

# 센서네트워크 기반의 실내 위치인식 시스템에서 효율적인 비콘 관리 기법

## (An Efficient Beacon Management Technique for Sensor Network-Based Indoor Location Systems)

김 종 현 <sup>†</sup>      정 광 수 <sup>\*\*</sup>  
(Jonghyun Kim)      (Kwangsue Chung)

**요 약** 유비쿼터스 컴퓨팅 시대로 진입하면서 사물의 위치 정보를 기반으로 다양한 응용이 개발되고 있다. 무선 센서 네트워크는 저전력, 저가, 배치의 용이성 등이 주된 특징으로서 실내 위치 인식 시스템에 적합하다. 크리켓과 같은 실내 위치 인식 시스템에서는 노드간의 거리를 인식하기 위해서 초음파 신호와, 라디오 신호를 주기적으로 전송한다. 하지만 배치되는 센서 노드의 수가 증가할수록 신호간의 간섭 및 충돌 횟수가 증가하여 위치 인식 시스템의 정확도가 저하된다.

본 논문에서는 On-demand 비콘 관리 기법을 제안하여 리스너와 물리적으로 근접한 비콘 노드가 비콘 신호를 전송하여 간섭 및 충돌 현상을 최소화 시키고, 초음파 신호의 특성으로 인한 오차율을 감소시키는 알고리즘을 제안한다.

**키워드** : 실내 위치 인식 시스템, 비콘 관리 기법

**Abstract** Various applications based on the location information of things are developed as entering by the ubiquitous computing age. Wireless sensor networks are suitable to indoor location-based service because of the important features such as low-power consumption, low-cost, easy deployment, etc. To recognize the distance between nodes, the indoor location-based system transmits both ultrasound signal and radio signal periodically. However, increment of the number of deployed sensor nodes make lots of collision and interference among the signals and it can degrade the accuracy of location-based system.

In this paper, we propose a beacon management mechanism to increase the probability of transmission chance to the nearest beacon from the listener. It can minimize collision and interference and reduce the error probability due to the characteristics of ultrasound.

**Key words** : Indoor location based system, beacon management mechanism

· 본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 IT성장동력기술개발사업의 일환으로 수행되었습니다(2008-S-041-01, u-City용 센서네트워크 PHY/MAC 개발). 연구비 지원에 감사 드립니다.

· 이 논문은 2008 한국컴퓨터종합학술대회에서 '센서네트워크 기반의 실내 위치인식 시스템에서 효율적인 비콘 관리 기법'의 제목으로 발표된 논문을 확장한 것임

<sup>†</sup> 학생회원 : 광운대학교 전자통신공학과  
jongkim@adams.kw.ac.kr

<sup>\*\*</sup> 종신회원 : 광운대학교 전자통신공학과 교수  
kchung@kw.ac.kr

논문접수 : 2008년 8월 25일

심사완료 : 2009년 5월 7일

Copyright©2009 한국정보과학회 : 개인 목적이나 교육 목적의 경우, 이 저작물의 전체 또는 일부에 대한 복사본 혹은 디지털 사본의 제작을 허가합니다. 이 때, 사본은 상업적 수단으로 사용할 수 없으며 첫 페이지에 본 문구와 출처를 반드시 명시해야 합니다. 이 외의 목적으로 복제, 배포, 출판, 전송 등 모든 유형의 사용행위를 하는 경우에 대하여는 사전에 허가를 얻고 비용을 지불해야 합니다.

정보과학회논문지 : 정보통신 제36권 제4호(2009.8)

## 1. 서론

최근 네트워크 인프라를 기반으로 정보통신 기술이 급격히 발전하고 있다. 이와 함께 시간과 장소에 상관없이 자유롭게 네트워크에 접속 가능한 환경을 제공하는 유비쿼터스(Ubiquitous)시대가 오고 있다. 네트워크 기능이 탑재된 디지털 장비들은 이동성을 갖고, 사용자 요청에 신속, 정확한 정보를 제공해야 한다. 대표적인 위치기반서비스는 U-헬스케어, 버스 관리 시스템, 홈네트워킹 서비스 등이 있다. 이와 같이 유비쿼터스 개념이 도입된 서비스들은 사용자와 디지털 장비들의 정확한 위치를 요구한다[1,2].

현재 가장 대표적인 위치 인식 시스템으로 GPS (Global Positioning System)가 널리 쓰이고 있으나

GPS에 사용되는 위성신호는 건물의 벽을 통과하지 못하기 때문에 실내에서 사용할 수 없는 단점을 가지고 있다. 홈 네트워크 기술 및 공장 자동화 시스템에서는 실내 위치 인식 기술을 필요로 하고 있으며, 다수의 소형 노드들을 이용하는 센서 네트워크 기반의 실내 위치 인식 시스템이 주목받고 있다[3-6].

위치 인식 시스템은 실내 확장성, 사용자 위치에 대한 프라이버시, 위치 인식 성능 등 여러 가지 설계 고려사항이 있다. 이러한 고려 사항 중 정확도는 위치인식의 성능을 좌우하는 중요한 요소이며, 다수의 센서 노드로부터 수신하는 정보에 의해 결정된다. 이에 대부분의 위치 인식 시스템은 정확도 향상을 위하여 많은 수의 센서 노드를 배치하지만 이는 신호간의 간섭 현상을 발생시켜 전체 성능을 저하시키는 원인이 된다. 또한 위치 인식 시스템은 더 넓은 실내 영역을 커버하기 위하여 더 많은 센서 노드를 필요로 하며, 이로 인하여 여러 가지 단점을 갖는다. 현재 가장 높은 정확도를 가지는 크리켓 시스템(Cricket System, 이하 크리켓) 역시 노드 수의 증가로 인한 신호의 간섭 및 충돌 현상이 발생되는 것을 확인하였다[7-9].

본 논문에서는 On-demand 비콘 관리 기법을 통하여 위치 인식 대상인 리스너 노드(Listener Node, 이하 리스너)가 물리적으로 가까운 소수의 비콘 노드로부터 비콘 신호를 수신하므로 비콘 신호의 간섭 및 충돌 현상을 완화시켜 시스템의 성능을 향상시켰으며, 위치 인식을 위한 시간 지연을 최소화하여 정확도를 향상시키고 이동상황에서 보다 빠르고 안정적인 산출 주기를 제공하였다.

