DBpia

Ad hoc Networking을 위한 블루투스 스캐터넷 형성 프로토콜

정회원 임 채 권*, 준회원 허 명 선**, 종신회원 정 구 민***°

Bluetooth Scatternet Formation Protocol for Ad hoc Networking

Chaegwin Lim* *Regular Member*, Myung-Sun Huh** *Associate Member*,
Gu-Min Jeong***° *Lifelong Member*

요 약

본 논문에서는 multi-hop 블루투스 스캐터넷을 형성하는 BSFP (Bluetooth Scatternet Formation Protocol) 을 제안한다. BSFP는 각각의 블루투스 기기에서 독립적으로 수행되고, 초기단계에서 주변 기기들에 대한 정보를 요구하지 않으며, 모든 기기들이 블루투스의 통신 가능 범위 안에 위치하지 않아도 스캐터넷을 형성할 수 있다. BSFP는 1) 자신의 주위에 어떤 노드들이 있는지를 찾는 Init 단계, 2) 각각의 노드가 국부적 정보만을 가지고 스캐터넷을 형성하는 Ready 단계, 3) 연결된 링크를 이용하여 통신을 하는 Complete 단계로 구성된다. BSFP에서는 스캐터넷 형성을 완료할 때까지 걸리는 실행시간이 기기들의 수가 늘어나도 크게 변하지 않으며, 인접 기기들 간의 통신 링크의 수가 많은 스캐터넷을 형성하여 신뢰도 높은 mobile ad hoc network을 구성할 수 있도록 해 준다.

Key Words : Bluetooth, Piconet, Scatternet, Mobile ad-hoc Network, Formation Protocol

ABSTRACT

This paper proposes BSFP (Bluetooth Scatternet Formation Protocol), which establishes a multi-hop bluetooth scatternet. BSFP independently operates on each bluetooth device, does not require any information on neighbor devices at the very beginning, and can establish a scatternet even though all the devices are spreaded beyond the bluetooth transmission range. BSFP is composed of the following three stages; 1) Init stage to investigate neighbor nodes, 2) Ready stage to establish a scatternet using gathered local information at each node, and 3) Complete stage to use the determined scatternet links. In BSFP, the scatternet formation time does not significantly affected by the number of bluetooth devices and a robust mobile ad hoc network is formed because BSFP formulates a scatternet with many adjacent links to neighbor devices.

Ⅰ. 서 론

Wireless mobile ad hoc network란 이동 가능한 기기들이 임의의 무선 네트워크를 형성한 것이다. Wireless mobile ad hoc network의 기기들은 임의의 시간에 네트워크에 가입하거나, 네트워크에서 탈퇴 할 수 있고, 네트워크 안에서 자유로이 이동할 수도 있다. 따라서 형성된 네트워크 형태는 빠르게 변하게 되어 유선 네트워크와는 다른 많은 어려운 문제들을 가지게 된다. 최근 블루투스 기기가 널리

* 삼성전자 책임연구원 (chaegwon.lim@gmail.com), ** 국민대학교 전자공학과 석사과정 (xericc@gmail.com)
*** 국민대학교 전자공학과 조교수 (gm1004@kookmin.ac.kr) (° : 교신저자)
논문번호 : KICS2007-08-363, 접수일자 : 2007년 8월 15일 최종논문접수일자 : 2008년 4월 5일

www.dbpia.co.kr

보급됨에 따라 이를 이용한 mobile ad hoc network에 대한 관심이 고조되고 있다.

블루투스 네트워크에서 피코넷은 마스터/슬레이브(master/slave) 형태로 구성되는데, 하나의 마스터 역할을 하는 기기가 7개의 슬레이브까지 거느릴 수 있다. 이렇게 하나의 마스터에 의해 구성된 블루투스 네트워크를 피코넷(piconet)이라고 하고, 다수의 피코넷이 연결되어 만들어진 블루투스 네트워크를 스캐터넷(scatternet)이라고 한다. 이때, 피코넷과 피코넷을 연결해 주는 기기를 bridge라고 한다.

