

# 블루투스의 이질적 특성을 이용한 스캐터넷 형성 프로토콜\*

유환석\* 박준희\*\* 김상하\*

\*충남대학교 컴퓨터 과학과

\*\*한국전자통신연구원

(grep, shkim)@cclab.cnu.ac.kr, juni@etri.re.kr

## Scatternet Formation Protocol Using by heterogeneous characteristic of Bluetooth

Hwan-Souk Yoo\* Jun-Hee Park\*\* Sang-Ha Kim\*  
Dept. of Computer Science, Chung-Nam National University

### 요 약

현재 ad hoc의 연구 방향은 무선 기반의 패킷 라우팅에 관련된 것이 대부분이며 네트워크 토폴로지 생성에 대한 연구는 거의 진행된 것이 없다. 현재 대부분의 ad hoc 네트워크는 대표적인 싱글 채널 방식인 broadcast 기반의 무선 미디어 방식을 물리적 계층을 사용하며, 이를 기반으로 이동 노드의 무선 범위 제한을 극복하기 위한 형태로 네트워크 토폴로지를 형성한다. 블루투스(Bluetooth)는 frequency hopping(FH) 방식을 사용하므로 연결 설정 과정에서 동기화 과정이 반드시 요구되며, ad hoc 네트워크를 형성을 위해 다중 채널을 사용한다. 따라서 블루투스와 같이 다중 채널을 물리적 계층으로 사용하는 네트워크에서는 싱글 채널 방식과 달리 명시적으로 토폴로지를 형성하기 위한 메커니즘이 요구된다. 본 논문에서는 다중 채널과 블루투스가 탑재된 노드의 이질적 특성을 고려한 스캐터넷(Scatternet) 구성 메커니즘을 제안한다. 본 메커니즘은 각 노드의 전력 상태와 이동성 정보를 바탕으로 스캐터넷의 마스터와 브리지 노드를 선택 함으로써 효율적인 네트워크 토폴로지를 구성한다.

### 1. 서론

Ad hoc 네트워크는 기지국과 같은 기반시설(infrastructure)이 없는 환경에서 이동 노드가 패킷을 목적지로 전송하기 위해 이동 노드에 의해 라우팅이 수행되며 이동 노드에 의해 동적으로 형성되는 임시 네트워크를 의미한다. 그러므로 ad hoc 노드는 스스로 자신의 무선범위 내의 상대방 노드를 발견해야 하며, 무선 범위 밖의 노드는 주변의 노드를 경로로 사용하여 발견 및 통신할 수 있다.

현재의 ad hoc 네트워크 연구 방향은 무선 브로드캐스트 전송 방식 기반의 싱글 채널 환경에서의 패킷 라우팅이다. 현재 ad hoc 네트워크에 많이 사용되는 IEEE 802.11은 CSMA/CA 형태의 대표적인 브로드캐스트 MAC 프로토콜이다. 이는 모든 노드가 하나의 채널을 공유하여 통신을 하며, 무선 범위내의 모든 노드를 암시적으로 발견할 수 있다. 그러므로 현재의 싱글 채널 기반의 ad hoc 네트워크는 이동 노드의 무선 범위 제한을 극복하기 위한 형태로 구성된다. 즉, 싱글 채널의 ad hoc 네트워크 토폴로지 형성은 거리에 대한 무선 범위 제한이 중요한 변수로 작용한다.[1]

최근 PAN(Personal Area Network) 분야에서 연구되는 블루투스는 Frequency Hopping Spread Spectrum/Time Division Duplex (FHSS/TDD) 방식의 물리적 채널을 가지며

\* 본 논문은 BK21 대전-충남 정보통신 인력양성사업단 RA에 의해 지원되었습니다.