본 논문의 2장에서는 위치 인식 시스템의 거리산출 과정과 비콘 간섭문제를 설명하고 3장에서는 비콘 간섭 문제를 해결하기 위한 알고리즘을 제안하며, 4장에서는 실험 결과를 제시하고 5장에서는 결론 및 향후 과제에 대해 기술한다.

## 2. 관련연구

위치 인식 시스템에 주로 사용되는 GPS는 실내 위치 인식 환경의 요구사항을 만족시키지 못하므로 실내 위치 인식 시스템에서는 센서 노드의 초음파, 적외선, 레이저 등의 센서 정보를 이용한다. 대표적인 위치 인식 시스템으로는 캠브리지 대학에서 개발한 액티브 배지(Active Badge)와 MIT에서 개발한 크리켓이 있다. 이들 시스템은 위치 인식 대상과 근접한 곳에 네트워크 기능이 있는 센서 노드를 장착하여 위치 인식 대상을 인식하고 중앙에 있는 컴퓨터에게 위치 정보를 제공하는 방식으로 동작한다. 센서 노드는 배치가 용이하기 때문에 위치 인식 공간을 자유롭게 설정할 수 있으나

센서 노드에 사용되는 센서 신호의 특성으로 인하여 방해물이나 반사 신호로 인한 간섭 및 충돌 현상을 발생시키며, 이로 인하여 전체 성능이 저하되는 단점을 갖는다. 본 장에서는 위치 인식 기법 관련 연구들을 분류, 기술하였으며, 기존 연구들이 가지는 문제점에 대해서 기술하였다.

### 2.1 위치 인식 기법에 대한 관련 연구

위치 인식 기법은 크게 ToA(Time of Arrival), TDoA(Time Difference of Arrival), AoA (Angle of Arrival), RSSI(Received Signal Strength Indicator), 장면 분석법(Scene Analysis), 근접성(Proximity)을 이용한 측정 방식으로 구분될 수 있다.

ToA 방식은 신호가 도착하는 시간을 이용해서 위치를 측정하는 알고리즘이다. 센서에서 위치 인식 대상까지의 거리는 신호의 종류에 따라서 적절한 상수를 곱해서 산출할 수 있으며, 센서와 위치 인식 대상 사이의 거리를 반경으로 하는 원들의 교점이 위치 인식 대상의 위치가 된다. 대표적인 위치 측정 시스템으로는 GPS가 있으며 ToA 방식을 사용하기 위해서는 센서와 위치 인식 대상 사이의 동기화가 중요한 문제이다[10].

TDoA는 두 개 이상의 센서가 송수신 하는 신호의 도착 시간의 차이를 측정하여 센서 간의 거리차가 일정한 지점, 즉 센서를 초점으로 하는 쌍곡선 상에서 위치 인식 대상을 찾아내는 알고리즘이다. TDoA 방식에서는 위치 인식 대상과 센서간의 특별한 동기화가 필요하지 않으므로 알고리즘 구현이 용이한 반면 신호 도달 시간의 정밀도가 요구됨으로 신호의 다중경로 페이딩으로 인한 신호 전달의 지연 문제점을 갖는다[11].

AoA는 각도를 측정하여 위치를 측정하는 대표적인 방법으로 센서에서 위치 인식 대상이 보내는 신호의 방향각을 이용하여 각을 측정하고 각 센서와 위치 인식 대상 사이의 방향각의 교차점을 계산하여 위치 인식 대상을 찾는 알고리즘이다. 그러나 AoA는 일반적으로 위치 인식 대상이 센서와 멀리 떨어져 있다는 가정에 근거를 두는데, 이 가정은 위치 인식 대상이 센서에 가까이 있거나 주변 환경에 의해 산란이 될 때에는 부적절하다[12].

RSSI는 신호의 세기를 통계적인 방법에 근거하여 확률분포와 대조하여 위치를 측정하는 방법이다. 우선적으로 미리 정의된 다양한 지점에서의 신호 세기들을 RSSI 표본 수집을 통해 측정하여야 한다. 이러한 과정을 수행하고 나면 위치 인식 대상의 송신 신호를 각 센서들이 수신할 때 발생하는 신호의 감쇄 정도를 측정할 뒤 이를 확률적 방법을 통해 미리 수집되었던 RSSI 표본과 매핑 하여 타깃의 위치를 측정한다. 하지만 센서 사이에 많은 장애물이 존재하거나 복잡한 실내 환경일 경우 거

리 측정 오차가 매우 클 수 있다[13,14].

장면 분석법은 카메라 센서를 이용하여 관측되는 장면의 특징을 이용해 위치 인식 대상을 측정하는 방법이다. 이는 위치 측정이 거리나 각도와 같은 지리적인 특성을 필요로 하지 않고 수동적인 관측만을 이용해서도 가능하다. 하지만 본 시스템은 위치 측정을 위해서는 위치를 알고자하는 위치 인식 대상의 주변 환경을 시스템이 미리 알고 있어야 하기 때문에 위치 인식 대상이 이동했을 경우나 환경의 변화가 있었을 경우 데이터베이스를 다시 구축해야 한다는 단점이 있다[15].

## 2.2 센서 네트워크 기반의 실내 위치 인식 시스템 기술

크리켓은 미국 MIT 대학에서 개발된 실내 위치 인식 시스템이며, RF 신호와 초음파 신호의 전송 시간차를 이용하여 비콘 노드와 리스너 사이의 거리를 측정하고 삼각 측량법에 의해 좌표를 산출한다. 크리켓은 약 1cm에서 3cm 내외의 오차범위를 갖는 현재 가장 정확한 위치 인식 시스템이다. 배치된 비콘 노드들은 매 1초마다 RF 신호와 초음파 신호를 전송하며, 리스너는 이를 수신하여 거리를 계산한다. 리스너는 RF 신호의 도착과 함께 타이머를 구동시키며, 초음파 신호의 수신 완료 될 때까지 타이머를 증가시킨다. 초음파 신호가 도착하면 타이머를 정지시키고 계수된 타이머 값을 저장한다. 리스너는 저장된 초음파 신호의 전송 시간을 초음파 신호의 고유 속도(약 340m/s)와 곱하여 거리를 산출하며, PC나 PDA에 연결된 센서 노드에게 거리 값을 전송한다. 이후 거리 값을 전송 받은 센서 노드는 수신 받은 거리 정보를 기반으로 하여 리스너의 위치를 산출한다[4-8].