블루투스 SIG에서는 스캐터넷을 형성하는 프로토콜에 대한 정의를 하고 있지 않아, 최근 많은 수의 스캐터넷 형성 프로토콜[1]-[9]이 제안되었는데, 이들 대부분이 모든 기기들이 서로 통신가능 범위에 있어야 하거나, 모든 노드들의 시간 동기 (time synchronization) 가 맞아야 하는 등의 현실적으로 적용하기 어려운 가정을 하고 있다. 따라서 스캐터넷을 실생활에 활용하기 위해서는 그 동작이 간단하고 현실적 사용에 제약이 없는 형성 프로토콜에 대한 연구가 필요하다.

이에 본 논문에서는 각각의 블루투스 기기에서 독립적으로 수행되며, 초기단계에서 주변 기기들에 대한 아무런 정보를 요구하지 않고, 모든 기기들이 블루투스의 통신 가능 범위 안에 모여 있지 않아도 스캐터넷을 형성할 수 있는 프로토콜인 BSFP (Blueooth Scatternet Formation Protocol) 를 제안한다. BSFP는 세 단계를 거쳐 스캐터넷을 형성하는데, 각 단계는 주변 노드와의 링크 형성, 형성된 링크를 이용하여 피코넷 형성 확정 및 불필요한 링크 제거, 연결된 링크를 이용한 기기간의 통신으로 진행된다. 제안된 프로토콜은 모든 기기들이 스캐터넷 형성을 완료할 때까지 걸리는 실행시간이 기기들의 수가 늘어나도 크게 변하지 않으며, 인접 기기들 간의 통신 링크를 최대로 형성하여 보다 신뢰도 높은 mobile ad hoc network을 형성하도록 해 준다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 Ⅱ장에서는 기존의 블루투스 스캐터넷을 형성하기 위해 제안된 여러 프로토콜에 관하여 살펴본다. 제 Ⅲ장에서는 제안된 블루투스 스캐터넷 형성 프로토콜의 Init, Ready, Complete 단계를 살펴보고, 그 동작에 대하여 설명한다. 제 Ⅳ장에서는 시뮬레이션을 통해 제안된 블루투스 형성 프로토콜의 여러 가지 성능을 평가한다. 제 Ⅴ장에서는 결론을 내리고, 앞으로 더 연구할 과제에 대하여 정리한다.

Ⅱ. 스캐터넷 형성에 관한 기존 연구

이 장에서는 블루투스 스캐터넷 형성에 관한 기존의 연구 중에서 BTCP, TSF, BlueStars에 대하여 소개한다.

2.1 BTCP[5]

BTCP (Bluetooth Topology Configuration Protocol) 는 Phase1, Phase2, Phase3의 세 단계로 이루어진 스캐터넷 형성 알고리듬이다. BTCP의 특징은 두 피코넷 사이를 연결하는 bridge 노드를 하나만 사용하며, 하나의 bridge 노드는 단 두 피코넷만 연결하고, 전체 피코넷 수를 최소로 만드는 하나의 스캐터넷을 형성한다는 것이다.

BTCP는 그 동작이 간단하고, 피코넷 간의 간섭이 적은 스캐터넷을 형성할 수 있다. 하지만, 위에 언급된 특징을 항상 만족하기 위해 노드 수가 36개 이하로 제한되며, 모든 노드들이 블루투스 통신 범위 안에 있는 상황에서만 사용할 수 있다는 제약이 있다.

2.2 TSF[6]

TSF (Tree Scatternet Formation) 는 tree형태의 스캐터넷을 형성하는 알고리듬이다. TSF의 노드들은 어떤 connection을 이루고 있는가에 따라, 아무 connection도 없는 free 노드, 슬레이브만 가지고 있는 root 노드, 슬레이브와 마스터 모두 가지고 있는 intermediate 노드, 마스터만 가지고 있는 leaf 노드로 구분된다.