ISM(Industrial-Scientific-Medical) 밴드를 사용한다. 블루투스는 FHSS 방식을 사용하여 데이터를 전송하기 위해 특정한 패턴으로 주파수 대역 변경 한다. 그러므로 데이터를 수신 노드는 송신 노드가 전송하는 패턴을 알아야 한다. 이를 위해 초기 연결 설정 단계에서 FHS (Frequency hopping Sequence) 정보를 공유하여 노드간의 동기화 과정을 반드시 거쳐야 한다 동기화 된 노드들의 집합을 피코넷이라고 부른다.

블루투스는 다중 접근을 위하여 TDD 방식을 사용한다. 하지만 다중 접근 방식은 채널을 공유하는 노드가 많아지면 성능이 떨어지게 된다. 블루투스는 다중 채널을 사용하여 이러한 문제를 해결하였다. 다중 채널을 위해 ad hoc 형태의 네트워크를 형성하게 된다. 하지만 다중 채널을 사용함으로써 다른 FHS를 갖는 노드와 발견 및 통신이 불가능하다. 통신을 위해서는 여러 개의 채널을 공유하는 특정한 노드를 통해서만 가능하다. 여러 개의 채널을 공유하는 노드를 브리지(Bridge) 노드라 부르며 마스터(Master)와 슬레이브(Slave)가 모두 브리지 역할을 수행할 수 있다. 이와 같이 여러 개의 피코넷이 브리지 노드를 통해 연결된 ad-hoc 형태의 네트워크를 스캐터넷이라 부른다.

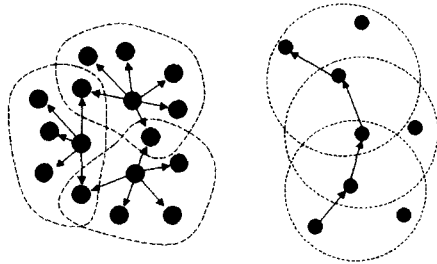
싱글 채널과 마찬가지로 블루투스 역시 노드간의 무선범위 제한으로 ad hoc 네트워크 형태의 스캐터넷을 형성한다. 이 경우 목적 노드에 도달하기 위한 2 Hop(홉)마다 피코넷을 형성한다. 스캐터넷과 같은 다중 채널을 사용할 경우 토폴로지를 구성하기 위한 명시적인 메커니즘과 각 노드의 역할이 명확하게 구분이 되어야 한다. 현재 제안되는 스캐터넷 형성 메커니즘은 블루투스 호스트가 제공하는 서비스 형태와 전원 공

급 형태를 고려하지 않은 동질적 형태의 스캐터넷을 구성한다. 본 논문에서는 블루투스 호스트의 이동성 정보와 현재 사용중인 전원의 특성 등의 정보를 사용한 이질적 형태의 스캐터넷 형성하는 메커니즘을 제안한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 블루투스 채널의 동기화 과정에 대해서 알아보고 3장에서는 스캐터넷 형성을 위한 메커니즘에 대해 살펴본다. 4장에서는 결론에 대해서 살펴본다.

2. 블루투스 채널의 동기화

블루투스는 ISM 밴드의 간섭을 피하기 위해 FHSS 방식을 사용한다. FHSS 방식 고유한 패턴에 따라 주파수 대역을 변경하며 데이터를 전송한다. 그러므로 데이터를 수신 노드는 송신 노드가 전송을 위해 선택한 주파수 대역과 동기 정보를 알아야 한다. 피코넷에 참여하는 모든 노드는 마스터 노드에 의해 결정된 Hopping Sequence(HS)에 따라 주파수 대역을 변경하며 통신한다.[2]

블루투스는 채널의 다중접근을 위해 TDD 방식을 사용한다. 채널을 공유하는 노드의 수가 증가하면 각 노드별로 전송을 위한 시간의 할당이 감소하게 된다. 이에 따라 성능이 급속하게 떨어진다. 이 단점을 보완하기 위해 다중 채널을 사용한다. 즉 노드가 증가함에 따라 피코넷에 참여하는 수를 증가 시키지 않고 새로운 피코넷을 형성한다. 새로 형성된 피코넷은 기존의 피코넷과 중첩되지 않는 FHS를 사용한다. 그러므로 피코넷 구성원 간의 통신이 다른 피코넷에 영향을 주지 않게 된다. 하지만 두개의 노드가 같은 무선 범위 내에 존재하지만 각 노드가 다른 피코넷에 참여하여 다른 채널을 사용하면 두 노드는 직접 통신은 불가능하다.