액티브 배지는 AT&T 캠브리지 연구소에서 기지국 감시 위치 측정 방법을 이용하여 건물 내 개인의 위치를 파악하기 위해서 개발되었다. 액티브 배지는 고유의 아이디 정보를 가진 적외선 신호를 전송하는 송신기와 천정에 부착된 수신기로 구성되며, 수신기는 송신기가 특정 범위 내에 존재 하는 것을 감지하여 위치 인식을 수행한다. 액티브 배지는 매우 단순한 송수신 시스템으로 구성되어 저렴하게 시스템을 구성할 수 있지만 햇빛이나 형광등 등의 간섭이 심하며, 장애물로 인하여 신호 전송이 방해되는 단점이 있다[16].

## 2.3 기존 연구의 문제점

크리켓은 RF 신호와 초음파 신호의 전파 속도 차이를 이용하기 때문에 정확한 거리측정이 가능하다. 하지만 크리켓의 초음파 신호의 전파 속도는 RF 신호의 전파 속도와 비교하여 현저히 느리기 때문에 다수의 비콘 노드를 사용하는 환경에서는 비콘 신호의 간섭 현상 발생되며, 이에 따라 비콘 노드 수가 증가함에 따라 성능이 저하되는 문제를 갖는다. 이러한 비콘 신호의 간섭 현상은 모든 비콘 노드가 RF 신호와 초음파 신호를 동

시에 전송하여 리스너는 비콘 노드의 RF 신호와 초음파 신호 쌍을 완벽히 수신 받지 못하기 때문에 발생한다. 그림 1은 두 개의 비콘 노드에서 동시에 RF 신호와 초음파 신호를 전송 할 때 리스너가 잘못된 비콘 신호를 수신하는 경우를 나타낸다. 이는 비콘 노드 A와 B가 RF 신호 RF A와 RF B를 전송하고 이와 동시에 초음파 신호 US A와 US B를 전송하는 상황에서 비콘 신호의 간섭 현상을 나타낸다. 첫 번째 경우는 리스너가 RF B를 수신하고 US B를 기다리는 동안 RF A를 수신하는 경우를 보이고 있으며, US B를 RF A의 초음파 신호로 판단하는 현상이 발생하는 간섭 현상을 보여준다. 두 번째 경우는 리스너가 RF A를 수신하고 US A를 기다리는 동안 US B를 수신하는 경우이며, 리스너는 US B를 RF A의 초음파 신호로 판단한다. 마지막 경우는 리스너가 RF A를 수신하고 US A를 기다리는 동안 RF B를 수신하는 경우를 보여준다. 리스너는 RF 신호에 저장된 비콘 노드 ID를 인식하여 비콘 노드를 구분하지만 초음파 신호는 ID 정보가 없기 때문에 RF 신호의 쌍을 인식하지 못한다. 즉 크리켓은 비콘 노드의 초음파 신호를 구분해주는 객체가 없기 때문에 RF 신호와 초음파 신호의 쌍을 결정할 수 없으므로 비콘 신호의 간섭 현상이 발생한다. 비콘 신호의 간섭 현상은 거리 측정의 정확도를 저하시킬 뿐만 아니라 일정 시간 동안 거리 정보를 제공하지 못함으로써 위치 산출 주기를 증가시키는 문제점을 갖는다[6,8].

크리켓은 넓은 실내 영역을 커버하기 위하여 더 많은 비콘 노드가 필요하며, 이로 인하여 비콘 신호의 간섭 및 충돌 확률을 증가시킨다. 또한 리스너는 근접한 비콘 노드의 RF 신호뿐만 아니라 멀리 떨어진 비콘 노드의 RF 신호까지 수신하기 때문에 Hidden Terminal Problem으로 인한 충돌을 야기시킨다. 그림 2는 비콘 노드의 증가에 따른 에러율을 나타낸 그림이다. 비콘 수와 거리 샘플의 에러율은 비례한다는 것을 볼 수 있으며

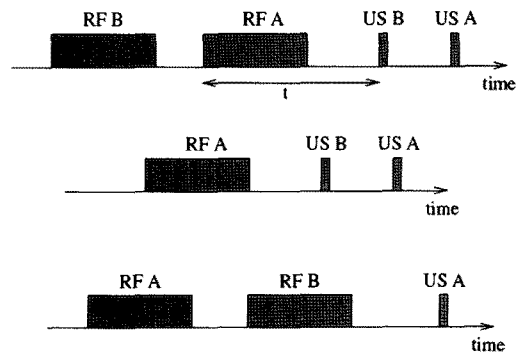


그림 1 비콘 신호의 간섭 현상

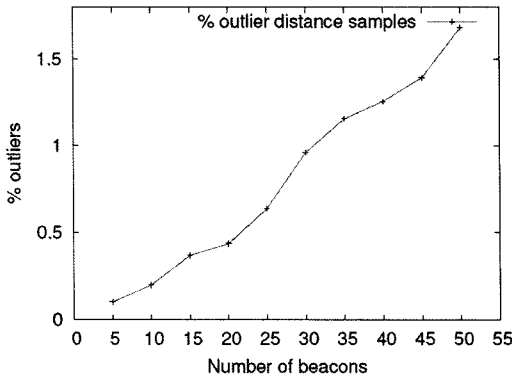


그림 2 비콘 노드 수에 따른 Outlier 비율

이는 비콘 신호 간의 간섭과 충돌로 인하여 정확한 데이터를 수신하지 못하는 것을 나타낸다.

효율적인 실내 위치 인식 시스템을 위해서는 간섭과 충돌 문제를 해결하여 많은 비콘 노드를 사용하는 넓은 위치 인식 공간에서 위치 인식의 정확성을 향상시키고, 사용자들에게 안정적인 위치 정보를 제공해 주어야 한다. 따라서 주기적이고 랜덤하게 비콘 신호를 전송하여 사용하는 기존 크리켓 시스템은 간섭과 충돌 현상에 문제가 있으며, 이를 해결하기 위해서는 모든 비콘 노드가 비콘 신호를 전송하지 않고 리스너의 위치에 따라 근접한 비콘 노드만 선택적으로 신호를 전송하여 신호의 간섭 현상과 네트워크 혼잡 상황을 회피하고, 적절한 비콘 전송 시점을 결정하는 효율적인 비콘 관리가 필요하다.

