

높은 접근성과 에너지 효율을 갖는 계수기반 브로드캐스트 기법

정지영*, 서동윤*, 이정륜^o

Efficient Counter-Based Broadcast Scheme for High Reachability and Energy Efficiency

Ji-Young Jung*, Dong-Yoon Seo*, Jung-Ryun Lee^o

요약

본 논문에서는 높은 접근성과 에너지 효율을 갖는 계수기반 브로드캐스팅 기법을 제안한다. 이를 위해 더 넓은 영역을 추가로 커버할 수 있는 노드가 리브로드캐스팅을 수행할 수 있도록, 두 노드로부터 동일한 브로드캐스팅 메시지를 수신 받은 노드가 자신이 리브로드캐스팅 시 얻을 수 있는 추가적인 커버리지를 계산하는 방법을 제안한다. 계산된 추가적인 커버리지 정보와 거리정보, 밀집도 정보, 배터리 잔량 정보를 통해 임의의 접속 지연(RAD)을 결정하는 수식을 제안하였고, 밀집도 정보와 배터리 잔량 정보를 통해 계수 임계값(C_{th})을 결정하는 수식을 제안한다. 시뮬레이션 성능평가를 통해 기존에 제안된 계수기반 브로드캐스팅 기법들과 성능비교를 통해 제안하는 알고리즘의 성능을 평가한다.

ey Words : Broadcast, Coverage, Reachability, Energy Efficiency, Ad-hoc Network

ABSTRACT

In this paper, we propose an efficient counter-based broadcast scheme for high reachability and energy efficiency. To achieve this, we propose a method to calculate additional coverage when a node receives the same broadcast message from both nodes, in order to rebroadcast by a node who can cover an large area. We also propose a formula to determine random access delay (RAD) considering addition coverage, distance, density, and remaining battery information, and a formula to determine count threshold (C_{th}) considering density and remaining battery information. In addition, we evaluate the performance of the proposed broadcast scheme compared with the existing counter-based broadcast schemes through simulation.

1. 서론

에드 혹 네트워크 (Ad-hoc network)는 기반 네트

워크 (Infrastructure network)가 존재하지 않는 지역
 에서 단말기 간 자유로운 통신을 위해 초기 군사적인
 목적으로 연구가 시작되었고 점차 통신 기술의 발달

* 이 논문은 2015년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No.2015R1D1A1A01060207).

※ 본 연구는 2010년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다 (No. 20154030200860).

※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음 (IITP-2016-H8501-16-1007).

• First Author : Chung-Ang University Department of School of Electrical and Electronics Engineering, jiyoun@cau.ac.kr, 학생회원

◦ Corresponding Author : Chung-Ang University, jrlee@cau.ac.kr, 종신회원

* Lotte Data Communication Company, dy.seo@lotte.net

논문번호 : KICS2016-11-358, Received November 21, 2016; Revised December 6, 2016; Accepted December 20, 2016

과 여러 가지 상업적 용도의 응용 분야가 나타나게 되어 현재는 많은 대학 및 연구 기관에서 활발히 연구 활동이 이루어지고 있는 네트워크 기술이다. 고정된 기지국 (Base station)이나 액세스 포인트 (Access point)와 같은 중앙제어 (Centralized control) 방식의 통신 기법과 달리 애드 혹 네트워크 환경에서는 분산형 (Distributed) 방식으로 단말 간 통신이 이루어져야 하므로 각 단말기 간에 라우팅 (Routing)을 설정하기 위한 정보교환절차가 반드시 이루어져야 한다. 이러한 정보교환을 위해 사용되는 브로드캐스팅 (Broadcasting) 기법은 각 노드가 자신의 정보를 특정 노드에게 전송하는 것이 아니라 자신의 전송반경 내에 위치한 모든 이웃 노드들에게 자신의 정보를 알려주는 기법으로 브로드캐스팅 메시지를 수신한 이웃노드들은 해당 메시지를 리브로드캐스팅 (Rebroadcasting) 해주어 멀티홉 거리에 있는 노드들 간에도 정보 교환이 가능하다¹¹⁾. 단순 플러딩 (Simple flooding) 기법은 최초의 브로드캐스팅 기법으로 브로드캐스팅 메시지를 수신 받은 노드는 정보교환을 위해 해당 메시지를 자신의 이웃노드들에게 항상 리브로드캐스팅을 수행한다. 이러한 단순 플러딩 기법은 브로드캐스팅 노드의 전송반경 내에 많은 이웃 노드들이 위치할 때 동일한 브로드캐스팅 메시지가 여러 번 리브로드캐스팅 되는 중복성 (Redundancy) 문제가 발생하며, 이웃 노드들 간에 동시에 리브로드캐스팅을 수행할 때 메시지 간 충돌 (Collision) 문제가 발생할 수 있다¹²⁾. 이러한 문제를 브로드캐스팅 스톰 (Broadcasting storm) 문제라고 한다¹³⁾.

계수기반 (Counter-based) 브로드캐스팅 기법은 브로드캐스팅 스톰 문제를 해결하기 위해 제안된 대표적인 브로드캐스팅 기법이다. 계수기반 브로드캐스팅 기법에서 브로드캐스팅 메시지를 수신한 노드는 임의의 접속지연 (Random Access Delay, RAD) 시간 동안 브로드캐스팅 메시지를 중복 수신하는 횟수 (Count)를 더한다. 임의의 접속지연 시간이 지난 후에 중복 수신한 횟수의 값이 계수 임계값 (C_{th})보다 크면 리브로드캐스팅을 수행하지 않고, 계수 임계값보다 작으면 리브로드캐스팅을 수행한다. 즉, 각 노드별로 임의의 접속지연 시간을 다르게 설정함으로써 브로드캐스팅 메시지 충돌 문제를 해결하고, 중복 수신한 횟수의 값이 계수 임계 값 보다 작은 노드만 리브로드캐스팅을 수행하게 함으로써 중복성 문제를 해결할 수 있다¹⁴⁾.

하지만 중복성과 충돌을 줄이기 위해 리브로드캐스

팅 횟수를 과도하게 줄일 경우 고립 (Isolated) 되어있는 노드에게 브로드캐스팅 메시지가 전달되지 않는 문제가 발생할 수 있다. 따라서 중복성과 충돌을 줄이면서도 브로드캐스팅 메시지가 모든 노드에게 잘 전달될 수 있도록 임의의 접속지연과 계수 임계값을 결정하는 것이 중요하다. 또한, 애드 혹 네트워크 환경에서 단말기는 송신노드와 수신노드이면서 동시에 라우터 역할을 하므로 기존의 싱글 무선 링크로 연결된 셀룰러 네트워크에 비해 더 많은 에너지가 소모된다¹⁵⁾. 이러한 에너지 소모로 인해 배터리가 방전된 단말기는 더 이상 라우터 역할을 수행할 수 없게 되어 망의 성능을 저하시키는 중요한 원인이 되므로 배터리 잔량이 높은 노드가 리브로드캐스팅을 수행할 수 있도록 임의의 접속 지연과 계수 임계값을 결정하는 것이 필요하다.

이에 본 논문에서는 브로드캐스팅 메시지가 모든 노드에게 잘 전달될 수 있는 높은 접근성 (High reachability)을 갖으며 배터리가 많은 노드가 리브로드캐스팅을 수행하게 함으로써 네트워크 생존 시간 (Life time)을 늘릴 수 있는 효율적인 계수기반 브로드캐스팅 기법을 제안하고자 한다. 이를 위해 본 논문에서는 1) 기존에 제안된 계수기반 브로드캐스팅 기법들을 소개하고, 2) 높은 접근성과 긴 네트워크 생존시간을 위한 효율적인 계수기반 브로드캐스팅 기법을 제안하고, 3) 기존에 제안된 계수기반 브로드캐스팅 기법들과 성능비교를 통해 제안하는 알고리즘의 우수성을 평가하였다.

