

블루투스를 이용한 애드혹 네트워크에서의 효율적인 멀티미디어 데이터 전송

정회원 김 병 국*, 홍 성 화*, 종신회원 허 경**, 엄 두 섭*

An Effective Multimedia Data Transmission in Ad-Hoc Networks Based on Bluetooth

Byoung-Kug Kim*, Sung-Hwa Hong* *Regular Members*,
Kyeong Hur, Doo-Seop Eom* *Lifelong Members*

요 약

블루투스 시스템은 피코넷을 기반으로 네트워크를 형성하여 데이터를 전송한다. 하나의 피코넷에는 하나의 마스터 장치와 최대 일곱 개의 슬레이브 장치로 구성될 수 있다. 폴링기법을 사용한 피코넷의 마스터 장치는 잡 스케줄러를 수행하여 피코넷의 모든 슬레이브 장치들에게 데이터 전송 기회를 제공한다. 최대 데이터 전송률은 두 개의 블루투스 장치로 이뤄진 피코넷에서 ACL 링크의 DH5형태의 패킷을 사용할 경우이다(최대 데이터 전송률: 723.2 kb/s). 그러나, 한 개의 마스터 장치와 두 개의 슬레이브 장치로 구성된 피코넷의 경우, 마스터 장치는 접속된 모든 슬레이브 장치에게 동등한 데이터 전송률을 제공해줘야 하기 때문에, 데이터 전송률은 절반(361.6 kb/s)으로 줄어든다. 그리고, 스캐터넷에서의 데이터 전송률은 더욱 낮아(최대 전송률: 302.2 kb/s) 지는 단점이 있다. 본 논문에서는 여러개의 피코넷으로 이루어진 스캐터넷에서의 낮은 데이터 전송률을 해결하기 위하여 “더블피코(DoublePico)”라 불리는 새로운 애드혹 네트워크 형태를 제안한다. 또한, 본 논문에서 제안된 더블피코는 블루투스를 이용한 애드혹 네트워크에서 높은 데이터 전송률(최대 전송률: 457.57 kb/s)을 제공한다.

Key Words : Bluetooth, Ad-Hoc, Wireless Network, Home Network, Multimedia

ABSTRACT

Basing on Piconet, The Bluetooth System forms network and transmits data. There is one Master and maximum 7 Slave bluetooth devices in one piconet. A job scheduler performed by Master bluetooth device, gives the chance of data transmission to Slave bluetooth devices, which connected to Master, using polling method in piconet. The maximum data rate is 723.2 kb/s when it uses ACL link with DH5 packet type in a piconet which is constructed by two bluetooth devices. However, if there are one master and two slave devices in a piconet, then the maximum data rate is reduced to a half(361.6kb/s), because a master device has to support same data rate for all connected devices. And, there is the defect in scatternet when data transmission rate becomes low(Maximum rate: 302.2kb/s). This paper proposals the new ad-hoc network topology called “DoublePico”for overcome the low data transmission in scatternet which is constructed by piconets. The method of doublepico that represented in this paper makes high data transfer rate(Maximum rate: 457.57kb/s) in bluetooth ad-hoc networks.

※ 본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원(IITA-2007-C1090-0701-0044)의 2007년도 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었습니다.

* 고려대학교 전자컴퓨터공학과 미래정보망 연구실({dearbk, amipro, eomds}@korea.ac.kr), ** 경인교육대학교(hkur@ginue.ac.kr)
논문번호 : KISC2004-10-237, 접수일자 : 2004년 10월 14일, 최종논문접수일자 : 2008년 3월 3일

I. 서론

최근 컴퓨터 기술의 급속한 발전으로 인해 기존의 텍스트 위주의 사용자 환경에서 벗어나 이미지, 그래픽, 오디오 및 비디오 데이터 등을 제공하는 멀티미디어 사용자 환경으로 변화하고 있다.

무선 통신 기술의 발전은 휴대용 통신 장치를 소유한 사용자들에게 이동성을 제공하였고, 이로 인한 편리함은 이동통신망 및 모바일 인터넷의 대중화를 이루었다. 또한, 노트북이나 PDA 등의 장치는 무선 통신 기능이 추가됨으로써 근거리 무선 이동 통신의 대중화에 일보 나아가게 되었다. 각 무선 통신 기술은 적용된 기기의 사용 환경에 따라 CDMA(Code Division Multiple Access), WLAN(Wireless LAN), 블루투스(Bluetooth) 등 여러 가지 전송을 위한 기술들이 개발되었으며, 각각 필요한 환경에 다르게 사용되고 있다. CDMA 기술은 주로 휴대전화에 이용된 이동통신망에서 사용되며, WLAN은 무선 액세스 포인트(AP: Access Point)를 이용하여 유선 인터넷 망과 연결되는 형태로 사용된다. 또한, 같은 종류의 무선 통신 기기들간의 효율적인 연결이 제공됨으로써 다양한 서비스를 위한 여러 무선 통신 기술들이 개발되고 있다. 무선 개인 통신망(WPAN: Wireless Personal Area Network) 기술을 제공하는 블루투스 시스템은 저전력으로 작동되며, 크기가 작고 가격이 싸다는 장점이 있다. 또한, 블루투스 시스템은 장치간의 무선 링크(Link)를 효율적으로 관리하여 에너지 효율이 높기 때문에, 배터리 환경에서 작동되는 노트북, PDA, 헤드셋 등 다양한 분야에 응용되고 있다.

블루투스 시스템에서의 네트워크는 피코넷(piconet)을 기본단위로 형성하고, 데이터의 전송은 피코넷 단위로 처리된다. 하나의 피코넷에는 최대 8개의 블루투스 시스템으로 구성될 수 있다. 피코넷을 이루는 장치 중에 하나는 반드시 한 개의 마스터 형태의 장치가 있어야 하며, 하나의 마스터 장치에 최대 일곱 개의 슬레이브 장치가 활성상태로 링크를 형성할 수 있다^{[1][2][3]}.

피코넷에서의 작업 스케줄링은 구성원을 이루는 마스터 장치를 통하여 자신의 마스터 장치와 링크가 형성된 슬레이브 장치에게 폴링(polling)하여 고르게 전송기회를 제공한다. 이 스케줄링 방식은 형평성(fairness) 측면에서 가장 우수하다. 그러나 전송할 수 있는 기회를 획득한 슬레이브 장치가 데이터를 전송하지 않은 경우 그 해당 슬롯을 낭비하는

문제가 발생하고, 전송할 데이터가 많은 슬레이브 장치는 상대적으로 전송할 데이터의 지연(delay)이 발생하게 되는 문제를 갖는다.

