenovic, M. Seddigh, and J. Zunic, "Dominating sets and neighbor elimination based broadcasting algorithms in wireless networks," in *HICSS*, 2001.
- [3] A. Qayyum, L. Viennot, and A. Laouiti, "Multipoint relaying for flooding broadcast messages in mobile wireless networks," in *HICSS*, 2002.
- [4] R. Chandra, V. Ramasubramanian, and K. P. Birman, "Anonymous Gossip: Improving Multicast Reliability in Mobile Ad-Hoc

Networks," in *ICDCS*, 2001.

- [5] Zygmunt J. Haas, Joseph Y. Halpern, and Li Li, "Gossip-Based Ad Hoc Routing," in *Infocom*, 2002.
- [6] Philip Levis, Neil Patel, David Culler, and Scott Shenker, "Trickle: A Self-Regulating Algorithm for Code Propagation and Maintenance in Wireless Sensor Networks," in *Symposium on Network System Design and Implementation (NSDI 04)*, 2004.
- [7] P. Kyasanur, R. R. Choudhury, and I. Gupta, "Smart Gossip: An Adaptive Gossip-based Broadcasting Service for Sensor Networks," in *Mobile Adhoc and Sensor Systems (MASS), IEEE International Conference*, 2006, pp. 91-100.
- [8] B Bako, F. Kargl, E. Schoch, M. Weber, "Advanced Adaptive Gossiping Using 2-Hop Neighborhood Information," *GLOBECOM 2008 proceedings*,
- [9] ns-2 simulator - The Network Simulator. <http://www.isi.edu/nsnam/ns/ns-build.html>.

소 원 호 (Wonho So)

종신회원



한국통신학회 논문지 제25권
1A호 참조
현재 순천대학교 컴퓨터교육과
부교수
<관심분야> 무선 및 광통신망
MAC 프로토콜, 라우팅 프
로토콜 설계, QoS 및 트래
픽 제어, 임베디드시스템 기
반 교육