### 3. 제안하는 비콘 관리 기법

본 장에서는 2.3절에서 지적한 크리켓의 문제점들을 개선하기 위한 효율적인 비콘 관리 기법에 관하여 기술한다. 본 논문에서 제안하는 기법은 비콘 신호의 간섭과 충돌 문제를 해결하고, 초음파 신호의 에러율을 줄이기 위하여 모든 비콘 노드가 비콘 신호를 전송하지 않고 리스너와 물리적으로 근접한 비콘 노드만 선택적으로 비콘 신호를 전송하는 것이다.

#### 3.1 On-demand 비콘 관리 기법

크리켓 시스템은 RF 신호와 초음파 신호의 전파 속도의 차이를 이용하여 수 센티미터 레벨의 높은 정확도를 보장함으로써 실내 위치 인식 시스템에서 대표적인 거리 측정 방식으로 사용되고 있다. 하지만 RF 신호와 초음파 신호는 온도, 습도, 장애물에 따라 환경적인 영향을 많으며, 특히 초음파 신호는 저주파 신호이기 때문에 신호의 직진성이 떨어져 전파 거리가 짧은 단점이 있다. 초음파 신호의 특성으로 인한 문제점은 초음파 센서 기술의 발전과 효율적인 노드 배치를 통하여 어느 정도 극복할 수 있다. 하지만 실내 공간에서 다수의 비

콘 노드를 좁은 간격으로 배치하는 것은 초음파 신호의 정확한 도달을 보장하지만 비콘 신호의 간섭 현상을 발생시키며, 초음파 신호의 수신 실패 확률과 위치 산출 주기를 증가시킨다. 또한 모든 비콘 노드가 주기적으로 비콘 신호를 전송하기 때문에 리스너와 먼 거리에 있는 비콘 노드의 신호를 수신할 수 있다. 본 논문에서는 이와 같은 문제점을 해결하기 위하여 리스너와 물리적으로 근접한 비콘 노드로부터 신호를 수신받는 On-demand 비콘 관리 기법을 제안한다.

On-demand 비콘 관리 기법에서는 리스너에 위치와 물리적으로 근접한 비콘 노드만 비콘 신호를 전송하도록 한다. 본 논문에서는 크리켓과 마찬가지로 다수의 비콘 노드와 하나의 리스너로 구성된 노드 배치를 가정하였다. 그림 3은 노드 배치를 나타내며 리스너 노드는 주기적으로 Request Packet을 비콘 노드에게 브로드캐스트 형태로 전송하며, 비콘 노드는 Request Packet의 신호 세기를 통해 자신이 리스너와 물리적으로 근접한지 여부를 판단하여 비콘 신호를 전송한다.

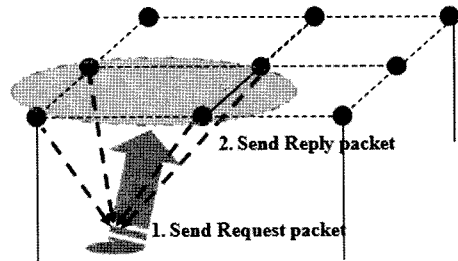


그림 3 On-demand 비콘 관리기법의 구조

#### 3.2 전송 비콘 노드 판단

비콘 노드는 수신된 Request Packet의 신호 세기에 따라 리스너의 위치를 판단한다. 신호 세기는 리스너의 위치에 따라 비콘 노드와 가까우면 높고 비콘 노드와 멀어지면 낮은 성질을 가지며, 식 (1)은 비콘 노드가 수신한 신호의 세기와 거리의 관계를 나타내는 공식이다. 즉, 수신된 RSSI(Received Signal Strength Indicator) 값은 전송된 패킷의 신호 거리에 반비례하다[15].

$$RSSI = P_t - PL(d_0) - 10n \log_{10} \frac{d}{d_0} + X_\sigma \quad (1)$$

계산된 RSSI 값을 기반으로 비콘 노드는 리스너 노드 상태를 그림 4와 같이 결정하게 된다. 수신된 RSSI 값이 특정 거리에 해당하는 RSSI의 Threshold 이상일 경우, 리스너는 비콘 노드의 전송 범위 이내에 위치 한 것으로 간주하고 Reply Packet을 전송한다. 반대로 RSSI 값이 Threshold 이하일 경우 비콘 노드는 비콘 신호를 전송하지 않는다.

```

If ( RSSI(Request Packet) ≥ Threshold )
    : Send Reply Packet
Else ( RSSI < Threshold )
    : Listen Request Packet

```

그림 4 RSSI를 이용한 비콘 노드 결정

Threshold는 실내 위치 인식 시스템의 노드배치를 감안하여 결정한다. 비콘 노드는 리스너의 요청에 의해 선택적으로 비콘 신호를 전송하기 때문에 비콘 노드의 전체 에너지 소비량을 감소시킬 수 있을 뿐만 아니라 리스너는 낮은 경쟁 상태로 비콘 신호를 수신할 수 있다. 이를 통하여 비콘 신호의 간섭 및 충돌 문제를 해결하며, 근접한 비콘 노드의 초음파 신호를 수신함으로써 초음파 신호의 특성으로 인한 오차율을 감소시킨다.

### 3.3 제한적 비콘 신호 수신 및 순서화

On-demand 비콘 관리 기법은 위치 인식의 정확도를 향상시키기 위해서 비콘 신호 간의 간섭 현상을 최소화시키며, 이를 위해 리스너에서 전송한 Request Packet의 신호세기를 이용하여 리스너와 물리적으로 근접한 비콘 노드의 신호를 전송한다. 이는 모든 비콘 노드가 신호를 전송하는 기존 시스템보다 비콘 신호를 현저히 감소시키지만 비콘 노드의 선택이 잘못되었을 경우 더욱 큰 초음파 신호 에러가 발생하는 단점을 갖는다. 이러한 단점을 개선하기 위해, 비콘 노드 선택 기법을 사용하며, 경쟁 기반을 통해서 제한적으로 비콘 신호를 수신한다. 즉, 비콘 노드가 전송한 Reply Packet을 수신한 리스너 노드는 비콘 신호의 수신시간과 수신 패킷수에 근거하여 위치 인식에 필요한 만큼의 비콘 신호를 제한적으로 수신한다.