모든 무선 통신 장치는 통신거리의 제약이 있다. 애드혹 기술을 이용할 경우 통신 거리의 제약의 문제는 해결 할 수 있다. 이 기술은 전송될 데이터를 종착지 위치까지 전송할 때, 각각의 중간 장치들간의 물리적인 접속(통신 채널 할당)과 데이터 전송 기능을 수행 함으로써 성공적으로 종단 장치간의 데이터를 전송한다. 그러나, 중간에 여러 개의 통신 장치를 이용하여 데이터를 전달시키는 중계방식을 사용하기 때문에, 전송된 데이터의 지연이 생기는 문제가 발생하여 전체적인 데이터 전송 수율(throughput)을 낮게 한다.

무선 통신 시스템 장치를 이용하여, 어떤 노드가 애드혹 네트워크 환경에서 데이터를 전송할 경우, 각 전송 노드의 통신 장치는 인접한 홉(또는 노드) 이상의 거리에서 다른 장치가 통신을 하고 있을 시, 다른 장치가 통신 기능을 수행하고 있는지의 여부를 판단 할 수가 없다. 이로 인해 생기는 문제는 다양하다. 애드혹 네트워크 환경에서는 이러한 문제를 해결하고, 높은 성능을 제공하기 위해 각 무선 통신 시스템마다 다양한 방식의 알고리즘을 제안하고 있다.

본 논문에서는 애드혹 네트워크에서 효율적으로 활용할 수 있는 통신 기술중의 하나인 블루투스 시스템을 채택하여 애드혹 네트워크를 구성하였다. 블루투스 시스템은 데이터를 전송하는데 있어서 주파수 도약 대역 확산(FHSS: Frequency Hopping Spread Spectrum) 방식을 사용하기 때문에 주위의 다른 통신기기를 통한 간섭의 영향을 많이 받지 않는다. 그러므로, 여러 개의 통신 장치로 이루어진 환경인 애드혹으로 구성된 네트워크환경에서는 많은 장점이 있다.

두 개의 블루투스 장치로 이루어진 하나의 피코넷에서 데이터를 전송할 때, ACL(Asynchronous Connection-Less)링크를 통한 DH5(Data-High rate type-5)타입의 데이터를 전송하면 최대 전송률(723.2 kb/s)을 제공한다. 그렇지만 하나의 피코넷에 마스터 장치 하나와 슬레이브 장치 두 개로 구성되어 있을 경우, 마스터 장치를 통하여 접속된 두 개의 슬레이브 장치들에게 같은 전송 서비스를 제공해주기 때문에 전송률은 반으로 줄어든다. 그리고, 세 개의 홉의 수를 넘어서 데이터를 전송하게 되면, 블루투스 시스템은 피코넷들로 이루어진 스캐터넷 환

경으로 동작하게 된다. 스캐터넷 환경에서의 데이터 전송률은 피코넷에서의 데이터 전송률에 비해 현저히 낮다.

본 논문에서는 블루투스 피코넷들로 구성된 스캐터넷에서의 낮은 데이터 전송률을 해결하기 위해 “이중피코(DoublePico: Double Piconet)”라 불리는 새로운 애드혹 네트워크를 제안하였다.

이중피코를 구성하기 위해서 하나의 노드의 역할을 수행하는 장치는 두 개의 블루투스 장치를 탑재하여 각각 다른 피코넷을 형성해야 한다. 각 노드는 서로 다른 피코넷을 형성하여 두 개의 피코넷을 구성할 수 있다. 즉, 두 개의 피코넷을 형성한 하나의 노드는 두 개의 피코넷에 포함된다. 두 개의 연결된 피코넷을 노드 장치의 내부에서 연결시켜줌으로써 애드혹 네트워크를 형성할 수 있다.

본 논문에서 제안한 이중피코 방식은 블루투스 명세서에 정의되어있는 각 패킷 형태에 따른 각각의 데이터 전송률을 이용하고, 애드혹 네트워크 환경에서의 데이터를 전송하는 시뮬레이션을 구현하여 실행 결과를 얻는다. 그리고, 기존의 블루투스 시스템에서의 스캐터넷 환경에서의 데이터 전송률보다 더 높은 전송률을 갖는다는 것을 분석과 비교를 통해 보여준다.

본 논문의 구성은 2장에서는 블루투스 시스템을 소개한 뒤 블루투스 피코넷과 스캐터넷에서의 데이터 전송과 문제점들을 다룸으로써, 스캐터넷에서의 낮은 데이터 전송률을 해결하기 위해 이 논문에서 제안한 이중피코를 다룬다. 그리고 3장에서는 제안한 이중피코의 시뮬레이션을 통하여 결과값을 얻은 뒤, 같은 조건 환경에서 기존의 블루투스 피코넷에서의 마스터 장치를 통한 간접적인 데이터 전송, 스캐터넷을 통한 데이터 전송률을 비교 분석하여 4장에서 결론을 맺는다.

II. 블루투스(Bluetooth) 시스템 및 제안 방식

블루투스는 대략 10m이내의 개인 거리 내에서 다양한 기기간의 통신을 할 수 있도록 하는 저전력, 저가의 무선 통신을 목적으로 하는 통신 시스템이다. 그러나, 블루투스의 목적은 복잡한 유선 케이블을 무선으로 대체할 목적(Connect without Cables)으로 시작되었지만, 기능의 우수성과 사용자들의 요구가 증대함에 따라서 여러 다른 통신 기술 분야에 응용하여 많은 분야에 사용되고 있으며, 높은 성능을 지원한다. 그리고, 데이터 압축방식의 발전을 통

한 멀티미디어 데이터의 낮은 데이터 전송률을 요구함으로써, 멀티미디어 데이터 스트리밍 서비스도 제공할 수 있게 되었다^{4,7)}.

블루투스 시스템의 데이터 전송은 폴링(Polling) 방식을 통하여 일정한 주기적인 슬롯 시간에 데이터 패킷을 전송한다. 따라서, 데이터의 전송은 규칙적인 슬롯 주기 동안 전송하게 되므로 일정한 데이터의 전송률을 제공한다.

블루투스 시스템에서의 스캐터넷은 일정한 슬롯 기간 동안 데이터를 성공적으로 전송할 수 있으므로, IEEE 802.11 기반의 애드혹 네트워크에 비해 일정한 데이터 전송률을 제공해주는 장점이 있다. 그렇지만, 시간 동기의 오차 때문에 사용할 수 없는 슬롯구간이 생기는 문제로 전체적인 전송 효율은 너무 낮다.

