

고정형 센서 노드 기준 위치인식 시스템에서 이동형 센서 노드 간 비동기 메시지 전송방법

준회원 김 우 정*, 정회원 정 설 영*, 김 태 현*, 종신회원 강 순 주*^o

Asynchronous Message Delivery among Mobile Sensor Nodes in Stationary Sensor Node based Real-Time Location Systems

Woo-Jung Kim* *Associate Member*, Seol-Young Jeong*, Tae-Hyon Kim* *Regular Members*,
Soon-Ju Kang*^o *Lifelong Member*

요 약

고정형 센서 노드(고정노드)와 이동형 센서 노드(이동노드)가 상존하는 형태로 무선 센서 네트워크를 구축할 경우 고정노드는 단위공간의 환경 데이터 수집 및 이동 노드를 위한 액세스 포인트 역할, 그리고 이동노드는 이동체에 부착하여 이동체의 실시간 위치인식 및 이동체 내부 상태 정보 실시간 감지가 가능해져 다양한 새로운 서비스가 창출될 수 있다. 이러한 환경에서 이동노드 간 메시지 전송 서비스는 중요한 핵심 기술이나 기존 센서 네트워크 환경에서 이동노드들의 위치 변화는 빈번한 네트워크 토폴로지 재구성을 유발하여 불안정한 통신 환경과 낮은 메시지 전송율의 문제점을 가지고 있다. 본 논문에서는 다수 이동노드의 이동성을 보장하면서 고정 노드를 경유하는 이동노드 간 비동기 메시지 전송의 확률을 높이기 위한 세 가지 방법을 제안한다.

Key Words : Asynchronous Message Delivery, Wireless Sensor Networks, IEEE 802.15.4 MAC, Real-Time Location System, 고정노드 이동노드 동시지원

ABSTRACT

Stationary nodes and mobile nodes co-exist wireless sensor network(WSN) can provide variety of new services. The stationary sensor node acts not only the gathering the environmental sensing data but also a access point to bidirectional communication with numerous mobile sensor nodes(mobile node), and the mobile sensor nodes are installed inside mobile objects and identify the location in real-time and monitor the internal status of the object. However, only using the legacy WSN protocol, it is impossible to set up the stable network due to the several reasons caused by the free-mobility of the mobile nodes. In this paper, we suggest three methods to increase the hit-ratio of the asynchronous message delivery(AMD) among mobile nodes. We verified the performance of the suggested methods under the stationary-mobile co-existed WSN testbed.

I. 서 론

고정형 센서 노드 (고정노드)와 이동형 센서 노드 (이동노드)가 상존하여 무선 센서 네트워크가 구

성되고 이를 기반으로 한 다양한 서비스를 제공하기 위한 어플리케이션 개발이 활발하게 연구되고 있다^{[1][2]}. 특히 이동노드를 이용한 실시간 위치인식 시스템에서는 고정노드에서 환경 정보 수집뿐만 아

※ 이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(2010-0003387)

* 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 실시간시스템 연구실 (lkwj-metallica, snowflower, namestrike, sjkang}@ee.knu.ac.kr), (°:교신저자) 논문번호 : KICS2010-07-326, 접수일자 : 2010년 7월 26일, 최종논문접수일자 : 2011년 1월 21일

나라 다수의 이동노드와 양방향 통신과 이들의 위치정보까지 실시간 감지하여야 한다.

일반적으로 이러한 이동노드의 위치인식을 지원하기 위한 방법으로 GPS나 RF 신호세기를 바탕으로 한 삼각측량법 등의 연구가 있다. 특히 GPS를 이용한 위치인식 방법은 정확성을 가지지만 높은 비용의 발생과 실내에서는 이동노드의 위치추적이 어렵다는 단점이 있다^{[3],[4]}. 또한 RF 신호세기를 이용하는 방법은 일반적인 실내 환경인 벽과 예상치 못한 장애물들로 인한 RF 신호의 왜곡 등으로 정확한 위치를 얻기가 어렵다^[5]. 더군다나 다수의 이동노드가 빈번하게 이동하는 환경에서는 고정노드에서의 계산량 증가로 네트워크가 불안정해지고 저전력을 보장하기 힘들다^[6].

본 논문에서는 고정노드를 중심으로 단위 공간 위치인식 방법인 Connectionless ID-Exchange (CIDE) 기법이 이러한 문제점들을 해결하기 위한 방법으로 적합하다는 것을 사전 연구로 확인하였다^[7]. 하지만 CIDE 프로토콜은 다수의 이동노드의 실시간 위치인식을 가능하게 하지만 역시 다수의 이동노드들이 빈번하게 위치를 이동하면서 상대 이동노드에게 메시지를 송수신 하려는 서비스를 구현하기 위해서는 메시지 발생 시점이 항상 일정하지 않기 때문에 이동노드 간 메시지를 비동기적으로 안정성을 보장하며 전달되도록 하는 기술의 구현은 매우 중요하다.

이에 본 논문에서는 이러한 이동노드 간 안정적인 메시지 전송 서비스를 실현하기 위하여 세 가지의 비동기 메시지 전송 (Asynchronous Message Delivery: AMD) 방식을 제안한다. 첫 번째 AMD-to-Destination 전송방식은 이동노드가 위치한 말단의 고정노드(leaf node)에게 직접 메시지를 전달하는 방식으로 빠른 전송 속도를 보이나, 이동노드가 순식간에 이동할 경우 메시지 전달 성공률이 떨어질 수 있다. 이를 보완하기 위해 제안하는 두 번째 AMD-to-Parent 전송방식은 이동노드가 위치한 말단 고정노드의 부모 고정노드(parent node)에게 메시지를 전달하여 이동노드의 이동성을 보장하였다. 세 번째 AMD with Dynamic Dispatch 전송방식은 이동노드의 빠른 이동으로 부모 고정노드가 변경될 경우 메시지 전달을 위해 위치인식 패킷을 가로채어 변경된 부모 고정노드에게 메시지를 전달하는 방식이다.