리스너는 식 (2)를 이용하여 Reply Packet의 최대 수신 대기 시간을 결정한다. 이는 패킷 수신 간격과 전체 비콘 전송 시간의 합으로 이루어지며, 패킷 수신 간격은 위치 인식에 필요한 비콘 신호의 수인,  $N_{reply}$ 와 짧은 프레임 간격인,  $SIFS$ 를 곱으로 나타내고 전체 비콘 전송 시간은 각 비콘 전송 시간인  $T_{Tx}$ 를  $N_{reply}$  값만큼 더하여 계산한다. 즉, 리스너는  $T_{order}$  시간동안 비콘으로부터 Reply Packet을 수신하며  $T_{order}$  시간 이외에 수신되는 Reply Packet은 무시한다.

$$T_{order} = SIFS \cdot N_{reply} + \sum_{i=0}^{N_{reply}-1} T_{Tx}(i) \quad (2)$$

센서 네트워크에서 경쟁 기반 방식은 기존의 CSMA/CA 특징을 따르고 있으며, 데이터 전송의 경쟁을 최소화하고 충돌을 회피하기 위하여 혼잡 백오프 기법을 사용하며, 이와 같이 수신된 Reply Packet의 순서는 다음

주에서 전송될 초음파 신호의 전송 순서를 결정한다.

### 3.4 초음파 신호 전송 관리 기법

본 논문에서 제안하는 효율적인 비콘 관리 기법은 실내공간에서 센서 노드의 배치 상태와 통신 측면의 특성을 고려하여 위치인식 시스템의 정확도를 향상시킨다. 일차적으로 3.1절에서 설명한 On-demand 비콘 관리 기법을 통해서 리스너와 근접한 비콘을 선택하고 선택된 비콘은 초음파 신호를 전송한다. 배치된 모든 비콘이 신호를 전송하지 않기 때문에 RF 신호로 발생하는 통신 측면에서의 충돌 문제와 간섭문제를 완화시킬 수 있다.

크리켓에서 사용하는 초음파 신호는 벽과 같은 장애물을 통과하지 못하며 방사 패턴 특성으로 인하여 환경에 따라 수신 세기가 달라진다. 송신기와 수신기가 마주 보고 최대한 가까운 곳에 위치 할 때 초음파 신호의 수신 세기가 가장 큰 특징을 갖는다. 이와 같이 초음파 센서의 수신 신호 세기는 송수신기 간의 거리에 비례하며, 방사 패턴에 따라 변하는 특징으로 인하여 크리켓 시스템의 성능에 큰 영향을 미친다. 초음파 신호의 전송 시간을 계산하여 거리를 산출하는 크리켓 시스템에서 리스너는 초음파 신호의 에러 확률을 줄이기 위해서 초음파 신호를 비콘 노드와 최대한 가까운 거리에서 수신하여야 한다.

리스너는 초음파 신호를 동시에 받게 되면 RF 신호와 간섭 현상이 발생하기 때문에 초음파 신호를 순차적으로 받기 위해서 리스너는 3.3절에서 수행한 순서화 과정을 통한 우선순위에 의해서 초음파 신호를 보낼 비콘 노드를 Solicitation Packet을 이용하여 선택한다. Solicitation Packet은 비콘 관리 기법에서 얻은 비콘 전송의 우선순위 정보를 기반으로 첫 번째 우선순위를 가진 비콘 노드를 우선순위 필드에 저장하여 브로드캐스트 형태로 전송하며, Solicitation Packet을 받은 비콘 노드는 우선순위 필드를 확인하여 자신의 ID와 일치하면 초음파 신호인 TDoA Packet을 전송한다. 첫 번째 TDoA Packet을 수신한 리스너는 다음 우선순위를 가진 비콘 노드의 ID를 Polling Token Packet내의 Dest. ID 필드에 업데이트하여 브로드캐스트하고 이를 받은 비콘 노드는 TDoA Packet을 전송한다. 이와 같은 방식을 반복하여 순서 내에 존재하는 모든 비콘 노드로부터 초음파 신호를 수신하고 거리를 산출한다.

TDoA Packet의 전송 시간은 초음파 신호의 전파 속도 때문에 RF 신호보다 비교적 긴 시간이 소요된다. 따라서 기존 시스템과 같이 동시에 전송이 된다면 비콘 간섭이 발생할 수 있다. 즉, 그림 5에서 비콘 노드 Node1의 TDoA Packet을 수신할 때 비콘 노드 Node2 혹은 Node3의 TDoA Packet을 수신할 때 비콘 노드의 간섭 현상이 발생한다. 따라서 Solicitation Packet과

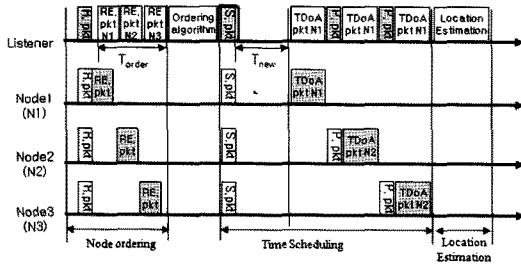


그림 5 비콘 관리 기법

Polling Token Packet을 이용하여 비콘 노드의 TDoA Packet을 독립적으로 전송하여 신호간의 간섭 현상을 최소화 할 수 있다.

그림 5는 앞서 소개한 비콘 관리 및 선택 기법을 통하여 가까운 거리의 초음파 신호를 독립적으로 수신하기 위한 비콘 관리 기법을 나타내고 있다. 리스너는 Request Packet을 브로드 캐스트 형태로 전송하며, 이를 수신한 비콘 노드는 Request Packet의 수신 신호 세기를 비교한다. 미리 정해 놓은 Threshold 이상의 신호를 수신한 비콘 노드는 Reply Packet을 전송하며, 경쟁기반으로 비콘 신호를 수신하여 우선순위를 결정한다. 결정된 우선순위에 따라 리스너는 Solicitation Packet을 브로드캐스트하며, 이를 수신한 비콘 노드 우선순위 필드를 비교하여 자신의 ID가 있으면 TDoA Packet을 전송한다. TDoA Packet을 받은 리스너는 다음 우선순위를 Polling Token Packet의 Dest. ID 필드에 저장하여 다음 TDoA Packet을 전송할 비콘 노드를 선택한다.

표 1은 본 논문에서 제안한 비콘 관리 기법에 관여하는 패킷을 정의한 표이다. 모든 패킷은 비콘 노드와 리스너가 구별할 수 있는 패킷 타입을 정의하고 있으며 타입별로 저장할 정보를 최대 3바이트로 정의한다.