본 논문에서는 애드혹 네트워크 환경에서 사용할 수 없는 슬롯 구간을 없애기 위한 방법으로 각각의 블루투스 장치에 피코넷을 개별적으로 생성하도록 제안하였다. 블루투스 명세서에서 정의한 스캐터넷의 개념이 아닌 각 중계 노드 장치가 두 개의 피코넷을 구성하여 애드혹 네트워크 환경을 형성한다. 이러한 구성을 위해서는 각 중계 역할을 수행하는 장치에 두 개의 블루투스 장치를 필요로 한다. 각각의 장치는 해당 피코넷에서 최대의 전송 패킷을 보낼 수 있는 환경을 구성하여 애드혹 네트워크 환경에서 더 높은 데이터 전송률을 가질 수 있다[4].

2.1 이중 피코(DoublePico)

본 논문에서는 블루투스 피코넷들로 구성된 스캐터넷의 낮은 데이터 전송률을 극복하기 위해 “이중 피코(DoublePico: Double Piconet)”라 불리는 새로운 네트워크 방식을 제안한다.

블루투스 시스템은 간섭을 줄이기 위해 주파수 도약 대역 확산(FHSS: Frequency Hopping Spread Spectrum) 방식을 사용한다. 이 방식은 두 개의 접속된 블루투스 장치간의 데이터 통신이 이루어질 때 일정한 정해진 규칙으로 주파수의 변동이 이루어진다.

블루투스 시스템에서 사용하는 주파수 영역에서의 채널의 개수는 79 개이다. 데이터는 슬롯 단위로 전송되는데, 하나의 슬롯 기간 동안 79개의 주파수 채널 중에 하나를 선택하여 데이터를 전송한다. 이때, 피코넷을 이루는 범위 내에 존재하는 다른 피코넷의 데이터 전송이 성공적으로 이루어지기 위해서는 다른 피코넷에서 사용하지 않은 주파수

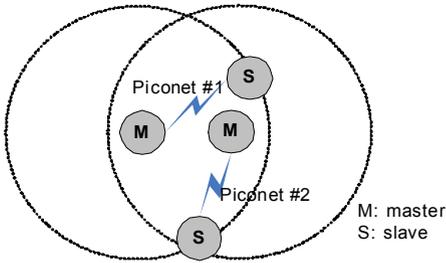


그림 1. 공통 피코넷 범위구간에 두 개의 피코넷 형성

채널 중에 하나를 선택하여 전송하면 성공적으로 데이터를 송수신할 수 있다.

그림 1에서 보여주는 것과 같이, 하나의 피코넷 영역에 또 다른 피코넷이 존재하고 슬롯의 동기가 일치한다고 가정 할 때, 두 개의 접속된 블루투스 장치 간의 전송될 데이터가 겹치는 슬롯 시간 동안 주파수 채널의 충돌이 발생하지 않을 확률은 피코넷 1(Piconet#1)에서 79개의 채널 중 하나의 채널을 선택하여 데이터를 전송할 때, 피코넷 2(Piconet#2)에서는 피코넷 1에서 선택되었던 채널을 제외한 78개의 채널중에 하나를 선택하여 데이터를 전송하는 확률적인 값이다. 수식으로 표현하면 다음의 식과 같다.

$T_{success}$: 충돌되지 않을 경우의 수
 $T_{selection}$: 주파수 선택의 경우의 수
 $P_{success}$ = 성공할 확률

$$P_{success} = \frac{T_{success}}{T_{selection}}$$

$$P_{success} = \frac{79}{79} \times \frac{78}{79} = \frac{78}{79}$$

$$\cong 0.987341772$$

또한, 데이터 전송을 위한 슬롯을 적용하면, 각각의 피코넷은, 그 구성원을 이루는 마스터 장치에 의해 독자적인 방식으로 슬롯의 시간동기가 결정되므로 두 개의 피코넷의 시간의 동기는 같지 않다. 그러므로, 데이터 전송을 위한 슬롯이 구분되는 기준점의 위치가 다르므로, 그 해당 슬롯기간 동안 피코넷 1에서의 채널이 한 번 선택되는 구간 동안, 다른 피코넷 2에서는 두 번 바뀌게 된다. 즉, 주파수 도약 방식에서 하나의 피코넷에서 하나의 주파수 채널을 선택하고 전송할 때, 다른 피코넷에서는 두 번 주파수 채널을 할당하게 됨으로, 충돌이 일어나

지 않을 확률은 다음과 같다.

T_{A_s} : 피코넷A에서 충돌되지 않을 경우의 수
 T_{B1_s} : 피코넷B의1슬롯에서 충돌되지 않을 경우의 수
 T_{B2_s} : 피코넷B의2슬롯에서 충돌되지 않을 경우의 수

$$P_{success} = \frac{T_{success}}{T_{total_selection}} = \frac{T_{A_s} \times T_{B1_s} \times T_{B2_s}}{T_{total_selection}}$$

$$P_{success} = \frac{79}{79} \times \frac{78}{79} \times \frac{78}{79} = \left(\frac{78}{79}\right)^2$$

$$\cong 0.974843775$$

피코넷 1에서 하나의 슬롯을 이용하여 전송한 데이터가 충돌이 발생하지 않고 전송되기 위해서는, 선택한 채널이 피코넷 2와 같지 않아야 한다. 그러므로 피코넷 2에서는 피코넷 1에서 선택한 채널을 제외한 나머지 채널 중에 하나를 선택하여 데이터를 전송하면 된다. 즉, 블루투스 주파수 채널의 개수는 79개 이므로 이중에 피코넷 1에서 선택한 하나의 채널을 제외한 피코넷 2에서의 78개 중에 한 개를 선택하여 데이터를 전송하면 된다. 그리고 두 피코넷의 슬롯의 동기는 다르므로, 한 번의 슬롯 시간이 한번더 겹친다. 그러므로 피코넷 2에서는 전송하기 위해 두 번 선택한 채널의 선택도 피코넷 1에서 사용하는 채널과 일치하지 않아야 한다.

두 개의 공통된 피코넷 구간에서 블루투스 장치 간의 데이터 전송을 할 경우, 각 슬롯에서 성공적으로 데이터를 전송 할 수 있는 확률의 값은 0.9748이라는 높은 수치를 갖는다.

즉, 블루투스 시스템은 하나의 피코넷 영역에 또 다른 하나의 피코넷이 존재하더라도 간섭의 영향을 거의 받지 않는다는 장점을 갖는다.