[그림 1] 스캐터넷의 형태

다른 채널의 노드와 통신을 위해서는 두개의 채널을 동시에 공유하는 브리지 노드를 통해야만 가능하다. 이와 같이 두개 이상의 피코넷이 브리지 노드를 통해 연결된 형태를 스캐터넷이라 부른다. [그림 1]는 스캐터넷의 일반적인 구성 형태를 나타낸다. 블루투스 장치가 통신을 위해서는 Inquiry/Page 과정을 거쳐야 한다. Inquiry/Inquiry Scan 과정은 주변의 노드를 발견하고 Paging에 필요한 Slave의 정보를 마스터가 얻는 것을 목적으로 한다. Page/Page Scan 과정은 연결을 설정하기 위해 Slave의 동기화 정보를 이용하여 Master의 동기화 정보를 Slave에게 전송한다.

3. Scatternet Formation Protocol

본 메커니즘은 9개 이상의 블루투스 노드가 스캐터넷을 형성하기 위해 사용한다. 기존의 [1] 메커니즘은 블루투스 주소와 Inquiry과정의 수행 시간을 비교하여 Coordinator를

선택하여 한다. Coordinator는 각 노드의 역할을 결정한다. 하지만 [1]은 노드의 전원, 이동성, 전파의 감도 세기 등의 특성을 고려하지 않고 마스터와 브리지 노드를 선택한다.

본 메커니즘은 ad-hoc 환경의 노드의 특성을 고려하여 스캐터넷에서의 역할을 결정한다. 다음은 노드의 특성에 따른 예를 나타낸다.

- 배터리를 사용하여 동작 중인 PDA는 PC와의 통신에서 마스터보다는 슬레이브의 역할이 적합하다. 하지만 전원 어댑터에 연결되어 PDA는 슬레이브와 마스터 역할을 모두 수행할 수 있다.
- PDA와 헤드(Headset)의 통신인 경우 Headset은 소형 배터리만을 사용 가능하므로 마스터 또는 브리지 노드의 역할에 부적당하다.
- 고정된 위치의 가전제품은 전원의 제한이 없고 이동성이 없으므로 마스터/브리지 역할이 적합하다.

본 프로토콜은 노드의 특성을 나타내기 위해 이동성 정보와 전원상태 정보를 <M,P>와 같이 쌍(pair)으로 표현한다.

이동성에 관한 정보는 호스트 모듈에 의해 제공되는 서비스에 의해 결정된다.

단계	설명	값	수행과정
1	Fixed	0.5 - 1.0	Inquiry & Scan
2	Mobile	0.3 - 1.0	Inquiry & Scan
3	Portable	0.0 - 0.5	Inquiry Scan

[표 1] 이동성 M 구분 표

단계	상태	값	수행과정
1	Fixed Outlet	0.8-1.0	Inquiry & Scan
2	Sufficient Battery	0.4-0.7	Inquiry & Scan
3	Weak Battery	0.0-0.3	Inquiry Scan

[표 2] 전원 상태 P 구분 표

Mobile 단계의 노드는 전원 상태에 의존하여 Inquiry 또는 Inquiry Scan 과정을 수행할 수 있다. Portable 단계의 노드는 Inquiry Scan 과정만을 수행 할 수 있다.

