

# ZigBee 기반의 무선 네트워크에서 이동성을 고려한 개선된 AODV 라우팅 프로토콜의 연구

준회원 김 유 두\*, 종신회원 문 일 영\*\*

## A Study on Improved AODV Routing Protocol for Mobility based on ZigBee

Yu-Doo Kim\* Associate Member, Il-Young Moon\*\* Lifelong Member

### 요 약

기반 망 없이 네트워크 구축이 이루어지는 Ad-hoc 네트워크 기술이 다양한 방면에서 활용되고 있다. 특히 ZigBee는 저 전력 통신을 위하여 설계 되었으며 구조가 간단하여 데이터양이 많지 않은 분야에서 사용하기에 적합한 기술이다. 이러한 ZigBee 네트워크의 라우팅은 Ad-hoc 네트워크에서 널리 사용하는 AODV(Ad-hoc On Demand Distance Vector) 라우팅 프로토콜을 이용한다. AODV 라우팅 프로토콜은 데이터의 전송 요청이 있을 때에만 라우팅 경로를 탐색하는 Reactive 방식의 라우팅 프로토콜로, 노드의 이동이 빈번한 무선 Ad-hoc 네트워크에서 많이 사용된다. 하지만 한번 설정된 라우팅 경로는 Lifetime 필드의 값이 지정한 시간까지 변화하지 않기 때문에, 노드의 이동에 따른 새로운 최적의 경로가 발생하여도 Lifetime에 의하여 계속 기존의 라우팅 경로를 이용하여 데이터가 전송되어 이동성이 많은 ZigBee 환경에서 최적의 성능을 나타낼 수 없다.

이에, 본 논문에서는 ZigBee 기반의 무선 네트워크에서 빈번한 이동을 고려한 AODV 라우팅 프로토콜의 개선 방법을 제안하고 그 성능을 시험 하였다.

**Key Words** : AODV; ZigBee; Wireless Network; Mobility; Routing

### ABSTRACT

Recently, we are using wireless system based on ZigBee technology. It solves a complicated space and frequency movement. Then, we had studied it for improved performance. So, we are must concerned about routing protocol for improvement of a weak point of physical feature. But many researchers are not focusing on developing Routing Protocol.

In this paper, we proposed improved routing protocol using AODV for wireless system based on ZigBee technology. And it is analyzed the simulation result which compare with original and improved AODV protocol based on ZigBee network.

### I. 서 론

무선 네트워크 기술의 급격한 발전으로 인하여 다양한 분야에서 기존의 유선 네트워크 환경을 무선 네트워크 환경으로 변화시키기 위한 많은 시도

를 하고 있다. 특히, ZigBee는 저 전력 통신을 위하여 설계 되었으며 구조가 간단하여 데이터양이 많지 않은 분야에서 사용하기에 적합한 기술이다<sup>1-3)</sup>. 또한, 별도의 라우터 없이 단말 노드 사이에서 라우팅이 이루어지는 Ad-hoc 네트워크 형태를 지원하여

\* 한국기술교육대학교 대학원 정보미디어공학과(kydmn@kut.ac.kr), \*\* 한국기술교육대학교 인터넷미디어공학부(iymoon@kut.ac.kr)  
논문번호 : KICS2009-04-140, 접수일자 : 2009년 4월 1일, 최종논문접수일자 : 2009년 5월 6일

노드의 이동이나 추가를 할 경우에 별도의 네트워크 구성을 위한 작업이 필요하지 않다. 이러한 네트워크의 라우팅을 지원하기 위하여 ZigBee에서는 Ad-hoc 네트워크에서 널리 사용하는 AODV 라우팅 프로토콜을 이용한다<sup>4)</sup>.

AODV 라우팅 프로토콜은 데이터의 전송 요청이 있을 때에만 라우팅 경로를 탐색하는 Reactive 방식의 라우팅 프로토콜로 노드의 이동이 빈번한 무선 Ad-hoc 네트워크에서 많이 사용된다. 하지만 한번 설정된 라우팅 경로는 Lifetime 필드의 값이 지정한 시간까지 변화하지 않아 노드의 이동에 따른 새로운 최적의 경로가 발생하여도 Lifetime에 의하여 계속 기존의 라우팅 경로를 이용하여 데이터가 전송된다<sup>5,6)</sup>.