II. 기존의 계수기반 브로드캐스팅 연구

이 장에서는 기존에 연구된 계수기반의 브로드캐스팅 연구를 세 가지: 1) 송신노드와의 거리 정보를 이용한 계수기반 기법, 2) 이웃 노드의 수 (밀집정도)에 따른 계수기반 기법, 3) 노드의 배터리 잔량 정보를 이용한 계수기반 기법으로 구분하여 각각 소개한다.

2.1 거리 정보를 이용한 계수기반 브로드캐스팅 기법

거리 정보를 이용한 계수기반 브로드캐스팅 기법은 브로드캐스팅 메시지를 수신 받은 노드가 송신노드와 자신과의 거리를 통해 임의의 접속 지연 (RAD)을 결정하는 기법이다¹⁶⁾. 그림 1에서와 같이 송신노드 1로부터 더 멀리 떨어진 노드 3이 노드 2보다 먼저 리브로드캐스팅을 수행하면 높은 접근성을 유지하면서, 노드 2의 리브로드캐스팅을 방지함으로써 브로드캐스팅

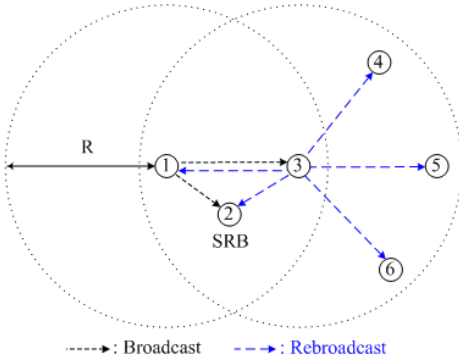


그림 1. 거리 정보를 이용한 계수기반 브로드캐스팅 기법
Fig. 1. Distance aware counter based broadcasting scheme

스톱 문제를 해결할 수 있다.

이를 위해 브로드캐스팅 메시지를 수신 받은 노드가 송신노드와의 거리가 멀수록 짧은 임의의 접속 지연 (Short Random Access Delay, *Short RAD*)을, 가까울수록 긴 임의의 접속 지연 (Long Random Access Delay, *Long RAD*)을 갖도록 임의의 접속 지연을 아래와 같이 정의하였다.

$$RAD = rand[0,1] * T_{max} \times \frac{(R^2 - D^2)}{R^2} \quad (1)$$

이때 $rand[0,1]$ 은 0과 1사이의 균등 확률 변수 (uniformly distributed random variable) 값을, T_{max} 는 최대 임의의 접속 지연을, R 은 송신 노드의 최대 전송 거리를, D 는 송신노드와 수신노드 사이의 거리를 나타낸다.

2.2 밀집도 정보를 이용한 계수기반 브로드캐스팅 기법

밀집도를 이용한 계수기반 브로드캐스팅 기법은 브로드캐스팅을 수신 받은 노드가 자신의 이웃 노드의 수 (밀집도)에 따라 임의의 접속 지연 (RAD)과 계수 임계 값 (C_{th})을 결정하는 알고리즘이다^[7,8]. 그림 2에서와 같이 노드 1이 브로드캐스팅 메시지를 송신했을 때, 이를 수신한 노드 2, 3, 4 중에 밀집도가 가장 높은 노드 3이 짧은 임의의 접속 지연 (*Short RAD*)과 작은 계수 임계 값 (*Small C_{th}*)을 선택하여 먼저 리브로드캐스팅을 수행하면 높은 접근성을 유지하면서 노드 2와 노드 4의 리브로드캐스팅을 방지함으로써 브로드캐스팅 스톱 문제를 해결할 수 있다.

이를 위해 브로드캐스팅 메시지를 수신 받은 노드 중에서 밀집도가 낮은 노드는 상대적으로 긴 임의의

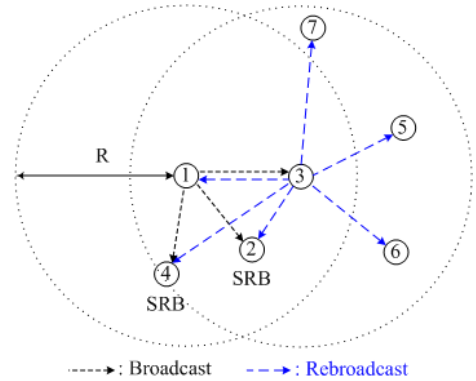


그림 2. 밀집도 정보를 이용한 계수기반 브로드캐스팅 기법
Fig. 2. Density aware counter based broadcasting scheme

접속 지연 (*Long RAD*)을, 밀집도가 높은 노드는 상대적으로 짧은 임의의 접속 지연 (*Short RAD*)을 갖도록 임의의 접속 지연을 아래와 같이 정의하였다.

$$RAD = rand[0,1] * T_{max} \quad (2)$$

이때 $rand[0,1]$ 은 0과 1사이의 균등 확률 변수 값이며, 최대 임의의 접속 지연시간 T_{max} 은 아래와 같이 정의한다.

$$T_{max} = \frac{rand[0,1]}{RF} \quad (3)$$

이때 Random Factor (RF)는 노드의 밀집도 정보를 의미한다. 각 노드는 자신의 이웃노드 수가 평균 이웃 노드 수 (N_{avg})보다 적은 (밀집도가 낮은) 노드는 상대적으로 작은 RF 값을 선택하고, 평균 이웃 노드 수 (N_{avg})보다 많은 (밀집도가 높은) 노드는 상대적으로 큰 RF 값을 선택하게 하였다.

또한, 각 노드는 자신의 이웃노드 수가 평균 이웃 노드 수 (N_{avg})보다 적은 즉, 밀집도가 낮은 노드는 상대적으로 큰 계수 임계 값 (Large threshold, *Large C_{th}*)을 선택하고, 평균 이웃 노드 수 (N_{avg})보다 많은 즉, 밀집도가 높은 노드는 상대적으로 작은 계수 임계 값 (Small threshold, *Small C_{th}*)을 선택하게 하였다.

2.3 노드의 배터리 잔량 정보를 이용한 계수기반 브로드캐스팅 기법

노드의 배터리 잔량 정보를 이용한 계수기반 브로드캐스팅 기법은 메시지를 수신 받은 노드가 자신의

배터리 잔량 정보에 따라 임의의 접속 지연 (RAD)과 계수 임계 값 (C_{th})을 결정하는 기법이다⁹⁾. 그림 3에서와 같이 송신노드 1에게 브로드캐스팅 메시지를 수신 받은 노드 2와 노드 3 중에 배터리 잔량이 적은 노드 3이 리브로드캐스팅을 수행할 경우 배터리의 고갈로 통신이 불가능한 상태가 되어 네트워크 생존시간 (Network life-time)이 짧아지는 문제가 발생할 수 있다. 따라서 배터리 잔량이 높은 노드 2가 리브로드캐스팅을 수행하게 함으로써 네트워크 생존시간을 늘리면서 노드 3의 리브로드캐스팅을 방지함으로써 브로드캐스팅 스톱 문제를 해결할 수 있다.

이를 위해 브로드캐스팅 메시지를 수신 받은 노드가 배터리 잔량이 적은 노드는 상대적으로 작은 계수 임계 값 (*Small C_{th}*)을, 배터리 잔량이 많은 노드는 상대적으로 큰 계수 임계 값 (*Large C_{th}*)을 갖도록 계수 임계값을 아래와 같이 정의하였다.

$$C_{th} = \text{ceil} \left(C_{\max} \times \frac{B_R}{B_{\max}} \right) \quad (4)$$

이때 $\text{ceil}(x)$ 함수는 x 값 보다 크거나 같은 최소 정수이며, C_{\max} 는 최대 계수 임계 값을, B_R 은 수신 노드의 배터리 잔량 (Remain battery)을, B_{\max} 는 각 노드가 충전 되었을 때의 최대 배터리 잔량 (Max battery)값을 의미한다.

