

# 무선 센서네트워크를 위한 이중 계층 진화적 매체접근제어 프로토콜 설계

준회원 김 일 환\*, 장 기 석\*, 종신회원 강 충 구\*

## HiPERMAC: Hierarchically-Paired Evolutionary Radio MAC Protocol for Wireless Sensor Network

Il Whan Kim\*, Ki-Seok Chang\* *Associate Members*,  
Chung Gu Kang\*\* *Lifelong Member*

### 요 약

본 논문에서는 무선 센서 네트워크의 다양한 응용 환경 및 상/하향 트래픽 스트림의 특성에 따라 유연하게 적용할 수 있는 새로운 매체접근제어 프로토콜을 제안한다. HiPERMAC(Hierarchically-Paired Evolutionary Radio MAC)이라고 불리는 제안 매체접근제어방식은 다양한 클러스터링 방식에 의하여 구축된 다 계층(Hierarchical) 네트워크에서 별도의 대역 확산 전송방식이나 다수의 주파수 채널을 사용하지 않고, 단 2개의 시간 구간을 공간적으로 재활용하여 N 계층의 개별적인 통신이 가능한 구조를 제공한다. 즉, 제안방식은 단일 주파수 채널을 이용하여 계층화된 무선 센서 네트워크를 계층적 이중화(Hierarchically-Paired)하고, 이때 발생하는 클러스터 간 상호 간섭의 요인들을 시간 및 공간적으로 분리하여 망 확장성과 자원 효율성을 극대화 하는 새로운 매체접근 제어 방식이다.

**Key Words** : Sensor network , MAC protocol , Cross layer design

### I. 서 론

무선 센서 망(Wireless Sensor Network: WSN)은 원격 감지 시스템, 원격 진료 및 무인 탐사 등 다양한 응용을 위하여 특정 영역에서 발생하는 정보를 감지하여 수집하고, 이 정보를 무선 통신 기법을 통하여 사용자에게 전달하기 위하여 설계된 무선 네트워크이다<sup>[1]</sup>. 따라서 WSN은 분산된 영역에 걸쳐 각종 데이터를 측정하고 이를 전송하는 감지 노드 (Sensor Node: SN)와, 각 센서 노드에서 전달 받은 데이터를 기록 및 유지하고 특정 정보를 원하는 사용자에게 전달하는 기능을 담당하는 센서 네트워크 기지국 (Base Station: BS)으로 구성된다. 한편 WSN은 센싱의 정확도와 감지 영역의 확장을

위해 대규모의 센서 노드들로 구성되는 것이 일반적이다. 따라서 대규모 네트워킹 환경에서 동적인 상황 변화에 적응할 수 있는 자가 구성 능력 및 노드들간의 상호 협력적인 정보 전달 체계가 요구된다. 또한 다양한 종류의 센서들에 의해 탐지된 정보를 BS로 전달하기 위한 무선 네트워킹 기술을 통해 응용 형태에 따라 전달 지연시간을 보장할 수 있어야 하며, 또한 배터리에 의해 동작하는 센서 노드의 수명을 유지하기 위한 전력 효율성이 확보되어야 한다. 따라서, WSN은 망 확장 능력 및 에너지 효율성이 극대화된 다중 홉의 애드혹 망(ad-hoc network)의 구체화된 형태로 볼 수 있다<sup>[2]</sup>. 다중 홉 애드혹 망은 크게 평면구조 망과 계층구조 망으로 구분되며, 일반적으로 계층구조 망은 무선 센서 네트

\* 본 연구는 삼성종합기술원과 한국과학재단 특정기초연구(과제번호: R01-2003-000-10155-0(2004)) 지원으로 수행되었습니다.

\*\* 본 논문은 JCCI 2006 우수논문으로 선정되었습니다.

\* 고려대학교 전자공학과 무선정보시스템공학 연구실 (atc01037@korea.ac.kr)

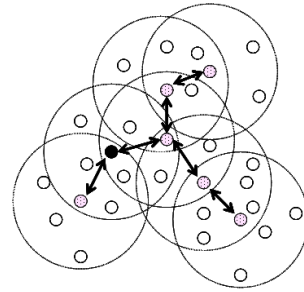
논문번호 : KICS2006-06-254, 접수일자 : 2006년 6월 12일, 최종논문접수일자 : 2006년 6월 30일