이에, 본 논문에서는 기존의 AODV 라우팅 프로토콜의 문제점을 개선한 개선된 AODV 라우팅 프로토콜을 제안하고 QualNet 4.5 네트워크 시뮬레이션 프로그램을 활용하여 그 성능을 평가 하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 II장에서는 ZigBee 기술에 대하여 알아본다. 제 III장에서는 기존의 AODV 라우팅 프로토콜에 대하여 기술하고, 이동성이 빈번한 ZigBee 기반의 네트워크에서 성능을 향상시킬 수 있는 개선된 AODV 라우팅 프로토콜을 제안한다. IV장에서 성능 분석을 위한 네트워크 시뮬레이션 프로그램에 대한 소개와 시뮬레이션을 위한 시나리오를 설계한다. 그리고 정해진 시나리오에 맞추어 수행한 네트워크 시뮬레이션 결과를 분석한다. 마지막으로 제 V장에서는 본 논문의 결론을 맺는다.

## II. ZigBee 기술

ZigBee 기술은 응용, 네트워크, MAC(Medium Access Control), 그리고 물리 계층으로 구성되어있다. ZigBee에서 MAC과 물리 계층은 IEEE 802.15.4에서 가져온 것으로 실질적으로 ZigBee가 직접 표준화한 것은 네트워크와 응용 계층이다.

### 2.1 ZigBee Alliance

ZigBee Alliance의 표준화 범위는 IEEE 802.15.4에서 표준화를 마친 물리 계층과 MAC 계층의 상위계층으로, 네트워크 계층과 응용 계층에 대한 표준을 제정하였다<sup>7)</sup>. 이 가운데 응용 계층은 서브레이어인 APS(Application Support Layer)와 APF(Application Framework) 그리고 ZDO(ZigBee Device

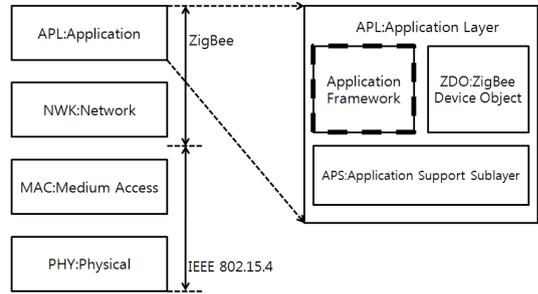


그림 1. ZigBee Alliance의 표준화 범위

Object)로 구성되어있다. 응용 계층은 ZigBee Alliance에서 APS와 ZDO까지 표준화를 하였고, APF는 벤더들에게 맡기고 있다.

### 2.2 ZigBee 개발을 위한 소프트웨어

ZigBee 개발을 위해서는 다음과 같은 세 가지 방법이 있다<sup>8)</sup>.

- SMAC(Simplified MAC)을 이용하는 방법  
무료이며 가장 간단하게 구현할 수 있다.(하드웨어장치에 SMAC 라이브러리를 활용하여 응용프로그램을 작성)
- IEEE 802.15.4 스택을 이용하는 방법  
MAC을 이용하여 다양한 기능을 부여 할 수 있다.
- ZigBee 스택을 이용하는 방법  
구매해서 사용해야 하고 가장 복잡하지만 모든 기능을 포함하고 있다.

### 2.3 네트워크 계층

여러 종류의 통신망과 네트워크를 거쳐 종단시스템끼리 정보를 주고받을 수 있도록 기능을 제공하는 계층이며 네트워크 보안과 라우팅관리를 한다.

- 데이터서비스 : 데이터 프레임을 송·수신하고 네트워크 헤더를 조작하는 NLDE(Network Layer Data Entity)는 NLDE-SAP를 이용하여 APS계층과 데이터 통신을 하며, MCPS-SAP(MAC Common Part Sublayer) 데이터 인터페이스를 통해 MAC계층과 통신을 한다.