서론에 이어 2장에서는 기본개념 및 관련연구를 설명한다. 3장에서는 이동노드 간 메시지 전송 서

스인 AMD 프로토콜을 설명하고 AMD-to-Destination 전송방식을 설명한다. 또한 문제점 해결을 위해 또 다른 전송방식인 AMD-to-Parent 전송방식과 AMD with Dynamic Dispatch 전송방식을 제안한다. 4장에서는 제안한 전송방식의 설계 및 구현 내용을 설명한다. 5장에서는 실제 네트워크와 유사한 테스트 베드를 이용하여 성능을 평가하고, 마지막으로 6장에서 결론을 맺는다.

II. 기본개념 및 관련연구

2.1 IEEE 802.15.4 및 ZigBee

IEEE 802.15.4^[8]은 무선 저속 데이터 전송률과 저전력, 저비용 어플리케이션을 위해 PHY와 MAC 계층을 정의하고 있다. ZigBee^[9]은 IEEE 802.15.4의 표준화된 PHY, MAC 계층을 기반으로 네트워크와 응용 어플리케이션 계층을 규격화한 기술이다. ZigBee는 IEEE 802.15.4를 기반으로 한 네트워크 계층으로 네트워크 정보가 어떻게 수행되는지를 정의하고 네트워크 주소가 각 디바이스에 어떻게 할당되는지를 정의하고 있다. ZigBee에서는 디바이스를 크게 코디네이터, 라우터 노드(parent), 엔드 노드(leaf)로 구분하고 있으며 코디네이터와 라우터가 IEEE 802.15.4의 전기능기기 (Full Function Devices: FFD)에 해당하고 엔드 디바이스가 축소기능기기 (Reduce Function Devices: RFD)에 해당한다. ZigBee 네트워크에서 모든 노드들은 16-bit 짧은 주소와 64-MAC 주소를 가진다. 16-bit 짧은 주소는 상위 코디네이터와 라우터에 조인될 때 할당 받고, 이 주소를 이용하여 라우팅이나 데이터를 전송한다. 반면 64-bit MAC 주소는 각 디바이스의 고유한 식별자로 사용된다. 본 논문에서는 고정노드들은 이 ZigBee 프로토콜을 사용하여 구성하며, 설치영역의 단위 공간(방, 복도, 거실, 부엌 등)에 고정 노드(라우터 또는 엔드 노드)들이 설치된다.

2.2 단위공간 기반 위치인식 방법과 CIDE

단위공간 기반 위치인식 방법은 무선 센서 네트워크가 설치된 전체 공간을 물리적 단위공간(방, 부엌, 복도 등)으로 구분하여 각 단위공간에 고정노드를 설치하고 해당 단위공간 내에 존재하는 이동노드는 그 공간의 고정노드를 액세스 포인트(Access Point)로 활용하여 양방향 통신을 하며 위치인식을 위한 기준점 역할을 한다. 또한 고정노드가 설치된 단위공간의 지리정보는 서버에 미리 저장되어 있다

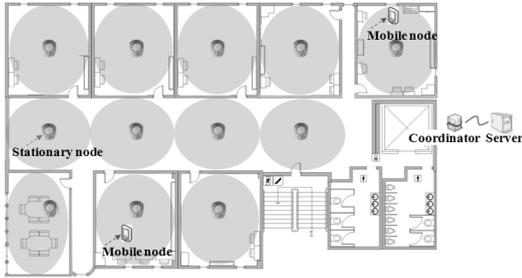


그림 1. 단위공간의 고정노드 기준 위치인식

고 가정한다. 그림 1은 단위공간의 고정노드 기준 위치인식 방식을 보여주고 있다.

기존 센서 네트워크 프로토콜을 사용하면서 다수의 이동노드가 존재하는 경우 복잡한 조인 과정과 고정노드의 한정된 하드웨어 자원으로 인해 각각의 이동노드 사이에 경쟁이 발생한다. 또한 고정노드들의 라우팅 테이블이 빈번하게 갱신되어 통신 트래픽이 많아져 다수 이동노드 중 일부는 고정노드에 조인을 못하는 상황이 발생한다. 이로 인해 일부 이동노드 정보가 손실되어 신뢰성 있는 위치인식 서비스 제공이 힘들다^[10].

이러한 문제점을 해결하기 위하여 CIDE^[7]에서는 고정노드는 기존의 무선 센서 네트워크 프로토콜을 사용하면서 이동노드는 IEEE 802.15.4 MAC 레이어 노드로 구성하여 이동노드의 조인과정 없이 동일한 무선 환경을 사용할 수 있도록 한다. 이동노드는 네트워크 계층이 없기 때문에 무선 통신이 가능한 고정노드와 1-Hop으로 데이터를 주고받을 수 있다. 또한 고정노드가 이동노드의 위치정보를 서버로 전달할 때는 네트워크 계층을 통해서 정보를 전달할 수 있다. 그림 1과 같이 단위 공간에 설치된 고정노드와 그 영역에서 이동하는 이동노드가 상존하는 센서 네트워크 환경을 Zigbee 토폴로지 구성도와 CIDE 프로토콜을 이용한 이동노드로 표시하면 그림 2와 같다. 그림 2에서 라우터(Parent)나 엔드노드(Leaf)는 고정노드에 해당한다.

이렇게 기존 센서 네트워크 프로토콜과 새로운 통신 스택을 사용함으로써 고정노드의 빈번한 라우팅 테이블 갱신 없이 이동노드의 위치 정보를 전달할 수 있어 다수의 이동노드의 이동성을 보장할 수 있다.