워크 대역 및 전력 효율성이 평면 구조 망보다 뛰어난 것으로 알려져 있다. 계층구조 망에서는 클러스터링 (Clustering)을 통하여 클러스터를 대표하는 Cluster Header (CH)가 선출되며, 선출된 CH는 클러스터 내의 일반 SN을 관리하는 주체가 된다. 또한 CH는 TDMA (Time Division Multiple Access) 방식에 입각한 자원 관리의 주체 역할을 겸한다. 따라서 계층구조 망에서는 모든 데이터들이 CH에 집중되므로, CH들이 데이터 축약 (Data Aggregation)을 용이하게 수행 할 뿐만 아니라, 중앙 집중 방식의 스케줄링 및 수면 주기의 제어방식 등을 통해 전력 및 대역 효율성을 극대화할 수 있다. 그러나, 계층구조 망에서는 클러스터간의 상호 간섭 문제가 필수적으로 대두된다. 이 문제는 다수의 시분할 구조 혹은 주파수 및 코드 자원을 클러스터 별로 사용하는 것이 일반적인 해법이며, 현존하는 IEEE 802.15 표준 계열은 시분할 구조를 채택하고 있다. 본 논문에서는 단일의 주파수 채널만을 가지고도 무선 센서 네트워크의 구성을 계층화 하여 망의 확장 능력을 극대화 하는 동시에, 기존 계층구조 망구조가 갖는 전력 및 대역 효율성을 그대로 유지할 수 있도록 시스템 교차설계 (Cross layer) 최적화 관점에서 설계된 새로운 매체 접근 방식을 제안한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 WSN 설계 요구사항을 분석한다. 3절에서 제안하는 매체접근 제어 프로토콜에 대해서 기술하고, 4절에서 제안된 프로토콜에 대한 성능 분석 결과를 제시한다. 마지막으로, 5절에서 본 논문의 결론 및 향후 연구 방향을 기술한다.

## II. 네트워크 모델 및 매체접근 제어 방식 설계 원칙

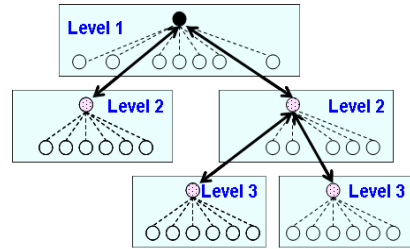
### 2.1 네트워크 모델

그림 1은 전형적인 다 계층 구조 망에 관한 예를 도식화 한 그림이다. 대규모 계층구조 WSN에서는 그림 1-(a)와 같이 다수개의 클러스터가 형성되며, 현존하는 기술들은 다수개의 클러스터들에게 개별적인 코드 및 주파수를 할당하여 클러스터간 간섭문제를 해결하고 있다. 전술한 해법을 사용할 경우 모든 SN들은 클러스터간 (Inter -Cluster) 통신을 위하여 두 개 이상의 주파수 및 코드를 동시에 지원할 수 있는 모델이 반드시 요구된다. 하지만 이중모드를 지원하는 모델의 구현은 개별 SN의 단가를 증가시키므로, 대규모 WSN에 적합하지 않다. 본 논문에서는 모든 클러스터의 통신을 단일 채널을 통



● Base Station  
 ⊙ Cluster Head  
 ○ Ordinary node

(a) 다 계층 경로



● Base Station  
 ⊙ Cluster Head  
 ○ Ordinary node

(b) 다 계층 논리구조

그림 1. 다 계층 네트워크 참조모델

하여 지원하는 것을 원칙으로 한다. 단일 채널상에서 운용되는 계층구조 네트워크를 고려하기 위하여 본 논문에서는 그림 2-(a), (b)와 같이 CH들이 서로 두 홉 떨어져 있는 네트워크 구조를 고려한다. 제안 매체접근 제어 방식에서는 그림2-(c) 및 2-(d)와 같이 클러스터 내부 (Intra Cluster) 통신에서는 동적 TDMA 방식을 매체접근 제어 방식을 따르며, Inter Cluster 통신에서는 CSMA-CA 방식을 따른다. 자세한 액세스 절차는 3절에서 소개한다.

제안 네트워크 모델을 설명하기 위하여 그림 2-(a)와 같이 클러스터링이 종료된 네트워크를 가정하자. 모든 SN들은 CH, Gateway (GW), 그리고 2가지 타입의 일반 SN으로 구분된다. CH는 특정 클러스터 내부의 모든 SN의 주소 정보를 관장하고 해당 계층을 대표하는 개체이다. Type-1 은 두 개 이상의 CH로부터 신호를 동시에 수신할 수 있는 노드이며, 이중 CH간의 통신을 연결하기 위하여 추가적인 역할을 담당하도록 선출된 노드를 GW로 선출된다. 마지막으로 Type-2은 단일 CH로부터 신호를 수신할 수 있는 개체이다. 제안 구조에서는 그림 2-(c) 및 2-(d)에서 알 수 있듯이, Type-1, Type-2