또한, 브로드캐스팅 메시지를 수신 받은 노드가 배터리 잔량이 낮은 노드는 상대적으로 긴 임의의 접속 지연 (*Long RAD*)을, 배터리 잔량이 높은 노드는 상대적으로 짧은 임의의 접속 지연 (*Short RAD*)을 갖

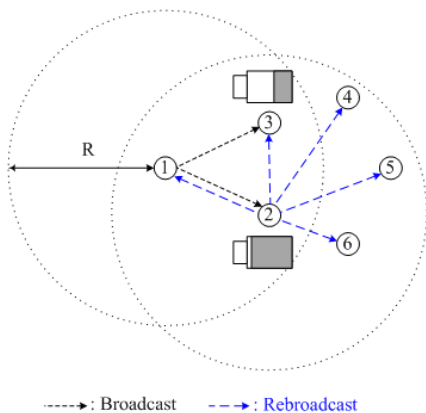


그림 3. 노드의 배터리 잔량 정보를 이용한 계수기반 브로드캐스팅 기법
Fig. 3. Battery aware counter based broadcasting scheme

도록 수식 (4) 값을 활용하여 임의의 접속 지연을 아래와 같이 정의하였다.

$$RAD = \text{rand}[0,1] * 2(C_{\max} - C_{th}) \quad (5)$$

기존의 거리정보를 이용한 계수기반 브로드캐스팅 기법은 송신노드와 멀리 떨어져 있는 노드가 먼저 리브로드캐스팅을 수행하여 높은 접근성을 유지하면서 브로드캐스팅 스톱 문제를 해결하는 것을 알 수 있었는데, 송신노드와 동일한 거리에 위치한 노드는 동일한 확률로 하나의 노드가 먼저 리브로드캐스팅을 수행한다. 하지만 그림 4에서와 같이 송신노드와 동일한 거리 (D)에 위치한 노드 3과 노드 4 중에 노드 3이 리브로드캐스팅을 수행할 경우 왼쪽 그림의 음영색 부분을, 노드 4가 리브로드캐스팅을 수행할 경우 오른쪽 그림의 음영색 부분의 추가 커버리지 (Additional Coverage, AC)를 가져 노드 3보다는 노드 4가 리브로드캐스팅을 수행하는 것이 더 높은 접근성을 가질 수 있음을 알 수 있다. 따라서 송신노드와의 거리가 동일한 경우 더 넓은 영역을 추가로 커버할 수 있는 (High coverage) 노드가 리브로드캐스팅을 수행하여 더 높은 접근성을 유지할 수 있는 추가적인 알고리즘이 필요하다.

또한, 앞에서 살펴본 거리 및 밀집도 정보에 따른 계수기반 브로드캐스팅 기법은 브로드캐스팅 스톱을 방지하면서 접근성을 높이는 효율적인 브로드캐스팅 기법을 제안하였다. 또한 노드의 배터리 잔량 정보에 따른 계수기반 브로드캐스팅 기법은 브로드캐스팅 스톱을 방지하면서 네트워크 생존시간을 늘릴 수 있는 효율적인 브로드캐스팅 기법을 제안하였다. 하지만 접근성을 높이기 위해서 거리가 멀고, 밀집도가 높은 특정 노드가 리브로드캐스팅을 수행하면 해당 노드의 배터리가 급속도로 소모되어 네트워크 생존시간에 불균형이 발생할 수 있고, 반대로 네트워크 생존시간을

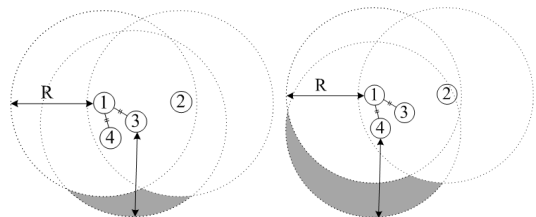


그림 4. 추가 커버리지 정보를 이용한 계수기반 브로드캐스팅 기법의 필요성
Fig. 4. The need for additional coverage aware counter based broadcasting scheme

늘리기 위해 배터리 잔량이 높은 특정 노드가 리브로드캐스팅을 수행하면 접근성이 떨어지는 문제점이 발생하는 트레이드 오프 (Trade-off) 관계를 갖는 것을 알 수 있다. 이에 접근성과 네트워크 생존시간을 동시에 고려한 효율적인 알고리즘이 필요하다.

이에 추가 커버리지가 높은 노드가 먼저 리브로드캐스팅을 수행하여 높은 접근성을 유지하면서, 배터리 잔량을 고려하여 네트워크 생존시간을 늘릴 수 있는 효율적인 계수기반 브로드캐스팅 기법을 제안하고자 한다.

III. 높은 접근성과 에너지 효율을 갖는 계수기반 브로드캐스팅 기법 제안

이장에서는 더 넓은 영역을 추가로 커버할 수 있는 노드가 리브로드캐스팅을 수행하기 위해 브로드캐스팅 시 얻을 수 있는 추가적인 커버리지 (Additional Coverage, AC)를 계산하여 높은 접근성을 유지하면서, 배터리 잔량을 고려하여 네트워크 생존시간을 늘릴 수 있도록 임의의 접속지연과 계수 임계값을 결정하는 효율적인 계수기반 브로드캐스팅 기법을 제안하고자 한다.

3.1 추가적인 커버리지 (Additional Coverage, AC) 계산

추가적인 커버리지를 계산하는 노드는 두 개의 이웃노드로부터 같은 브로드캐스팅 메시지를 수신한 노드로, 그림 5에서와 같이 노드 1과 2의 전송반경 내에 겹치는 영역 (Intersection area)에 있는 노드 3이 이에 속한다.

서로 이웃한 노드 1, 2, 3이 순차적으로 브로드캐스팅을 수행한다고 가정해보자. 노드 1이 GPS 장비로부터 획득한 위치정보를 포함한 브로드캐스팅 메시지를

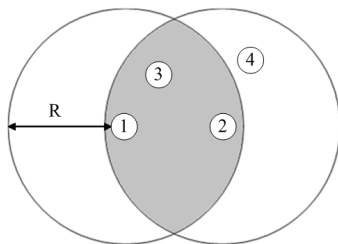


그림 5. 두 개의 이웃노드로부터 동일한 브로드캐스팅 메시지를 수신하는 영역
Fig. 5. An area that receives the same broadcast message from two neighboring nodes

송신하면 이를 수신한 노드 2 와 3은 수신 받은 노드 1의 위치정보와 자신들의 위치정보를 통해 자신과 노드 1 사이의 거리를 알 수 있으며 이를 두 노드 사이의 거리 d_{12} , d_{13} 값으로 저장한다. 노드 2는 자신과 자신의 이웃 노드의 위치정보를 브로드캐스팅 메시지 헤더 (header)에 담아 브로드캐스팅 메시지를 송신하면 이를 수신한 노드 3은 자신과 노드 2 사이의 거리 d_{23} 와 노드 1과 노드 2 사이의 거리 d_{12} 를 알 수 있다. 이러한 방식으로 각 노드는 통신 범위 내 이웃 노드들의 위치와 거리를 알 수 있다¹⁰⁾.

세 노드 사이의 거리 정보를 획득한 노드 3은 노드 1의 위치를 원점으로, 노드 2의 위치를 x 축에 위치한다고 정의하면, 각 노드의 위치 정보 $l_1 = (x_1, y_1)$, $l_2 = (x_2, y_2)$, $l_3 = (x_3, y_3)$ 를 거리에 대한 식으로 아래와 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 l_1 &= (0, 0), l_2 = (d_{12}, 0), \\
 l_3 &= \left(d_{13} \cos \left\{ \cos^{-1} \left(\frac{d_{13}^2 + d_{12}^2 - d_{23}^2}{2d_{12}d_{13}} \right) \right\}, \right. \\
 &\quad \left. d_{13} \sin \left\{ \cos^{-1} \left(\frac{d_{13}^2 + d_{12}^2 - d_{23}^2}{2d_{12}d_{13}} \right) \right\} \right)
 \end{aligned} \tag{6}$$

노드 3은 수식 (6)에서 계산한 자신과 두 개의 이웃노드의 위치 정보를 통해 추가적인 커버리지를 계산한다. 이때 추가 커버리지를 갖는 경우는 노드 3의 위치에 따라 그림 6에서와 같이 세 가지의 경우가 존재할 수 있다.