1 단계 (주변노드 발견 단계): 자신의 무선범위 내의 노드를 발견하기 위해 Inquiry 과정을 수행한다. 발견된 노드의 FHS 정보와 노드의 상태를 Inquiry 과정을 통해 전달 받는다. Inquiry 과정을 수행하는 노드는 발견된 노드의 상태 정보를 < 자신의 FHS, 주변노드의 FHS, <M,P>, 카운터>의 엔트리를 작성한다. 상태에 따라 초기 수행하는 과정을 살펴보면 다음과 같다. 현재 노드 i의 상태 ( $S_i = M_i \times P_i$ )를 계산한다. 카운터에는 Inquiry 과정을 시작할 때의 Native Clock 값을 갖는다.  $S_i < S_j$ 를 만족하는 노드를 발견하면 수집한 정보를 노드 j에서 전달한다. 이 과정이 계속 반복되면 하나의 노드가 주변의 모든 노드에 대한 상태 정보를 갖게 된다.

Case 1. ( $S_i > N_i$  경우)

1. Inquiry 과정을 시작하여 주변노드의 엔트리를 작성한다.
2. Inquiry 과정 중  $S_j < S_i$  만나면 노드 j의 상태 정보를 전달 받아 엔트리를 기록한다.
3. Inquiry 과정 중  $S_j = S_i$  만나면 카운터를 비교하여 더 큰 값을 가진 노드에게 모든 엔트리를 전달한다.

4. Inquiry 과정 중  $S_j > S_i$  만나면 모든 엔트리를 노드j에게 전달하고, Page Scan 상태로 상태를 변경한다.

Case 2. ( $S_1 > N_2$  경우)

1. 20ms 동안 Inquiry Scan 과정을 수행한다.
2. Inquiry response를 받지 못하면 Case 1을 수행한다.

Case 3. ( $S_1 < N_3$  경우)

1. Inquiry Scan 과정을 수행하며 자신의 상태 정보를 주변노드에게 전달한다.
2. 마스터로부터 Page 요청을 기다린다.

Case 4. 노드 발견 과정의 종료

1. DISCOVERY\_TIMEOUT 동안 새로운 노드가 발견되지 않을 경우 과정을 종료한다.
2. N-1개의 노드가 Page Scan 상태에 전환되었을 경우
3. INQUIRY\_TIMEOUT이 만료된 경우 과정을 종료한다.

노드 발견 과정의 종료 후 노드들의 모든 상태 정보를 가진 노드를 Coordinator라 한다.

2 단계 (Master/Bridge/Slave 결정) : Coordinator는 주변 노드로부터 전달 받은 상태 정보를 사용하여 Designate 마스터, 브리지, 슬레이브 노드에 대한 목록을 작성한다. [수식 1]을 사용하여 필요한 마스터 노드의 수  $N_p$ 를 계산한다. 피코넷의 수는  $N_p$ 에 의존하며 브리지 노드의 수는  $N_p(N_p-1)/2$ 이다.

$$P = \left\lfloor \frac{17 - \sqrt{289 - 8N}}{2} \right\rfloor, \quad 1 \leq N \leq 36$$

[수식 1] 필요한 마스터 노드의 수 [1]

Case 1. 같은 무선범위에 대한 피코넷 형성

1. 무선범위내의 노드 수를 계산하여 Designate 마스터의 수  $N_{designate}$ 를 계산한다.
2. 가장 큰 상태 정보를 가진 노드부터 무선범위내의 모든 슬레이브 노드에 도달 가능한 Designate 마스터의 조합을 찾는다.
3. 이 조합 중 슬레이브 노드의 수가  $(N/N_{designate})$ 에 근접한 조합을 선택한다.

