

# Wi-SUN FAN에서 고아 노드의 전송 지연을 줄이기 위한 연결성 제공 기법

김 성 현\*, 서 준 호\*, 이 성 원°, 김 동 균°

## A Connectivity Provisioning Method for Reducing Transmission Delay of Orphan Nodes in Wi-SUN FAN

Sunghyun Kim\*, Junho Seo\*, Sungwon Lee°, Dongkyun Kim°

### 요 약

최근 스마트 그리드, 스마트 시티와 같은 무선 네트워크의 수요에 대응하기 위한 기술인 Wi-SUN(Wireless Smart Utility Network)에 관심이 증가하고 있다. Wi-SUN은 응용에 따라 최소한의 하드웨어와 소프트웨어의 변경만으로 지원 가능한 미래 기술이다. 하지만 이러한 Wi-SUN에서도 발생하는 문제점으로 병목 현상이 있으며, 이를 해결하기 위해 부모 노드의 자식 노드 수에 제한을 두는 N\_max 기법이 제안되었다. 그러나 N\_max 기법에서는 고아 노드가 발생하는 추가적인 문제점이 있다. 본 논문에서는 고아 노드가 발생하지 않도록 연결성을 제공하고 병목현상을 해결할 수 있는 기법을 제안한다. 제안 기법은 네트워크 시뮬레이터 3(NS-3)를 이용하여 성능 평가를 진행한다.

**Key Words** : Wi-SUN, FAN, RPL, Orphan Node, Load Balancing

### ABSTRACT

Wi-SUN is a future technology that is gaining popularity to meet the demand for wireless networks such as smart grids and smart cities. It can be supported with minimal hardware and software changes depending on the application. However, Wi-SUN also has problem as bottleneck, which can be solved by limiting the number of child nodes of a parent node using the N\_max method. This method has additional problems with orphan nodes. To solve these issues, this paper proposes a method that provides connectivity to prevent orphan nodes and solves congestion. The proposed method is evaluated for performance using Network Simulator 3(NS-3).

### I. 서 론

스마트 그리드, 스마트 시티, 스마트 농업과 같은 응용에 대한 수요의 증가로 인해 IoT(Internet of Things)

관련 인프라 및 효율적인 무선 네트워크 기술의 요구가 증가하고 있다<sup>1,2</sup>. 이러한 수요에 대응하기 위해 기존의 네트워크에서는 응용의 요구에 따라 해당 응용 전용의 하드웨어 및 프로토콜을 설계, 운영하는 방식으로

※ 본 연구는 한국연구재단 논문연구과제(2021R1G1A1094100) 지원 및 대구한의대학교 관리로 수행되었습니다.

• First Author : Kyungpook National University School of Computer Science & Engineering, sunghyunkim@knu.ac.kr, 학생회원

° Corresponding Author : Daegu Haany University Department of Computer Engineering, lsw5359@dhu.ac.kr, 정회원

°° Corresponding Author : Kyungpook National University School of Computer Science & Engineering, dongkyun@knu.ac.kr, 종신회원

\* Kyungpook National University School of Computer Science & Engineering, jhseo@knu.ac.kr

논문번호 : KICS202308-066-B-RE, Received August 30, 2023; Revised October 23, 2023; Accepted October 31, 2023

동작하였다. 하지만 동일한 공간에서 동작하는 응용이 변경될 경우, 소프트웨어뿐만 아니라 하드웨어까지 모든 요소를 응용에 맞게 재설치 해야하는 비용적 소모가 심화되었다.

따라서 Wi-SUN(Wireless Smart Utility Network)<sup>[3]</sup> 무선 프로토콜은 응용의 요구에 따라 하드웨어를 변경하지 않거나, 최소한의 하드웨어만을 변경하고, 프로토콜 등 소프트웨어의 수정으로 새로운 응용을 지원한다. 이러한 Wi-SUN 네트워크는 응용적 유연성을 제공할 수 있는 미래 기술로 주목받고 있다.

Wi-SUN 네트워크의 표준화 수요에 대응하기 위하여 Wi-SUN Alliance 표준화 단체가 2012년에 출범하여 표준화를 진행 중이다. Wi-SUN에서는 HAN(Home Area Network) 와 FAN(Field Area Network) 수준의 네트워크에 응용적 유연성을 제공하기 위해 필요한 기술들을 연구 및 표준화하고 있다. 그중에서도 FAN 수준의 네트워크에서 동작하는 다양한 응용에 범용성 제

공이 필요하다. 이를 위해 적응성이 높다고 알려진 RPL(Routing Protocol for Low-power and Lossy Networks)<sup>[4]</sup> 라우팅 프로토콜을 Wi-SUN 기술의 표준 라우팅 프로토콜로 선정하였다. 그림 1은 이러한 Wi-SUN 네트워크의 유연한 응용에 따른 FAN과 HAN의 시스템 아키텍처를 보여준다.