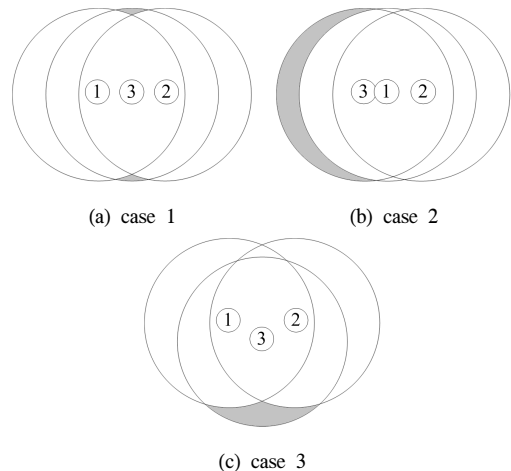


그림 6. 추가적인 커버리지를 계산하는 세 가지 경우
Fig. 6. Three cases for additional coverage calculations

본 절에서는 각 경우에 대한 추가적인 커버리지를 계산하고자 한다.

3.1.1 Case 1의 추가적인 커버리지 계산

두 노드 i 와 j 의 전송반경 간에 두 교점 (Nodal point)을 $l_{NP1_{ij}}$, $l_{NP2_{ij}}$ 로 정의하면, $l_{NP1_{12}}$ 과 $l_{NP2_{12}}$ 는 아래와 같이 계산된다.

$$l_{NP1_{12}} = \left(\frac{d_{12}}{2}, \sqrt{R^2 - \left(\frac{d_{12}}{2} \right)^2} \right),$$

$$l_{NP2_{12}} = \left(\frac{d_{12}}{2}, -\sqrt{R^2 - \left(\frac{d_{12}}{2} \right)^2} \right) \quad (7)$$

Case1에 대한 노드 3의 위치 조건은 $\{l_3 | \overrightarrow{l_3 l_{NP1_{12}}} < R, \text{ and } \overrightarrow{l_3 l_{NP2_{12}}} < R\}$ 이며, 이때 두 노드 i 와 j 의 전송반경 내에 겹치는 영역 (Intersection area)을 IA_{ij} 로 정의하면, 그림 7에서와 같이 노드 3의 추가적인 커버리지 (AC_{Case1})는 아래와 같이 계산된다.

$$AC_{Case1} = \pi R^2 - IA_{13} - IA_{23} + IA_{12} \quad (8)$$

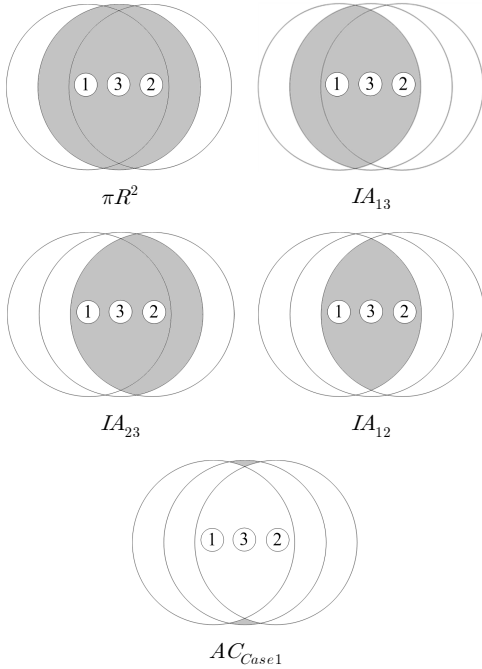


그림 7. Case 1에서의 추가적인 커버리지 계산
Fig. 7. Additional coverage calculations in Case 1

두 노드 쌍이 갖는 전송반경 내에 겹치는 영역 (IA_{13} , IA_{23} , IA_{12})은 다음과 같이 계산된다.

$$IA_{13} = 4 \int_{\frac{d_{13}}{2}}^R \sqrt{R^2 - x^2} dx$$

$$= 2R^2 \cos^{-1} \left(\frac{d_{13}}{2R} \right) - \frac{d_{13} \sqrt{4R^2 - d_{13}^2}}{2} \quad (9)$$

$$IA_{23} = 4 \int_{\frac{d_{23}}{2}}^R \sqrt{R^2 - x^2} dx$$

$$= 2R^2 \cos^{-1} \left(\frac{d_{23}}{2R} \right) - \frac{d_{23} \sqrt{4R^2 - d_{23}^2}}{2} \quad (10)$$

$$IA_{12} = 4 \int_{\frac{d_{12}}{2}}^R \sqrt{R^2 - x^2} dx$$

$$= 2R^2 \cos^{-1} \left(\frac{d_{12}}{2R} \right) - \frac{d_{12} \sqrt{4R^2 - d_{12}^2}}{2} \quad (11)$$

따라서 수식 (9), (10), (11)를 수식(8)에 대입하면 Case1에 대한 노드 3의 추가적인 커버리지 (AC_{Case1})는 노드간의 거리로 아래와 같이 계산된다.

$$AC_{Case1} = \pi R^2$$

$$- 2R^2 \left(\cos^{-1} \left(\frac{d_{13}}{2R} \right) + \cos^{-1} \left(\frac{d_{23}}{2R} \right) - \cos^{-1} \left(\frac{d_{12}}{2R} \right) \right)$$

$$+ \frac{d_{13} \sqrt{4R^2 - d_{13}^2}}{2} + \frac{d_{23} \sqrt{4R^2 - d_{23}^2}}{2} - \frac{d_{12} \sqrt{4R^2 - d_{12}^2}}{2} \quad (12)$$

3.1.2 Case 2의 추가적인 커버리지 계산

Case2에 대한 노드 3의 위치 조건은 $\{l_3 | \overrightarrow{l_3 l_{NP1_{12}}} > R, \text{ and } \overrightarrow{l_3 l_{NP2_{12}}} > R\}$ 이며, 그림 8에서와 같이 노드 3의 추가적인 커버리지 (AC_{Case2})는 아래와 같이 계산된다.

$$AC_{Case2} = \begin{cases} \pi R^2 - IA_{13}, & \text{where } \overrightarrow{l_3 l_1} < \overrightarrow{l_3 l_2} \\ \pi R^2 - IA_{23}, & \text{where } \overrightarrow{l_3 l_1} > \overrightarrow{l_3 l_2} \end{cases} \quad (13)$$

따라서 수식 (9) 혹은 수식 (10)을 수식(13)에 대입하면 Case2에 대한 노드 3의 추가적인 커버리지 (AC_{Case2})는 노드간의 거리로 아래와 같이 계산된다.

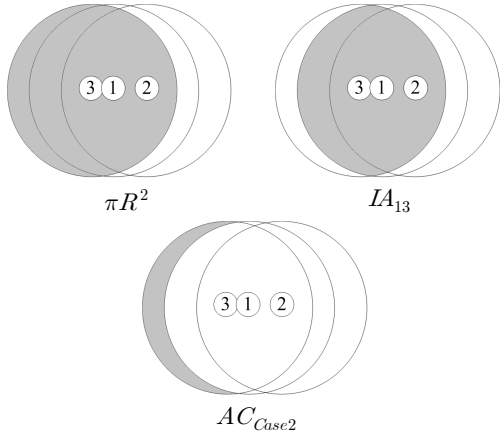


그림 8. Case 2에서의 추가적인 커버리지 계산
Fig. 8. Additional coverage calculations in Case 2

$$AC_{Case2} = \begin{cases} \pi R^2 - 2R^2 \cos^{-1}\left(\frac{d_{13}}{2R}\right) + \frac{d_{13}\sqrt{4R^2 - d_{13}^2}}{2}, \\ \text{where } |\vec{l}_3 l_1| < |\vec{l}_3 l_2| \\ \pi R^2 - 2R^2 \cos^{-1}\left(\frac{d_{23}}{2R}\right) + \frac{d_{23}\sqrt{4R^2 - d_{23}^2}}{2}, \\ \text{where } |\vec{l}_3 l_1| > |\vec{l}_3 l_2| \end{cases} \quad (14)$$