그림 3에서는 CIDE 프로토콜의 시퀀스 다이어그램을 보여 주고 있다. 이동노드가 단위 공간 영역에 진입했을 때 고정노드는 브로드캐스팅 메시지를 이용하여 주변의 모든 이동노드에게 ID를 요청하고

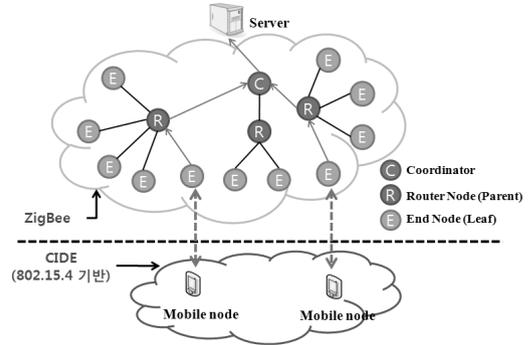


그림 2. 고정노드와 이동노드가 동시에 존재하는 센서 네트워크 토폴로지 구성도

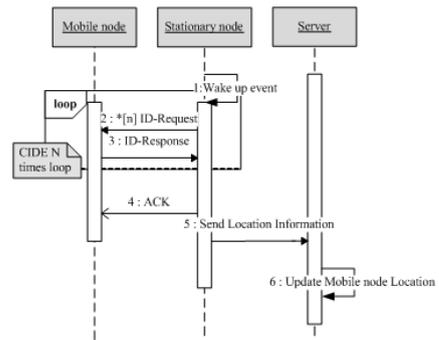


그림 3. CIDE 프로토콜 기반 위치인식 시퀀스 다이어그램

(1,2) 요청받은 이동노드들은 ID-Response 메시지를 고정노드로 전송한다(3). 연결 요청을 받은 고정노드는 이동노드에게 ACK 메시지를 전송하고(4) 서버에게 이동노드의 위치 정보를 전달한다(5). 서버는 고정노드로부터 이동노드의 최신 위치정보를 받아 업데이트 한다(6).

2.3 AMD 서비스의 필요성

센서 네트워크에서도 다양한 서비스를 제공하기 위해서 이동노드 간에 긴급 메시지 전달 서비스를 제공하는 어플리케이션이 필요하다. 다음 그림 4에서는 병원 환경에서 설치된 무선 센서 네트워크 인프라 하에서 다양한 AMD 서비스의 사례들을 보여 주고 있다.

예를 들어 (a)특정 위치에 있는 의사만을 지정하여 호출하거나, (b)특정 환자의 ID와 처방전의 ID가 일치하는지 확인하여 필요한 처방전을 해당 환자에게 서비스할 수 있도록 하여 병원에서 쉽게 발생할 수 있는 의료사고를 예방하는 서비스, 또는 (c)보안이 필요한 위험물품의 이동경로를 추적하고, 이러한 위험물품이 정상적인 경로를 이탈하였을 경우 긴급

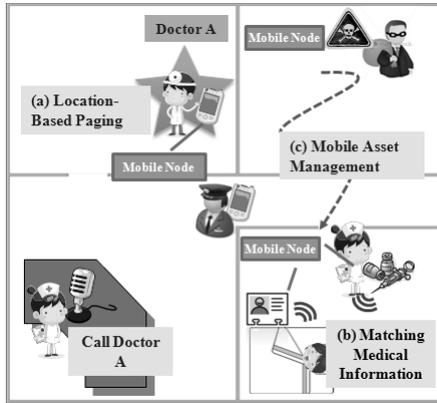


그림 4. AMD 서비스 사례

알람 메시지를 주변의 가장 가까운 이동노드(경비원)에게 보내는 서비스 등이 CIDE 프로토콜과 AMD 서비스가 결합되어 제공 가능한 서비스의 사례이다. 이는 기타 설치환경에 따라서 매우 다양하고 혁신적인 새로운 서비스를 창출할 수 있는 기반 기술이 될 것이다. 따라서 CIDE 기반 위치인식을 지원하는 고정노드와 이동노드가 상존하는 무선 센서 네트워크에서 AMD 서비스는 필수 요소 기능이 될 것이다.

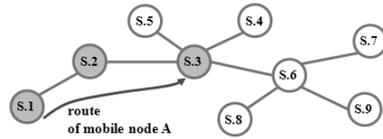
III. AMD 전송방식 개념 제안

3.1 AMD-to-Destination 전송방식

AMD-to-Destination 전송방식은 서버 측에서 고정노드의 지리정보시스템 (Geographic information system: GIS) 정보와 메시지 송신 노드인 소스 이동노드, 메시지 수신 노드인 목적지 이동노드의 위치정보를 이용하여 CIDE 프로토콜을 기반으로 메시지를 전달하는 방식이다. 그림 5는 고정노드의 GIS 정보에 따른 서버의 고정노드 정보테이블을 나타낸다.

하지만 이러한 AMD-to-Destination 전송방식에는 문제점이 있다. ZigBee 기반의 무선 네트워크에서 RFD인 엔드 노드는 상시 전원을 사용하지 않는 제한된 전원을 가지고 있기 때문에 저전력을 위해 통신이 필요할 때만 디바이스가 활성화되는 폴링 방식을 사용하게 된다. 이러한 RFD들이 동일한 폴링 주기를 가졌다 할지라도 동작 시작 시점은 동일할 수 없다.

다음 그림 6에서는 이러한 폴링 방식이 원인이 되어 AMD가 실패하는 경우를 보여주고 있다. 만약



Stationary Node Information Table

Stationary Node ID	Stationary Network Address	Cell No.	Detected Mobile Node
S.1	0xFF01	Room-501	{A, PM 9:00}
S.2	0xFF02	Room-502	{A, PM 9:02}
S.3	0xFF03	Room-503	{A, PM 9:03}
S.4	0xFF04	Room-504	Empty
S.5	0xFF05	Room-505	Empty
S.6	0xFF06	Room-506	Empty
S.7	0xFF07	Room-607	Empty
S.8	0xFF08	Room-508	Empty
S.9	0xFF09	Room-509	Empty

그림 5. 네트워크 토폴로지 및 이동노드 경로에 따른 서버의 고정노드 정보 테이블

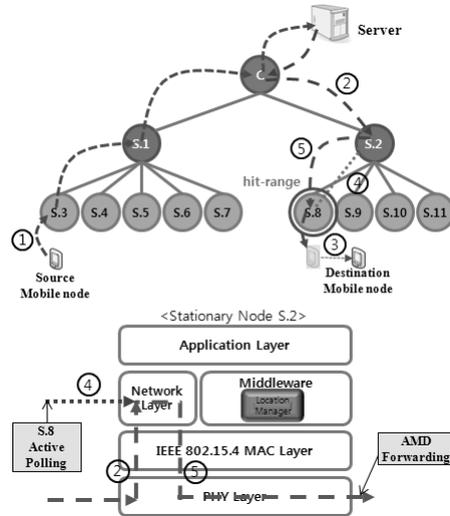


그림 6. AMD-to-Destination hit-range와 ZigBee 폴링 주기와 이동노드 이동으로 인한 AMD 실패 시나리오

서버에서 목적지 고정노드에게 AM을 재구성하여 전달할 때 목적지 고정노드의 폴링 주기가 되기 전에 해당 단위공간에 있던 목적지 이동노드가 다른 단위공간으로 빠르게 이동한다면 AMD 서비스는 실패하게 된다. 그리고 이러한 단위공간의 고정노드들이 다중홉(Multi-Hop)으로 구성되어 있다면 Hop 간 지연시간에 의해 AMD가 실패할 확률은 더욱 높아질 것이다.