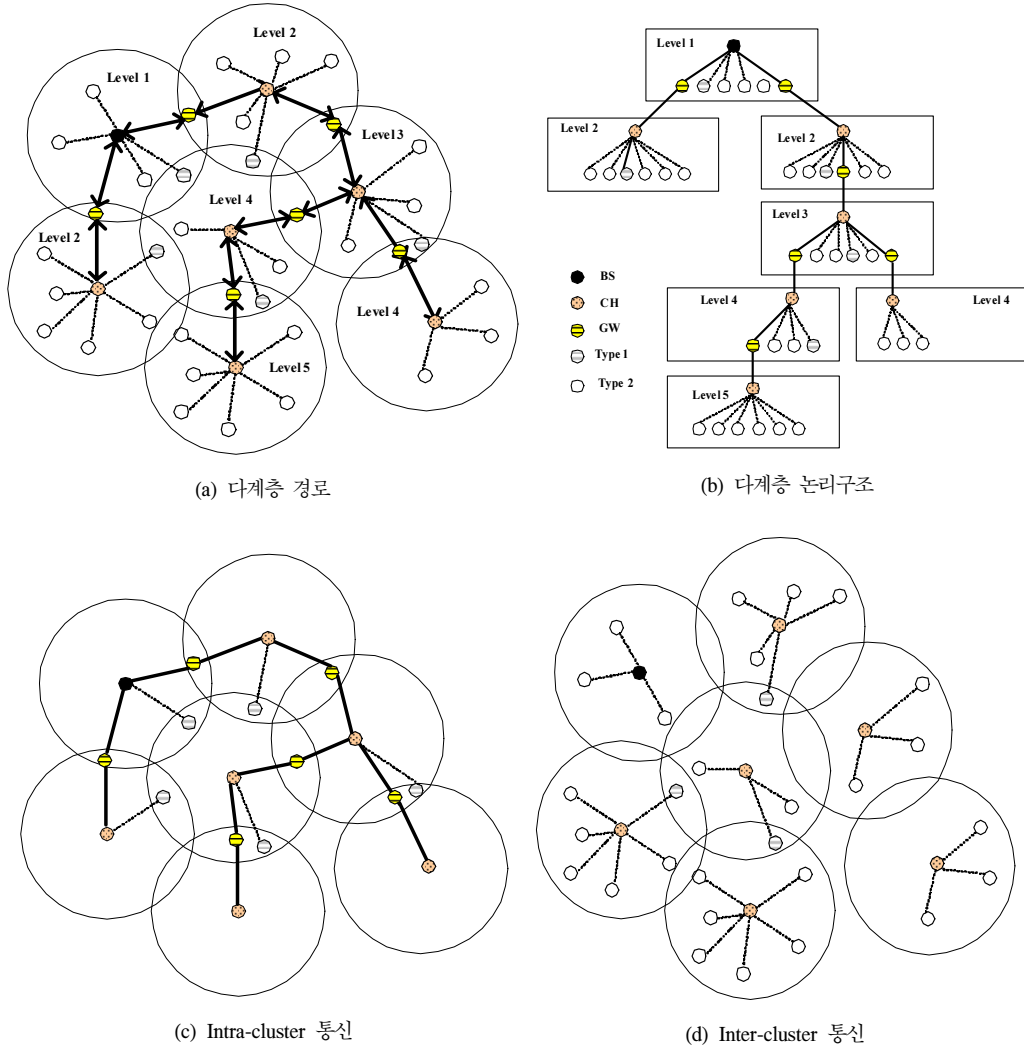


그림 2. 제안 기법을 위한 다 계층 네트워크 참조모델

노드들은 단순히 자신이 소속된 클러스터의 CH와 통신을 수행하므로, BS로 향하는 어떠한 경로에도 참여하지 않는다. 반면 CH는 BS와 각 계층간의 통신을 위한 경로상에서 각 계층 별 거점 노드 역할을 수행하며, GW들은 각 거점들을 서로 연결하는 기능을 수행한다

### 2.2 매체접근 제어방식 설계 원칙

Intra cluster 통신은 CH와 Type-2 노드간의 통신이다. 그림 2-(c)에 예시되었듯이 클러스터링에 의하여 Type-2 노드와 CH간의 통신은 이웃 클러스터와 공간적으로 완전히 분리되어 있다. 따라서 모든 클러스터들은 단일 주파수를 이용하여 클러스터간

상호 간섭 없이 intra cluster 통신을 구성할 수 있다. Inter cluster 통신은 CH와 GW 및 Type-1 노드간의 통신이다. 그림 2-(d)에 예시되었듯이, Inter cluster 통신은 모든SN들이 수집한 데이터를BS로 전달하는 백본 (backbone)망 기능을 담당하므로, 계층의 수에 관계없이 빠른 속도의 정보 전송이 요구되며, 상대적으로 소수의 통신 주체가 참여하는 특징을 갖는다.