- 관리서비스 : 관리를 목적으로 하는 NLME (Network Layer Management Entity)는 MLME- SAP를 이용하여 MAC계층의 관리를 위해 통신하며, 응용 프로그램은 APS계층이 아닌 ZDO를 통해 네트워크 계층을 관리할 수 있으며 이때 NLME-SAP를 사용해 통신한다.

- SAP(Service Access Point) : 계층사이에 데이

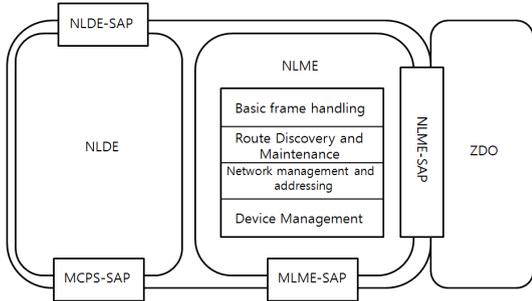


그림 2. Network Layer 참조모델

터가 전달하는 역할을 하며, SAP들은 양쪽 계층으로부터 PIB에 정의된 서비스와 근bone에 대한 구조를 파악하여 해당하는 데이터를 전달한다.

그림 3은 ZigBee에서 지원하는 세 가지의 네트워크 형태를 보여주고 있다<sup>7)</sup>.

ZigBee 네트워크의 mesh 형태에서, 특정 노드가 다른 모든 노드들을 인식하지 못할 때 이 노드를 경유하지 않고 다른 경로로 네트워크를 스스로 구성할 수 있는 자가 치료기능이 있다.

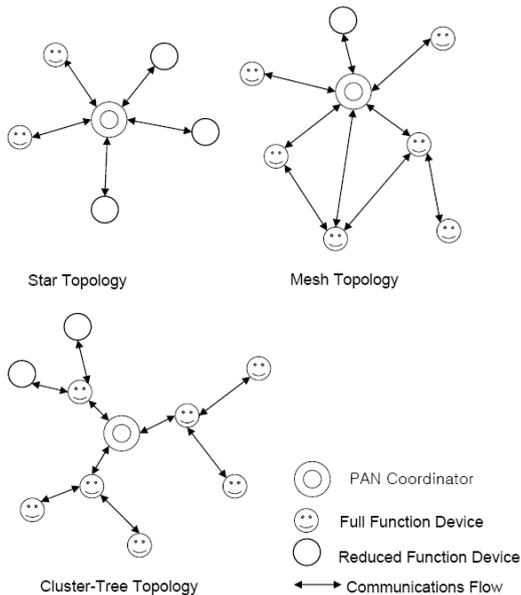


그림 3. ZigBee 네트워크 지원 형태

### 2.4 응용 계층

응용 계층은 서버레이어인 APS와 APF, 그리고 ZDO로 구성되어있다<sup>8)</sup>.

APS는 기기객체뿐만 아니라 제조사의 응용객체에서 이용하는 일반적인 서비스를 제공하여 이를 통해 네트워크 계층과 응용 계층 사이의 인터페이

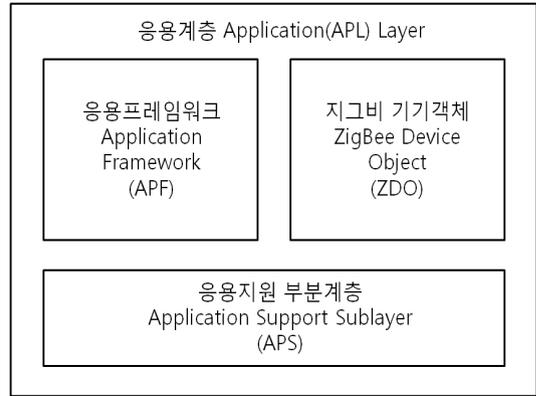


그림 4. ZigBee 응용 계층의 구성

스를 제공한다. 이러한 서비스는 APSDE(APS-Data Entity)와 APSME(APS-Management Entity)가 제공한다.

ZDO는 네트워크 안에서 기기의 역할을 정의하고 네트워크 기기 사이에 바인딩 요구에 대한 처리와 기기간의 보안 관계를 설정해주는 기능을 담당한다<sup>9)</sup>. 또한 ZDO는 응용객체의 기기제어와 네트워크 기능의 이용을 위한 APF 계층에서 응용 객체의 공공 인터페이스를 제공한다.