3.2 AMD-to-Parent 전송방식

설명에 앞서 이동노드는 인접한 고정노드 주변을 기준으로 이동한다고 가정한다. 정상적인 경우라면

임의로 이동노드의 전원을 끈 상태에서 다른 고정 노드로 이동하는 상황이 발생할 가능성은 적다.

AMD-to-Parent 전송방식은 소스 이동노드로부터 목적지 이동노드로의 AMD 요청이 서버에 도달할 경우 서버는 현재 목적지 이동노드가 위치하고 있는 단위 공간의 고정노드에게 메시지를 전달하는 AMD-to-Destination 전송방식과 달리 해당 고정노드의 부모 고정노드에게 전달하는 방식이다. 메시지를 전달받은 부모 고정노드는 하위의 엔드 고정노드를 관리하여 보다 효율적으로 AMD 서비스가 제공될 수 있도록 하여 전송 성공률 범위를 높일 수 있다. 더욱이 고정노드는 단위공간을 기준으로 설치되고 이동노드는 주변에 이웃한 고정노드 사이에서 이동할 가능성이 크므로 AMD-to-Parent 전송방식은 AMD-to-Destination 전송방식과 비교하여 전송 성공률이 높아진다. 이러한 전송방식으로 인해 통신 오버헤드가 추가될 수 있는 부모 고정노드와 엔드 고정노드 사이는 1-Hop으로 이루어져 있기 때문에 성공률과 비교하여 문제되지 않을 수준이다.

그림 7은 앞서 살펴 본 AMD-to-Destination 전송방식에서의 동일한 문제점이 AMD-to-Parent 전송방식을 이용하여 해결되는 상황을 보여준다.

AMD 요청 시 서버는 목적지 이동노드가 위치하고 있는 고정노드에게 메시지를 직접 전달하지 않고, 부모 고정노드에게 전달하면서 패킷 내에 목적지 이동노드의 ID를 명시해 둔다. 메시지를 전달받은 부모 고정노드는 패킷을 버퍼링하고 이동노드가 위치하고 있는 단위 공간의 고정노드를 통하여 메시지를 전달하여 전송 성공률을 높일 수 있다.

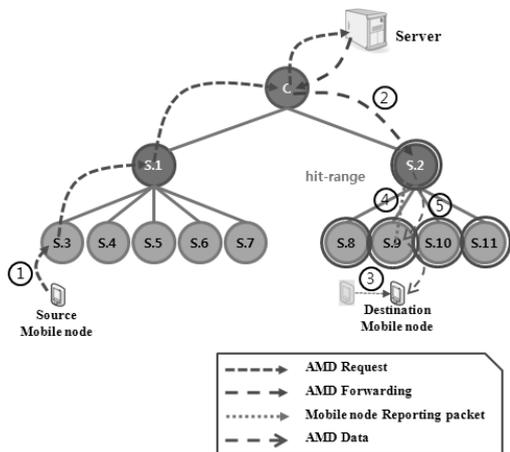


그림 7. AMD-to-Parent hit-range와 AMD 서비스 실패 해결 방안

3.3 AMD with Dynamic Dispatch 전송방식

앞서 제시한 AMD-to-Parent 전송방식에서도 문제점은 존재한다. 만약 부모 고정노드의 엔드 고정노드 수가 적다면 이러한 전송방식도 큰 효율성을 얻지 못한다. 어느 방향으로든 항상 이동 가능한 이동노드가 한 부모 고정노드의 공간 내에서만 이동하리라는 보장은 없다.

그림 8에서는 AMD-to-Parent 전송방식에서 문제점이 발생할 수 있는 시나리오를 보여주고 있다.

만약 S.3 부모 고정노드에서 AMD의 목적지 이동노드를 인식한 후 AMD 메시지를 버퍼링하고 있는 상태에서 목적지 이동노드가 2개의 엔드 고정노드가 아닌 또 다른 공간인 S.9 엔드 고정노드로 이동하는 경우가 발생한다면, S.3 부모 고정노드는 엔드 고정노드 중에 목적지 이동노드가 없음을 판단하고 전달받은 AM 패킷을 제거하여 AMD 서비스는 실패할 것이다.

하지만 그림 8에서와 같이 목적지 이동노드가 S.3 부모 고정노드의 엔드 고정노드인 S.10 고정노드의 공간으로 이동한다면 S.3 부모 고정노드에서는 AM 패킷을 제거하기 전에 엔드 고정노드로부터 받은 위치정보 패킷에서 목적지 이동노드의 ID를 찾아 하위에 구성된 또 다른 부모 고정노드인 S.10 고정노드에게 AM 패킷을 전달할 수 있을 것이다.

이러한 방법이 AMD with Dynamic Dispatch 전송방식이다.