2.2 노드의 구성

블루투스 시스템 장치 간의 적은 간섭의 장점을 이용하여, 본 논문에서는 애드혹 기능을 수행하기 위해 데이터를 중계시켜주는 장치는 그림 2에서 보이는 것과 같이 두 개의 블루투스 장치를 구성한다.

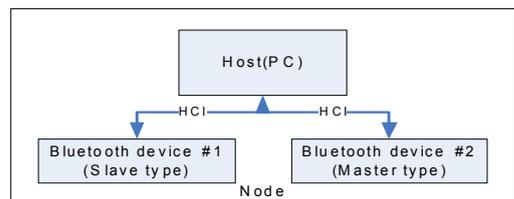


그림 2. 제한한 노드 구조

각 노드는 두 개의 피코넷에 포함되기 위해서 각각의 블루투스 장치가 서로 다른 형태로 동작되어야 한다.

마스터의 장치는 다른 블루투스 장치로의 접속을 요청할 수 있다. 접속을 요청할 경우 마스터 장치는 페이징(Paging) 메시지 패킷을 방송하고, 슬레이브 장치를 통한 페이징 메시지의 수락이 허가되면 두 장치간의 접속이 이루어진다.

노드 장치는 하나의 피코넷을 생성하기 위해서 페이징(Paging)을 하는 마스터 형태의 장치(Bluetooth device #2)와, 다른 노드로부터 피코넷을 형성하기 위한 페이징 메시지에 대해 수락을 허락하는 슬레이브 장치(Bluetooth device #1)로 구성된다.

2.3 망 구성 방식

하나의 피코넷의 범위에 다른 피코넷이 형성되어 있어도 다른 무선 통신 시스템에 비하여 블루투스 시스템은 간섭으로 인한 데이터의 오류나 손실의 문제가 발생할 확률적인 수치는 극히 적다.

블루투스 시스템의 낮은 간섭을 통한, 데이터의 안정적인 전송의 제공을 이용하여, 애드혹 기능을 수행하는 장치에 블루투스 시스템을 두 개로 구성하여 하나의 노드에 두 개의 피코넷을 구성한다.

마스터의 장치와 슬레이브 장치를 하나의 노드에 탑재함으로써 그림 3과 같은 두 개의 피코넷을 형성한다. 각각의 피코넷을 이루는 노드 장치간의 접속은 그림 4와 같이 각각의 피코넷을 연결하여 애드혹 네트워크를 형성 할 수 있다.

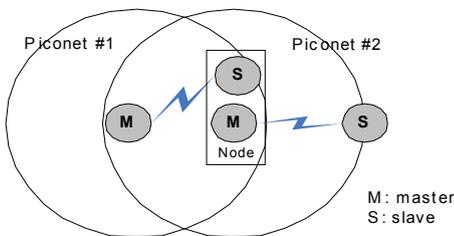


그림 3. 노드에 생성되는 피코넷

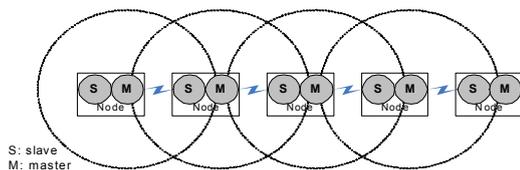


그림 4. 노드간 블루투스 장치의 접속 방식

본 논문에서는 두 개의 블루투스 시스템으로 구성된 각 노드 장치에서 정해진 라우팅 경로를 통하여 데이터를 전송할 경우 블루투스 명세서에서 정의한 스캐터넷에서의 중단 장치간의 데이터 전송보다 더 높은 데이터 전송률의 성능을 갖는다는 것을 보여준다. 그러나, 블루투스 장치간의 피코넷을 형성하는데 있어서, 피코넷을 생성하는 방법과 애드혹 네트워크를 통하여 중단 장치 간의 데이터 전송을 위한 블루투스 장치의 접속 방법이나 라우팅 경로의 탐색 및 설정은 언급하지 않는다.

2.4 이중피코넷에서의 데이터 전송

블루투스 명세서에서 정의한 형태의 피코넷을 통해 애드혹 기술을 위해 데이터를 전송하기 위해서는 기본적으로 하나의 피코넷에 세 개 이상의 블루투스 장치로 이루어져 있어야 하고, 반드시 하나의 마스터 블루투스 장치에 의해 관리되어야 한다. 그리고, 그 피코넷을 이루는 슬레이브 장치간의 데이터 전송은 마스터 장치를 통하여 간접적으로 전송된다. 이 과정에서 명세서에서 정의된 피코넷을 통한 애드혹 데이터 전송은 시간 분배를 통하여 데이터를 전송함으로써, 한 피코넷을 이루는 슬레이브 장치의 개수에 따라 슬레이브 장치간의 데이터 전송률은 변화하며, 장치가 많아질수록 각 슬레이브 장치에서의 데이터 전송률은 낮아지게 되는 단점이 있다.

피코넷에서의 데이터 전송률은 구성원을 이루는 블루투스 장치의 갯수에 많은 영향을 미친다. 그러므로 높은 데이터 전송률을 제공하기 위해서는 피코넷의 구성원을 이루는 블루투스 장치의 개수를 줄이고, 같은 시간에 다른 블루투스 장치들도 데이터를 전송할 수 있도록 하기 위해, 다른 블루투스 장치간의 통신을 위한 피코넷을 더 생성하면 된다.

Ⅲ. 시뮬레이션

3.1 시뮬레이션 환경

실생활환경에서 블루투스 장치를 사용한 애드혹 환경에서 정확한 데이터 전송률을 구하는 방법은 쉽지 않다. 블루투스 장치간의 데이터 전송시 발생하는 데이터 패킷의 오류나 부분 생략 등의 문제 발생 원인은 주위의 다른 무선 통신 시스템의 영향으로 인한 간섭의 요인과 많은 환경적인 요소들이 있을 수 있다. 본 논문에서는 실생활에서 발생할 수 있는 방해적 요소는 고려하지 않았으며, 블루투스

피코넷 간의 슬롯을 통하여 데이터를 전송할 때, 수행되는 주파수 채널 선택 과정에서 같은 주파수를 사용하였을 경우, 주파수 충돌로 인해 전송된 데이터는 실패된다는 가정 하에 시뮬레이션을 구현하였다.

본 논문에서 제안한 방식을 시뮬레이션하기 위해 표 1에 보여주는 것과 같은 패킷 타입을 사용하였다.