TSF는 한 노드가 사라져 tree가 쪼개진 경우 이를 자동으로 하나의 tree로 다시 만드는 self healing 등의 기능이 있지만, 최종 스캐터넷의 모양이 tree 형태여서 root 노드가 스캐터넷 내의 bottleneck이 되고, 모든 노드들이 블루투스 통신 범위 안에 있어야 제대로 동작한다는 단점이 있다.

2.3 BlueStars[9]

BlueStars는 모든 노드들이 블루투스 통신 가능 범위에 있어야 한다는 제약을 해결한 스캐터넷 형성 프로토콜로써 Discovery, Bluestars formation, Scatternet formation으로 구성된 세 단계로 이루어져 있다.

Discovery 단계는 주변 기기를 찾는 과정이다. 노드들은 inquiry/inquiry scan 과 page/page scan을 통해 자신의 주위에 있는 노드들과 피코넷을 형

www.dbpia.co.kr

성하며 서로의 정보를 교환한다. Discovery 단계가 끝나면 각 노드들은 자신의 주위에 있는 노드들에 대한 정보, 예를 들면, 노드 ID 와 Weight 값을 알게 된다. Bluestars formation 단계는 전체 네트워크 내에서 국부적인 피코넷을 형성한다. 이전 단계에서 교환된 정보를 가지고 자신의 Weight와 자기 주위의 기기의 Weight를 비교하여 자신의 값이 가장 클 경우 Init 기기가 되어, 자신을 마스터로 하고 자신의 주위 노드들을 슬레이브로 하는 피코넷을 만든다. Scatternet formation 단계에서는 형성된 피코넷들을 서로 연결하여 스캐터넷을 형성한다. 각 피코넷의 마스터는 자신의 슬레이브들로부터 정보를 받아, 자기와 직접 연결될 수 없지만 자기의 슬레이브를 통하여 연결 가능한 다른 노드들을 알 수 있고, 슬레이브와 그 주위 노드간의 연결을 만들도록 명령을 내림으로써, multi-hop 스캐터넷을 형성하게 된다.

Ⅲ. 블루투스 스캐터넷 형성 프로토콜

3.1 개요

본 장에서는 블루투스 스캐터넷 형성을 위한 알고리듬인 Bluetooth Scatternet Formation Protocol (BSFP) 을 제안한다. BSFP는 각각의 블루투스 기기에서 독립적으로 수행되고, 초기단계에서 주변 기기들에 대한 정보를 요구하지 않으며, 모든 기기들이 블루투스의 통신 가능 범위 안에 모여 있지 않아도 스캐터넷을 형성할 수 있다. 지금부터 BSFP에 대한 설명을 간단히 하기 위하여 블루투스를 사용할 수 있는 기기를 노드라고 부른다.

3.2 BSFP 알고리듬

BSFP는 각각의 노드가 Init, Ready, Complete 단계를 거치면서 스캐터넷을 형성한다. 각 단계는 주변 노드와의 링크 형성, 형성된 링크를 이용하여 피코넷 형성 확정 및 불필요한 링크 제거, 연결된 링크를 이용한 기기간의 통신으로 진행된다.

3.2.1 Init 단계

스캐터넷 형성 프로토콜을 시작하는 기기는 항상 Init 단계에서 동작을 시작한다. Init 단계의 노드는 세 가지 timeout 값을 가지고 있다. 첫째는 Init Timeout으로 노드가 Init Timeout 동안 주위의 새 기기를 찾아 새로운 링크를 형성하지 못하면, 자신의 단계를 Ready 단계로 바꾼다. Init Timeout은 노드가 켜질 때, 새로운 링크가 형성될 때 마다 reset된다. 둘째와 셋째는 inquiry timeout과 inquiry scan timeout이다. 이 값은 노드가 inquiry/inquiry scan 모드로 바꿀 때마다 reset되고 설정된 시간동안 각 모드를 진행한다.