Intra cluster 통신에서는 클러스터 간의 간섭 현상이 완전히 공간적으로 배제되어 있으므로, 에너지 효율성을 극대화 하는 설계가 요구되며 따라서 CH가 프레임을 관장하는 TDMA 구조가 적당하다. 반면 Inter cluster 통신에서는 물리적 및 논리적으로

망을 대표할만한 개체를 선출하기 어렵다. 또한 노드의 배치 특성상 은닉 단말 문제가 발생함으로, RTS/CTS 교환 및 CSMA-CA를 통하여 인닉 단말 현상의 해결은 물론 고속의 통신을 다 계층에서 지원 하는 것이 바람직하다.

부과적으로 제안 구조상에서 에너지 및 대역 효율성을 최대화 하기 위해서는 경쟁방식의 매체 접근 제어방식에 참여하는 통신 개체인 CH, GW 및 Type-1노드의 수를 최소화 하는것이 중요하다. 본 논문에서는, 해당 이슈는 클러스터링 기법의 설계를 통해서 해결되며, [6], [11]에서 제시된 클러스터링 방식은 제반문제와 관련된 대표적인 클러스터링 기법이다.

### III. HiPERMAC

#### 3.1 HiPERMAC 의 개요

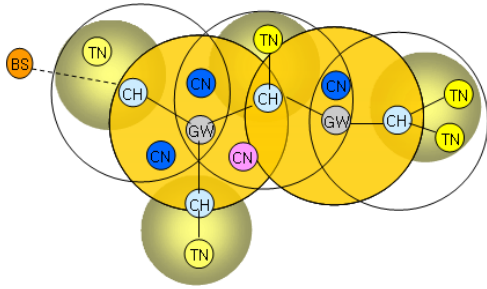
HiPERMAC(Hierarchically-Paired Evolutionary Radio MAC)은 Intra cluster 통신에서는 CH가 관장하는 TDMA를 Inter cluster 통신에서는 RTS/CTS 교환을 추가한 CSMA-CA를 시간 축에서 교대로 운용하는 기법이다. 클러스터링 과정에서 정의된 Type-1 및 Type-2 노드는 각각 CSMA-CA 및 TDMA 방식에 의하여 통신이 이루어지므로 HiPERMAC 프로토콜에서는 편의상 이들을 각각 CSMA 노드(CN) 및 TDMA 노드(TN)라고 재 정의한다. 그림 3은 HiPERMAC의 개념적 이해를 위하여 도식된 그림이다. 클러스터링 과정을 통하여 망 내의 각 노드들은 그림 3-(a)과 같이 물리적 공간에서 논리적으로 분화된 다 계층클러스터 구조를 형성한다. 각 클러스터는 그림 3-(b)과 같이, Intra-cluster 통신을 수행하는 CH와 TN 노드로 구성되는 1 부 계층과 Inter-cluster 통신을 수행하는 CH, GW 및 CN 노드로 구성되는 2 부계층으로 논리적으로 재 구분될 수 있다. 각 레벨의 1 부 계층은 그림2에서 상술하였듯이 상호 간섭없이 독립적으로 intra-cluster 통신이 동시에 수행될 수 있다. 각 레벨의 2 부 계층에서는 CSMA/CA 방식으로 Inter-cluster 통신이 동시에 수행되며, 이때 클러스터간의 통신 경로는 사전에 정해진 경로를 따른다. 요약하면 HiPERMAC은 각 클러스터에서 개별적으로 정의된 동일 부 계층들이 동시에 CSMA-CA 및 TDMA 방식에 의하여 순차적으로 통신하는 이중화 계층(Hierarchically Paired) 구조 형태를 따른다. 한편 2 부 계층의 통신은 단일 시간에 망 전체에서 CSMA-CA 방식을 통하여 운

용되므로, 트래픽이 발생이 빈번한 경우, 망의 효율성이 떨어질 수 있다. 이 경우 2 부 계층은 그림 3-(c)와 같이 부 계층들을 다수개의 네트워크 상황에 다시 묶어서 CSMA-CA 구간을 차별적으로 운용하는 진화과정 (Evolutionary process) 통하여 해당 계층의 트래픽을 분화 시킬 수 있다.