표 1. 시뮬레이션 파라미터

Type	Slots (Up)	User payload (Byte)	Asymmetric Max Rate (kb/s)	
			Forward	Reverse
DH1	1	27	172.8	172.8
DH3	3	183	585.6	86.4
DH5	5	339	723.2	57.6

ACL 전송 패킷의 타입이 DH1이면 한번에 슬롯 하나씩을 이용하여 데이터를 전송한다. 하나의 슬롯을 사용하면 슬롯의 크기(625 usec)가 정해져 있으므로 데이터의 크기는 작고, 데이터를 전송률에 있어서 마스터 장치 하나와 접속된 슬레이브 장치간의 송신과 수신에 비율이 같다. DH1 타입의 패킷은 하나의 피코넷 안에 여러 개의 장치로 구성되어 있을 때 각 장치간의 동등한 데이터 전송률이 제공된다. 패킷의 타입이 DH5이면 데이터를 송신하는데 한번에 다섯 개의 슬롯을 사용한다. 이 타입은 한번에 많은 슬롯을 사용하기 때문에 높은 데이터 전송률을 제공한다. 수신하는데 있어서는 하나의 슬롯만을 사용하는데, 주로 보낸 데이터에 대한 성공여부를 알리기 위한 ACK정보의 수신을 위해 사용함으로써, 단방향성의 높은 데이터 전송률의 안정성을 요구하는 서비스를 제공하기 위해 사용한다.

본 논문에서 정의한 방식의 성능을 보여주기에 앞서, 다른 외부의 간섭이 없는, 기존의 블루투스 명세서에서 정의된 성능 값을 이용하여 하나의 피코넷 환경에서의 슬레이브 장치간의 마스터 장치를 통하여 간접적으로 데이터를 전송할 때의 데이터 전송률을 구하고, 피코넷들간의 통신을 통한 스캐터넷 환경에서의 중단간 라우팅 경로를 통한 데이터의 전송률을 시뮬레이션을 통해 확인한다. 그리고 제안한 이중피코(DoublePico)를 통한 중단 장치간의 데이터 전송률을 얻고, 각 네트워크 환경에서의 데이터 전송률과 에러율 등을 검토한 후, 본 논문에서 제안한 방식의 성능 효율을 입증한다.

3.2 단일 피코넷

블루투스 시스템의 네트워크는 명세서에서 정의

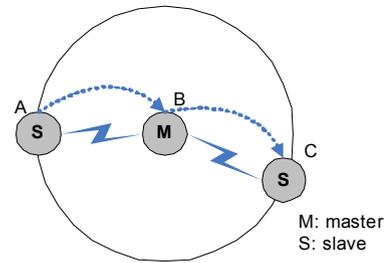


그림 5. 단일 피코넷에서의 데이터 전송

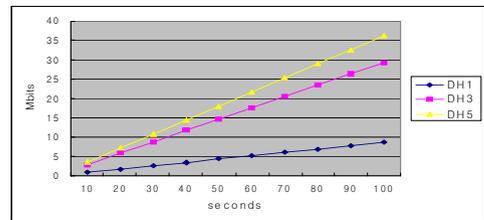


그림 6. 단일 피코넷에서의 데이터 전송량

한 피코넷을 기본 단위로 한다. 본 논문에서의 피코넷은 가장 높은 데이터 전송률을 제공할 수 있도록, 그림 5와 같이 한 개의 마스터 장치와 두 개의 슬레이브 장치로 구성하였다.

피코넷에서 슬레이브 장치간의 데이터 전송은 구성원의 동기를 관리하는 마스터 장치를 통하여 간접적으로 전송된다. 즉, 장치 A와 장치 C 간의 데이터 전송을 위해서는 마스터 기능을 수행하는 장치 B를 통해 데이터를 중계함으로써 간접적으로 전송된다.

그림 6는 두 개의 슬레이브 장치간의 데이터를 전송하는 기능을 수행하는데, 하나의 피코넷의 구성원을 이루는 슬레이브 장치에서 시간 변화에 따른 전송된 데이터의 누적량을 보여준다.

각 패킷의 타입에 따라서, DH1, DH3 그리고 DH5의 각각의 실험을 통하여 결과값을 얻을 수 있었다. 피코넷을 이루는 마스터 장치는 슬레이브 장치간의 데이터 통신을 수행할 수 있도록 데이터를 중계한다. 마스터 장치는 일정한 시간을 기준으로 같은 피코넷을 이루는 두 개의 연결된 슬레이브 장치에게 형평성을 제공해주기 위해 모든 슬롯 시간을 골고루 배분한다. 그러므로 피코넷을 이루는 슬레이브 장치는 최대 데이터 전송률을 제공할 수 있는 일대일 데이터 통신 상황에서 블루투스 명세서에서 제공되는 데이터 전송률의 1/2의 성능을 갖는다.

두 홉을 이용한 애드혹 데이터 전송률은 하나의

피코넷으로 구성될 때 가장 빠른 데이터 전송률을 가지며, 최대 데이터 전송률은 DH5 패킷 타입을 사용할 때(약 360 Kbps) 이다. 그러나 데이터의 목적지까지의 전송을 위해 두 개의 홉 이상을 요구하게 되면, 하나의 피코넷으로는 데이터 전송이 불가능하다. 이 문제를 해결하기 위해 블루투스 명세서에서는 여러 개의 피코넷을 연결하는 방식인 스캐터넷을 제안한다.

3.3 스캐터넷

블루투스 시스템은 세 개 이상의 홉을 통하여 데이터를 전송하게 될 경우 스캐터넷을 사용한다. 스캐터넷에서 최대한 빠른 데이터 전송률을 보장해 주기 위해, 그림 7과 같은 시뮬레이션 환경을 구성하였다.

시뮬레이션 환경에서의 스캐터넷은 두 개의 피코넷으로 구성되어 있다. 왼쪽의 피코넷은 마스터 장치 B에 의해서 관리되며, 오른쪽의 피코넷은 장치 C에 의해서 관리된다. 이때, 두 피코넷을 연결하는 장치 C는 왼쪽 피코넷을 이루기 위해 슬레이브 장치로 동작하며, 오른쪽 피코넷의 유지를 위하여 마스터 장치의 기능도 수행한다. 그러나 블루투스 시스템의 경우, 동시에 두 가지 형태를 가질 수 없으며, 일정 시간의 간격에 맞춰서 변환한다.

시뮬레이션 환경에서의 데이터 전송은 장치 A에서 장치 B 그리고 장치 C를 통하여 최종적으로 장치 D로 전송된다. 이 과정에서 장치 D의 위치에서의 수신된 데이터의 전송량은 그림 8과 같았다.