스캐터넷 형성 프로토콜을 시작하는 노드는 먼저 inquiry를 수행할 것인지, inquiry scan을 수행할 것인지를 임의적으로 (randomly) 결정한다. 각 노드는 inquiry/inquiry scan을 반복적으로 수행하면서 두 노드의 inquiry/inquiry scan pair가 형성되면, 바로 page/page scan을 수행하여 두 노드 사이의 링크를 만든다.

이때의 링크들은 Init 링크 (Init link) 라고 하며, Ready 단계를 거치면서 이 중 불필요한 링크들은 제거된다. 두 노드가 링크를 형성하게 되면 필연적으로 하나의 노드는 마스터로, 다른 하나의 노드는 슬레이브로 동작해야 한다. Init 단계에 있는 슬레이브는 바로 Hold 모드로 들어가, 마스터와 슬레이브 모두 피코넷을 유지하면서 계속 inquiry/inquiry scan을 수행한다.

블루투스의 마스터는 7개의 슬레이브를 가질 수 있으므로 Init 단계에서 링크의 개수를 7개로 제한하며, 7개의 링크를 형성한 노드는 바로 Ready 단계로 이동한다.

3.2.2 Ready 단계

Ready 단계에서는 I_num과 Bd_addr의 두 가지 값을 가지고 동작을 수행한다. I_num은 Init 단계에서 얻은 Init 링크의 수이고, Bd_addr은 블루투스 기기가 고유로 가지고 있는 주소 번호 (Bluetooth BD_ADDR) 이다.

노드가 Ready 단계가 되면 자신과 Init 링크를 맺고 있는 노드들의 집합 S를 만들고, 자신의 단계가 Ready라는 것과 자신의 I_num을 집합 S의 모든 노드들에게 알린다. 그 후 집합 S의 노드들로부터 메시지를 받아 각 노드들의 단계와 I_num을 알아낸다. 메시지를 보내지 않는 노드는 Init 단계라고 가정한다. 만일 집합 S의 노드 중 Init 단계에 있는 것이 있으면, 아무런 동작도 수행하지 않으며, 집합 S의 모든 노드들이 Ready 단계가 되기를 기다린다.

집합 S의 노드들이 모두 Ready 단계가 되면, 자신의 I_num과 집합 S의 노드들의 I_num을 비교한다. 자신의 I_num이 가장 크고, 자기와 같은 I_num을 가지고 있는 노드가 없다면, 이 노드는 자신을 마스터로 하고, 집합 S에 있는 노드들을 슬레이브로

www.dbpia.co.kr

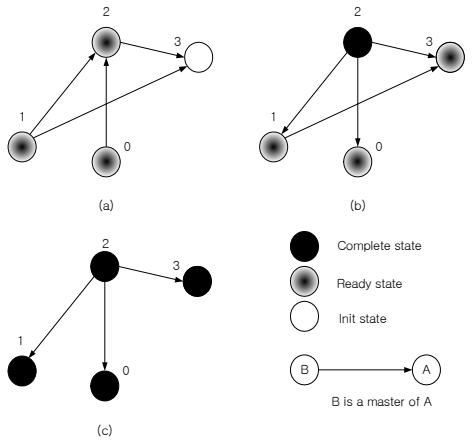

그림 3.1 Ready -> Complete (노드 2)

하는 피코넷을 만든다. 피코넷을 만든 후에는 자신의 슬레이브들 사이의 불필요한 마스터/슬레이브 링크들이 있는지 조사하여 이를 제거하고, 자신의 단계를 Complete로 바꾼 후 자기 피코넷의 슬레이브들에게 이를 알린다.