RPL은 IPv6를 기반으로 한 라우팅 프로토콜로 IETF의 ROLL(Routing Over Low-power and Lossy networks) 워킹그룹에서 표준화를 진행 중이다. RPL은 싱크 노드를 루트로 하는 DODAG(Destination Oriented Directed Acyclic Graphs)를 구성하여 경로를 형성하는 방식을 사용한다. 또한, RPL은 동일한 노드라도 응용에 따라 서로 다른 경로를 형성할 수 있도록 설계됨으로써, 다양한 응용에 적응성을 부여한다. 이러한 RPL의 자세한 동작은 III장에서 알아보고, 간단한 동작은 다음과 같다.

상향 경로 형성을 위해 싱크 노드는 DIO(DODAG Information Object) 메시지를 네트워크 전체에 주기적으로 플러딩한다. DIO 메시지를 수신한 노드는 DIO 메시지 송신 노드를 부모 노드로 선정하고, 싱크 노드로 전송해야 할 패킷이 생성될 경우 해당 부모 노드를 상위 노드(Next-hop)로 지정하여 패킷을 전송한다. 이 과정에서 만약 하향 경로 형성이 필요하다면 DIO 메시지에 대한 응답으로 DAO 메시지를 싱크 노드로 전송하여 하향 경로를 형성한다.

한편, DIO 메시지에는 라우팅 메트릭 값이 포함되어 전송된다. 둘 이상의 노드로부터 DIO 메시지를 수신한 노드는 라우팅 메트릭 값이 낮은 노드를 부모 노드로 업데이트한다. 부모 노드로 선정되지 않은 다른 노드들은 예비 부모 노드로 설정하고, 부모 노드 손실이 발생할 경우 가장 낮은 라우팅 메트릭 값을 가진 예비 부모 노드를 부모 노드로 변경하여 경로를 즉시 복구할 수 있다. 이러한 RPL에서는 응용의 요구사항에 따라 서로 다른 라우팅 메트릭을 사용할 수 있으며, 표준 라우팅 메트릭으로는 ETX를 사용한다.

그러나 이러한 RPL에서는 경로 업데이트 지연 문제, 라우팅 오버헤드 등 다양한 문제가 지적, 연구되고 있다. 그중에서도 싱크 노드에 가깝게 위치한 특정 노드의 라우팅 메트릭 값이 다른 이웃 노드들보다 현저히 낮은 경우 다수의 노드들이 동시에 해당 노드를 부모 노드로 선정한다. 이로 인해 해당 노드가 처리할 수 있는 처리량 이상의 데이터를 전송하는 현상이 발생할 수 있다. 이러한 병목 현상으로 인한 큐잉 딜레이로 인해 데이터 전송 지연 문제, 에너지 소비 문제 및 응용의 QoS를 제공하지 못하는 등 다양한 문제가 발생할 수 있다.

Profile Specifications for Smart Utility Application

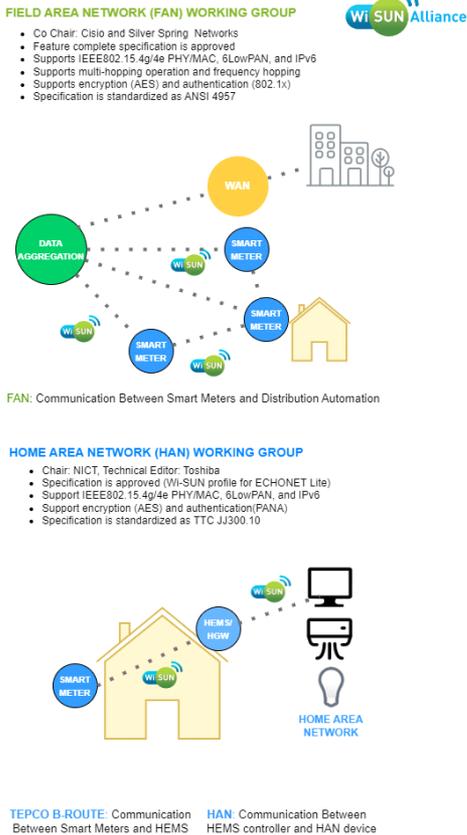


그림 1. Wi-SUN에 대한 응용 프로그램의 아키텍처  
Fig. 1. Architecture of Application for Wi-SUN.

이러한 Wi-SUN FAN에서 발생할 수 있는 병목 현상을 해결하기 위해, R. Hirakawa 연구진의 기존 연구 결과에서는 부모 노드로 설정될 수 있는 홉수를 제한하는 기법을 제안하였다<sup>5)</sup>. 본 논문에서는 R. Hirakawa 연구진의 기존 연구 결과에서 제안된 기법을 N\_max 기법이라 명칭한다. 기존 논문에서 제안한 프로토콜은 자신을 부모 노드로 선정할 수 있는 자식 노드의 숫자를 최대 N\_max까지로 제한함으로써 일정 수 이상의 자식 노드들은 다른 예비 부모 노드를 부모 노드로 업데이트 하도록 유도한다.