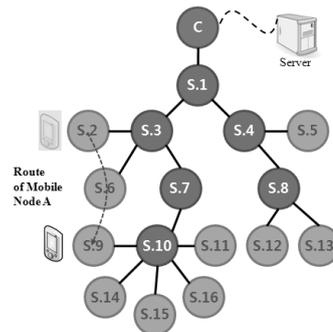


그림 8. AMD-to-Parent 전송방식의 문제점

IV. AMD 설계 및 구현

4.1 AMD-to-Destination 전송방식 설계 및 구현

AMD-to-Destination 전송방식에서 서버는 이동노드 위치정보 테이블에서 이동노드가 위치하고 있는

고정노드 정보를 주기적으로 갱신하고, 비동기 메시지가 수신될 경우 목적지 이동노드가 위치한 엔드 고정노드에게 메시지가 전달될 수 있도록 패킷을 생성하여 전달한다. 그림 9는 AMD-to-Destination 전송방식의 시퀀스 다이어그램이다. 이동노드가 단위 공간에 진입하면 고정노드는 주변에 있는 이동노드들에게 브로드캐스트로 AM-Request를 요청한다(1,2). 이동노드는 이에 응답으로 AM-Response를 전달한다(3). 고정노드는 응답에 대한 ACK를 이동노드에게 전달하고(4) 자신과 통신 가능한 모든 이동노드의 위치정보와 AM을 하나의 패킷으로 묶어서 서버에게 전달한다(5). 서버는 받은 패킷에서 AM의 목적지인 이동노드를 찾아서(6) 목적지 이동노드가 위치하고 있는 고정노드에게 AM을 전달하고(7), 목적지 고정노드는 해당 이동노드에게 메시지를 전달한다(8). 메시지를 전달받은 이동노드는 고정노드에게 AM에 대한 ACK를 전달하고(9) 고정노드는 AM-Hit 메시지를 서버에게 전달한다(10). 서버는 AM 전달이 정상적으로 완료되었음을 기록한다(11). 예외적인 상황으로 만약 메시지 전달이 실패하여 일정시간 동안 AM-Hit 메시지를 받지 못하면 서버는 실패를 기록한다(12,13). AM 전달 실패 시 서버는 AM을 재전송할 수도 있으나 이동노드는 항상 이동 가능하기 때문에 재전송한 AM마저

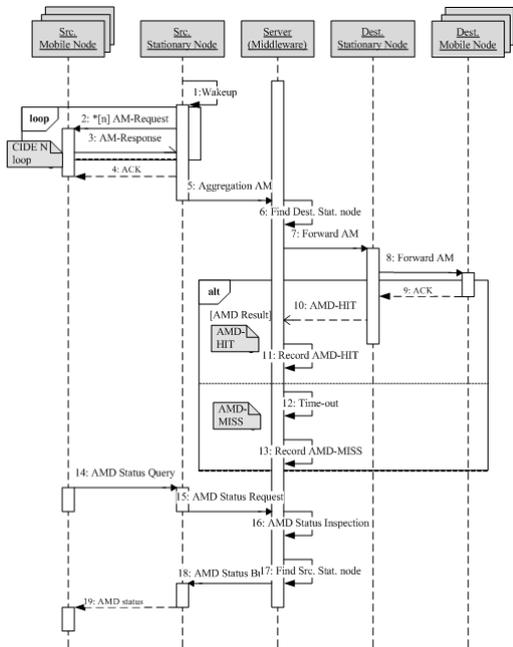


그림 9. AMD-to-Destination 전송방식의 시퀀스 다이어그램

실패로 이어질 수 있다. 또한 재전송으로 인한 트래픽 증가로 또 다른 전송 실패의 원인이 될 수 있으므로 서버는 결과만 기록한다. 그러므로 소스 이동노드에서 AM이 목적지 이동노드로 정확하게 전달되었는지 쿼리 메시지를 서버에게 보내면(14,15) 서버는 기록된 AM의 상태정보를 확인하여(16) AMD 성공여부(17,18,19)를 소스 이동노드에게 알려준다.

4.2 AMD-to-Parent 전송방식 설계 및 구현

앞서 설명한 AMD-to-Destination 전송방식은 전송속도는 빠르나, 3장에서 제시한바와 같이 폴링 방식에 의해 메시지 전송 실패 확률이 높아진다. 이에 AMD-to-Parent 전송방식에서 서버는 이동노드 위치정보 테이블에서 이동노드가 위치하고 있는 고정노드와 부모노드 정보를 함께 관리하고, 전달 요청 받은 메시지는 부모노드를 목적지 주소로 패킷을 생성하여 전달하도록 설계하였다. 서버에서는 AMD-to-Parent 전송방식을 위해 네트워크 토폴로지 정보가 필요하다. 표 1은 고정노드 정보 테이블의 예이다. 고정노드 정보 테이블은 고정노드 식별자 ID, 고정노드 네트워크 주소와 부모 고정노드의 네트워크 주소, 고정노드가 위치하는 단위공간과 단위공간 내에서 인식된 이동노드, 인식 시간으로 구성된다. 네트워크 구성 시 각 고정노드들은 자신의 부모 고정노드 정보를 서버에게 보고하여 서버에서는 네트워크 토폴로지 정보를 가질 수 있다. 이러한 정보를 바탕으로 서버는 AMD-to-Parent 전송방식 기반의 AMD 서비스를 제공할 수 있다.

표 1. AMD-to-Parent 전송방식을 위한 서버의 고정노드 정보 테이블

Stationary Node ID	Stationary Network Address	Parent Network Address	Cell No.	Detected Mobile Node
S.1	0x0001	0x0000	Room-501	Empty
S.2	0x0010	0x0001	Room-502	Empty
S.3	0x0011	0x0001	Room-503	Empty
S.4	0x0100	0x0011	Room-504	{A, PM7:20}
S.5	0x0101	0x0011	Room-505	{A, PM7:22}
S.6	0x0102	0x0011	Room-506	Empty
S.7	0x1000	0x0102	Room-507	Empty
S.8	0x2000	0x1000	Room-508	{A, PM7:26}
S.9	0x2001	0x1000	Room-509	Empty
S.10	0x2002	0x1000	Room-510	Empty
S.11	0x2003	0x1000	Room-511	Empty

또한 AMD-to-Parent 전송방식을 위하여 부모 고정노드인 라우터 고정노드는 전달받은 메시지를 일시적으로 저장하고 관리할 필요가 있다. 이에 부모 고정노드는 엔드 고정노드로부터 이동노드들의 위치 정보를 관리하고, 전달받은 AMD를 저장할 수 있는 저장소를 생성하고 관리한다.

그림 10에서는 AMD-to-Parent 전송방식의 시퀀스 다이어그램을 보여주고 있다.