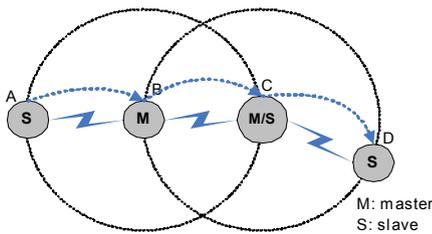


그림 7. 스캐터넷에서의 데이터 전송

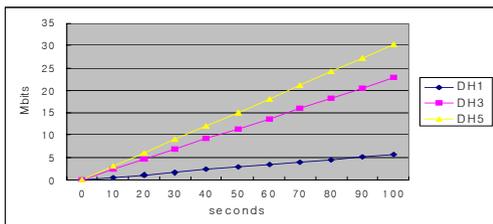


그림 8. 스캐터넷에서의 데이터 전송량

이 시뮬레이션 결과에서 알 수 있듯이, 스캐터넷에서의 데이터 전송은 두 피코넷을 연결시키기 위한 장치 C에서, 두 피코넷간의 동기를 설정하는 과정에서 일어나는, 슬롯시간의 오차와 두 피코넷이 독립적으로 주파수 도약이 일어나기 때문에, 채널의 충돌이 발생할 수 있다. 따라서 스캐터넷에서의 데이터 전송은 피코넷에서의 데이터 전송률(약 360 Kbps)에 비해 조금 낮은 데이터 전송률(약 300 Kbps)을 갖는다.

3.4 이중피코

이중피코의 시뮬레이션 결과를 얻기 위해, 본 논문에서는 그림 9와 같은 실험환경을 구성하였다. 노드 A에서 시작하여 최종적으로 노드 D에 전송되고, 노드 D에서 수신된 시간에 따른 데이터의 누적량을 얻었다.

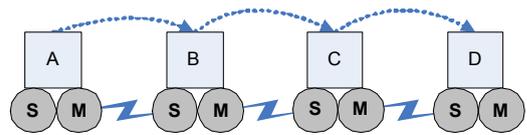


그림 9. 이중피코에서의 데이터 전송

이중피코를 사용하였을 경우 각각의 패킷 형태의 데이터를 전송하여 시뮬레이션을 수행한 결과 그림 10과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

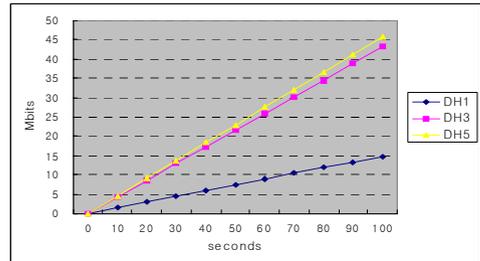


그림 10. 이중피코에서의 데이터 전송량

단일 피코넷과 스캐터넷에서의 각각의 패킷 타입에 따른 데이터 전송량의 차이를 비교해 보았을 때, 이중피코에서의 DH3 패킷 타입과 DH5 패킷 타입은 데이터 전송률에 있어서 많은 차이를 갖지 않는다는 것을 확인 할 수 있다.

3.5 성능 비교 및 분석

블루투스 시스템은 데이터 전송을 위한 여러 가

지 패킷 형태를 제공한다. 각 패킷의 형태는 요구하는 서비스에 따라 슬롯을 다른 방식으로 사용하여 데이터를 전송한다.

본 논문에서는 DH1, DH3 그리고 DH5 타입의 패킷을 사용하여 각각의 네트워크 환경에서 시뮬레이션을 수행하여 결과를 얻었다. DH1 패킷 타입의 경우, 마스터 장치와 슬레이브 장치간의 데이터를 전송하기 위해 각 슬롯을 하나씩 사용하는 방식으로, 전송된 데이터의 처리방식을 하나의 슬롯단위로 처리한다. 그리고 DH5는 데이터를 전송하기 위해 한 번에 다섯 개의 슬롯을 사용한다. 다섯 개의 슬롯을 사용하기 때문에 많은 량의 데이터를 한 번에 전송할 수 있지만, 적은 량의 데이터를 전송하기에는 많은 슬롯 구간을 낭비하는 문제가 존재한다.

그림 11, 그림 12 그리고 그림 13은 각각의 패킷 형태를 사용하여 데이터를 전송하였을 경우, 각 네트워크 환경에서 수행하여 얻은 결과를 보여준다. 이 시뮬레이션 결과를 통해 본 논문에서 제안된 이중피코의 경우 기존의 다른 네트워크에 비해 높은 데이터 전송률을 갖는다는 것을 확인 할 수 있다.

그림 11에 보이는 바와 같이 이중피코에서의 데이터 전송은 DH1 타입의 데이터 패킷을 전송할 때, 기존의 스캐터넷 환경에서의 데이터 전송률보다 대략 2.5배정도의 높은 전송률을 갖는다.

또한, 이중피코에서의 DH3 타입의 데이터 전송은 대략 2배정도 높은 전송률을 갖는다(그림 12는

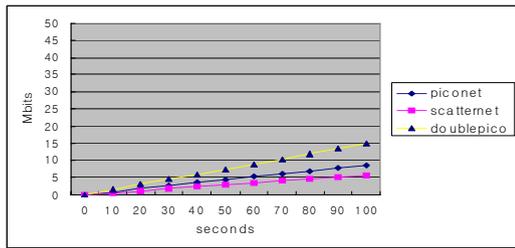


그림 11. DH1 패킷을 사용한 데이터 전송

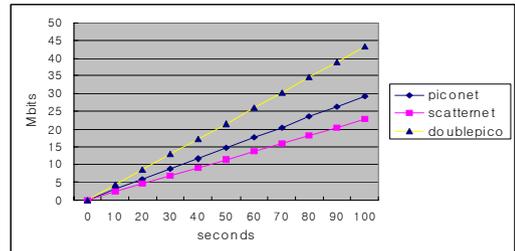


그림 12. DH3 패킷을 사용한 데이터 전송

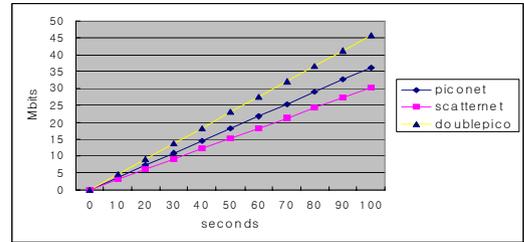


그림 13. DH5 패킷을 사용한 데이터 전송

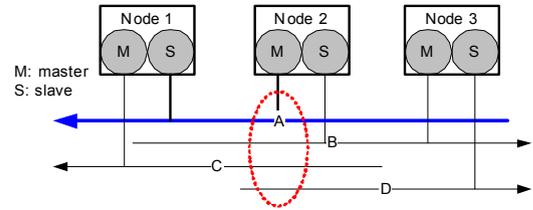


그림 14. 피코넷 간의 통신채널

DH3 타입의 데이터 패킷을 전송할 때 얻어진 결과이다). 그리고, DH5 타입의 경우 스캐터넷에서의 데이터 전송률보다 대략 1.5배 높은 전송률을 갖는다.