하지만 해당 연구에서는 노드의 이동성 및 새로운 응용의 등장 등 네트워크의 동적인 변화를 고려하지 않았으며, 또한 노드의 밀집도가 높은 네트워크 환경만을 가정하였다. 이로 인하여, 예비 부모 노드가 없는 자식 노드 즉, 유일한 부모 노드를 갖는 자식 노드가 부모 노드로부터 선택받지 못해 발생하는 논리적인 고아 노드 문제를 고려하지 않았다. 이러한 자식 노드는 물리적인 연결성을 가진 부모 노드가 존재함에도 불구하고 아무런 패킷을 전달할 수 없게 된다. 본 논문에서는 이러한 고아 노드가 새로운 부모 노드와 연결되어 패킷 전송을 재개하기 전까지의 지연을 자식 노드 제한으로 인한 전송 지연으로 정의한다.

본 논문에서는 기존의 N\_max 기법에서 유일한 부모 노드로부터 자식 노드로 선택받지 못해 데이터 전송이 불가능해진 논리적 고아 노드를 고아 노드로 정의한다. 또한, 이를 위해 고아 노드를 인지하고 연결성을 제공하는 동작을 새롭게 정의 및 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 이전에 제안된 경로 평준화를 위한 라우팅 기법과 고아 노드 해결 기법에 대해 설명한다. III장에서는 고아 노드 제거를 위해 제안한 기법에 대해 자세히 설명한다. IV장은 네트워크 시뮬레이션을 이용하여 성능 평가를 진행하고 마지막 V장에서 결론으로 본 논문을 마무리한다.

## II. 관련 연구

### 2.1 N\_MAX

Wi-SUN FAN을 대상으로 네트워크 전체의 경로 평준화를 위한 다양한 라우팅 기법들을 제안하고 있다. 기존의 제안 기법 중 네트워크내에 자식 노드의 수를 제한하여 네트워크 평준화를 제안한 R. Hirakawa 연구진의 연구결과가 대표적이다<sup>5)</sup>. 특히, 해당 연구에서는 Wi-SUN FAN 환경에 최적화된 수신 신호 수준(RSL) 기반 라우팅 메트릭과 함께 Wi-SUN의 IEEE 802.15.4 환경에 최적화된 주파수 호핑 기능을 함께 제안하고 있

다. 해당 주파수 호핑 기법에서는 유니캐스트와 브로드캐스트에 따라 드웰 인터벌(dwell interval)을 정의하였다.

또한, 해당 기법에서는 Wi-SUN FAN에 RPL 라우팅 프로토콜을 적용하면 경로 평준화가 무너지는 대표적인 경향에 대해 실험을 통해 분석하였다. 해당 분석 결과에 따르면 수신 신호 수준 기반의 라우팅 메트릭을 사용하였을 경우, 각 라우터의 라우팅 메트릭 값이 상당히 상이함을 확인할 수 있으며, 이로 인해 특정 라우터가 다른 인접 라우터에 비해 부모 노드로 선택되는 경우가 많아짐을 보였다.

이러한 문제를 해결하기 위해 해당 연구에서는 N\_max라는 양의 정수값을 사용하여 해당 문제를 해결하는 경로 평준화 라우팅 기법을 제안하였다. 초기 N\_max 값은 싱크 노드에서 임의로 선정하며 DIO 메시지를 통해 네트워크 전체에 플러딩된다. DIO 메시지를 통해 N\_max 값을 수신한 라우터는 N\_max 값과 동일 크기의 자식 노드 테이블을 생성 및 관리한다. 만약, 새로운 자식 노드로부터 데이터를 수신한 경우 해당 노드는 자신이 부모 노드로 선택되었음을 인지하고 N\_max 값을 1 감소시킨다.

만약, N\_max 값이 0 이 된 경우 해당 라우터는 새로운 자식 노드가 데이터 패킷을 전송하더라도 이를 릴레이 시키기 위한 동작을 수행하지 않는다. 이때, 자식 노드는 해당 부모 노드가 손실되었다고 판단하여 다음 라우팅 메트릭 값을 가진 예비 부모 노드를 부모 노드로 업데이트한다(해당 연구에서는 충분한 수의 예비 부모 노드가 있음을 가정하였다). 이를 통해 하나의 라우터가 N\_max 값 이상의 자식 노드의 데이터 전송을 지원하지 않으므로 경로별 전송량이 평준화된다.

제안된 기법은 네트워크 시뮬레이션을 통해 데이터 전송률 9.4% 향상과 데이터 전송 딜레이 9.2%가 줄어드는 것을 성능 평가를 통해 검증하였다

### 2.2 O-LEACH (Orphan-Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy)

Wi-SUN FAN에는 다수의 단말이 연결되어 동작한다는 점에서 클러스터 헤더에 다수의 클러스터 노드가 연결되어 동작하는 클러스터링과 유사하다. Leach 프로토콜은 클러스터 환경에서 고아 노드 문제에 대해 지적하고 이를 해결하기 위한 대표적인 논문으로 알려져 있다<sup>6)</sup>.