## III. AODV 프로토콜의 개선

ZigBee에서는 데이터를 전송하는 경로를 설정하기 위한 라우팅 프로토콜로 AODV를 사용한다. AODV는 Reactive 방식으로 노드의 위치 변화가 많은 무선 네트워크 환경에 적합한 라우팅 프로토콜이다<sup>5,6)</sup>. 본 장에서는 기존의 AODV 라우팅 프로토콜의 문제점을 발견하고 이를 개선하기 위한 방법을 제안한다.

### 3.1 기존의 AODV 라우팅 프로토콜

ZigBee에서는 데이터의 전송 요청이 있을 때 라우팅 경로를 즉시 결정하여 주는 Reactive 방식의 라우팅 프로토콜을 사용한다. 따라서 Reactive 방식의 가장 대표적인 AODV 라우팅 프로토콜이 사용된다. AODV 라우팅 프로토콜은 데이터 전송 요청이 있을 때 마다 이웃 노드에게 RREQ(Route Request) 메시지를 브로드캐스팅 하여 목적지를 찾는다. 이 메시지를 받은 노드는 RREP(Route Response) 메시지를 호출한 노드에 전송하여 메시지 수신 확인을 한다. 이 과정을 통해 목적지를 찾아 라우팅 경로를 설정한다. 또한 순서번호를 확인하고 역 경로를 저

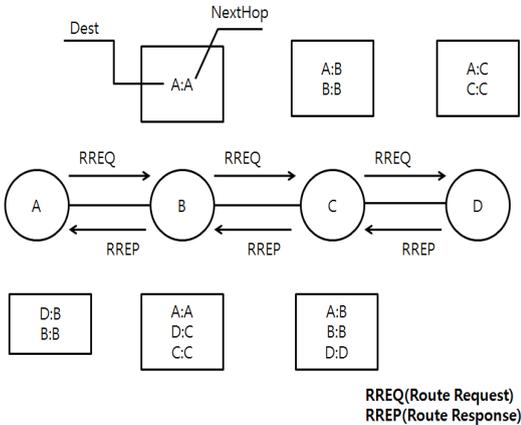


그림 5. AODV 라우팅 프로토콜의 동작

장하여 루프를 방지한다. 이 방식은 데이터 전송 요청이 있을 때에만 메시지를 발생시키므로 오버헤드가 적지만 목적지를 위한 경로만을 찾을 뿐 최적의 경로를 보장할 수 없는 단점이 있다.

### 3.2 개선된 AODV 라우팅 프로토콜

기존의 AODV 라우팅 프로토콜은 데이터의 성공적인 전송을 위한 경로 설정만 중요시하고, 지속적인 최적의 경로 설정은 고려하지 않고 있다. 이에, 특정 상황에서의 기존의 AODV 라우팅 프로토콜의 문제점을 발견하고 이를 개선할 수 있는 방법을 제안한다<sup>10)</sup>.

#### 3.2.1 기존의 프로토콜과의 차이점

기존의 AODV 라우팅 프로토콜은 한 번 정해진 라우팅 경로가 물리적인 링크 해제로 인하여 파괴되지 않는 한 지속적으로 유지된다. 그 이유는 라우팅 경로가 설정된 후, 패킷 전송이 성공할 때마다 라우팅 경로의 Lifetime이 계속 업데이트 되어 링크 해제가 일어나지 않으면 Lifetime이 계속 증가하기 때문이다. 따라서 새로운 노드에 의하여 최적의 경로를 설정할 수 있음에도 기존의 경로만을 통해 패킷을 전송함으로써 최적의 경로가 보장되지 않는다. 이에, 새로운 노드에 의하여 발생 할 수 있는 최적의 라우팅 경로를 설정하도록 기존의 AODV를 개선한 라우팅 프로토콜을 제안한다. 제안하는 라우팅 프로토콜은 Lifetime이 한번 설정되면 그 시간이 종료될 때 까지 패킷 전송이 성공하더라도 Lifetime을 업데이트 하지 않도록 한다. 따라서 고정된 Lifetime값의 주기에 따라 라우팅 경로를 탐색하여 최적의 라우팅 경로를 설정 할 수 있다.