4. 실험 결과

본 장에서는 새로 제안한 비콘 관리 기법의 성능 평가를 위해 LBNL(Lawrence Berkley National Laboratory)의 ns2(Network Simulator)를 사용하여 다양한 실험을 수행하였다[17].

4.1 실험환경

제안한 비콘 관리 기법의 성능을 평가하기 위해서 그

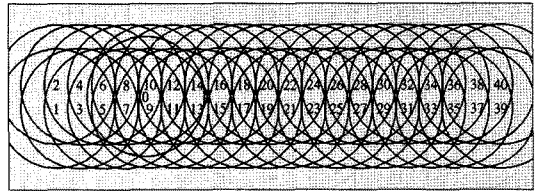


그림 6 비콘 노드의 배치

림 6과 같은 실험 환경을 구성하였다. 실험 환경은 2m 간격으로 비콘 노드를 배치하였으며, 1초에 한 번씩 비콘 신호를 전송하도록 하였다. 또한 비콘 노드의 배치는 수신된 비콘 신호에 해당하는 비콘 노드의 ID를 찾기 위해서 비콘 노드 ID를 위치와 상관관계가 있도록 배치하였다. 본 실험의 비교 대상으로 현재 센서 네트워크 기반의 실내 위치 인식 시스템에서 가장 높은 정확도를 가진 크리켓을 이용하였다.

4.2 비콘 노드의 증가와 어려움

본 논문에서 제안하는 비콘 관리 기법은 넓은 실내 영역에서 비콘 노드가 증가하면서 발생하는 비콘 신호간의 간섭 및 충돌 문제를 해결하기 위해 제안되었기 때문에 비콘 노드의 증가에 따른 수신된 비콘 신호의 수를 측정하는 것이 중요하다.

그림 7은 리스너가 고정된 상황에서 배치된 비콘 노드의 수에 따른 수신된 비콘 신호의 수를 나타낸 실험 결과이다. 가로축은 배치된 비콘 수를 나타내며, 세로축은 리스너에서 수신한 거리 샘플수를 나타낸다. 먼저 크리켓은 배치된 비콘 노드의 수가 5개까지는 비콘 노드 수가 증가함에 따라 수신된 비콘 신호의 수가 증가하였지만 5개 이상일 경우 더 많은 비콘 노드가 배치될수록 수신된 비콘 신호의 수는 감소하는 것을 볼 수 있다. 크리켓은 모든 비콘 노드가 주기적으로 RF 신호와 초음파 신호를 전송하기 때문에 비콘 신호의 간섭 문제가 발생한다. 따라서 배치된 노드의 수가 증가할수록 수신 받은 비콘 신호의 수는 감소한다. 하지만 제안된 알고리즘은 모든 비콘 노드가 비콘 신호를 전송하지 않고 On-demand 비콘 관리 기법을 통해 리스너와 근접한 비콘 노드만 비콘 신호를 전송하기 때문에 비콘 신호의 간섭 및 충돌 횟수를 감소시키며, 안정적으로 비콘 신호를 수신할 수 있다. 이와 같이 제안된 알고리즘에서 리

표 1 패킷 구조 정의

Symbol	Type	Byte1	Byte2	Byte3
R. pkt	Request Packet	Packet Type		
Re. pkt	Reply Packet	Packet Type	Node ID	
S. pkt	Solicitation Packet	Packet Type	Priority	
P. pkt	Polling Token Packing	Packet Type	Source ID	Dest. ID
TDoA pkt		Ultrasound Signal		

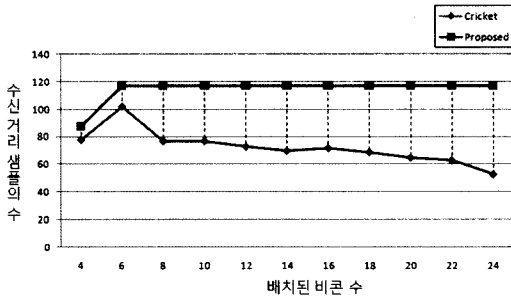


그림 7 비콘 노드의 증가에 따른 수신된 거리 샘플

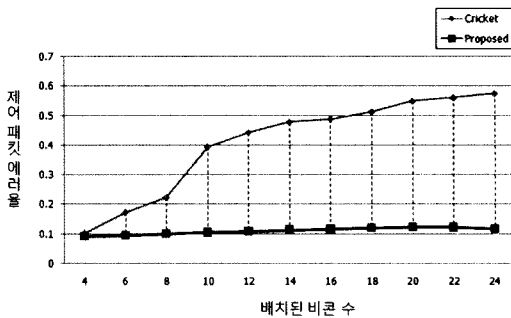


그림 8 비콘 노드의 증가에 따른 제어 패킷의 오류율

스너는 더 많은 비콘 신호를 수신하고 결과적으로 거리 산출에 필요한 데이터를 충분히 수신하므로 위치 인식의 정확도를 높일 수 있다.

그림 8은 비콘 노드의 증가에 따른 제어 패킷의 수신 오류율을 나타낸 결과이다. 가로축은 배치된 비콘 수를 나타내며, 세로축은 리스너에서 수신한 제어 패킷의 오류율을 나타낸다. 크리켓은 모든 비콘 노드가 주기적으로 RF 신호와 초음파 신호를 전송하기 때문에 비콘 노드가 증가함에 따라 RF 신호의 충돌 확률이 증가하여 수신된 거리 샘플수가 감소한다. 또한 TDoA 방식에서는 RF 신호를 받은 후에 초음파 신호를 수신하기 때문에 RF 신호의 충돌은 초음파 신호를 수신 실패 확률을 증가시키며 전체 시스템의 성능을 저하시키는 중요한 원인이 된다. 하지만 제안된 알고리즘은 그림 7과 같이 비콘 노드의 증가와 상관없이 일정하게 낮은 제어 패킷의 오류율을 갖는다. 제안된 알고리즘에서 사용된 제어 패킷은 리스너와 물리적으로 가까운 비콘 노드를 선택하기 위해서 Request Packet, Reply Packet, Solicitation Packet, Polling Packet 등으로 전체 시스템 측면에서 오버헤드로 작용할 수 있지만 리스너 측면에서 소수의 비콘 노드만 패킷을 전송할 수 있게 하기 때문에 간섭 및 충돌 문제는 현저히 감소하게 된다. 또한 RF 신호의 전송 시간은 초음파 신호의 전송 시간보다 월등히 빠르기 때문에 초음파 신호를 전송하기 위하여 사용

되는 제어 패킷의 교환 시간은 크리켓에서 사용되는 백 오프 시간보다 빠르다. 이와 같은 이유로 제어 패킷으로 인한 오버헤드는 발생되지 않는다. 따라서 제안된 알고리즘에서 리스너는 리스너와 물리적으로 근접한 비콘 노드로부터 선택된 소수의 비콘 노드로부터 비콘 신호를 수신 받기 때문에 제어 신호의 수신 어려움이 현저히 낮으며, 이를 통하여 초음파 신호의 수신 확률을 증가시킨다.