Leach 프로토콜은 센서 네트워크의 에너지 효율을 위해 제안된 클러스터 기반 라우팅 프로토콜이다. 제안한 Leach 프로토콜은 센서 노드는 클러스터를 형성하고 그 중 클러스터 헤더 센서 노드를 선정한다. 선정된

헤더는 멤버 노드에게 데이터 전송을 위한 스케줄링을 하고, 멤버 노드는 프레임을 시간으로 나누어 헤더와 데이터 통신을 수행한다. 이러한 Leach 프로토콜은 초기 클러스터를 형성하는 과정에서 에너지 소모, 경로 평준화 등 다양한 문제가 있다. 그 중에서도 Leach 프로토콜에서는 특정 노드의 통신 범위 안에 아무런 클러스터 헤더가 존재하지 않는 고아 노드가 발생할 수 있는 문제점을 가지고 있다. W. Jerbi 연구진의 기존 연구 결과인 O-Leach는 이러한 고아 노드 문제를 해결하기 위한 목적으로 설계, 제안되었다<sup>7)</sup>.

O-Leach에서는 초기 클러스터 형성 과정에서 특정 영역이 클러스터 헤더의 전송 범위로 인해 발생하는 고아 노드가 발생했는지 감지한다. 고아 노드가 발생할 경우 해당 고아 노드와 통신할 수 있는 임의의 클러스터 멤버를 게이트웨이로 정의하여 고아 노드에게 연결성을 제공한다. 만약, 고아 노드가 해당 게이트웨이가 제공해 줄 수 있는 용량을 넘어설 경우 고아 노드들 중 하나를 새로운 클러스터 헤더로 지정한다. 추가된 클러스터 헤더는 클러스터 멤버로부터 데이터를 수집하여 게이트웨이로 수집된 데이터를 전송함으로써 고아 노드 문제를 해결할 수 있다.

### III. 본 론

#### 3.1 자식 노드 Table 과 N\_max 업데이트

본 논문에서 제안하는 CP\_LON(Connectivity Provides with Logical Orphan Nodes) 기법은 RPL 표준에서 정의한 것처럼 싱크 노드는 경로 설정을 위해 주기적인 DIO 메시지를 네트워크에 플러딩한다. 앞에서 언급한 것처럼, DIO 메시지를 사용하여 각 노드들은 부모 노드와 예비 부모 노드를 선정하여 상향 경로를 위한 DADOG를 형성한다. 또한, 하향 경로 설정이 필요한 경우, DIO 메시지의 응답으로 부모 노드에게 DAO(Destination Advertisement Object) 메시지를 전송한다. 표 1은 RPL 표준에서 정의한 DAO 메시지 필드 및 기능 등에 대한 설명이다.

본 논문에서 제안하는 기법인 CP\_LON은 표준 RPL 프로토콜에 정의된 DAO 메시지의 32 비트 옵션 필드에 MC(Metric Comparison) 필드를 정의 및 추가한다. DAO 메시지에 MC 필드를 추가하여 변경된 DAO\_recv의 메시지 포맷은 그림 2와 같다.

DAO\_recv 메시지를 전송하는 노드는 자신의 상향 경로 라우팅 테이블을 확인하여 예비 부모 노드의 총 숫자를 확인한다. 만약, 예비 부모 노드가 없고 하나의 부모 노드만 존재할 경우, MC 필드를 모두 0으로 초기

표 1. DAO 표준의 기본 개체  
Table 1. DAO Base Object of Standard.

필드	특징	크기 (bit)
RPL InstanceID	DODAG와 연관된 토폴로지 인스턴스 ID 표시	8
K	수신자가 DAO-ACK을 다시 보낼 것을 나타냄	1
D	DODAGID 필드가 있음을 표시	1
Flags	0으로 초기화하며, 사용하지 않는 flag를 위해 예약된 비트	6
Reserved	0으로 초기화된 예약된 비트	8
DAO Sequence	노드의 DAO 메시지 전송 횟수를 나타내는 순서 번호 값	8
DODAGID	DODAG를 고유하게 식별하는 정수형 ID값	128

화한다. 만약 예비 부모 노드의 숫자가 1개 이상이라면, IS\_Flag(Immediate Successors Flag)에는 1, IS\_CNT(Immediate Successors Count) 필드에는 예비 부모 노드의 숫자를 각각 기록한다. 또한, 부모 노드의 RANK 값과 예비 부모 노드 중 가장 라우팅 메트릭 값이 낮은(새로운 부모 노드로 선정될 가능성이 가장 큰) 노드의 RANK 값의 차이를 RANK\_Dev에 기록하고 DAO\_recv 메시지를 전송한다.