각각의 다른 네트워크 환경에서 전송된 데이터의 지연과 오류의 주요 요인은 선택된 주파수 채널의 충돌과 슬롯 시간의 위상 오차이다.

블루투스 시스템의 경우 중첩된 피코넷의 범위에서 다른 피코넷의 영향으로 주파수 도약 전달(FHSS) 과정에서 전송 중에 같은 주파수 채널을 사용하게 될 경우 데이터의 충돌로 인해 전송이 실패될 수 있다. 데이터의 전송에 있어서 하나의 슬롯을 사용하는 DH1 타입의 패킷의 경우 다른 타입의 패킷에 비해 비교적 낮은 어려움을 갖는다. 그러나, DH5 패킷 타입의 경우 하나의 패킷은 다섯 개의 슬롯을 사용하여 데이터를 보내기 때문에, 여러 개의 슬롯을 사용하여 데이터 패킷을 전송 할 때, 그 중 임의의 하나의 슬롯에서 충돌이 발생하게 되면, 그 해당 전송된 패킷은 실패가 된다.

본 논문에서 제안한 이중피코의 경우, 하나의 노드에 두 개의 각각 다른 형태의 블루투스를 구성한다. 그림 14는 일정한 슬롯 시간에 각 노드간의 데이터를 전송하기 위해 형성되는 물리적 링크 채널의 할당과 데이터 통신을 통한 주파수 파장의 거리로 인해 형성되는 여러 개의 중첩된 피코넷으로 인한 간섭을 보여준다.

노드 1(Node 1)과 노드 2(Node 2)는 일정한 슬롯 시간 동안 A라는 주파수 채널을 사용하여 데이

터를 전송한다. 데이터가 성공적으로 전송되기 위해서는 노드 2와 노드 3(Node 3)의 전송을 위한 주파수 채널 B와 같은 채널을 사용하지 않아야 하며, 노드 3과 다른 노드의 통신을 위한 다른 채널 D 역시 채널 A와 같지 않아야 한다.

그러므로, 노드 1(Node 1)의 슬레이브 장치와 노드 2(Node 2)의 마스터 장치 간의 성공적인 데이터 전송을 위해서는 다음 수식과 같이 각 각의 다른 노드들의 주파수 채널(B, C, D)은 주파수 채널 A와 같지 않아야 한다.

$$\begin{aligned}
 A &= \{x | x \text{는 피코넷 } A \text{에서 선택한 주파수}\} \\
 B &= \{x | x \text{는 피코넷 } B \text{에서 선택한 주파수}\} \\
 C &= \{x | x \text{는 피코넷 } C \text{에서 선택한 주파수}\} \\
 D &= \{x | x \text{는 피코넷 } D \text{에서 선택한 주파수}\}
 \end{aligned}$$

$$A \cap (B \cup C \cup D) = \phi$$

즉, 블루투스 시스템의 경우 데이터 전송을 위해 슬롯 단위로 데이터를 전송을 하는데, 하나의 슬롯은 하나의 채널을 사용한다. 따라서, 다른 피코넷과 충돌이 일어나지 않고 성공적으로 데이터를 전송하기 위한 확률적인 값은 $\left(\frac{78}{79}\right)^3$ 이다. 그렇지만, 노드 1과 노드 2의 통신을 위한 피코넷은 다른 노드들을 연결하는 피코넷과 개별적으로 수행하기 때문에, 각각의 슬롯 시간의 동기는 해당 피코넷의 마스터 장치에 의해서만 작동됨으로, 피코넷의 공간이 겹치는 구간 내에서 선택한 주파수 채널 A를 갖는 피코넷은 하나의 슬롯 기간 동안, 다른 겹치는 피코넷들의 주파수 채널(B, C, D)은 개별적인 동기를 맞추어 작동되므로 다른 슬롯시간으로 넘어가기 때문에, 다른 주파수 채널을 사용하게 된다. 즉, 주파수 채널의 충돌이 일어나지 않기 위한 값은 슬롯 시간이 동기가 이루어진 환경에서의 충돌이 일어나지 않을 확률값의 제곱을 적용하면 된다.

$$P_{\text{success}} = \left(\frac{78}{79}\right)^{3 \times 2} \cong 0.92641391$$

기존의 스캐터넷에 비하여 이중피코의 경우 피코넷을 많이 생성하기 때문에, 기존에 제안된 이중피코를 통한 데이터의 전송은 스캐터넷에 비하여 그림 15과 같이 에러율이 높다.

그러나 이 논문에서 제안한 이중피코 환경에서의

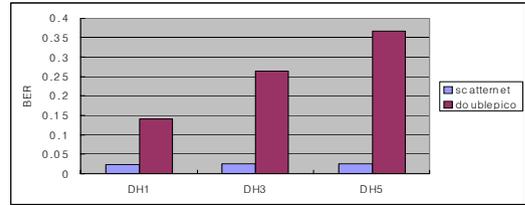


그림 15. 스캐터넷과 이중피코의 에러율 비교표

애드혹 데이터 전송은 그림 16에서 보이는 바와 같이 높은 데이터 전송률을 제공한다. 따라서 기존의 네트워크에 비해서 일정시간에 더 많은 량의 데이터를 전송 할 수 있다는 것을 확인 할 수 있었다.

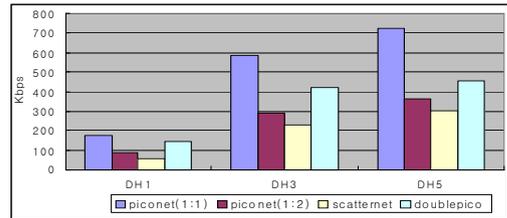


그림 16. 각 네트워크에서의 데이터 전송률

IV. 결론

본 논문에서는 블루투스를 이용하여 멀티미디어 데이터를 효율적으로 전송하기 위해 “이중피코”라 불리는 새로운 애드혹 네트워크를 제안하게 되었다. 블루투스를 이용한 데이터 전송은, 모든 데이터의 흐름을 피코넷의 중앙에 위치하는 마스터 장치에 의해서 관리 된다 점은 많은 이점을 갖는다. 그러나 하나의 피코넷에 많은 개수의 블루투스 장치가 존재하게 되면 전체적인 데이터 전송률이 크게 낮아지는 것을 시뮬레이션 결과를 통하여 확인 할 수 있었다. 또한, 스캐터넷 환경에서는 여러 개의 피코넷들로 구성되어있기 때문에, 해당 피코넷에서의 데이터 전송률보다 훨씬 낮아진다는 것도 확인 할 수 있었다.

