

분산 로봇 시스템을 위한 자기 조직화 가능한 블루투스 네트워크

Self-Organizable Bluetooth Network for Distributed Robot System

황세희, 장인훈, 심귀보
중앙대학교 전자전기공학부

Se-Hee Whang, In-Hun Jang, and Kwee-Bo Sim

School of Electrical and Electronic Engineering, Chung-Ang University

E-mail : kbsim@cau.ac.kr

ABSTRACT

블루투스는 작은 크기와 저렴한 가격, 표준화된 프로토콜, 저전력 소모 등의 잇점으로 인해 로봇에 응용하기 적합한 무선 기술로 주목받고 있다. 그러나 단일 통신망을 구성하기 위해서는 1:7의 Master/Slave 구조와 무선 통신거리 등의 제약사항이 있다. 블루투스를 로봇 시스템에 적용하기 위해서는 주위 환경에 따른 자기 조직화를 통해서 이러한 단점을 보완하고 주위 환경의 변화에 적절하게 대응을 할 수 있도록 하는 네트워크 구성 시스템이 필요하다. 자기 조직화를 하기 위해서는 Discovery, Organization, Maintenance, Reorganization의 크게 4단계의 과정을 거친다. 본 논문에서는 분산 로봇 시스템을 위해 트리구조를 이용한 자기 조직화 가능한 블루투스 네트워크를 구현하고 그 성능을 평가한다.

Key words : 블루투스 네트워크, 자기조직화 네트워크, 트리구조

1. 서 론

본 논문에서는 로봇 시스템에 적용하기 위한 자기 조직화가 가능한 블루투스 네트워크를 제안한다. 블루투스 네트워크의 자기 조직화가 가능하기 위해서는 Wireless Sensor Network 및 Mobile Computing and Network 분야에서 연구 중인 자기 조직화 프로토콜과 알고리즘, 네트워크 구조를 적용시키는 것이 필요하다 [1].

자기 조직화 과정은 크게 Discovery, Organization, Maintenance, Reorganization의 4가지 과정으로 나뉘어진다 [2]. 대표적인 자기조직화 알고리즘과 프로토콜로는 Linked Clustering Algorithm [3], UCLA의 SMACS, EAR, SAR, SWE and MWE [4][5] 등이 있다.

자기 조직화 블루투스 네트워크에서도 4가지 과정을 통해서 시스템이 구성 및 유지된다. LCA 알고리즘이 소규모의 노드들을 모아서

클러스터를 형성하고 이들이 모여서 큰 네트워크를 만드는데 반해서 본 논문에서는 각 노드별 이웃노드의 개수를 이용해서 트리의 최상위 노드를 결정한 다음 하위 네트워크를 구성해 나간다. 이후에는 블루투스의 Periodic Inquiry를 통해서 구성된 네트워크가 유지되고 있는지를 검사한다. 통신 반경을 벗어나거나 통신반경 내에 들어오는 경우에는 변화사항에 따라서 네트워크를 재구성한다.

최적의 네트워크 조합을 찾아주는 알고리즘은 아니지만 프로세스를 적게 차지하며 쉬운 알고리즘이기 때문에 성능에 제약이 있는 로봇 시스템에 적용하기에 적합하다.

본 논문의 2장에서는 블루투스의 특징과 네트워크 설정에 관한 설명하고 3장에서는 자기 조직화의 개념을 설명한다. 4장에서는 트리 구조를 이용한 자기 조직화 네트워크 및 블루투스 네트워크에 적용되는 과정을 설명한다.

II. 블루투스

블루투스(Bluetooth)는 1994년 Ericsson에서 휴대폰과 주변기기를 연결하기 위한 저전력, 저가 솔루션의 개념으로 개발되었다. 무선 솔루션으로서 응용 가능성을 인정받게 된 이후 Bluetooth SIG가 조직되고 무선 통신 기술의 하나로 확고하게 자리를 잡게 되었다.

블루투스는 '저가(Low Cost), 저전력(Low Power), 소형(Compact)'이라는 조건을 만족시키는 무선 통신 기술로 배터리 전원을 이용한 휴대용 기기에 사용하도록 고안되었다. 이러한 특징 때문에 블루투스는 로봇 시스템에 적용하기 알맞은 무선 통신 기술로 인정받고 있다.