그림 3.1은 BSFP의 Ready 단계의 동작을 보여준다. 그림 3.1 (a)의 노드 0, 1, 2는 Ready 단계이나 노드 3이 Init 단계이므로 아무런 동작을 수행하지 않는다. 그림 3.1 (b)에서는 노드 3이 Ready 단계가 되면, 노드 2가 가장 큰 I_num을 가지고 있으므로 자신의 피코넷을 만들기 위해 자신의 Init 링크들에서 자신의 역할을 마스터로 바꾼다. 그림 3.1 (c)에서는 피코넷의 슬레이브들 사이에 존재하는 마스터/슬레이브 링크를 제거한다.

노드의 I_num과 집합 S의 노드들의 I_num을 비교했을 때, 비록 자신의 I_num이 가장 크지만, 집합 S의 노드들 중 자신과 같은 I_num을 가지고 있는 노드가 있다면, Bd_addr을 비교하여 마스터를 결정한다. 결정 후 동작은 앞의 경우와 동일하다.

집합 S의 노드 중 Complete로 단계가 바뀐 노드가 있으면 그 노드를 집합 S에서 제거하고, 자신의 I_num도 1만큼 감소시킨다. 또 주위의 노드로부터 중복 링크를 제거하기 위한, Init 링크를 제거하라는 명령을 받으면 그 Init 링크를 제거하고 자신의 I_num을 1만큼 감소시킨다. 자신의 I_num을 조사하여 그 값이 0인 경우에는 자신의 단계를 Complete 단계로 바꾼다.

3.2.3 Complete 단계

Complete 단계가 되면 자신의 주변 노드들에게 자신이 Complete 단계로 되었음을 알린다. 모든 노드들이 Complete 단계가 되었다는 것은 BSFP가 완료 되었다는 것과 블루투스 기기들의 스캐터넷이 형성되었다는 것을 의미한다.

3.3. BSFP 동작 예

본 절은 제안된 BSFP를 이용하여 스캐터넷을 형성해가는 과정을 설명하도록 한다. 초기에 20mx 20m의 범위에 15개의 노드가 분산되어 있는 상황을 가정하자.

그림 3.2에서는 Init 단계의 노드들끼리 inquiry/inquiry scan을 반복하면서 서로 링크를 형성하는 모습을 볼 수 있다.

그림 3.3을 보면, Ready단계의 노드 (노란색 노드) 들이 생겨나고 있음을 알 수 있다. Ready 단계의 노드들은 자신들이 연결 가능한 링크 7개를 다 만들어서 Ready 단계가 된 것과, Init Timeout을 기다려서 Ready 단계가 된 것들로 구성 된다. 중간 위의 노드는 주변 노드들이 Ready 단계로 되면서 Complete 단계로 된 것을 알 수 있다.

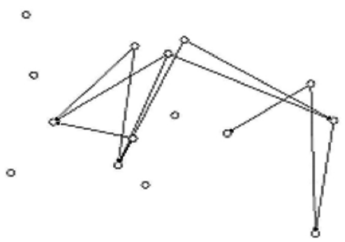

그림 3.2 BSFP : Init 단계

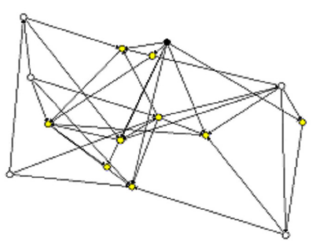

그림 3.3 BSFP: Init - Ready - Complete 단계

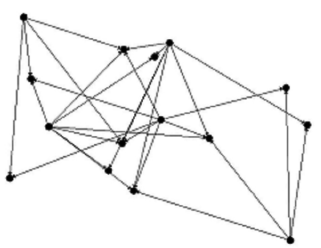

그림 3.4 BSFP: Complete 단계

www.dbpia.co.kr

그림 3.4에서는 모든 노드들이 Complete 단계가 되어 스캐터넷을 형성한 것을 보여준다.

3.4 특징

제안된 BSFP는 다음 4가지의 특징을 가진다.

첫째, 블루투스의 기기들이 통신가능범위 안에 모여 있지 않아도 스캐터넷을 형성할 수 있다.