DAO\_recv 메시지를 수신한 부모 노드는 다음과 같이 동작하여 N\_max 값과 MC 필드값을 자식 노드 테이블에 업데이트한다. 부모 노드는 DAO\_recv 메시지를 수신한 후 현재 자신의 N\_max 값이 1 이상인지 확인한다. 만약, N\_max 값이 1 이상일 경우 DAO\_recv 메시지의 IS\_CNT 값인 예비 부모 노드의 수와 RANK\_Dev를 자식 노드 테이블에 업데이트하고 N\_max 값을 1

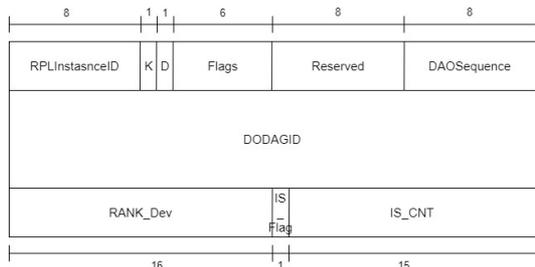


그림 2. MC 필드를 추가한 DAO\_recv 메시지 포맷  
Fig. 2. DAO\_recv message format with MC field added.



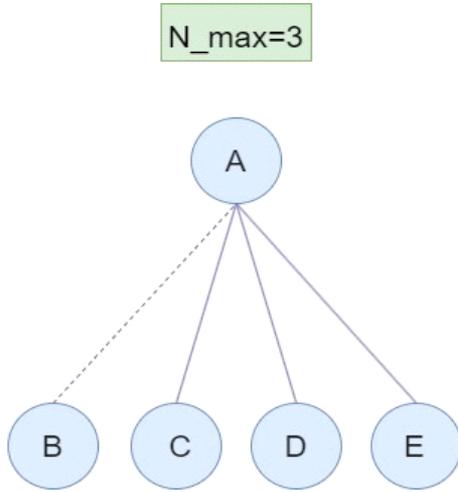


그림 4. 고아 노드 연결성 제공 프로시저 시나리오  
Fig. 4. Provide orphan node connectivity procedure scenario.

값이 0 이상이 될 때까지 DIO 메시지의 RANK 값을 최대값으로 기입하여 전송한다. 이를 통해 만약 새로운 부모 노드 후보가 등장할 경우 해당 자식 노드들은 새 노드를 부모 노드로 선택하면서 자식 노드 테이블에서 삭제된다.

그림 4는 예비 부모 노드가 없는 자식 노드 C, D, E 노드가 노드 A를 부모 노드로 선정하여 데이터 릴레이를 수행 중이다. 이때, 새로운 고아 노드인 노드 B가 노드 A를 부모 노드로 선정하여 데이터 릴레이를 요청할 경우, 노드 A는  $N_{max}$  값을 0 이하인 음수 값으로 변경하더라도 고아 노드인 B 노드를 자식 노드 테이블에 추가 후 데이터 릴레이를 수행한다.

#### IV. 실험

제안한 기법의 성능 검증을 위해 네트워크 시뮬레이터3(NS-3)를 이용하여 다음과 같은 실험 모델을 바탕으로 성능 평가를 진행하였다.

##### 4.1 실험 모델

네트워크 시뮬레이터3(NS-3)를 이용하여 2500m<sup>2</sup>의 필드에 싱크 노드를 중심으로 1m~5m 간격으로 100~900개의 센서 노드를 랜덤하게 배치하였다. 본 논문에서 제안하는 기법을 검증하기 위해 실험에서 설정한 파라미터는 표 2와 같다.

##### 4.2 실험 결과

그림 5는 노드 수에 따른 평균 종단간 딜레이의 변화

표 2. 실험 설정 파라미터  
Table 2. Simulation setup parameters.

Parameter	Value
Transmission Power	13 dBm
Data link Protocol	IEEE 802.15.4g
Packet Size	360 bytes
$N_{max}$	8
Transmission Speed	50Kbps
Mobility Model	Random Mobility
Movement Speed	4km/h

에 대해 보여준다. 적용된 기법과 관계없이 노드의 증가와 라우터의 수가 적을수록 평균 종단간 딜레이가 늘어나는 경향을 보이는데, 이는 네트워크내의 트래픽 및 혼잡도가 증가하여 목적지 노드까지의 데이터 전송을 위한 지연이 증가하기 때문이다. 또한, 제안하는 CP\_LON 기법은 기존  $N_{max}$  기법 보다 노드의 수가 증가할수록 평균 종단간 딜레이가 현저히 줄어든다. 이는 적용된 기법에 따른 고아 노드 지연의 차이 때문이다. 노드의 증가는 고아 노드의 증가와 비례하게 되고, 기존의  $N_{max}$  기법은 고아 노드의 데이터를 목적지 노드까지 데이터 전송하지 못한 지연이 발생하여 종단간 딜레이가 길어진다.