3.1.3 Case 3의 추가적인 커버리지 계산

Case3에 대한 노드 3의 위치 조건은 $\{l_3|\vec{l}_3 l_{NP_{12}}| > R, \text{ and } |\vec{l}_3 l_{NP_{21}}| < R\}$ 이거나, 혹은 $\{l_3|\vec{l}_3 l_{NP_{12}}| < R, \text{ and } |\vec{l}_3 l_{NP_{21}}| > R\}$ 이며, 그림 9에서와 같이 노드 3의 추가적인 커버리지 (AC_{Case3})는 아래와 같이 계산된다.

$$AC_{Case3} = \pi R^2 - IA_{13} - IA_{23} + IA_{123} \quad (15)$$

세 노드가 갖는 전송반경 내에 겹치는 영역 (IA_{123})을 계산하기 위하여, 세 노드 i, j, k 의 전송반경 간에 세 교점 (Nodal point)을 $l_{NP_{1jk}}, l_{NP_{2jk}}, l_{NP_{3jk}}$ 로 정의하자. 이때 $l_{NP_{123}}$ 는 노드 1과 2의 교점 중에 노드 3의 전송반경 내에 있는 교점으로, $l_{NP_{213}}$ 는 노드 1과 3의 교점 중에 노드 2의 전송반경 내에 있는 교점으로, $l_{NP_{312}}$ 는 노드 2와 3의 교점 중에 노드 1의 전송반경 내에 있는 교점으로 정의한다.

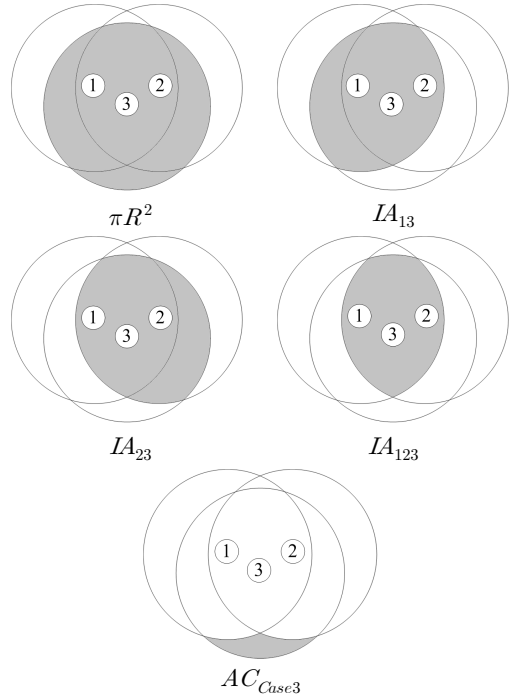


그림 9. Case 3에서의 추가적인 커버리지 계산
Fig. 9. Additional coverage calculations in Case 3

$l_{NP_{123}}$ 값은 $x^2 + y^2 = R^2$ 과 $x = \frac{x_2}{2}$ 와의 교점 중에 $(x - x_3)^2 + (y - y_3)^2 = R^2$ 내의 교점이므로 다음과 같이 계산된다.

$$l_{NP_{123}} = \left(\frac{x_2}{2}, \pm \sqrt{R^2 - \left(\frac{x_2}{2}\right)^2}\right) \text{ in } (x - x_3)^2 + (y - y_3)^2 = R^2 \quad (16)$$

$l_{NP_{213}}$ 값은 $y = -\frac{x_3}{y_3}\left(x - \frac{x_3}{2}\right) + \frac{y_3}{2}$ 과 $x^2 + y^2 = R^2$ 의 교점 중에 $(x - x_2)^2 + y^2 = R^2$ 내의 교점이므로 다음과 같이 계산된다.

$$l_{NP_{213}} = \left(\frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}, \frac{-e \pm \sqrt{e^2 - 4df}}{2d}\right)$$

in $(x - x_2)^2 + y^2 = R^2,$

where

$$\begin{aligned}
 a &= 1 + \frac{x_3^2}{y_3^2}, \quad b = -x_3 - \frac{x_3^3}{y_3^2}, \\
 c &= \frac{x_3^4}{4y_3^2} + \frac{x_3^2}{2} + \frac{y_3^2}{4} - R^2, \\
 d &= 1 + \frac{y_3^2}{x_3^2}, \quad e = -y_3 - \frac{y_3^3}{x_3^2}, \\
 f &= \frac{y_3^4}{4x_3^2} + \frac{y_3^2}{2} + \frac{x_3^2}{4} - R^2
 \end{aligned} \tag{17}$$

$l_{NP3_{123}}$ 값은 $y = -\frac{x_3 - x_2}{y_3} \left(x - \frac{x_2 + x_3}{2} \right) + \frac{y_3}{2}$ 과 $(x - x_2)^2 + y^2 = R^2$ 의 교점 중에 $x^2 + y^2 = R^2$ 내의 교점이므로 다음과 같이 계산된다.

$$l_{NP3_{123}} = \left(\frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}, \frac{-e \pm \sqrt{e^2 - 4df}}{2d} \right)$$

in $x^2 + y^2 = R^2$
where

$$\begin{aligned}
 a &= 1 + \frac{(x_3 - x_2)^2}{y_3^2}, \quad b = -x_3 - x_2 - \frac{(x_2 + x_3)(x_3 - x_2)^2}{y_3^2}, \\
 c &= \frac{(x_3 - x_2)^2(x_2 + x_3)^2}{4y_3^2} + x_2^2 + \frac{(x_3^2 - x_2^2)}{2} + \frac{y_3^2}{4} - R^2, \\
 d &= 1 + \frac{y_3^2}{(x_3 - x_2)^2}, \quad e = -y_3 - \frac{y_3^3}{(x_3 - x_2)^2}, \\
 f &= \frac{y_3^4}{4(x_3 - x_2)^2} + \frac{y_3^2}{2} + \frac{(x_3 - x_2)^2}{4} - R^2
 \end{aligned} \tag{18}$$

세 노드가 갖는 전송반경 내에 접치는 영역 (IA_{123})는 그림 10에서 알 수 있듯이 다음과 같이 계산된다.

$$IA_{123} = IA_{123}(S_1) + IA_{123}(S_2) + IA_{123}(S_3) + IA_{123}(S_4) \tag{19}$$

세 교점 (Nodal point)의 위치를 $l_{NP1_{123}} = (x_{NP1_{123}}, y_{NP1_{123}})$, $l_{NP2_{123}} = (x_{NP2_{123}}, y_{NP2_{123}})$, $l_{NP3_{123}} = (x_{NP3_{123}}, y_{NP3_{123}})$ 로 표현하면 삼각형 $IA_{123}(S_1)$ 의 면적은 다음과 같이 계산된다.

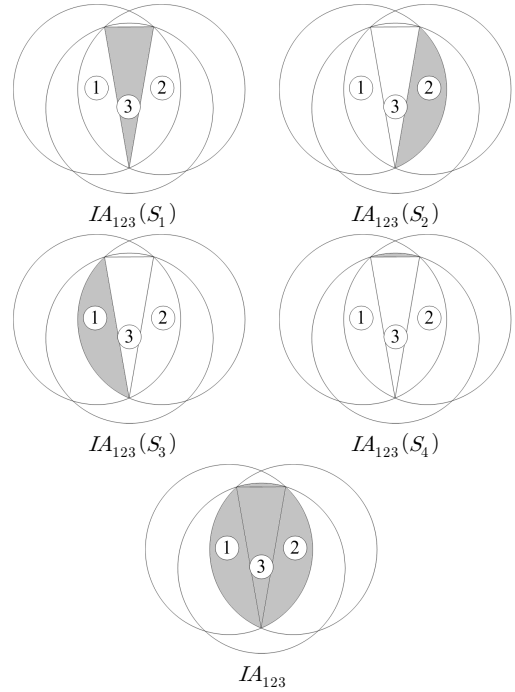


그림 10. IA_{123} 영역 계산
Fig. 10. Calculation of an area IA_{123}

$$\begin{aligned}
 IA_{123}(S_1) &= \\
 &= \frac{1}{4} \sqrt{(a+b+c)(a+b-c)(b+c-a)(c+a-b)}
 \end{aligned}$$

where

$$a = \|l_{NP1_{123}} l_{NP2_{123}}\|, \quad b = \|l_{NP1_{123}} l_{NP3_{123}}\|, \quad c = \|l_{NP2_{123}} l_{NP3_{123}}\| \tag{20}$$