둘째, 블루투스 기기들은 초기에 주변 기기들에 대한 일체의 정보를 가지고 있지 않아도 된다.

셋째, Init 단계에서는 주변 기기들과 가능한 많은 링크를 형성하고, Ready 단계에서는 피코넷 안의 중복된 링크만을 제거하여, 사용 가능한 링크수를 최대로 한다. 중복된 피코넷을 제거하여 사용 가능한 링크수를 최대로 하는 네트워크를 형성하므로 전체 스캐터넷의 기기들 간의 링크 거리 (link hop number) 를 줄인다.

넷째, 피코넷 사이의 bridge 노드들이 많이 생성되어 스캐터넷의 기기들 사이에 다중의 data path가 존재하게 되므로, 중간에 오동작을 하거나 사라지는 노드들이 있어도 전체 스캐터넷은 비교적 안정적으로 유지된다.

Ⅳ. 실험 결과

이 장에서는 본 논문에서 제안한 프로토콜의 성능 평가를 위하여 수행한 시뮬레이션 결과를 통해 BSFP의 우수성을 보인다. 이를 위해서 C++를 이용한 블루투스 시뮬레이터를 구현하였으며, 제안된 BSFP와의 성능 비교를 위해 BlueStars와 BTCP를 구현하였다. 실험은 스캐터넷이 형성되는 과정에 중점을 두었기 때문에 frequency hopping은 구현하지 않았고, inquiry/inquiry scan, page/page scan을 중심으로 구현하였다. 각 노드들은 블루투스 Class 2의 송신전력을 기준으로 하여 통신 가능범위는 10m로 설정하였다. 실험의 신뢰성을 높이기 위해서 각 실험은 200번씩 수행되었으며, 그 평균값을 결과값으로 사용하였다.

본 실험에서 성능 지표로 Connectivity를 사용한다. 총 N번의 시뮬레이션을 수행하였을 때, 모든 노드가 하나의 스캐터넷에 속한 경우가 S번 발생하였다면 Connectivity는 다음과 같이 정의하였다.

$$Connectivity=S/N \quad (1)$$

Connectivity가 높다는 것은 그만큼 노드들이 하나의 스캐터넷으로 구성될 확률이 높다는 것이므로 Connectivity가 높아야 좋은 스캐터넷 형성 프로토콜이다.

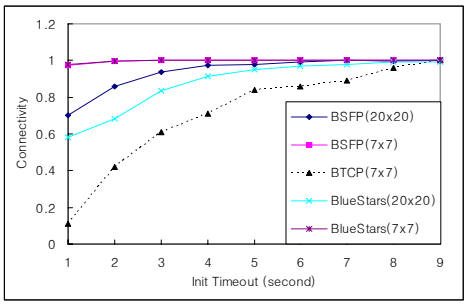

그림 4.1 Init Timeout - Connectivity

그림 4.1은 Init Timeout을 1초부터 9초까지 설정하였을 때의 Connectivity를 나타낸다.

그림 4.1 범례의 BSFP(20x20), BlueStars(20x20)는 15개의 기기들이 20m x 20m의 범위 안에 있을 때이고, BSFP(7x7), BTCP(7x7), BlueStars(7x7)는 모든 기기들이 7m x 7m의 범위 안에 있을 때이다. 각 프로토콜에서 사용한 환경은 동일하며 각 기기들의 동작은 동시에 시작된다고 가정하였다.