#### 3.2.2 최적의 라우팅 경로 설정 과정

그림 6은 제안하는 라우팅 프로토콜을 설명하기 위하여 가상의 네트워크 환경을 구축한 예이다. 이 환경은 노드의 변화가 전혀 없는 상태에서 노드 0에서 노드 4로 패킷을 전달한다. 아래의 표 1과 표 2에서 노드 0의 라우팅 테이블은 다음과 같이 나타난다.

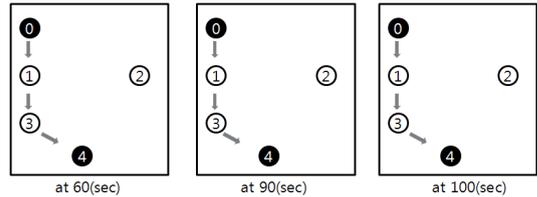


그림 6. 기존 AODV의 라우팅 경로

표 1. 고정된 노드에서의 AODV 라우팅 테이블

Time	Source	DES	Next Hop	Hops
60	0	4	1	3
90		0	0	1
100		4	1	3

표 2. 고정된 노드에서의 제안한 프로토콜 라우팅 테이블

Time	Source	DES	Next hop	Hops
60	0	4	1	3
90		0	0	1
100		4	1	3

위와 같이 노드의 움직임이 없는 경우에는 기존의 AODV와 제안하는 라우팅 프로토콜의 라우팅 테이블은 차이가 없다. 그 이유는 노드의 변화가 없기 때문에 처음에 설정된 라우팅 경로가 최적의 경로이기 때문이다.

그림 7은 위 환경에서 노드의 움직임이 발생하는 경우의 기존의 AODV 라우팅 프로토콜의 라우팅 경로를 보여주고 있다. 그림 7과 표 3에서 보는 바와 같이 노드의 움직임이 발생하여도 물리적인 링크가

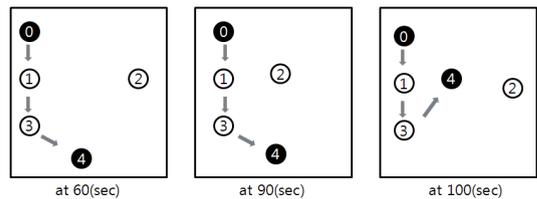


그림 7. 기존의 AODV의 경로

표 3. 이동하는 노드에서의 AODV 라우팅 테이블

Time	Source	DES	Next hop	Hops
60	0	4	1	3
90		0	0	1
		4	1	3
		4	1	3

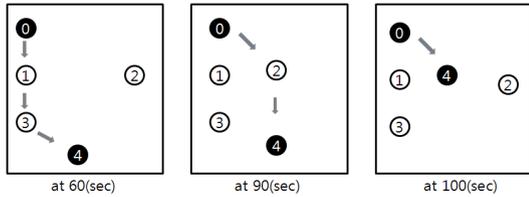


그림 8. 제안한 프로토콜의 경로

표 4. 이동하는 노드의 제안한 프로토콜 라우팅 테이블

Time	Source	DES	Next hop	Hops
60	0	4	1	3
90		0	0	1
		4	2	2
		4	4	1

해제되지 않는 범위이기 때문에 기존의 라우팅 경로를 유지 한다.

그림 8과 표 4는 같은 네트워크 상황에서 제안하는 라우팅 프로토콜의 라우팅 경로를 보여주고 있다. 90초와 100초에서 보여주는 바와 같이 기존의 AODV와 다르게 최적의 경로를 재설정 하고 있다.

#### IV. 성능 분석

제안하는 개선된 AODV 라우팅 프로토콜을 네트워크 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 성능을 평가 하였다.

##### 4.1 시뮬레이션 환경

제안하는 라우팅 프로토콜의 성능 평가와 다양한 시뮬레이션을 위하여 Scalable Network Technologies 사의 상용 시뮬레이션 프로그램인 QualNet 4.5를 이용하였다.