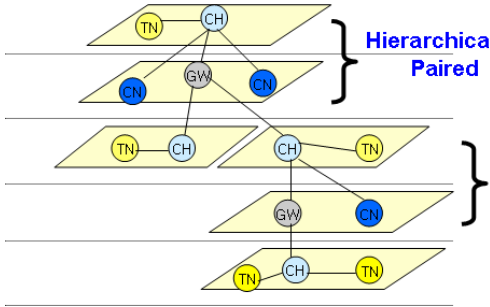
#### 3.2 Frame 구조

HiPERMAC는 그림 4와 같은 intra-cluster 및 inter-cluster 통신을 위한 2개의 구간으로 시분할되는 프레임 구조를 갖는다. 각 프레임은 데이터 전송 구간(Data Transmission Period: DTP)과 데이터 중계 구간(Data Relay Period: DRP)으로 이분화 된다. DTP 구간은(Beacon Transmission Period: BTP)와 (TDMA Period: TP)로 BRP구간은 (Beacon Relay Period: BRP) 및 CSMA-CA Period: CP) 구간으로 구분된다. BTP는 하향 스트림 데이터(예를 들어, query 메시지) 및 비콘을 전송하는 구간이며, TP는 TN들이 CH에게 데이터를 전송하기 위한 구간이다. BRP는 비콘을 하위 계층으로 전달하기 위한 구간이며, CP는 CH, GW 및 CN이 경로상에서 상위 CH에게 데이터를 전송하기 위한구간이다.

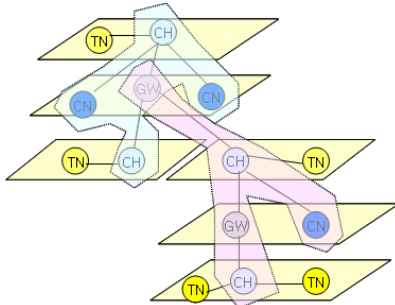
비콘은 BS가 주기적으로 생성하며, WSN 모든 노드들에게 전달된다. CH 및 GW들은 자신의 상위 계층에서 수신한 Beacon을 각각 시분할 된 BTP 및 BRP 구간에서 방송하며, 각 CH 및 GW가 점유하는 슬롯은 사전에 결정되어 있다. 본 논문에서는 비콘 전송관련 슬롯 할당문제는 [8]에 기술된 절차에 따른다. TN 는 BTP에서 하향 스트림을 데이터를 수신하고, TP중 자신에게 할당된 시간 슬롯을 통해 데이터 전송을 수행하고, 그 외의 모든 구간에서는 수면 상태로 전환한다. CN 역시 BRP에서 데이터를 수신하고, 자신이 데이터를 보낼 필요가 있을 때 CP중 일부 구간에서 활성 (active) 상태를 유지하며, 그 외의 경우에는 모두 수면 (sleep) 상태를 유지한다. 한편 CH 및 GW들은 TN 및 CN에 비해 상대적으로 활성상태를 유지하는 기간이 길며, 특히 CH는 프레임의 모든 구간에 걸쳐 항상 활성 상태를 유지해야 한다. Inactive 구간은 WSN의 모든 노드들이 sleep 모드로 천이하는 구간이며, 각각 TP 및 CP 구간에서 개별적인 길이를 갖는다. CH가 생성하는 Beacon 메시지는 매 프레임마다 Inactive 길이가 명시되며, 망 내의 TN, GW 및 CN들에게 전달된다. 이때 Inactive 구간 길이는 네트워크의 트래픽 발생을 혹은 노드 분포에 의하여 결정되며, 각 계층



(a) Simple network example



(b) Hierarchically-paired 구조



(c) Evolutionary 과정

그림 3. HiPERMAC의 기본 원리

별로 불 균일한 네트워크 특성을 충실히 반영하기 위하여 CH들은 서로 다른 Inactive 주기를 독립적으로 정의한다.

### 3.3 채널 액세스 과정

CH는 BS로부터 전달되는 데이터 요청 메시지 및 TDMA 슬롯 할당 정보를 비콘을 통하여 전달한다. TN들은 BTP에서 전송되는 슬롯 할당 정보를 확인한 후, 자신에게 할당된 시간 슬롯에서 데이터를 전송한다. 만일에 보낼 데이터가 없거나 또는 시간 슬롯을 할당 받지 못한 경우에는 수면 상태로 천이한다. DRP에서는 CSMA-CA 방식으로 동작하므로, 반송파 센싱 과정에서 필요한 백오프 시간을 설정해야 한다. 채널 액세스 과정은 IEEE 802.11의 DCF 표준 규격을 그대로 따르며, RTS/CTS 패킷 교환을 옵션으로 채택한다.