### 4.3 이동상황에서의 데이터 수신

센서 네트워크 기반의 실내 위치 인식 시스템은 위치 인식 공간에 부착된 센서 노드로부터 센서 정보를 수신하여 위치를 인식한다. 센서 노드에서 전송 되는 센서 신호는 저주파 형태의 비교적 느린 전송 속도를 갖는다. 이와 같은 환경에서는 위치 인식 대상이 이동함에 따라 센서 신호를 수신하지 못하는 경우가 자주 발생된다. 크리켓 역시 리스너가 이동함에 따라 위치 인식의 정확도가 현저히 떨어지며, 이동 속도가 증가할수록 더 많은 위치 인식의 오차가 발생하는 것을 알 수 있다. 이는 비콘 노드가 비콘 신호를 전송하는 동안 리스너가 이동을 하여 비콘 노드로부터 멀리 떨어진 곳에서 비콘 신호를 받기 때문에 간섭 및 충돌 문제가 발생하며, 초음파 신호의 전송 거리가 증가함으로써 거리 산출에 오차가 발생한다[18-20].

본 실험에서는 리스너가 이동하는 상황을 실험하였으며, 그림 6과 같이 40개의 비콘 노드를 20m x 2m 크기의 공간에서 2m 간격으로 비콘 노드를 배치하였으며, 배치된 비콘 노드의 중앙으로 리스너를 2m/s로 이동시켰다. 크리켓은 모든 비콘 노드가 주기적으로 1초에 한번씩 비콘 신호를 전송하였으며, 제안된 알고리즘에서 리스너는 1초에 한 번씩 Request Packet을 전송하여 리스너와 물리적으로 근접한 비콘 노드를 활성화 시켰으며, 위치 인식에 필요한 비콘 노드의 수를 4개로 설정하여 우선순위 결정 과정을 수행하였다.

제안된 알고리즘에서 비콘 노드의 배치는 상관관계가 있는 비콘 노드 ID에 따라 배치하였기 때문에 수신된 노드 ID를 이용하여 현재 리스너의 위치를 알 수 있다. 그림 9는 이동 상황에서 시간에 따른 수신 비콘 ID를 측정한 결과이다. 가로축은 시간을 나타내며, 세로축은 배치된 비콘 노드의 위치를 나타낸다. 기존 크리켓은 리스너와 멀리 떨어진 비콘 노드의 ID를 수신하였으며, 제안된 알고리즘은 리스너와 더욱 가까운 비콘 노드부터 비콘 신호를 수신하였다. 이는 제안된 알고리즘을 사용하여 리스너의 위치와 물리적으로 더욱 근접한 비콘 노드를 선택한 것을 볼 수 있으며, 수신 비콘 노드 ID의 변화량이 적은 것으로 보아 크리켓과 비교하여 이동 상황에서 더욱 정확한 위치 인식을 할 수 있다는 것

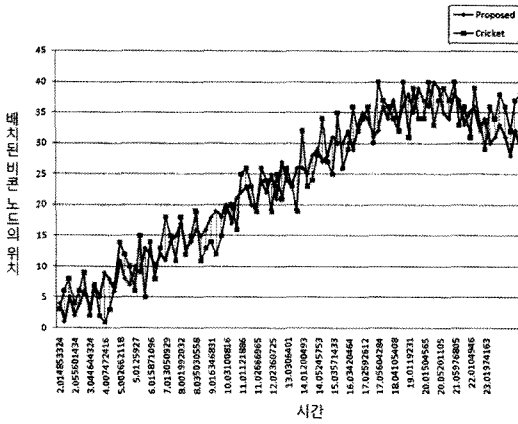


그림 9 시간에 따른 수신 비콘 노드 ID

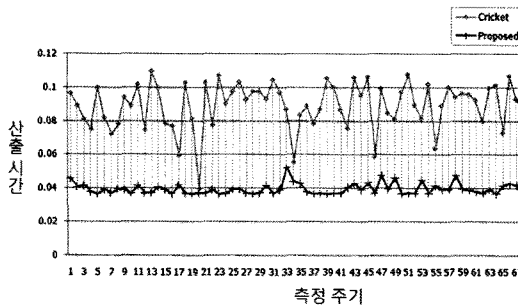


그림 10 위치 산출 소요 시간(v=2m/s)

을 알 수 있다. 따라서 On-demand 비콘 전송 기법은 리스너와 근접한 비콘 노드만 TDoA 패킷을 전송할 수 있도록 하여 전송 거리가 길어짐에 따라 더 많은 에러를 발생시키는 초음파 신호의 특성으로 인한 성능 저하를 막을 수 있다.

그림 10은 한 번의 위치 인식에 필요한 측정 주기를 시간으로 나타낸 그림이다. 측정 주기는 위치 인식에 필요한 비콘 노드로부터 거리 정보를 모두 수신하였을 때 산출되며, 본 실험에서는 한 주기 위치 인식에 필요한 비콘 노드의 수를 4개로 설정하였다. 즉, 4개의 비콘 노드로부터 비콘 신호를 수신할 때 소요되는 시간을 나타낸다.

그림 10과 같이 크리켓은 4개의 비콘 신호를 수신하기까지 약 60ms에서 약 100ms 정도의 측정 시간이 소요되며, 시간 마다 소요되는 측정 시간의 편차가 크다. 이는 크리켓에서 사용하는 비콘 신호의 랜덤 백오프 방식으로 전송하는 비콘 노드 때문에 발생한다. 한 비콘 노드가 비콘 신호를 전송하고 다음 전송까지 대기하는 시간이 일정하지 않고 1초 범위 내에서 랜덤한 백오프 시간을 갖기 때문에 리스너가 4개의 비콘 신호를 받는

시간이 각 측정 시간마다 차이가 크다. 하지만 제안된 알고리즘은 4개의 비콘 신호를 수신하기까지 약 10ms 정도가 소요되었으며, 측정 시간의 편차가 현저히 감소하였다. 이와 같은 결과는 비콘 노드에서 비콘 신호를 전송할 때 랜덤 백오프에 의한 전송 방법을 사용하지 않고 리스너의 요청에 따라 순차적으로 TDoA Packet을 전송하였기 때문이다. 이는 이동성이 있는 위치 인식 환경에서 리스너가 이동함에 따라 수신하는 비콘 신호의 위치가 이동 후의 위치와 근접하기 때문이다.