##### 4.1.1 시뮬레이션 프로그램

제안하는 AODV 라우팅 프로토콜의 성능을 검증하기 위하여 실제 네트워크를 구성하고 적용하여 성능을 평가하는 것은 비용이나 시간 등의 많은 제약으로 인하여 거의 불가능 하므로 검증되어 널리 사용되고 있는 상용 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 다양한 연구를 수행 하였다.

QualNet 4.5는 가상의 네트워크 기반에서 다양한 프로토콜을 설계, 분석, 검증과 네트워크·어플리케이션 등을 실제로 구축하기 전에 가상의 공간에 구축하여 문제점을 분석하고 예측할 수 있는 소프트웨어이다<sup>[11]</sup>. 이를 통해 실제 네트워크 환경과 유사하게 시나리오를 구성하고 그 결과를 이용하여 제안하는 AODV 라우팅 프로토콜의 성능을 검증하고 실제 시스템에서의 적용을 위한 다양한 연구를 수행 하였다.

##### 4.1.2 시나리오 설계

실제의 네트워크 상태에서 발생할 수 있는 다양한 상황에서, 제안하는 AODV 라우팅 프로토콜의 전체 네트워크 성능을 예측하기 위하여 ZigBee 기반의 무선 네트워크를 메시 형태로 구성하고, 노드가 정지된 상태와 노드가 정해진 경로를 통해 이동되어질 때, 그리고 노드의 이동이 무작위로 일어날 때를 구분하여 그 성능을 측정 하였다.

##### 4.2 노드의 고정 상태에서의 성능 분석

ZigBee 기술에 제안하는 AODV 라우팅 프로토콜의 성능을 측정하기 위하여 그림 9와 같이 네트워크를 구성하였다. 여기서 소스 노드는 5이며, 목적지 노드는 6이다. 실험은 노드의 고정 상태에서의 기존과 제안하는 AODV 라우팅 프로토콜의 성능 분석, 화살표 방향으로 노드 6이 이동 할 때의 성능 분석, 그리고 노드 6이 무작위로 이동 할 때의 성능 분석으로 나누어 진행 하였다.

그림 10은 모든 노드가 이동하지 않을 때 시간별 받은 데이터의 양을 측정한 그래프 이다. 이 실험을 통해 개선된 AODV 라우팅 프로토콜이 노드의 움직임 상태에서의 문제점만 개선된 것이 아니라 노드가 움직이지 않는 일반적인 상황에서도 성능이 우수하게 나타난다는 것을 보여주고 있다.