BTCP에서는 phase1에서 page scan 모드로 들어가는 노드들이 있어, 이 노드들이 이후의 Connection에 전혀 영향을 미치지 않는 반면, BSFP와 BlueStars는 모든 노드들이 계속 주변 노드들과 Connection을 맺으려 하기 때문에 전반적으로 이들은 BTCP 보다 높은 Connectivity를 보여준다. 7m×7m의 경우에는 밀집도가 높기 때문에 BSFP와 BlueStars 모두 높은 Connectivity를 가진다. 하지만 20m×20m의 경우에는 밀집도가 낮기 때문에 Init Timeout이 작을 때는 Connectivity가 낮다. 이 경우 두 프로토콜을 비교하면, BSFP가 더 높은 connectivity를 보이는데 이는 BlueStars가 정해진 시간동안만 주변기기와 연결을 이루는 반면, BSFP는 주변 노드와 연결을 이룰 때마다 Init Timeout을 재설정하여 보다 더 많은 연결을 이루기 때문이다. 스캐터넷을 형성하려는 모든 노드들은 동시에 스캐터넷 형성 프로토콜을 시작할 수도 있다. 하지만 모든 노드가 동시에 시작하는 것은 현실적으로 어렵기 때문에 어느 정도의 시간 안에서 모든 노드들이 스캐터넷 형성 프로토콜을 시작한다고 가정하는 것이 보다 현실적이다. 이 시간 간격을 Start Delay라고 정의하자. 아래의 그림 4.2는 Init Timeout이 5초일 때, Start Delay를 1초에서 6초까지 설정하였을 때의 Connectivity를 나타낸다.

www.dbpia.co.kr

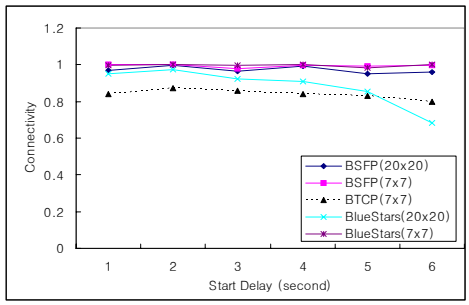

그림 4.2 Start Delay - Connectivity

그림 4.2에서 볼 수 있듯이 Init Timeout이 5초일 때 주어진 범례 모두 높은 Connectivity를 가진 것을 알 수 있다. Start Delay를 주었을 때, 대부분의 경우 큰 영향을 미치지 않는 것을 알 수 있다. 하지만 BlueStars(20m x 20m)의 경우에는 Init Timeout이상의 Start Delay가 주어질 경우 Connectivity가 점점 낮아지는 것을 알 수 있다. 이는 Start Delay가 작은 노드들이 큰 노드들을 찾지 못하는 경우가 발생하기 때문이다.

V. 결 론

본 논문에서 블루투스 스캐터넷을 형성하는 BSFP를 제안하였다. 제안된 BSFP는 Init, Ready, Complete의 세 단계로 나누어져 수행 되는데, 처음 Init 단계의 블루투스 기기는 자기 주위에 있는 기기들과 최대한 많은 링크를 생성한다. Ready 단계가 되면 Init 단계에서 만든 링크들을 이용하여, 피코넷을 확정해 가면서 스캐터넷에서 사용되지 않은 피코넷 안의 중복된 링크를 제거하고, Complete 단계가 되어 스캐터넷 형성을 마친다. Ready 단계에서 제거되는 링크는 피코넷 안의 중복 링크들뿐이므로, 형성된 스캐터넷은 Init 단계에서 생성된 링크들을 최대한 사용하게 된다.

제안된 블루투스 스캐터넷 형성 프로토콜의 가장 큰 장점은 각각의 블루투스 기기들이 모두 통신가능범위 안에 모여 있지 않아도 된다는 것과, 블루투스 기기들 간에 많은 링크를 형성하기 때문에 기기들 사이에 다중의 data path가 존재하여, 중간의 기기 하나가 사라져도 전체 스캐터넷이 연결되어 있을 가능성이 높다는 점 등이다. 또, 본 논문에서는 시뮬레이션을 통해 Init Timeout, Start Delay에 따른 Connectivity를 보여 주어 높은 Connectivity를 보장해 줄 수 있다는 점 등을 보였다.