표 1. 블루투스의 사양

이동주파수	2.4 GHz ISM Band ($f=2402\text{MHz}+k, k=0,1,2,\dots,78$)
데이터 전송률	1 Mbps (실제 전송 최고 속도 723.2 kbps)
확산 방식	주파수 호핑 스펙트럼 확산 방식(FHSS)
주파수 확산	초당 1600회
송출 전력	SCO 링크 지원
변조 방식	GFSK (Gaussian Frequency Shift Keying)
최대 전송 거리	100mW(Class1), 2.5mW(Class2), 1mW(Class3)
네트워크 구성	피코넷(마스터 1대당 슬레이브 7대까지 연결)
포함	스캐터넷 구성 시 대규모 네트워크로 확장
보안	Authentication(128bit), Encryption(8-128bit)

2.1 블루투스 구성

블루투스의 프로토콜 스택은 물리적인 인터페이스를 담당하는 HCI (Host Controller Interface) 프로토콜을 기준으로 상위와 하위 프로토콜로 나눌 수 있다. HCI 프로토콜은 Bluetooth SIG에서 제정한 표준 인터페이스이므로 제조사와 상관없이 모두 호환된다. 따라서 본 논문에서는 HCI 프로토콜을 이용하여 블루투스 네트워크를 구성하고자 한다.

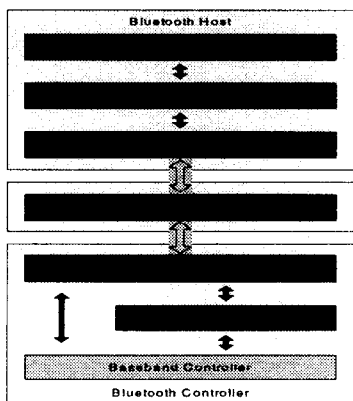


그림 1. 블루투스의 소프트웨어 계층도

2.2 블루투스의 네트워크 구조

블루투스는 기본적으로 1 : 7 의 Master / Slave의 구조로 네트워크를 구성한다. 하나의 Master에 다수의 Slave로 구성된 망을 PicoNet이라 하며 PicoNet이 여러 개 모여서 더 큰 망을 구성한 것을 ScatterNet이라 한다.

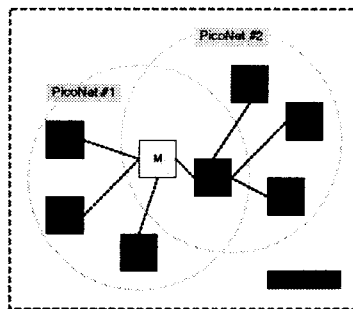


그림 2. 블루투스의 네트워크 구조

2.3 블루투스의 네트워크 구성 시퀀스

블루투스를 이용해서 네트워크를 구성하고자 할 경우에는 다음과 같은 과정을 거쳐야 한다. 먼저 망조회(Inquiry)를 통해서 주위의 모듈을 검색한 다음 연결을 설정한다.

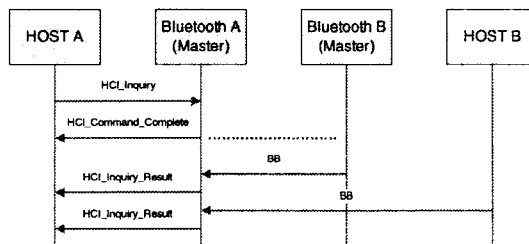


그림 3. 망 조회(Inquiry)

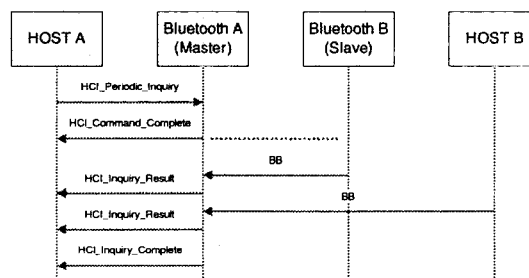


그림 4. 주기적 망 조회(Periodic Inquiry)

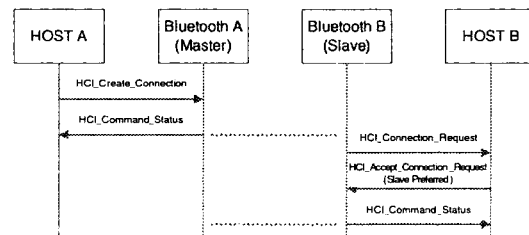


그림 5. 연결 설정

III. 네트워크 자기 조직화

3.1 자기 조직화

자기 조직화는 크게 4가지 과정을 통해서 이루어진다.