한편, 다양한 네트워크 환경에서의 성능 검증을 위하여 다양한 라우터의 숫자에 따른 성능을 분석하였다. 라우터 수가 증가함에 따라 종단간 딜레이는 제안 기법과 관계없이 줄어드는데, 이는 충분한 수의 예비 부모가 제공되어 고아 노드의 수가 감소하기 때문이다. 따라서 라우터의 수가 증가할수록 고아 노드 발생으로 인한 큐잉 딜레이가 감소하고, 이는 곧 평균 종단간 딜레이 감소로 이어진다. 이러한 현상은 적용된 기법과 관계 없이

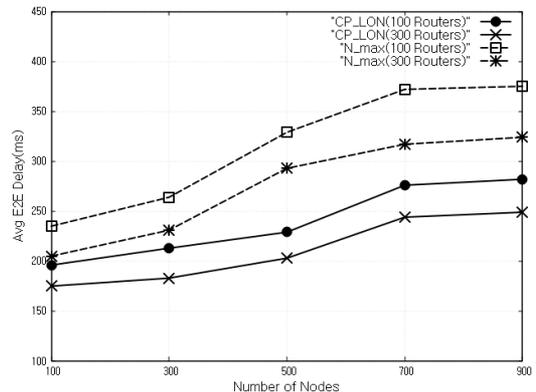


그림 5. 평균 종단간 딜레이(ms)  
Fig. 5. Average End-to-End Delay(ms).

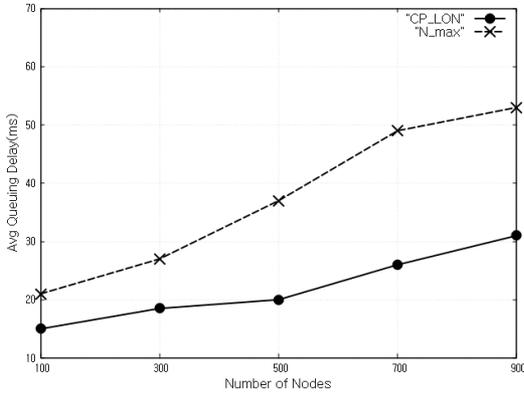


그림 6. 평균 큐잉 딜레이(ms)  
Fig. 6. Average Queuing Delay(ms).

발생하므로, 라우터 수의 증가로 인한 중단간 딜레이의 감소폭은 유사한 특성을 가진다.

그림 6은 노드 수에 따른 평균 큐잉 딜레이의 변화에 대해 보여준다. 적용된 기법과 관계없이 노드 수의 증가에 따라 평균 큐잉 딜레이는 늘어나는 경향을 보인다. 그 이유는 노드가 증가함에 따라 네트워크의 트래픽량이 많아져 혼잡 및 경쟁으로 인한 지연이 증가하기 때문이다. 또한, 제안하는 CP\_LON 기법은 기존 N\_max 기법 보다 노드의 수가 증가할수록 현저히 평균 큐잉 딜레이는 줄어든다. 이는 고아 노드의 데이터를 부모 노드가 전송 해주기 때문이다. 노드의 증가는 고아 노드의 증가와 비례하게 되고, 기존의 N\_max 기법은 고아 노드의 데이터를 릴레이 해주지 못해 전송할 데이터를 지속해서 큐에 보관한다. 반면, 제안된 기법에서는 고아 노드가 발생했을 때, 부모 노드가 다른 노드를 자식 노드 테이블에서 제거하여 해당 고아 노드의 패킷을 릴레이 해준다. 따라서 고아 노드가 생성한 데이터를 큐에 보관하지 않고 전송해줄 수 있기 때문이다.

그림 7은 노드 수 증가에 따른 패킷 전송률의 변화를 나타낸다. 제안 기법과 관계없이 노드 수의 증가에 따라 패킷 전송률이 줄어드는 경향을 보인다. 그 이유는 노드가 증가함에 따라 패킷의 충돌과 혼잡도가 증가하기 때문이다. 또한, 노드의 수가 증가하더라도 제안하는 CP\_LON 기법은 기존 N\_max 기법보다 패킷 전송률이 높은 경향을 보이고 있다. 이는 밀집도가 높아지고 혼잡도가 증가하여도 고아 노드의 데이터를 릴레이 해줄 수 있기 때문이다. 다만, 기존 N\_max 기법과 제안하는 CP\_LON 기법의 패킷 전송률의 성능 차이가 최대 5% 정도로 크지 않다. 이는 고아 노드의 데이터를 릴레이 하여도 밀집도가 높아 혼잡도가 증가할 경우 패킷 충돌과 손실이 발생할 수 있기 때문이다.

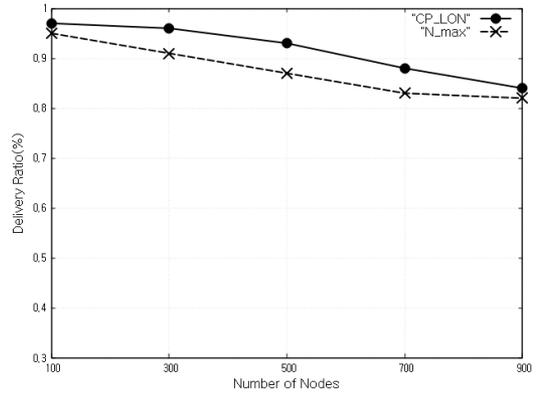


그림 7. 패킷 전송률(%)  
Fig. 7. Packet Delivery Ratio(%).