앞으로는 제안된 스캐터넷 형성 프로토콜에 의해 만들어진 스캐터넷에서 새로운 기기들을 어떻게 스캐터넷에 포함시킬 것인가, 기기들의 움직임에 따른 movement management를 어떻게 할 것인가, 형성된 스캐터넷에 더 적합한 새로운 라우팅 방법은 무엇인가, 두 개 이상의 피코넷을 연결하는 bridge가 언제 어느 피코넷과 통신할 지를 결정해 주는 스케줄링은 어떻게 할 것인가 등에 대한 연구가 더 필요하다.

참 고 문 헌

[1] S. Baatz and C. Scholz, "Building Efficient Bluetooth Scatternet Topologies from 1-Factors," in Proceedings of *IASTED International Conference on Wireless and Optical Communication*, July 2002.

[2] S. Basagni, and C. Petrioli, "Multihop scatternet formation for bluetooth networks," in Proceedings of *IEEE VTC* Spring, May 2002.

[3] C. C. Foo, and K. C. Chua, "BlueRings - Bluetooth Scatternets with Ring Structures", in Proceedings of *IASTED International Conference on Wireless and Optical Communication*, July 2002.

[4] C. Law, A. K. Mehta, and K. Y. Siu, "Performance of a New Bluetoth Scatternet Formation Protocol," in Proceedings of *ACM MobiHoc*, October 2001.

[5] T. Salonidis, P. Bhagwat, L. Tassiulas, and R. LaMaire, "Distributed Topology Construction of Bluetooth Personal Area Networks," in Proceedings of *IEEE INFOCOM*, April 2001.

[6] G. Tan, A. Miu, J. Guttag, and H. Balakrishnan, "Forming Scatternets from Bluetooth Personal Area Networks," *MIT Technical Report,* MIT-LCS-TR-826, October 2001.

[7] Z. Wang, R. J. Thomas, and Z. J. Haas, "Bluenet-a New Scatternet Formation Scheme," in Proceedings of *HICSS-35,* January 2002.

[8] G. V. Zaruba, S. Basagni, and I. Chlamtac, "Bluetrees-Scatternet Formation to Enable Bluetooth-based Ad hoc Networks," in Proceedings of *IEEE ICC,* June 2001.

[9] C. Petrioli, S. Basagni, and I. Chlamtac.

www.dbpia.co.kr

"Configuring BlueStars: Multihop Scatternet Formation for Bluetooth Networks." *IEEE Transactions on Computers, special issue on Wireless Internet*, vol. 52, no.6, pp. 779 - 790, June 2002.

임 채 권 (Chaegwon Lim) 정회원

2001년 2월 서울시립대학교 전자전기공학부 졸업
2003년 2월 서울대학교 전기컴퓨터공학부 석사
2007년 8월 서울대학교 전기컴퓨터공학부 박사
2007년 9월~현재 삼성전자 책임연구원
<관심분야> 무선네트워크성능분석, 무선매체접근제어, IEEE 802.11, 3GPP UMTS, 3GPP LTE/EPS 표준화 (SA WG2, RAN WG3)

허 명 선 (Myung-Sun Huh) 준회원

2007년 2월 국민대학교 전자 공학과 졸업
2007년 3월~현재 국민대학교 전자공학과 석사과정
<관심분야> 임베디드 시스템, 차량전자제어, WPAN

정 구 민 (Gu-Min Jeong) 종신회원

1995년 2월 서울대학교 제어계측공학과 졸업
1997년 2월 서울대학교 제어계측공학과 석사
2001년 3월 서울대학교 전기컴퓨터공학부 박사
2001년 8월~2004년 8월 (주)네오엠텔 책임연구원
2004년 9월~2005년 2월 SK 텔레콤 터미널 개발 팀 과장
2005년 3월~현재 국민대 전자공학부 조교수
<관심분야> 임베디드 시스템, 휴대용 단말기 어플리케이션, 차량전자제어, 모바일 로봇

www.dbpia.co.kr