(1) Discovery Phase

: 각 노드는 통신 환경 내에 위치한 이웃 노드들을 알아낸다.

(2) Organization Phase

: 각 노드들은 서로 모여서 클러스터를 이루고 클러스터들이 모여서 더 큰 그룹을 이루며 결국 하나의 거대한 네트워크를 구성하게 된다.

(3) Maintenance Phase

: 각 노드들은 자신과 연결된 이웃 노드들이 통신 환경 내에 위치하는지 주기적으로 점검한다. 각 노드는 통신 환경을 벗어나거나 통신 장애로 인해 통신 유지가 안되는 노드나 통신 환경 내에서 새롭게 검색되는 노드를 찾아낸다.

(4) Self-Reorganization Phase

: 각 노드는 통신 환경 내에서 변경된 사항에 따라서 네트워크를 재구성한다.

3.2 제한 조건

노드의 총 개수는 유한하며 각 노드는 고유한 id를 가지고 있다.

IV. 블루투스 네트워크 자기 조직화

블루투스에 자기조직화 프로토콜을 적용할 경우 다음의 표와 같이 개념을 적용시킬 수 있다.

표 2 - 블루투스에 자기조직화 적용

개념	블루투스
Node	Module
Id	bd_address
Cluster	PicoNet
Network	ScatterNet
Discovery	Inquiry
Organization	Build ScatterNet
Maintenance	Periodic Inquiry
Reorganization	Rebuild ScatterNet

4.1 제한 조건

블루투스는 Master 하나에 7개까지 Slave를 가질 수가 있다. 모듈은 모두 같은 종류를 사용해서 통신 환경이 모두 같다고 가정한다. 모듈의 총 개수는 유한하며 각 모듈의 메모리 제한은 없다고 가정한다.

4.2 자기 조직화 적용

(1) Discovery Phase

: 블루투스 모듈은 모두 Slave로 설정된다. bd_address에 따라 하나의 모듈을 선택하고 이 모듈을 Master로 설정한다. 이 Master 모듈에서 Inquiry 신호를 보내고 이에 응답한 Slave들의 bd_address를 저장한다. 모든 모듈들이 이웃한 모듈의 정보를 얻을 때까지 다른 Master를 선택해서 같은 과정을 반복한다.

(2) Organization Phase

: Discovery 과정에서 이웃한 모듈이 가장 많은 모듈을 최상위 Master로 선택한다. 이웃한 모듈들이 여기에 Slave로 추가되어 PicoNet을 구성한다. 이 PicoNet의 Slave들이 아직 커버되지 않은 모듈을 이웃하고 있을 경우 Master 역할을 추가하고 새로운 PicoNet을 구성한다. 이런 방식으로 계속 네트워크를 확장해나가면 트리 구조의 ScatterNet이 구성된다.

(3) Maintenance Phase

: 각 모듈들은 Periodic Inquiry 과정을 통해서 통신 환경을 벗어난 모듈과 통신 환경 내에 진입하는 모듈을 찾아낸다. (트리 구조의 끝 단에 위치한 Slave 모듈들도 Master 기능을 추가해서 Periodic Inquiry를 수행한다)

(4) Self-Reorganization Phase

: 각 모듈의 위치 변화에 따라 통신 환경을 벗어난 모듈의 경우에는 트리 구조에서 연결을 제거한다. 반대로 통신 환경 내에서 새롭게 추가된 모듈의 경우에는 트리 구조에서 커버되고 있지 않을 때에만 트리 구조에 추가한다.

4.3 자기 조직화 적용 예

다음은 임의의 통신 모듈 분포에 따른 자기 조직화 네트워크 구성 과정을 보인다.

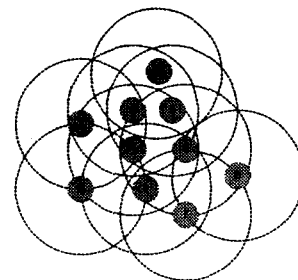


그림 6. 임의의 통신 모듈 분포

4.3.1 Discovery

각 모듈의 통신 반경 내에서 통신 가능한 모듈을 순서대로 정리하였다.