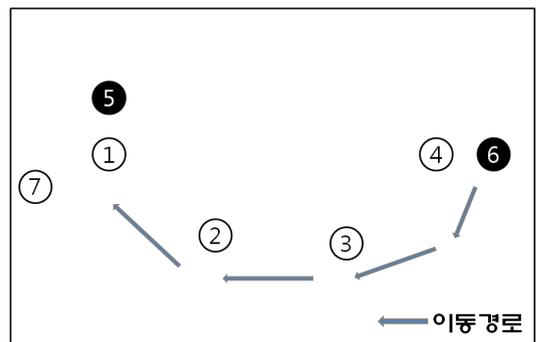


그림 9. 성능 분석을 위한 네트워크 구성

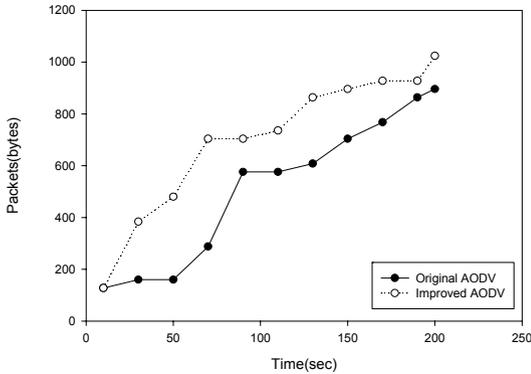


그림 10. 고정된 노드에서의 받은 패킷 수

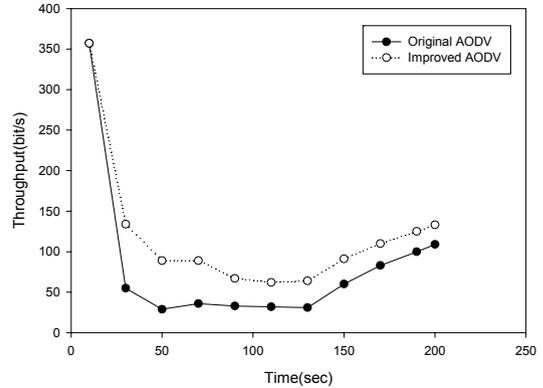


그림 13. 이동하는 노드에서의 작업 처리량

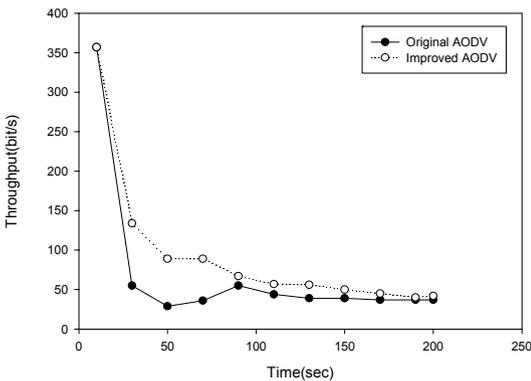


그림 11. 고정된 노드에서의 작업 처리량

또한 그림 11에서는 같은 상황에서 시간 별 데이터 처리량을 보여주고 있으며, 이 결과 또한 제안하는 AODV 라우팅 프로토콜의 성능이 우수함을 보여주고 있다.

### 4.3 정해진 경로 이동 상태에서의 성능 분석

그림 12는 목적지 노드가 지정된 경로로 이동 할 때 시간별 받은 데이터의 양을 측정된 그래프이다.

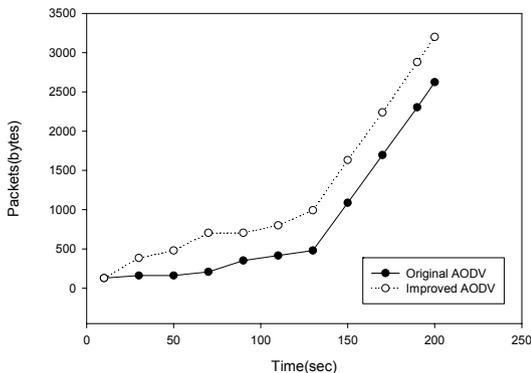


그림 12. 이동하는 노드에서의 받은 패킷 수

기존의 AODV 라우팅 프로토콜은 노드의 물리적인 데이터 전송 범위에서 벗어나야만 새로운 라우팅 경로를 설정 하지만, 개선된 AODV 라우팅 프로토콜은 Lifetime을 조정하여 주기적으로 최적의 경로를 찾아내어 데이터 전송 성능이 더 높게 나타났다. 이를 통해 각 시간 별 데이터 처리량도 그림 13과 같이 나타난다.

### 4.4 무작위 경로 이동 상태에서의 성능 분석

노드의 이동 경로를 임의로 정하는 것 외에 실제 상황에서 발생 할 수 있는 다양한 상황에서의 성능을 측정하기 위하여 노드의 이동을 무작위로 설정하여 10회에 걸쳐 실험을 하였다. 표 5는 노드 이동을 10회 수행 하였을 때, 연결이 끊어진 경우를 제외한 7회의 각각의 성능을 측정된 값과 그 평균을 보여주고 있다. 무작위의 노드 이동에 따른 결과는 기존의 AODV 라우팅 프로토콜의 성능 값이 더 좋은 경우도 있었지만, 전체적인 평균값은 제안한 AODV 라우팅 프로토콜의 값이 좋게 나타났으며, 성능이 좋지 않게 나타난 부분의 경우를 연구하여 예외 상황으로 처리한다면 더욱 좋은 성능을 발휘할 수 있을 것이다.