## IV. 성능분석

HiPERMAC 프로토콜의 성능을 평가하기 위하여 1,000개의 센서 노드들을 50m x 50m 크기의 영역에 임의로 배치된 네트워크를 가정한다. 각 노드는 336 비트 크기의 데이터 패킷을 Poisson 분포에 따라서 발생하며, 100 kbps의 전송률을 가정한다. HiPERMAC의 성능을 비교하기 위하여 단일 주파수 채널을 전제로 설계된 센서 네트워크로서 S-MAC<sup>[7]</sup>의 성능을 함께 살펴본다. 두 프로토콜 모두 NND 알고리즘에 의해 설정된 경로를 적용한다. HiPERMAC 및 S-MAC에 대해 모두 160ms의 프레임 길이를 가정하고, BTP 및 BRP를 각각 12.8ms로 설정한다. 그리고 S-MAC의 SYNC구간을 25.6ms으로 설정하고, 잉여구간을 3.36ms으로 정의된 40개의 슬롯으로 구분하였다. 이 40개의 슬롯을 S-MAC에서는 LISTEN과 SLEEP 구간으로 분할하였고, HiPERMAC에서는 CP와 TP로 각각 분할하였다. 이때 S-MAC의 LISTEN 구간과 HiPERMAC의 CP 길이를 동일하도록 설정하였다. 마지막으로 HiPERMAC에서는 각 CH가 데이터 축약과정(data aggregation)을 수행하며, 축약 주기는 한 프레임으로 가정하였다.

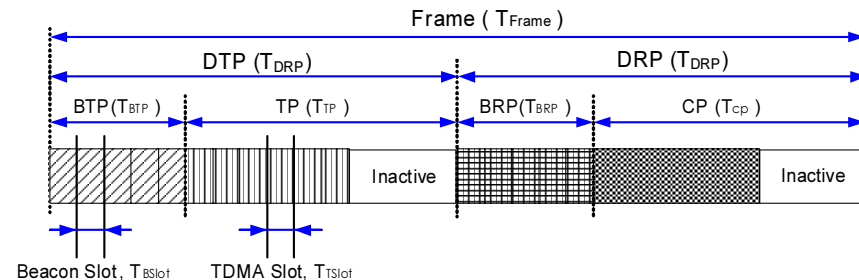


그림 4. HiPERMAC의 프레임 구조

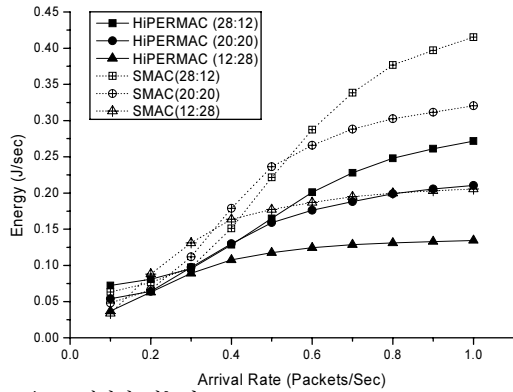


그림 5. 에너지 성능비교: HiPERMAC vs. S-MAC

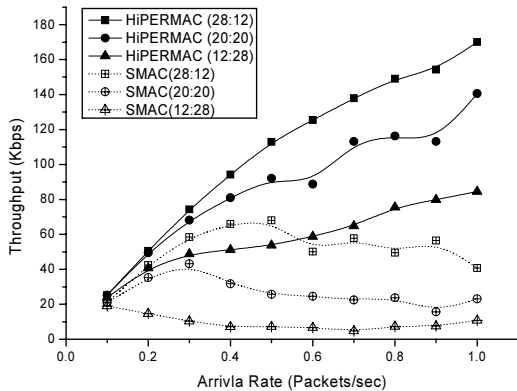
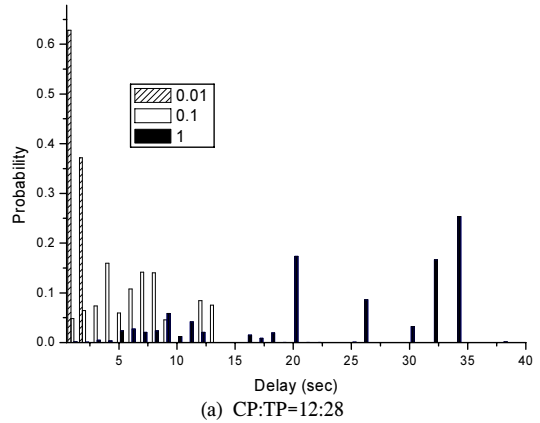