그림 8은 노드 수 증가에 따른 처리량의 변화에 대해 보여준다. 제안 기법과 관계없이 노드 수의 증가에 따라 처리량이 증가하는 모습을 보인다. 그 이유는 노드의 증가로 인해 데이터의 생성과 전송이 많아지기 때문이다. 제안 기법 CP\_LON은 기존 N\_max 기법 보다 노드의 수가 증가할수록 처리량이 현저히 증가하는 모습을 보인다. 이는 고아 노드의 데이터를 부모 노드가 릴레이 해주기 때문이다. 노드의 증가는 고아 노드의 증가와 데이터 생성 및 전송과 비례한다. 기존 N\_max 기법은 고아 노드의 데이터 릴레이를 해주지 못하지만 제안된 CP\_LON은 기존의 자식 노드 연결을 해지하고 고아 노드의 데이터를 릴레이 한다. 물론, 부모 노드와 연결이 해지되었던 자식 노드는 예비 부모 노드를 통해 데이터를 전송하기 때문에 전송 딜레이가 증가할 수 있지만 네트워크 내 전체 처리량은 증가한다.

그림 9은 노드의 증가에 따른 패킷 전송 횟수의 표준 편차를 보여준다. 제안 기법과 관계없이 노드 수의 증가

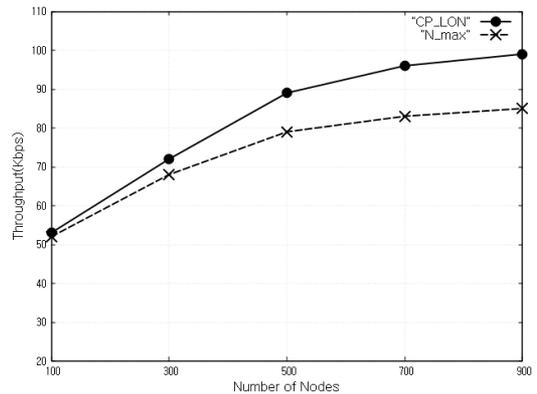


그림 8. 처리량(Kbps)  
Fig. 8. Throughput(Kbps).

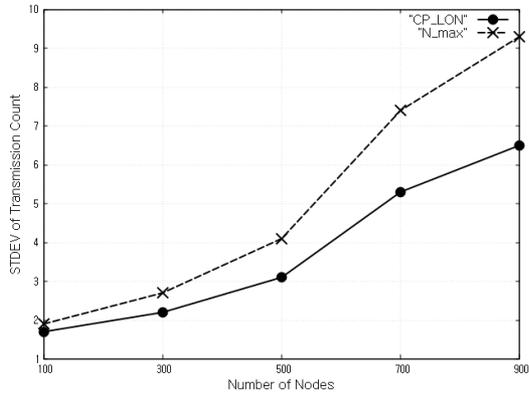


그림 9. 전송 횟수의 표준편차  
Fig. 9. STDEV of Transmission Count.

에 따라 패킷 전송 횟수의 표준편차는 증가하는 경향을 보인다. 그 이유는 노드의 수와 혼잡도가 증가함에 따라 부모 노드가 패킷을 릴레이 해주지 못하는 고아 노드와 자식 노드가 증가하기 때문이다. 제안하는 CP\_LON 기법은 기존 N\_max 기법 보다 노드의 수가 증가할수록 현저히 전송 횟수의 표준편차가 낮은 모습이다. 이는 고아 노드의 데이터를 부모 노드가 전송 해주기 때문이다. 노드의 증가에 따라 기존의 N\_max 기법은 자식 노드의 데이터 패킷을 릴레이하고 고아 노드의 패킷을 릴레이 해주지 못해 패킷 전송 횟수의 표준편차가 증가된다. 반면, 제안 기법인 CP\_LON은 기존의 자식 노드를 테이블에서 삭제 후 고아 노드가 생성한 패킷을 릴레이 해주기 때문에 고아 노드와 자식 노드의 패킷 전송 횟수의 표준편차가 낮아지는 경향을 보인다.

### V. 결론

본 논문에서는 기존에 제안한 N\_max 기법을 적용하여 Wi-SUN에서 발생하는 병목 현상을 해결할 때 발생할 수 있는 고아 노드 문제를 지적하고 이를 해결할 수 있는 CP\_LON 기법을 제안하였다. 제안한 CP\_LON 기법은 자신이 고아 노드임을 인지한 자식 노드가 DAO\_recv 메시지를 부모 노드에게 전송한다. DAO\_recv 메시지를 수신한 부모 노드는 자식 노드의 고아 노드 유무를 인지하고 현재 자신의 N\_max 값을 확인한다. 현재 N\_max 값이 1 이상일 때 DAO\_recv 메시지를 송신한 고아 노드를 자식 노드 테이블에 추가하고 N\_max 값을 1 감소시킨다. 만약, 부모 노드의 N\_max 값이 0일 경우 새로운 고아 노드의 DAO\_recv 메시지를 수신한 부모 노드는 자식 노드 중 예비 부모 노드와 부모 노드의 라우팅 매트릭 값의 차이가 작은

자식 노드를 선택한다. 이후 선택된 자식 노드의 연결을 해지하고 새로운 고아 노드를 자식 노드 테이블에 추가한다. 또한, 이미 부모 노드와 연결된 모든 자식 노드가 고아 노드일 경우, 부모 노드는 N\_max 값을 0 이하인 음수로 변경하더라도 새로운 고아 노드를 자식 노드 테이블에 추가하여 데이터 릴레이 함으로써 새로운 고아 노드에게 연결성을 제공한다.