$IA_{123}(S_2)$, $IA_{123}(S_3)$, $IA_{123}(S_4)$ 의 면적은 부채꼴 면적에서 삼각형 면적을 뺀 값으로 다음과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned}
 IA_{123}(S_2) &= \frac{1}{2} R^2 \theta_1 - \frac{1}{2} R^2 \sin \theta_1, \\
 \text{where } \theta_1 &= \cos^{-1} \left(\frac{l_1 l_{NP1_{123}} \cdot l_1 l_{NP3_{123}}}{R^2} \right)
 \end{aligned} \tag{21}$$

$$\begin{aligned}
 IA_{123}(S_3) &= \frac{1}{2} R^2 \theta_2 - \frac{1}{2} R^2 \sin \theta_2, \\
 \text{where } \theta_2 &= \cos^{-1} \left(\frac{l_2 l_{NP2_{123}} \cdot l_2 l_{NP1_{123}}}{R^2} \right)
 \end{aligned} \tag{22}$$

$$IA_{123}(S_4) = \frac{1}{2}R^2\theta_3 - \frac{1}{2}R^2\sin\theta_3,$$

$$\text{where } \theta_3 = \cos^{-1}\left(\frac{\overrightarrow{l_3 l_{NP2_{123}}} \cdot \overrightarrow{l_3 l_{NP3_{123}}}}{R^2}\right) \quad (23)$$

따라서 수식 (20), (21), (22), (23)을 수식(19)에 대입하면 세 노드가 갖는 전송반경 내에 겹치는 영역 (IA_{123})은 아래와 같이 계산된다.

$$IA_{123} = \frac{1}{4}\sqrt{(a+b+c)(a+b-c)(b+c-a)(c+a-b)} + \frac{1}{2}R^2(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3 - \sin\theta_1 - \sin\theta_2 - \sin\theta_3)$$

where

$$a = |l_{NP1_{123}} l_{NP2_{123}}|, \theta_1 = \cos^{-1}\left(\frac{\overrightarrow{l_1 l_{NP1_{123}}} \cdot \overrightarrow{l_1 l_{NP3_{123}}}}{R^2}\right),$$

$$b = |l_{NP1_{123}} l_{NP3_{123}}|, \theta_2 = \cos^{-1}\left(\frac{\overrightarrow{l_2 l_{NP2_{123}}} \cdot \overrightarrow{l_2 l_{NP1_{123}}}}{R^2}\right),$$

$$c = |l_{NP2_{123}} l_{NP3_{123}}|, \theta_3 = \cos^{-1}\left(\frac{\overrightarrow{l_3 l_{NP2_{123}}} \cdot \overrightarrow{l_3 l_{NP3_{123}}}}{R^2}\right) \quad (24)$$

수식 (24), (9), (10)을 수식 (15)에 대입하면 Case3에 대한 노드 3의 추가적인 커버리지 (AC_{Case3})는 아래와 같이 계산된다.

$$AC_{Case3} = R^2\left(\pi - 2\cos^{-1}\left(\frac{d_{13}}{2R}\right) - 2\cos^{-1}\left(\frac{d_{23}}{2R}\right)\right) + \frac{R^2}{2}(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3 - \sin\theta_1 - \sin\theta_2 - \sin\theta_3) + \frac{d_{13}\sqrt{4R^2 - d_{13}^2}}{2} + \frac{d_{23}\sqrt{4R^2 - d_{23}^2}}{2} + \frac{1}{4}\sqrt{(a+b+c)(a+b-c)(b+c-a)(c+a-b)}$$

where

$$a = |l_{NP1_{123}} l_{NP2_{123}}|, \theta_1 = \cos^{-1}\left(\frac{\overrightarrow{l_1 l_{NP1_{123}}} \cdot \overrightarrow{l_1 l_{NP3_{123}}}}{R^2}\right),$$

$$b = |l_{NP1_{123}} l_{NP3_{123}}|, \theta_2 = \cos^{-1}\left(\frac{\overrightarrow{l_2 l_{NP2_{123}}} \cdot \overrightarrow{l_2 l_{NP1_{123}}}}{R^2}\right),$$

$$c = |l_{NP2_{123}} l_{NP3_{123}}|, \theta_3 = \cos^{-1}\left(\frac{\overrightarrow{l_3 l_{NP2_{123}}} \cdot \overrightarrow{l_3 l_{NP3_{123}}}}{R^2}\right) \quad (25)$$

3.2 추가적인 커버리지 정보, 거리 정보, 배터리 잔량 정보, 밀집도 정보를 고려한 임의 접속 지연 (RAD) 값 결정 기법

그림 11에서와 같이 노드 3의 추가적인 커버리지 최대값 (Maximum Additional Coverage, AC_{max})은 $d_{12} = d_{13} = d_{23} = R$ 인 경우이다.

따라서 추가적인 커버리지 최대값 (AC_{max})은 수식 (25)에 $d_{12} = d_{13} = d_{23} = R$ 을 대입한 값으로 다음과 같이 계산된다.

$$AC_{max} = \frac{\pi R^2}{6} + \frac{\sqrt{3}R^2}{2} \quad (26)$$

더 넓은 영역을 추가로 커버할 수 있는 노드가 먼저 리브로드캐스팅을 수행하기 위해 노드 k 의 추가적인 커버리지 (AC_k)를 고려한 임의의 접속 지연 RAD_C 를 다음과 같이 정의하였다.

$$RAD_C = rand_C[0,1] * \left(1 - \frac{AC_k}{AC_{max}}\right) \quad (27)$$

송신 노드와 수신 노드 사이의 최대 거리 (D)는 $D = R$ 인 경우이다. 송신 노드 3과의 거리가 먼 노드가 먼저 리브로드캐스팅을 수행하기 위해 노드 k 의 거리 정보 (d_{sk})를 고려한 임의의 접속 지연 RAD_D 를 다음과 같이 정의한다.

$$RAD_D = rand_D[0,1] * \left(1 - \frac{d_{sk}}{D}\right) \quad (28)$$

노드의 최대 배터리 잔량은 (E_{max})은 최대 충전 시 배터리 양이다. 배터리 잔량이 높은 노드가 먼저 리브로드캐스팅을 수행하기 위해 노드 k 의 배터리잔량 (E_k) 정보를 고려한 임의의 접속 지연 RAD_B 를 다음

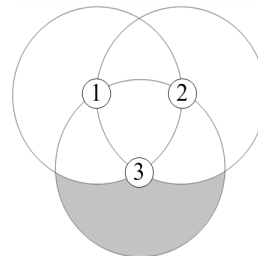


그림 11. 추가적인 커버리지의 최대값
Fig. 11. Maximum value of additional coverage

과 같이 정의한다.

$$RAD_B = rand_B[0,1] * \left(1 - \frac{E_k}{E_{max}}\right) \quad (29)$$

II장에서 설명한바와 같이 접근성을 높이는 것과 배터리 효율 간에는 트레이드오프 관계를 갖는다. 이에 접근성을 높이기 위한 변수 RAD_C , RAD_D 과, 배터리 효율을 높이기 위한 변수 RAD_E 로 임의의 접속 지연 RAD 를 아래와 같이 정의하였다.

$$RAD = (1-w)(RAD_D + RAD_C) + wRAD_E \quad (30)$$

이때 w 는 $[0,1]$ 사이의 값을 갖는 가중치 파라미터이다. 노드 k 의 이웃 노드 수를 $N_{k_{neighbor}}$ 로, 네트워크 전체 노드수를 N_{max} 로 정의할 때 w 는 다음과 같이 정의한다.

$$w = \frac{N_{k_{neighbor}}}{N_{max}} \quad (31)$$

즉 밀집도가 높은 지역의 노드는 네트워크 생존 시간을 연장하기 위해 배터리 잔량이 많은 노드가 먼저 리브로드캐스팅을 수행하고, 밀집도가 낮은 지역의 노드는 높은 접근성을 가지 위해 멀리 떨어져있는 노드가 가장 빨리 리브로드캐스팅을 수행한다.