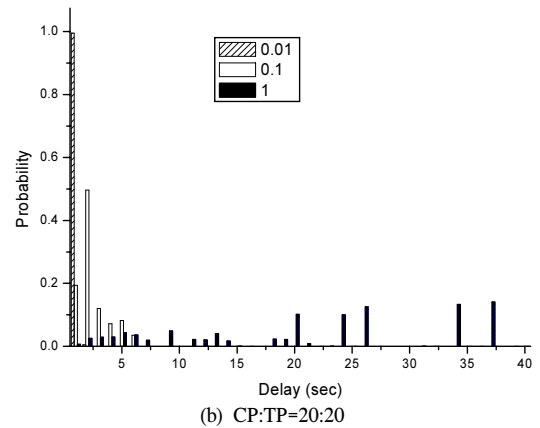
그림 6. 수율 성능 비교: HiPERMAC vs. S-MAC

먼저 그림 5는 S-MAC과 HiPERMAC이 트래픽 부하의 변동 및 CP:TP (LISTEN:SLEEP)의 비율 변동에 대한 에너지 소모량 변화를 도식화 한 그림이다. HiPERMAC 및 S-MAC은 각각 CP 및 LISTEN 구간이 길어짐에 따라서 모두 에너지 소모량이 증가하는 형태를 확인할 수 있었다. 반면 S-MAC은 트래픽 부하가 커짐에 따라서 활성 상태에 존재하는 노드의 수가 증가하고 빈번한 데이터 충돌 현상으로 인하여 에너지 소모량이 증가한다. 반면, HiPERMAC은 CSMA-CA 통신에 참여하는 노드의 수가 줄어들 뿐만 아니라, TP 구간의 TDMA 프레임 운용으로 인하여 S-MAC에 비해 에너지 효율성이 최대 38%까지 증대됨을 확인할 수 있었다.

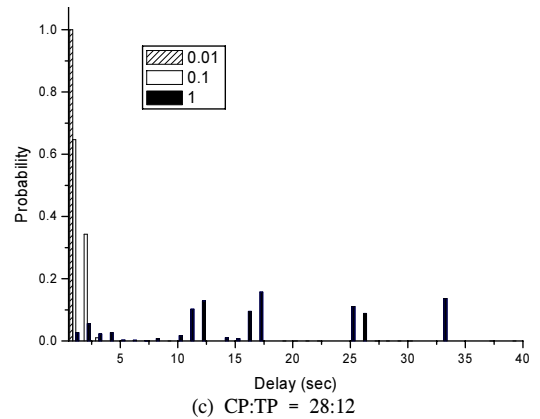
그림 6은 트래픽 부하에 따라서 BS까지 도달한 데이터의 평균 수율 변화를 관찰한 것이다. 평균 패킷 도착률이 약 0.2 packet/sec 이상일 경우, 빈번한 충돌현상 및 재전송 현상으로 인하여 S-MAC의 수율이 감소하는 것을 알 수 있다. 반면 HiPERMAC의 경우, CP 구간에 참가하는 통신의 개체 수가



(a) CP:TP=12:28



(b) CP:TP=20:20



(c) CP:TP = 28:12

그림 7. HiPERMAC 프로토콜의 지연 시간 분포

S-MAC에 비해 매우 적기 때문에 수율이 최대 400%까지 향상되는 것을 확인할 수 있다. 참고로, HiPERMAC에서는 CP가 증가하면서 수율 성능이 증대되는 것을 확인할 수 있다. 이는 결국 inter-cluster 통신이 HiPERMAC의 수율 성능에 주로 영향을 미치는 것을 의미한다.

그림 7은 HiPERMAC에서 각각CP:TP 비율이 각각 28:12, 20:20, 12:28일 때 BS에 도착한 데이터 패킷의 지연시간 분포를 보인 것이다. 세 가지 경우에 공통적으로 트래픽 부하가 0.01일 경우 소량의 패킷들이 매우 짧은 시간에 BS에 도착한 것을 확인할 수 있다. 트래픽 부하가 1일 경우 BS에 도달한 다수 패킷들의 지연시간이 증가한 것을 알 수 있으며, 이는 CP 구간에서의 수율 성능 저하를 의미한다. 반면 트래픽 부하가 큼에도 불구하고 상대적으로 적은 지연 시간을 갖는 데이터 패킷들이 상당수 BS에 수집된 것을 확인할 수 있다. 이와 같은 현상은 BS 원 홉 주변에 존재하는 TN들로부터 수집한 데이터의 영향으로서, 그림 5 에서 트래픽 부하가 큰 상황에서도 HiPERMAC의 수율 성능이 향상되는 이유를 반증해 준다. 즉, HiPERMAC은 주어진 트래픽 부하에 대해 지연 및 에너지 효율성의 요구사항에 따라서 TP:CP 구간의 비율 제어함으로써 성능을 최적화할 수 있는 일반적인 구조를 제공한다.