AMD-to-Destination 전송방식과 동일한 시퀀스로 서버 측으로 AMD 요청 메시지가 전달되면(1,2,3,4, 5) 서버는 목적지 이동노드가 위치하고 있는 고정노드의 부모 고정노드에게 AM 패킷과 목적지 이동노드 정보를 함께 전달한다(6,7). 패킷을 전달받은 부모 고정노드는 버퍼링과 함께 엔드 고정노드들로부터 이동노드의 위치인식 패킷이 전송되면(8,9,10,11, 12) AMD Manager와 Location Manager를 이용하여 전달된 이동노드들의 정보를 비교하여(13) 목적지 고정노드를 찾아 AM을 전달한다(14). 부모 고정노드는 목적지 이동노드로부터 전달한 AM에 대한 ACK를 받고(17,18) AM-Hit 메시지를 서버에게 전달한다(19). 서버는 AM 전달이 정상적으로 완료되었음을 기록한다(20). 예외적인 처리로 만약 부모 고정노드의 Location Manager에 찾고자 하는 이동

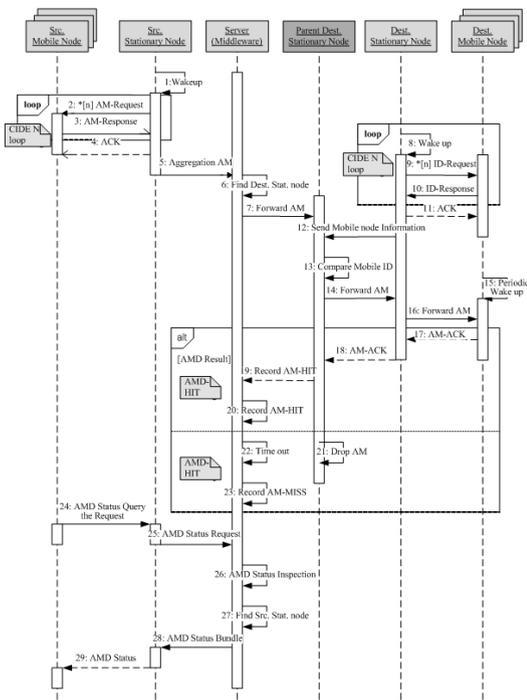


그림 10. AMD-to-Parents 전송방식의 시퀀스 다이어그램

노드가 없으면 AM 패킷을 제거한다(21). 또한 AMD-to-Destination 전송방식의 예외처리와 마찬가지로 서버에서는 일정시간 동안 AM-Hit 메시지를 받지 못하면 실패를 기록한다(22,23). AM의 전송유무는 AMD-to-Destination 전송방식의 시퀀스와 동일하게 소스 이동노드에서 AM이 목적지 이동노드로 정확하게 전달되었는지 쿼리 메시지를 서버에게 보내면(24,25) 서버는 기록된 AM의 상태정보를 확인하여(26) AMD 성공여부(27,28,29)를 소스 이동노드에게 알려준다.

4.3 세 가지 AMD 방식을 지원하는 미들웨어 구조

그림 11은 세 가지 AMD 전송방식을 지원하는 미들웨어 구조이다.

AMD-to-Parent 전송방식을 지원하기 위해서 부모 고정노드의 통신 스택에 AMD를 관리하는 AMD Manager가 추가되어야 한다. AMD Manager는 미들웨어 계층에 구성되고 Location Manager와 협력하여 AMD 서비스를 관리하는 기능과 엔드 고정노드의 정보를 관리하게 된다. 또한 AMD with Dynamic Dispatch 전송방식에서 앞서 제시한 해결 방안을 위해 고정노드는 ZigBee 네트워크에서 라우팅되고 있는 위치인식 패킷을 MAC 계층에서 가로채어 분석한다. 이러한 역할을 Mobile MAC Manager에서 수행한다. Mobile MAC Manager에서는 위치인식 패킷을 분석하여 Location Manager에게 목적지 이동노드의 위치정보를 갱신하도록 함으

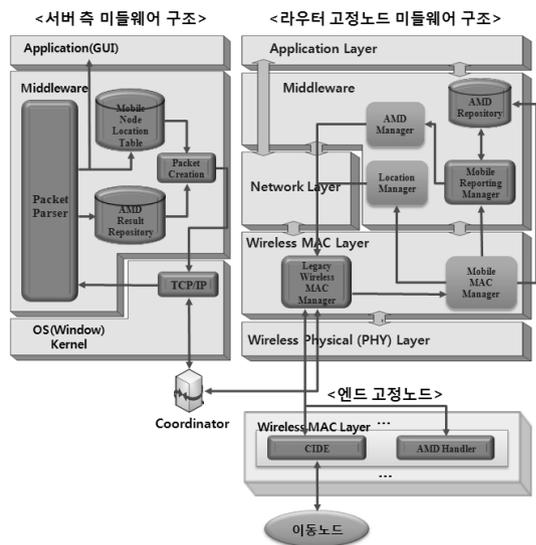


그림 11. 세 가지 AMD 전송방식을 지원하는 미들웨어 구조

로써 항상 정확한 이동노드의 위치를 유지할 수 있도록 한다. 이러한 AMD 전송방식은 부모 고정노드의 하위 엔드 고정노드 뿐만 아니라, 1-hop 이상의 하위 부모 고정노드까지 메시지 전달 범위가 확장될 수 있다.

V. 성능평가

5.1 테스트베드

세 가지의 AMD를 위한 전송방식을 테스트하기 위하여 다음과 같은 환경을 구성하였다.

하드웨어 구성으로는 TI사의 CC2430EM 모듈을 센서 노드로 사용하였으며, ZigBee 프로토콜은 TI사의 Z-Stack을 기반으로 구현하였다. 패킷 검출기는 TI사에서 제공하는 CC2430DB 모듈을 사용하였으며, Packet Sniffer CC2430 소프트웨어를 통하여 검출한 패킷을 모니터링 하였다.

서버 프로그램은 NetBeans IDE 6.0.1에서 Java runtime 1.6.0_19를 기반으로 구현하였다. AMD는 1~5초 사이에서 랜덤하게 발생하며 1000개의 메시지를 기준으로 테스트하였다. 엔드 고정노드는 1초 간격의 폴링 주기로 통신한다. 이동노드는 인접한 고정노드를 기준으로 이동하며 1초에서부터 10초까지의 이동시간을 기준으로 AMD 전송 성공률을 측정하였다.