제안한 기법 CP\_LON은 네트워크 시뮬레이터 3(NS\_3)를 이용하여 기존에 제안된 N\_max 기법과 성능 평가를 진행하였다. 성능 평가 결과 CP\_LON 기법이 기존 N\_max 기법보다 노드 숫자에 따라 평균 종단간 딜레이, 평균 큐잉 딜레이, 전송 횟수의 표준편차와 처리량 성능평가 항목에서 각각 최대 3% ~ 25%의 성능 향상된 것을 확인할 수 있었다. 다만, 패킷 전송률에서는 최대 5% 정도의 성능 차이를 보였다. 향후 본 논문의 추가 연구 방법으로 동적의 N\_max 값을 선정하는 기법과 노드의 밀집도 증가와 혼잡도 증가에 따른 패킷 충돌 및 손실에 대해 추가 기법 연구가 필요하다.

### References

- [1] E. Ancillotti, R. Bruno, and M. Conti, "The role of the RPL routing protocol for smart grid communications," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 51, no. 1, pp. 75-83, Jan. 2013. (<https://doi.org/10.1109/MCOM.2013.6400442>)
- [2] C. Lee, "스마트그리드 기술동향 및 향후전망." *KICS Inf. and Commun. Mag.*, vol. 38, no. 9, pp. 71-77, Aug. 2021.
- [3] H. Harada, et al., "IEEE 802.15.4g based Wi-SUN Communication Systems," *IEICE Trans, Commun.*, vol. E100-B, no. 7, pp. 1032-1043, Jul. 2017. (<https://doi.org/10.1587/transcom.2016SCI0002>)
- [4] T. Winter, et al., *RPL: IPv6 routing protocol for low power and lossy networks*, (2012) Retrieved Jun. 20, 2023 from <https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc6550.html>
- [5] R. Hirakawa, R. Okumura, K. Mizutani, and H. Harada, "A novel routing method with load-balancing in Wi-SUN FAN network," *IEEE 7th WF-IoT*, pp. 362-367, New Orleans, LA, USA, 2021. (<https://doi.org/10.1109/WF-IoT51360.2021.9595050>)

- [6] W. R. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks," in *Proc. 33rd Annu. Hawaii Int. Conf. Syst. Sci.*, vol. 2, p. 10, Maui, HI, USA, 2000. (<https://doi.org/10.1109/HICSS.2000.926982>.)
- [7] W. Jerbi, A. Guermazi, and H. Trabelsi, "O-Leach of routing protocol for wireless sensor networks," *13th Int. Conf. CGiV*, pp. 399-404, Beni Mellal, Morocco, 2016. (<https://doi.org/10.1109/CGiV.2016.84.5050>)

이 성 원 (Sungwon Lee)



2010년 2월 : 경북대학교 컴퓨터 공학과 졸업  
2012년 2월 : 경북대학교 컴퓨터 공학과 석사  
2020년 2월 : 경북대학교 컴퓨터 공학과 박사  
2020년 3월~현재 : 대구한의대학교 컴퓨터공학과 조교수

<관심분야> 무선 센서 네트워크, IoT, D2D  
[ORCID:0000-0002-4779-9919]

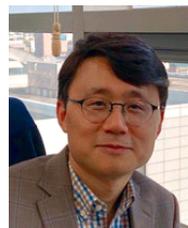
김 성 현 (Sunghyun Kim)



2013년 8월 : 동국대학교 정보통신 공학과 졸업  
2017년 2월 : 경북대학교 컴퓨터 공학과 석사  
2022년 9월~현재 : 경북대학교 컴퓨터공학과 박사과정  
<관심분야> 무선 센서 네트워크, IoT, Cell-Free

[ORCID:0009-0006-5723-9882]

김 동 균 (Dongkyun Kim)



1994년 2월 : 경북대학교 정보통신 공학과 졸업  
1996년 2월 : 서울대학교 컴퓨터 공학과 석사  
2001년 2월 : 서울대학교 컴퓨터 공학과 박사  
2003년 3월~현재 : 경북대학교 컴퓨터학부 정교수

<관심분야> 컴퓨터통신, 이동인터넷, 모바일 애드혹 네트워크, 센서 네트워크, 무선매쉬 네트워크, IoT  
[ORCID:0000-0002-1995-378X]

서 준 호 (Junho Seo)



2018년 2월 : 경북대학교 컴퓨터 공학과 졸업  
2020년 2월 : 경북대학교 컴퓨터 공학과 석사  
2020년 3월~현재 : 경북대학교 컴퓨터공학과 박사과정  
<관심분야> IoT, 수중 센서 네트워크

[ORCID:0000-0002-5000-0215]