표 5. 무작위 이동 노드에서의 패킷과 작업 처리량

실험 횟수	Packets(bytes)		Throughput(bit/s)	
	기존 AODV	개선된 AODV	기존 AODV	개선된 AODV
1	864	992	35	41
2	6016	6144	250	256
3	3360	2688	170	140
4	608	2528	27	117
5	32	32	1	1
6	2464	1536	112	69
7	1760	2784	73	116
평균	2,157.71	<b>2,386.29</b>	95.43	<b>105.71</b>

## V. 결 론

본 논문에서는 ZigBee 기반의 무선 네트워크에서 최적의 성능을 나타내기 위한 개선된 AODV 라우팅 프로토콜을 제안하고, ZigBee 기반의 무선 네트워크를 구성하여 QualNet4.5 네트워크 시뮬레이션 프로그램을 통해 그 성능을 시험 하였다.

무선 네트워크를 성공적으로 구현하기 위해서는 무선 네트워크의 가장 큰 문제점인 데이터 전송속도와 신뢰성을 개선시켜야 한다. 특히, 데이터 전송속도는 하드웨어 분야의 연구에만 치중 할 것이 아니라 소프트웨어 분야의 연구를 통하여 성능을 더욱 높일 수 있다.

이에, 본 논문에서는 ZigBee 무선 네트워크에서 사용되는 AODV 라우팅 프로토콜의 문제점을 개선하기 위한 방법을 제안 하였다. 제안한 라우팅 프로토콜은 기존의 AODV에서 Lifetime을 지속적으로 업데이트 하지 않고 고정 값을 사용하여 주기적으로 라우팅 경로를 재설정 하여 노드들의 위치 변화에 따른 최적의 라우팅 경로를 보장한다. 이를 통해 노드의 변화가 발생하는 상황에서 기존의 AODV 보다 성능이 향상 된다는 것을 실험을 통하여 보여 주었다. 따라서 본 연구 결과를 통해 ZigBee 기반의 무선 네트워크를 효과적으로 구축 할 수 있을 것으로 기대된다.

## 참 고 문 헌

- [1] IEEE Std 802.15.4TM-2003 Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs), 2003.
- [2] Jose A. Gutierrez, "IEEE 802.15.4 Tutorial", Document of IEEE 802.15-03/036r0, Jan. 2003.
- [3] 최동훈, 배성수, 최규태, "지그비 기술과 활용", 도서출판 세화, 2007. 02.
- [4] Ran Peng, Sun Mao-heng, Zou You-min, "ZigBee Routing Selection Strategy Based on Data Services and Energy-balanced ZigBee Routing", Proceedings of the 2006 IEEE Asia-Pacific Conference on Services Computing, 2006.
- [5] Ad hoc On-Demand Distance Vector Routing. Available at: <http://moment.cs.ucsb.edu/AODV/>

aadv.html.

- [6] C. Perkins, E. Belding-Royer, and S. Das, "Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing," IETF RFC3561, July 2003.
- [7] "ZigBee Specification", ZigBee Alliance, 2008. 01. 17.
- [8] Zachary Smith, "ZigBee 어플리케이션 개발 시 고려 사항들", Chief Software Architect Ember Corp., 2005. 9. 20.
- [9] ZigBee Device Object, "ZigBee document 03525r5ZB", ZigBee Alliance, March 2004.
- [10] Yu-Doo Kim, Il-Young Moon and Sung-Joon Cho, "Enhanced AODV Routing Protocol through Fixed Expire-time in MANET", NetApps2008, 2008. 11.
- [11] <http://www.scalable-networks.com/publications/documentation/index.php>.

김 유 두 (Yu-Doo Kim)

준회원



2007년 2월 한국기술교육대학교 인터넷미디어공학부 졸업  
2009년 2월 한국기술교육대학교 정보미디어공학과 공학석사  
2009년 3월~현재 한국기술 교육대학교 정보미디어공학과 박사과정

<관심분야> 무선네트워크, 무선 라우팅 프로토콜, 모바일 플랫폼, 모바일 IPTV

문 일 영 (Il-Young Moon)

종신회원



2000년 2월 한국항공대학교 항공통신정보공학과 졸업  
2002년 2월 한국항공대학교 항공통신정보공학과 공학석사  
2005년 2월 한국항공대학교 정보통신공학과 공학박사  
2004년~2005년 한국정보 문화진흥원 선임연구원

2005년 3월~현재 한국기술교육대학교 인터넷미디어 공학부 조교수

<관심분야> 무선인터넷응용, 무선인터넷, 모바일IP