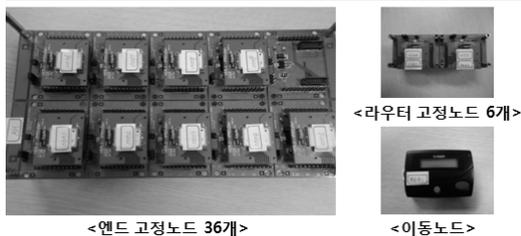


그림 12. 테스트베드 구성요소

네트워크 토폴로지는 6개의 라우터를 기준으로 36개의 엔드노드로 구성하였다. 그림 12는 서버 프로그램과 테스트에 사용하기 위해 구성한 센서 노드들의 모습이다.

5.2 전송 성공률 비교

그림 13에서는 세 가지 AMD 전송방식에 따른 전송 성공률을 비교하여 보여주고 있다.

AMD-to-Destination 전송방식을 이용하여 AMD 서비스를 제공할 경우 이동노드가 1~3초 정도 빠른 속도로 움직일 경우에는 전송 성공률이 낮았다. 하지만 이동노드의 이동주기가 8~10초 사이의 속도로 단위 공간을 이동하는 경우 90% 이상의 전송 성공률을 보였다.

AMD-to-Parent 전송방식에 기반 한 AMD 서비스는 부모 고정노드에게 메시지를 전달하기 때문에 AMD-to-Destination 전송방식에 비해 더욱 많은 엔드 고정노드에게 메시지를 전달할 수 있으므로 전송 성공률 또한 높아지는 것을 알 수 있다. 하지만 앞에서 제기한 AMD-to-Parent 전송방식의 문제점 등으로 인해 80% 이상대의 성공률을 보이고 있다.

AMD with Dynamic Dispatch 전송방식에서는 전체적으로 90% 이상대의 성공률을 보임을 알 수 있다.

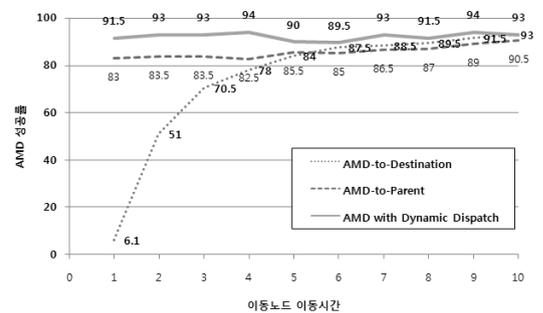


그림 13. AMD 전송방식에 따른 전송률 비교

5.3 AMD 서비스 전송 속도

다음은 Packet Sniffer CC2430 소프트웨어를 이용하여 AMD 성공 시 패킷을 검출한 다음 라우터 고정노드에서 메시지를 송신하여 목적지 이동노드에서 수신할 때까지의 전송시간을 측정된 결과이다.

먼저 그림 14는 AMD-to-Destination 전송방식에서의 패킷 검출 화면이다. 라우터 고정노드로부터 목적지 이동노드까지 메시지 전송시간은 64,987,016(μs) - 64,842,330(μs) = 144,686(μs) 즉, 0.14초가

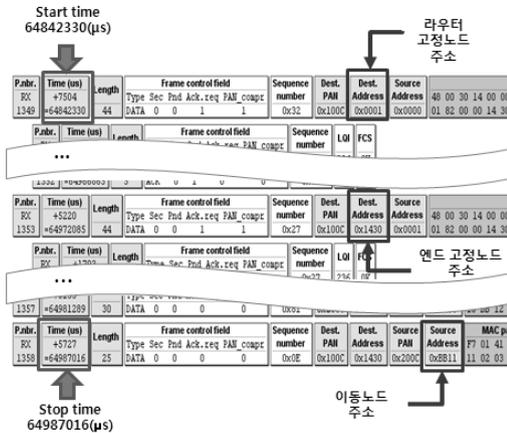


그림 14. AMD-to-Destination 패킷 검출

소요됨을 알 수 있다.

그림 15는 AMD-to-Parent 전송방식에서의 패킷 검출 화면이다. 라우터 고정노드로부터 목적지 이동노드까지 메시지 전송시간은 115,459,810(μs) - 115,203,169(μs) = 256,641(μs) 즉, 0.25초가 소요됨을 알 수 있다. 비록 AMD-to-Destination 전송방식에 비해 0.11초가 지연되지만 이동노드의 이동주기는 초 단위이므로 전송 성공률을 감안하였을 때 무시해도 무관할 수준이다.

그림 16은 AMD with Dynamic Dispatch 전송방식에서의 패킷 검출 화면이다. 라우터 고정노드로부터 목적지 이동노드까지 메시지 전송시간은 187,752,858(μs) - 186,777,259(μs) = 975,599(μs) 즉, 0.97초가 소요됨을 알 수 있다. 이 역시 AMD-to-Destination, AMD-to-Parent 전송방식에 비해 지연시간은 길지만 이동노드의 이동주기를 감안하여 전송 속도보다는 전송 성공률이 더욱 중요

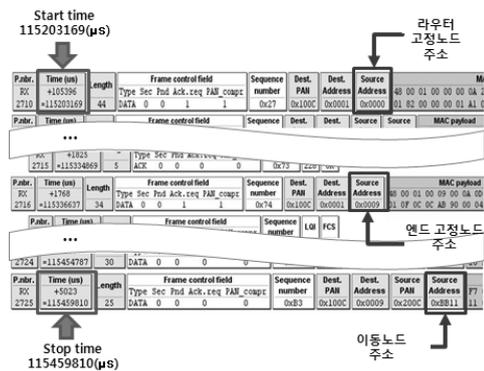


그림 15. AMD-to-Parent 패킷 검출

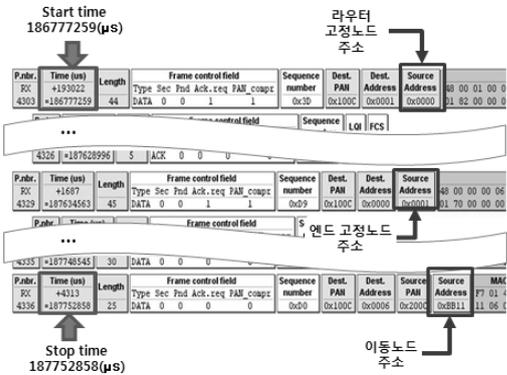


그림 16. AMD with Dynamic Dispatch 패킷 검출

한 요소일 것이다.