### 5. 결론

유비쿼터스 컴퓨팅 시대가 오면서 여러 가지 응용들이 개발이 되고 이를 가능하게 하기 위하여 위치 인식 분야에 대한 연구가 크게 주목받고 있다. 특히 홈 네트워크나 공장 자동화를 위하여 실내 위치 인식 시스템에 대한 연구가 많이 수행되고 있다. 가장 대표적인 위치 인식 시스템인 크리켓은 위치 인식 공간이 확장됨에 따라 다수의 센서 노드를 사용하는 환경에서 비콘 신호의 간섭 및 충돌 문제와 이동성으로 인한 센서 신호의 감쇠 현상으로 정확한 위치 인식을 제공해 주지 못하고 있다.

본 논문에서는 비콘 노드간의 간섭 및 충돌 문제를 해결하고자 On-demand 비콘 전송 기법과 비콘 관리 알고리즘을 제안하고 성능 분석을 위한 실험을 수행하였다. On-demand 비콘 전송 기법은 리스너와 물리적으로 가까운 비콘 노드를 선택하고 선택된 노드들만 비콘 신호를 전송하는 기법이다. 이는 모든 비콘 노드가 비콘 신호를 전송하는 크리켓 시스템과 달리 선택된 소수의 비콘 노드가 비콘 신호를 전송하기 때문에 비콘 신호의 간섭 및 충돌 문제를 해결 할 수 있었으며, 리스너와 근접한 비콘 노드가 비콘 신호를 전송하여 전송거리가 길어질수록 오차율이 증가하는 초음파 신호의 특성으로 인한 성능 저하를 막을 수 있었다. 또한 한 주기 위치 인식에 필요한 시간을 최소화 시켜 리스너가 이동하는 상황에서도 신속히 리스너와 근접한 비콘 노드로부터 비콘 신호를 수신 받을 수 있게 하였다. 향후 연구 목표로서 본 논문에서 제안한 기법을 실제 환경에서 적용하는 연구를 수행할 계획이다.

### 참고 문헌

- [1] G. Chen, and D. Kotz, "A Survey of Context-Aware Mobile Computing Research," Dartmouth Computer Science Tech Report TR2000-381, November 2000.
- [2] M. Satyanarayanan, "Pervasive Computing: Vision and Challenges," *IEEE Personal Communications*, August 2001.



- [3] A. I. Getting, "The Global Positioning System," *IEEE Spectrum* 30, pp.36-47, December 1993.
- [4] N. Priyantha, A. Miu, H. Balakrishnan, and S. Teller, "The Cricket Compass for Context-Aware Mobile Applications," ACM MOBICOM, July 2001.
- [5] <http://cricket.csail.mit.edu/>.
- [6] N. B. Priyantha, A. Chakraborty, and H. Balakrishnan, "The Cricket Location-Support system," ACM MOBICOM, August 2000.
- [7] L. Zhu and J. Zhu, "A New Model and its Performance for TDOA Estimation," *IEEE Vehicular Technology Conference*, October. 2001.
- [8] N. B. Priyantha, A. Chakraborty, and H. Balakrishnan, "Tracking Moving Devices with the Cricket Location System," IEEE MOBISYS, June 2004.
- [9] S. Das, C. Gleason, S. Shen, and S. Goddard, L. C. P'erez, "2-D Tracking Performance Evaluation Using the Cricket Location-Support System," *IEEE Electro/Information Technology Conference*, May 2005.
- [10] B. H. Wellenhoff, H. Lichtenegger, and J. Collins, "Global Positioning System: Theory and Practice," Fourth Edition, Springer Verlag, 1997.
- [11] A. Savvides, C. Han, and M. B. Strivastava, "Dynamic Fine-grained Localization in Ad-Hoc Networks of Sensors," ACM MOBICOM, July 2001.
- [12] D. Niculescu and B. Nath, "Ad Hoc Positioning System (APS) Using AoA," IEEE INFOCOM, April 2003.
- [13] K. Lorincz and M. Welsh, "Motetrack: A Robust, Decentralized Approach to RF-based Location Tracking," International Workshop on Location-and Context-Awareness, May 2005.
- [14] Y. Shang, W. Ruml, Y. Zhang, and M. Fromherz, "Localization from Mere Connectivity," ACM MOBI-HOC, June 2003.
- [15] P. Bahl and V. N. Padmanabhan, "RADAR : An Inbuilding RF-based User Location and Tracking System," IEEE INFOCOM, March 2000.
- [16] R. Want, A. Hopper, V. Falcao, and J. Gibbons, "The Active Badge Location System," ACM Transactions on Information Systems, January 1992.
- [17] The Network Simulator ns-2, <http://www.isi.edu/nasnam/ns/>
- [18] R. Casas, D. Cuartielles, A. Marco, H. J. Gracia, and J. L. Falco, "Hidden Issues in Deploying an Indoor Location System," Pervasive Computing, IEEE, June 2007.
- [19] Lymberopoulos, D. Lindsey, and Q. Savvides, "An Empirical Characterization of Radio Signal Strength Variability in 3-d IEEE 802.15.4 Networks Using Monopole Antennas," European Conference on Wireless Sensor Networks, February 2006.
- [20] R. S. Padilha and L. M. Souza "Quantitative Evaluation of Location Systems Techniques for Short-

RangeRF-Based Sensor Networks," IEEE MASS, October 2007.



김 중 현

2007년 광운대학교 전자통신공학과 학사  
2009년 광운대학교 전자통신공학과 석사  
2009년~현재 텔코웨어(주) IP솔루션 2  
팀 연구원. 관심분야는 비디오 스트리밍,  
인터넷 QoS, IPTV, 핸드오버

정 광 수

정보과학회논문지 : 정보통신  
제 36 권 제 2 호 참조