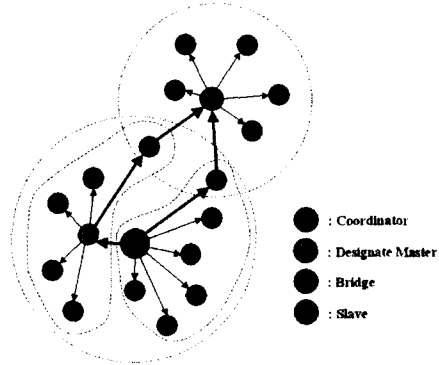
Case 2. 1 Hop 이상의 노드에 대한 피코넷 형성

1. 각 Designate 마스터의 무선범위로부터 직접 도달 불가능한 노드  $N_{indirect}$ 를 찾는다.
2.  $N_{indirect}$  목록 중 가장 높은 상태정보를 가진 노드가 Designate 마스터로 선택된다.
3. 직접 도달 가능한 노드 중 Designate 마스터에 도달 가능한 노드를 브리지 노드로 선택한다.
4. 이 과정을 통해 도달 불가능한 노드가 있다면 이 과정을 반복한다.

3 단계 (스캐터넷 형성) : Coordinator로부터 전달 받은 목록으로 Designate 마스터는 자신의 피코넷을 형성한다. Designate 마스터는 SLAVELIST 목록의 노드에게 자신의 FHS 정보를 전달하는 Page 과정을 수행하므로 피코넷을 형성하게 되고, 브리지 노드는 여러 개의 마스터로부터 Page 과정을 수행한다. Page 과정을 완료한 브리지 노드는 Paging 요청한 마스터에게 완료 메시지를 전송한다. 마스터는 브리지 목록의 모든 노드에게 완료 메시지를 전송 받으면 본 프로토콜을 종료한다.

5 단계 (스캐터넷 관리) : 스캐터넷의 형성된 후 노드의

전원에 대한 정보는 임의로 될 수 있다. 변경된 결과가 전원 레벨이 낮아지면 현재의 역할을 수행하지만 레벨이 높아지면 Master-Slave Role Change 과정이나 브리지 노드를 다시 선택하는 과정을 수행한다.



[그림 2] 스캐터넷의 형성

4. 결론

본 논문에서는 브로드캐스트 기반의 싱글 채널과 frequency hopping 기반의 다중 채널에 대하여 살펴보았다. 싱글 채널과 달리 블루투스 같이 물리적 계층에서 다중 채널을 사용하면 ad hoc 형태의 네트워크를 형성하기 위한 명시적인 스캐터넷 형성 메커니즘이 요구된다.

본 논문에서는 노드의 서비스 특성과 전원 상태를 고려한 스캐터넷을 구성한다. 스캐터넷에서 노드의 특성에 맞는 역할을 선택 함으로써 노드의 이동에 대한 영향을 최소화 할 수 있으며, 이동노드의 전력 소모를 감소할 수 있다. 또한 전력 소모에 비존재적인 노드는 무선전송 파워를 증가하여 100m 이내의 다른 피코넷과 브리지 노드를 역할을 할 수 있고 주변의 노드는 이를 감지하여 마스터/브리지 노드로 선택할 수 있다.

추후 연구방향은 다중 홉에 대한 스캐터넷의 형성과 메커니즘에 대한 성능 측정을 위한 시뮬레이션이 필요하다. 브리지 또는 마스터 노드의 이동에 따른 스캐터넷의 관리에 대한 메커니즘에 대한 연구가 필요하며 최적의 처리율(Throughput)을 갖는 스캐터넷을 형성하기 위한 피코넷 형성에 관한 연구가 요구된다. 또한 노드의 특성에 관한 연구에서 RSSI (Received Signal Strength Indicator)를 이용한 보다 효율적인 스캐터넷의 형성에 관한 연구가 필요하다.

5. 참고문헌

- [1] T.Salonidis, et al., "Distributed Topology Construction of Bluetooth Personal Area Networks," IEEE INFOCOM 2001, pp 1577-1586
- [2] J.Haartsen, "Bluetooth Baseband Specification, version 1.1.," The Official Bluetooth Website, February 2001.
- [3] B.A.Miller and C. Bisdikian, Bluetooth Revealed, Prentice Hall, 2001.