VI. 결론

최근 실내에서 이동노드를 이용하여 위치인식 서비스를 제공하고 이를 기반으로 이동노드 간 신뢰성 있는 메시지 전송을 위한 많은 연구들이 이루어지고 있다. 하지만 다수 이동노드들의 정확한 위치인식 서비스를 제공하기에는 기존의 무선 센서 네트워크 프로토콜들이 가지는 한계로 실시간성과 정확성을 보장하기 어려우며, 더욱이 이를 기반으로 한 비동기 긴급 메시지 서비스를 위한 해결책을 제시하는 것은 더욱 어려운 일이다.

본 논문에서는 기존의 무선 센서 네트워크 인프라에서 이동노드 간 비동기 메시지 전송 서비스의 필요성을 인식하고, 이를 위한 세 가지의 전송방식을 제시하였다. IEEE 802.15.4 MAC을 기반으로 한 CIDE 프로토콜을 이용한 AMD-to-Destination 전송방식은 보다 빠른 비동기 긴급 메시지 전달이 가능하다. 또한 AMD-to-Parent 전송방식은 부모 고정노드로의 전송 가능 영역을 확장하여 더욱 전송률을 높였다. 특히 AMD with Dynamic Dispatch 전송방식은 부모 고정노드의 전송 가능 영역을 엔드 고정노드의 공간으로 동적으로 변경 가능하여 보다 효율적인 전송률을 가질 수 있었다.

제시한 전송방식은 기존의 무선 센서 네트워크 인프라의 변화 없이 이동노드 간 효율적인 메시지 전송이 가능하며 이동노드의 이동성을 충분히 보장하고, 보다 안정적인 메시지 서비스를 제공할 수 있다. 또한 제시한 전송방식을 이용하여 실제 네트워크 인프라와 유사한 테스트베드 환경을 구성하여 메시지 전송 성공률을 비교해봄으로써 제시한 방법

의 효율성을 입증하였다.

무선 센서 네트워크에서 위치인식 서비스를 기반으로 한 비동기 긴급 메시지 전달 서비스는 네트워크 인프라 구성 환경에 크게 영향을 받는다. 특히 AMD with Dynamic Dispatch 전송방식에서도 만약 엔드 고정노드에서 부모 고정노드로 이동노드의 위치이동이 발생한다면 이에 대한 대안이 필요하다. 이러한 문제점들은 향후 계속 연구가 필요한 사항들이며, 앞으로도 이러한 위치인식 서비스 기반의 다양한 서비스 구현이 활발하게 이루어질 것이다.

참 고 문 헌

[1] M. Bertocco, G. Gamba, A. Sona, and S. Vitturi, "Experimental characterization of wireless sensor networks for industrial applications," *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, Vol.57, pp.1537-1546, Aug., 2008.

[2] A.T. Erman, L.van Hoesel, P. Havinga, and J. Wu, "Enabling Mobility in Heterogeneous Wireless Sensor Networks Cooperating with Uavs for Mission-Critical Management," *IEEE Wireless Communications*, Vol.15, pp.38-46, Dec., 2008.

[3] P.Bahl, V.N. Padmanabhan, "RADAR: An In-Building RF-Based User Location and Tracking System," *INFOCOM2000. Nineteenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Proceedings. IEEE*, Vol.2. pp.775-784, 2000.

[4] Lingxuan Hu, David Evans, "Localization for Mobile Sensor Networks," *ACM International Conference on Mobile Computing and Networking 2004*, pp.45-57, 2004.

[5] Jagoba, A., Aitzol, Z., "Malguki: an RSSI based ad hoc location algorithm," *Elsevier Microprocessors and Microsystems*, 28(8), pp.403-409, 2004.

[6] Aamodt, K., "CC2431 Location Engine", *Texas Instruments Application Note*, 2006.

[7] Baek-Gyu Kim, Soon-Ju Kang, "IEEE 802.15.4 MAC-based Location-ID Exchange Protocol for Realizing Micro-Cell Connectionless Location-Awareness Services," *Journal of Computing*

Science and Engineering, 2(4), pp.412-427, Dec., 2008.

[8] "Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs)", *IEEE Standard for Information technology*, 2006.

[9] "ZigBee Specification", *ZigBee Alliance*, Jan., 2008.

[10] J.S. Lee, "Performance evaluation of IEEE 802.15.4 for low-rate wireless personal area networks," *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, Vol.52, pp.742-749, Aug., 2006.

김 우 정 (Woo-Jung Kim)

준회원



2008년 2월 대구가톨릭대학교 컴퓨터공학과 학사
 2010년 8월 경북대학교 정보통신공학과 석사
 2011년 1월~현재 윈드리버코리아 연구원
 <관심분야> USN, RTOS, ZigBee

정 설 영 (Seol-Young Jeong)

정회원



2001년 2월 동아대학교 컴퓨터공학과 학사
 2009년 2월 계명대학교 전산교육학과 석사
 2009년 3월~현재 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 박사과정
 <관심분야> 임베디드 시스템, 센서네트워크, RTOS

김 태 현 (Tae-Hyon Kim)

정회원



2005년 2월 경북대학교 전자공학부 공학사
 2007년 2월 경북대학교 전자공학부 공학석사
 2007년 3월~현재 경북대학교 전자공학부 박사 과정
 <관심분야> 실시간 시스템, 임베디드 시스템, 센서 네트워크, 컴퓨터 언어

강 순 주 (Soon-Ju kang)

중신회원



1983년 2월 경북대학교 전자공학과 공학사

1985년 2월 한국과학기술원 전자계산학과 공학석사

1995년 2월 한국과학기술원 전자계산학과 공학박사

1985년~1996년 한국원자력연구소 연구원, 핵인공지능연구실 선임연구원, 전산정보실 실장

1996년~현재 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 정보통신공학전공 정교수

<관심분야> 실시간 시스템, 소프트웨어 공학, 지식기반 시스템