3.3 밀집도 정보와 배터리 잔량을 고려한 계수 임계값 (C_{th}^k) 값 결정 기법

계수 기반의 브로드캐스트 기법에서는 동일한 메시지를 받은 횟수에 따라 리브로드캐스트 여부를 결정하기 때문에 계수 임계값을 정의하는 것이 중요하다. 계수 임계값이 크게 설정되면 리브로드캐스트에 참여하는 노드 수가 늘어나 네트워크상의 노드들의 배터리 소모가 커지지만 접근성이 높아지는 트레이드오프 관계를 갖는다. 이에 접근성을 높이면서 노드들의 배터리 소모를 줄이기 위한 노드 k 의 계수 임계값 (C_{th}^k)을 다음과 같이 정의한다.

$$C_{th}^k = C_{min} + [(C_{max} - C_{min}) \times c_k] \quad (32)$$

이때 C_{min} 은 최소 계수 임계값을, C_{max} 는 최대 계수 임계값으로 정의하며, c_k 는 다음과 같이 정의한다.

$$c_k = \begin{cases} \frac{E_k}{E_{max}}, & N_{k_{neighbor}} > N_{avg} \\ 1 - \frac{N_{k_{neighbor}}}{N_{max}}, & otherwise \end{cases} \quad (33)$$

이때 N_{avg} 는 이웃 노드의 평균수를 의미한다. 즉, 밀집도가 높은 지역에서는 네트워크 생존시간 연장을 위해 에너지 잔량이 높은 노드가 먼저 리브로드캐스트를 하고, 밀집도가 낮은 지역에서는 접근성을 높이기 위해 밀집도가 높은 노드가 먼저 리브로드캐스트를 수행한다.

IV. 시뮬레이션 결과 및 성능평가

4.1 시뮬레이션 환경

앞에서 정의한 임의의 접속지연 (RAD)과 계수 임계값 (C_{th}^k)을 통해 높은 접근성과 에너지 효율적인 브로드캐스팅이 가능할 것으로 판단되며, 이를 확인하기 위해서 제안하는 계수기반 브로드캐스팅 기법 (Proposed)과 메시지를 수신한 노드들의 계수 임계값이 최대 계수 임계값 C_{max} 보다 작으면 리브로드캐스트를 수행하는 가장 단순한 계수기반 브로드캐스팅 기법 (Counter), II장에서 소개한 기준에 제안된 거리 정보 기반의 계수기반 브로드캐스팅 기법 (Distance), 밀집도를 고려한 계수기반 브로드캐스팅 기법 (Density), 배터리 잔량을 고려한 계수기반 브로드캐스팅 기법 (Energy)과 각각 성능 평가를 수행하였다. 본 논문에서 사용한 시뮬레이션 파라미터는 표 1과 같다.

표 1. 시뮬레이션 파라미터
Table 1. Simulation Parameter

Parameter	Value
Simulator	Visual Studio(c/c++)
Topology	Ad-hoc network
Network size	500×500m ²
Max transmission range	100m
Number of nodes	120
Packet type	CBR packet
Packet generation period	1sec
C_{min}	1
C_{max}	3, 4, 5
Simulation run time	10min
Energy distribution (max)	80~100(100), Uniform random distribution
Iteration	500

4.2 시뮬레이션 평가 지표

4.2.1 패킷절약비율 (Saved ReBroadcast, SRB)

동일한 브로드캐스팅 혹은 리브로드캐스팅 메시지를 수신 받은 노드의 수를 N_{RB} 로, 해당 메시지를 리브로드캐스팅한 송신 노드의 수를 N_{TB} 로 정의하면, 패킷절약비율은 $1 - N_{TB}/N_{RB}$ 로 정의된다.

4.2.2 접근가능성 (Reachability)

동일한 브로드캐스팅 혹은 리브로드캐스팅 메시지를 수신 받은 노드의 수를 N_{RB} 로, 전체 네트워크상의 노드 중 직간접적으로 도달 할 수 있는 노드의 수를 N_R 로 정의하면, 접근가능성은 N_{RB}/N_R 로 정의된다.

4.2.3 전체 에너지 소모량 (Total Energy Consumption, TEC)

네트워크에 있는 모든 노드들이 소모하는 총 에너지 사용량으로 정의한다.

4.3 시뮬레이션 결과

그림 12는 계수 임계값의 최대값 (C_{max})이 각각 3,

4, 5일 때, 밀집도 분산 (variance)에 따른 패킷절약비율의 결과를 나타낸다. 밀집도 분산은 이웃 노드의 밀집도를 나타내는 값으로 밀집도 분산이 작을수록 노드들이 고르게 분포되어있는 것을 의미하며, 밀집도 분산이 클수록 특정 지역에 많은 노드들이 분포되어 있는 것을 의미한다. 5가지 알고리즘에서 전반적으로 밀집도 분산이 커짐에 따라 패킷절약비율이 증가 하는 것을 알 수 있는데 이는 밀집도가 높은 지역에서 패킷절약비율이 증가하기 때문이다. 제안하는 브로드캐스팅 기법이 가장 높은 패킷절약비율을 보이는 것을 알 수 있다.

그림 13은 계수 임계값의 최대값 (C_{max})이 각각 3, 4, 5일 때, 밀집도 분산에 따른 접근가능성을 나타낸다. 밀집도 분산이 커짐에 따라 접근가능성이 낮아지는데 이는 밀집도가 낮은 지역에 위치한 노드들에게 패킷 전송의 단절이 발생하기 때문이다. 배터리 잔량을 고려한 브로드캐스팅 기법이 접근가능성이 가장 낮은 것을 알 수 있었고, 제안하는 기법과 기존의 4가지 기법은 비슷한 수준의 접근가능성을 갖는 것을 알 수 있다.

그림 14는 계수 임계값의 최대값 (C_{max})이 각각 3, 4, 5일 때, 밀집도 분산에 따른 에너지 총 사용량을 나

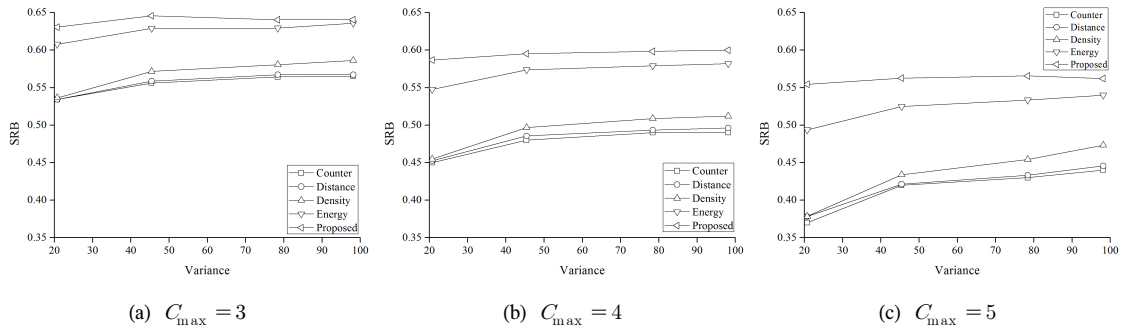


그림 12. 이웃노드의 밀집도 분산의 변화에 따른 패킷절약비율
Fig. 12. The SBR as a function of variance

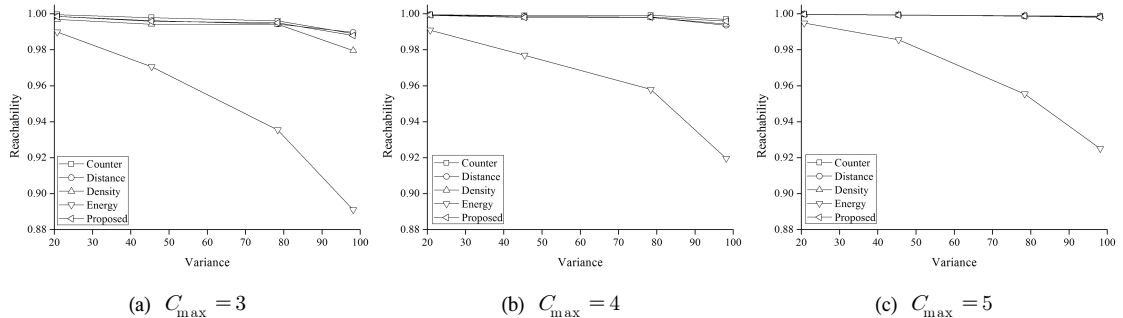


그림 13. 이웃노드의 밀집도 분산의 변화에 따른 접근가능성
Fig. 13. The reachability as a function of variance