멀티미디어 동화상 데이터(Xvid MPEG-4 압축 [16]: 320x240 frame sizes, 16fps)의 경우 대략 400Kbps의 데이터 전송률을 요구한다. 블루투스 일대일 통신상황에서는 멀티미디어 동화상 데이터의 전송이 가능하다^[8]. 그러나 블루투스 애드혹 네트워크 방식인 스캐터넷에서의 데이터 전송률은 대략 300Kbps이다. 따라서 멀티미디어 동화상 데이터의 전송은 불가능하다.

블루투스 간의 접속으로 이루어진 중첩된 공간의 피코넷 범위에서 데이터 전송 시에 발생하는 문제 역시 시뮬레이션 결과의 분석을 통하여, 주파수 충돌로 인한 전송된 데이터 패킷이 실패가 될 확률적인 수치는 아주 낮다는 것도 확인할 수 있었다. 또한, 블루투스 시스템의 장점인 저가격을 감안하면 하나의 중계기능을 수행하는 노드 장치에 두 개의 블루투스 장치로 구성하더라도 많은 문제는 되지 않을 것이다.

본 논문에서 제안한 “이중피코”의 경우 ACL 형태의 접속과 DH5 패킷 타입을 사용하여 데이터를 전송할 때, 기존의 블루투스 스캐터넷에 비해 대략 50% 정도 향상된 데이터 전송률을 제공할 수 있다는 것을 시뮬레이션 결과를 통하여 확인할 수 있었다. “이중피코”의 경우 시뮬레이션 결과에서 확인하였다시피 대략 450 Kbps 정도의 데이터 전송률을 제공한다. 따라서, 멀티미디어 동화상 데이터 전송에 최소 요구되는 전송률보다 높은 수치를 갖기 때문에, “이중피코” 방식을 사용한 블루투스 애드혹 네트워크에서도 충분히 전송 할 수 있을 것이다.

그러나 본 논문에서는 블루투스 네트워크에서 데이터 전송의 시뮬레이션을 구성하기 위해 가장 중요시 여겨지는 슬롯 동기의 위상차이와 주파수 충돌에 의한 데이터 전송의 실패만을 고려하였다. 따라서 실생활에 존재하는 다른 환경적인 방해 요소 (IEEE 802.11, 전자레인지……)들은 전혀 고려하지 않았기 때문에, 조금이나마 아쉬운 점이 있다면, 시뮬레이션 결과가 아닌, 실생활 환경에서의 “이중피코”에서 제공될 수 있는 정확한 데이터 전송률의 성능 값을 얻을 수 없었다.

참 고 문 헌

[1] Bluetooth Special Interest Group, Specification of the Bluetooth system Version 1.1B, Specification Vol. 1&2, Core, February 2001.
 [2] Bluetooth Special Interest Group, Specification of the Bluetooth system Version 1.1B, Specification Vol. 1&2, Profiles, February 2001.
 [3] The Bluetooth Web Site. [Online]. Available: <http://www.bluetooth.com>
 [4] G. V. Zaruba, S. Basagni, and I. Chlamtac. “Bluetrees -- scatternet formation to enable Bluetooth-based ad hoc networks” ICC 2001,

Helsinki, Finland, Vol. 1, pp. 273--277.

[5] J.Y.Khan and J.Wall, “Bluetooth-Based Wireless Personal Area Network for Multimedia Communication”, *IEEE Computer Society 2002*, pp. 47 - 51.
 [6] Bharghavan V, Demers A, Shenker S, Zhang L, “MACAW: A medium access protocol for wireless LANs”, *SIGCOMM 1994*, pp 212 - 225.
 [7] Talucci F, Gerla M, “MACA-BI (MACA By Invitation): A wireless MAC Protocol for high speed and hoc networking”, *IEEE 6th International Conference on*, 2, 1997, pp 913 - 917.
 [8] MPEG4IP Web Site. [Online]. Available: <http://www.mpeg4ip.net>
 [9] Byoung-Kug Kim, “A Method to Support High Data Transmission Rate in Ad-Hoc Networks Based on Bluetooth”, *ITC-CSCC 2005*, Vol3. pp507-5008.

김 병 국 (Byoung-Kug Kim)

정회원



2002년 8월 원광대학교 컴퓨터정보통신공학부 졸업
 2004년 8월 고려대학교 통신시스템기술협동과정 석사
 2004년 9월~현재 고려대학교 전자컴퓨터공학과 박사과정
 <관심분야> 센서네트워크, 모바일 컴퓨팅, 모바일 미들웨어

홍 성 화 (Sung-Hwa Hong)

정회원



1996년 2월 고려대학교 컴퓨터학과 졸업
 2002년 8월 항공대학교 정보통신학과 석사
 2004년 9월~현재 고려대학교 전자컴퓨터공학과 박사과정
 <관심분야> 센서네트워크, 모바일 컴퓨팅, 무선 홈네트워킹

허 경 (Kyeong Hur)

중신회원



1998년 2월 고려대학교 전자공학과 졸업
2000년 2월 고려대학교 전자컴퓨터공학과 석사
2004년 8월 고려대학교 전자컴퓨터공학과 박사
2004년 9월~2005년 8월 삼성종합

기술원 전문연구원

2005년 9월 ~현재 경인교육대학교 컴퓨터 교육과 전임
강사

<관심분야> 컴퓨터 네트워크, All-IP 네트워크

엄 두 섭 (Doo-Seop Eom)

중신회원



1987년 2월 고려대학교 전자공학과 졸업
1989년 2월 고려대학교 전자공학과 석사
1996년~1999년 ETRI 선임연구원
1999년 2월 일본 오사카대학교 정보컴퓨터과학과 박사

1999년 9월~2000년 원광대학교 컴퓨터정보통신공학
부 전임강사

2000년 9월~현재 고려대학교 전자공학과 교수

<관심분야> Ad-Hoc 네트워크, RFID 시스템, 센서네트워크, 유비쿼터스 네트워크, 인터넷 QoS