## V. 결론

WSN에서는 트래픽 특성과 네트워크 수명을 극대화하기 위한 전력 요구사항을 만족하기 위해 계층구조 망에 적합하며, 본 논문에서는 다 계층 구조에 최적화된 매체접근제어 방식을 제안하였다. 제안된 기법은 WSN의 다양한 응용 환경과 품질 요구사항에 따라 유연하게 적용할 수 있는 계층간 상호 최적화를 고려한 통합 기반의 프로토콜이다.

IEEE 802.15 계열 WPAN 표준 기술 및 각종 무선 센서 네트워크에서 고려된 기존 기술들은 특정 환경 및 응용 서비스에 따라 개별적으로 최적화된 반면, HiPERMAC은 어떠한 환경과 응용 서비스에 대해서도 자원의 효율성을 최적화할 수 있는 통합적인 구조를 제공함으로써 하나의 표준 규격으로 기존 서비스를 수용할 수 있을 뿐만 아니라 기존 표준 기술들이 제공할 수 없는 광범위한 환경에서 적용 가능한 표준으로서의 후보 기술이 될 수 있다.

## 참 고 문 헌

[1] 서창수, 고영배 “유비쿼터스 센서 네트워크를 위한 에너지 효율적 MAC 프로토콜” *Telecommunication review* 15권 2호 pp. 323~336, 2005.

[2] C. Intanagonwuiwat, R. Govindan, and D. Estrin, “Directed diffusion: A scalable and robust communication paradigm for sensor network,” In *Proceedings of the MobiCOM 00*, August 2000.

[3] LAN/MAN Standards Committee for the IEEE Computer Society, *Draft Standard for Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications for Low Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPAN)*, Draft P802.15.4/D18, February 2003.

[4] A. Manjeshwar and D.P. Agrawal, “APTEEN: a hybrid protocol for efficient routing and comprehensive information retrieval in wireless sensor networks” *Parallel and Distributed Processing Symposium.*, *Proceedings International, IPDPS 2002*, Abstracts and CD-ROM” pp.195~202, April 2002.

[5] A. Woo and D. Culler, “A Transmission Control Scheme for Media Access in Sensor Networks,” *Proc. ACM MobiCom '01, Rome, Italy*, pp.221-235, July 2001.

[6] J.Y. Choi., C.G. Kang, and Y.S. Kim., “Neighbor Node Discovery Algorithm for Energy-Efficient Clustering in Ubiquitous Sensor Networks.” *Lecture Note on Computer Science*, Sep. 2005.

[7] Y. Wei, J. Heidemann, and D. Estrin, “An energy-efficient MAC protocol for wireless sensor networks” *Proc. IEEE INFOCOM. Vol 3*, pp:1567~1576, June, 2002.

[8] 김근현, 김일환, 김용석, 강충구 “계층화된 센서 네트워크에서의 분산적인 비콘 스케줄링,” *Proc JCCI 2006* vol. pp.75 April 2006.

[9] LAN/MAN Standards Committee for the IEEE Computer Society, *Draft Standard for Part 15.4: Wireless Medium Access Specifications for Low Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPAN)*, P802.15.4-REVb/D1, January-2005.

[10] ZigBee Alliance, *Network Layer Specification 1.0*, Dec. 2004. <http://www.zigbee.org>

[11] B, Deb, S, Bhatnagar, and B. Nath: *A Topology Discovery Algorithm for Sensor*

Networks with Applications to Network Management. Technical Report DCS-TR-441, Department of Computer Science, Rutgers University (2001).

김 일 환 (Il Whan Kim)

준회원



2002년 2월 고려대학교 전파공학과 졸업

2003년 2월 고려대학교 전파공학과 석사

2006년 5월~현재 고려대학교 전파공학과 박사과정

<관심분야> MAC, RRM, 차세대 무선통신 기술

대 무선통신 기술

장 기 석 (Ki-Seok Chang)

준회원



2002년 2월 중앙대학교 전자공학과 졸업

2006년 2월 고려대학교 전파공학과 석사졸업

2006년 2월~현재 삼성전자 DM 총괄

<관심분야> MAC, 센서 네트워크

강 충 구 (Chung Gu Kang)

중신회원



1987년 6월 Univ. of California (San Diego), 전자공학과 졸업

1989년 6월 Univ. of California (Irvine), 전자 및 컴퓨터공학과 석사

1993년 3월 Univ. of California (Irvine), 전자 및 컴퓨터공학과 박사

1992년 7월~1992년 5월 Aerospace Corp. 연구원

1993년 4월~1994년2월 Rockwell International 연구원

1994년 3월~현재 고려대학교 전파통신공학과 조교수/부교수/정교수

<관심분야> 광대역 무선 전송 기술 및 매체접근제어 프로토콜 설계/구현, 시스템 모델링 및 성능 분석, Wireless PAN/LAN/MAN, 4세대 이동통신