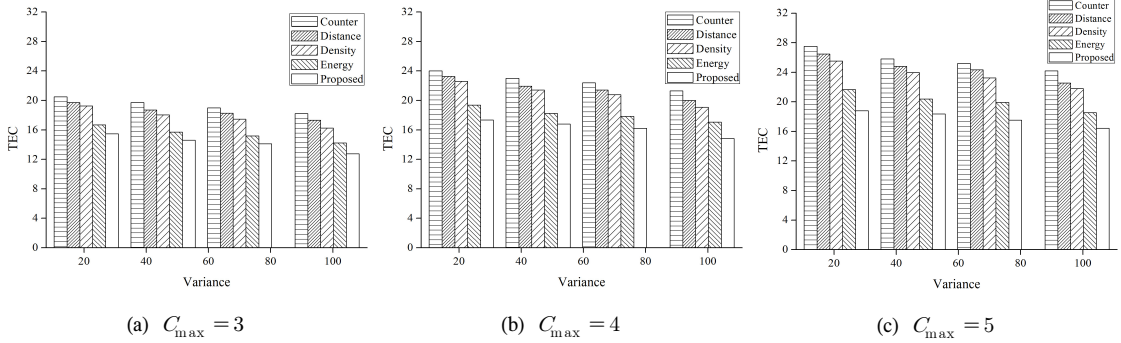


그림 14. 이웃노드의 밀집도 분산의 변화에 따른 에너지 총 사용량
Fig. 14. The TEC as a function of variance

타낸다. 밀집도 분산이 커짐에 따라 에너지 총 사용량이 감소하는 것을 알 수 있는데 이는 밀집도가 높은 지역에서 에너지 사용량이 감소하기 때문이다. 에너지 총 사용량 측면에서 제안하는 브로드캐스팅 기법이 가장 높은 성능을 보이는 것을 알 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 중복된 브로드캐스팅 메시지를 수신 받은 노드들 중에서 더 넓은 영역을 추가로 커버할 수 있는 노드가 리브로드캐스팅을 수행할 수 있도록, 두 노드로부터 동일한 브로드캐스팅 메시지를 수신한 노드가 리브로드캐스팅 시 얻을 수 있는 추가적인 커버리지를 계산하는 방법을 제안하였다. 또한, 밀집도가 높은 지역의 노드는 네트워크 생존시간을 연장하기 위해 배터리 잔량이 많은 노드가 먼저 리브로드캐스팅을 수행하고, 밀집도가 낮은 지역의 노드는 높은 접근성을 갖기 위해 멀리 떨어져있는 노드가 가장 빨리 리브로드캐스팅을 수행하게 하기 위해서 계산된 추가적인 커버리지와 거리정보, 배터리 잔량, 밀집도 정보를 고려한 임의의 접속 지연 (RAD)를 결정하는 수식을 제안하였고, 밀집도 정보와 배터리 잔량을 고려하여 계수 임계값 (C_{th}) 결정하는 수식을 제안하였다.

시뮬레이션을 통해 제안하는 브로드캐스팅 기법이 접근가능성은 기존에 제안된 기법과 비슷한 수준을 유지하면서 높은 패킷전달비율과 낮은 배터리 소모를 하는 것을 확인하였다. 따라서 애드 혹 네트워크 환경에서 제안하는 브로드캐스팅 기법을 적용 시 중복성과 충돌을 줄이면서, 높은 접근성을 가지며, 단말기의 배터리 소모를 줄여 네트워크 생존시간을 최대화 할 수 있는 서비스가 가능할 것이다.

References

- [1] Y. Bi, H. Shan, X. S. Shen, N. Wang, and H. Zhao, "A multi-hop broadcast protocol for emergency message dissemination in urban vehicular ad hoc networks," *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, vol. 17, no. 3, pp. 736-750, Mar. 2016.
- [2] B. Ko, I. Byun, D. Rhee, K. Jeon, B. Kim, S. Lee, and K. Kim, "Distributed multi hop relay scheme to reduce delay constrained broadcast outage probability," *J. KICS*, vol. 38C, no. 02, pp. 219-226, Mar. 2016.
- [3] D. G. Reina, S. L. Toral, P. Johnson, and F. Barrero, "A survey on probabilistic broadcast schemes for wireless ad hoc networks," *Ad Hoc Netw.*, vol. 25, Part A, pp. 263-292, Feb. 2015.
- [4] P. V. Patel and B. kadhivala, "Broadcasting techniques for route discovery in mobile adhoc network - A survey," *INDIACom*, pp. 16-18, Mar. 2016.
- [5] S. Ko, J. Jeong, and S. Kim "A strike and bargaining routing algorithm for energy-efficient wireless sensor networks," *J. KICS*, vol. 37B, no. 12, pp. 1186-1194, Jan. 2013.
- [6] C. Chen, Hsinchu, C. Hsu, and H. Wang "A distance-aware counter-based broadcast scheme for wireless ad hoc networks" *MILCOM*, vol. 2, pp. 1052-1058, Oct. 2005.
- [7] A. H. Sarah Omar, "Neighbourhood-aware counter-based broadcast scheme for wireless

ad hoc networks,” *GLOBECOM Workshops*, pp. 1-6, Dec. 2008.

- [8] K. Utsu, H. Sano, T. Kassymov, H. Nishikawa, and H. Ishii, “A new dynamic counter-based broadcasting scheme for mobile ad hoc networks,” *Simulation Modelling Practice and Theory*, vol 19, no 1, pp. 553-563, Jan. 2011.
- [9] K. Utsu, H. Sano, T. Kassymov, H. Nishikawa, and H. Ishii, “Proposal on battery-aware counter-based flooding over ad hoc networks,” *Int. Conf. Parall. and Distrib. Process. Techniques and Appl.*, pp. 1-7, Jul. 2011.
- [10] K. Lee, K. Han, K. Cho, Y. Baek, and J. Kim, “An efficient broadcast scheme for disseminating emergency message in urban vehicular ad-hoc networks,” *J. KICS*, vol. 38C, no. 07, pp. 605-611, Aug. 2013.

정 지 영 (Ji-Young Jung)



2011년 2월 : 중앙대학교 전자
전기공학부 졸업
2013년 2월 : 중앙대학교 전자
전기공학과 석사
2013년 3월~현재 : 중앙대학교
전자전기공학과 박사과정
<관심분야> 생체모방 통신, 애
드 혹 네트워크, 저 전력 통신 프로토콜 등

서 동 윤 (Dong-Yoon Seo)



2012년 2월 : 중앙대학교 전자
전기공학부 졸업
2014년 2월 : 중앙대학교 전자
전기공학과 석사
2014년 7월~2016년 6월 : Inno
Wireless
2016년 8월~현재 : 롯데정보통신
<관심분야> 브로드캐스팅, 센서 네트워크 등

이 정 루 (Jung-Ryun Lee)



1995년 2월 : 서울대학교 수학과
졸업
1997년 2월 : 서울대학교 수학과
석사
2006년 8월 : KAIST 전기 및 전
자 공학과 박사
2008년 3월~현재 : 중앙대학교 전
자전기공학부 부교수
<관심 분야> 저전력 통신 프로토콜, 메쉬 네트워크,
네트워크 이동성, 생체모방 통신 등