표 1. 모듈 별 Discovery 현황

모듈	이웃 모듈	모듈	이웃 모듈
1	4, 6, 7, 9	6	1, 3, 4, 5, 7, 8
2	4, 8, 9	7	1, 3, 6
3	6, 7	8	2, 4, 5, 6, 10
4	1, 2, 5, 6, 8, 9	9	1, 2, 4
5	4, 6, 8, 10	10	5, 8

4.3.2 Organization

이웃한 모듈이 가장 많은 4번과 6번 모듈을 이용해서 트리 구조를 구성하였다.

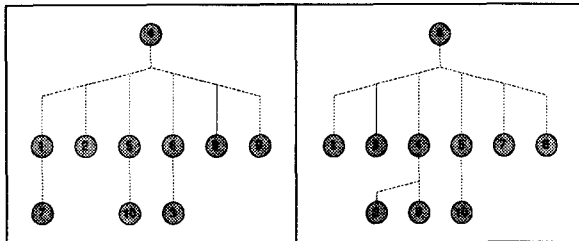


그림 7. 트리 구조 네트워크

4.3.3 Maintenance

5번과 9번 모듈이 움직였을 때 각 노드들이 Periodic Inquiry를 통해서 통신 반경에서 벗어나거나 새롭게 추가된 모듈을 검색한다.

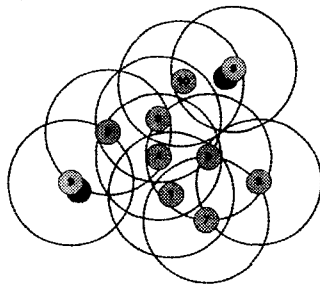


그림 8. 통신 모듈 분포 변화

4.3.4 Reorganization

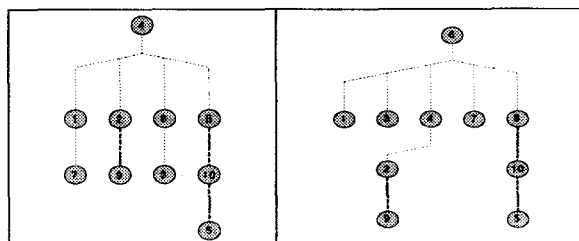


그림 9. 재구성된 트리 구조 네트워크

V. 결론

트리 구조를 이용한 자기 조직화 알고리즘은 4단계로 이루어진다. Discovery 단계에서는 각 통신 모듈의 이웃한 모듈의 정보를 파악한다. Organization 단계에서는 전 단계의 정보를 이용해서 트리 구조의 네트워크를 구성한다. Maintenance 단계에서는 주기적으로 각 모듈들의 통신 반경 내의 모듈들을 검색한다. 마지막 Reorganization 단계에서는 변동된 사항을 이용해서 트리 구조의 네트워크를 재구성하게 된다.

이러한 방법이 최적의 네트워크 조합을 구성해주는 것은 아니다. 하지만 알고리즘 적용이 쉽고 빠르게 네트워크를 구성할 수 있다는 장점이 있다. 트리 구조를 이용한 자기 조직화 네트워크는 프로세스를 많이 차지하지 않는 알고리즘으로 블루투스를 분산 로봇 시스템에 적용하고자 할 때 적합하다.

감사의 글: 본 연구는 과학기술부의 뇌신경정보학연구사업의 '뇌정보처리 메커니즘에 기반한 인간행동시스템연구'의 연구비 지원으로 수행되었습니다. 연구비 지원에 감사드립니다.

VI. 참고문헌

- [1] G. J. Pottie and W. J. Kaiser, "Wireless integrated network sensors," *Communication ACM*, vol. 43, no. 5, pp. 51-58, May 2000,
- [2] C. Chevally, R. E. Van Dyck, and T. A. Hall, "Self-organization protocols for wireless sensor networks," *Proceedings of 36th Conference on Information Sciences and Systems (CISS 2002)*, Princeton, March 2002.
- [3] D. J. Baker and A. Ephremides, "The architectural organization of a mobile radio network via a distributed algorithms," *IEEE Transactions of Communication*, no. 11, pp. 1694-1701, Nov. 1981.
- [4] K. Sohrabi, "On low power wireless sensor networks," Ph.D. dissertation, Dept. of Elec. Eng., UCLA, June 2000.
- [5] J. L. Gao, "Energy efficient routing for wireless sensor networks," Ph. D. dissertation, Dept. of Elec. Eng., UCLA, June 2000.
- [6] <http://www.bluetooth.org>