



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2023년10월13일
(11) 등록번호 10-2589552
(24) 등록일자 2023년10월11일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H04L 45/00 (2022.01) H04B 3/54 (2006.01)
H04L 47/00 (2022.01)
(52) CPC특허분류
H04L 45/123 (2013.01)
H04B 3/544 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2021-0137588
(22) 출원일자 2021년10월15일
심사청구일자 2021년10월15일
(65) 공개번호 10-2023-0054036
(43) 공개일자 2023년04월24일
(56) 선행기술조사문헌
KR1020070007271 A*
KR1020210103628 A*
US20180167309 A1*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
중앙대학교 산학협력단
서울특별시 동작구 흑석로 84 (흑석동)
(72) 발명자
백정엽
서울특별시 강남구 선릉로 221, 211동 101호(도곡동, 도곡텍슬아파트)
박민규
인천광역시 연수구 원인재로 81, 4동 1504호(동춘동, 삼성력키아파트)
정건모
서울특별시 강남구 삼성로 212, 6동 201호(대치동, 은마아파트)
(74) 대리인
송인호, 최관락

전체 청구항 수 : 총 10 항

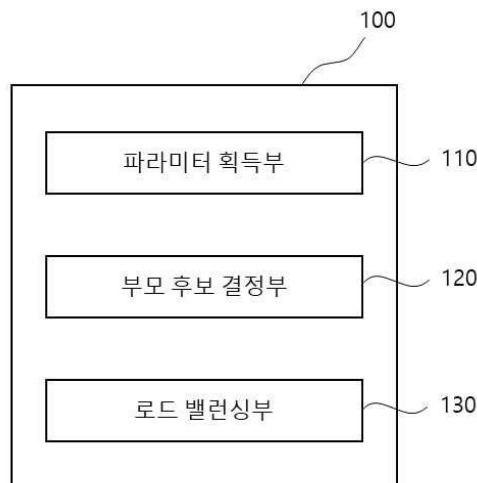
심사관 : 윤태섭

(54) 발명의 명칭 전력선 통신 네트워크에서의 RPL 프로토콜 성능 향상을 위한 경로 선택 방법 및 시스템

(57) 요약

전력선 통신 네트워크에서의 RPL 프로토콜 성능 향상을 위한 경로 선택 방법 및 시스템이 개시된다. 본 발명의 일 실시예에 따른 경로 선택 방법은 전력선 통신(PLC) 네트워크에 속하는 노드에서 수행되는 경로 선택 방법으로서, 상기 노드에서 연결되는 후보 경로에 대한 기대 전송횟수(ETX)를 획득하는 단계; 상기 후보 경로에 대한 다이버시티(diversity)를 획득하는 단계; 상기 다이버시티와 상기 기대 전송횟수를 이용하여 링크 상태를 결정하고, 부모 후보를 결정하는 단계; 경로 비용이 유사한 복수의 상기 부모 후보에 대해 현재 네트워크와의 경로 비용 차이를 비교하는 단계; 및 경로 비용 차이가 기준치 이상인 경우에는 로드 밸런싱을 적용하지 않고, 경로 비용 차이가 기준치 미만인 경우에는 로드 밸런싱을 통해 네트워크 전환 여부를 결정하는 단계를 포함할 수 있다.

대표도 - 도6



(52) CPC특허분류

H04L 45/127 (2013.01)

H04L 47/125 (2022.05)

H04B 2203/5445 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711127163
과제번호	2021R1A2C1008840
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	개인기초연구(과기정통부)(R&D)
연구과제명	첨단 차량 및 도로 시스템을 위한 지능형 시민감 통신/네트워크 기술
기여율	1/1
과제수행기관명	중앙대학교 산학협력단
연구기간	2021.03.01 ~ 2022.02.28

명세서

청구범위

청구항 1

전력선 통신(PLC) 네트워크에 속하는 노드에서 수행되는 경로 선택 방법으로서,

상기 노드에서 연결되는 후보 경로에 대한 기대 전송횟수(ETX)를 획득하는 단계;

상기 후보 경로에 대한 다이버시티(diversity) 값을 획득하는 단계;

상기 다이버시티 값과 상기 기대 전송횟수를 경로 메트릭으로 이용하여 링크 상태를 결정하고, 부모 후보를 결정하는 단계;

경로 비용이 유사한 복수의 상기 부모 후보에 대해 현재 네트워크와의 경로 비용 차이를 비교하는 단계; 및

경로 비용 차이가 기준치 이상인 경우에는 로드 밸런싱을 적용하지 않고, 경로 비용 차이가 기준치 미만인 경우에는 로드 밸런싱을 통해 네트워크 전환 여부를 결정하는 단계를 포함하되,

상기 기대 전송횟수는 채널 접근을 포함한 전체 논리적 데이터 전송횟수의 기대치로서 링크 계층 파라미터이고, 상기 다이버시티 값은 1번의 채널 접근에 대해 연속적으로 메시지를 반복하는 횟수로서 물리 계층 파라미터인 것을 특징으로 하는 전력선 통신 네트워크에서의 경로 선택 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 링크 상태와 상기 부모 후보를 결정하는 단계 이전에, 상기 다이버시티 값을 미리 지정된 범위 내로 스케일링 보정하는 단계를 더 포함하는 전력선 통신 네트워크에서의 경로 선택 방법.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 다이버시티 값은 $DV_c = \lfloor (DV_m/5) + 1 \rfloor$ 에 따라 스케일링되는 것을 특징으로 하는 전력선 통신 네트워크에서의 경로 선택 방법.

여기서, DV_c 는 보정된 다이버시티 값이고, DV_m 은 측정된 평균 다이버시티 값임.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 링크 상태와 상기 부모 후보를 결정하는 단계는 하기 수학식에 따라 링크 비용($Cost_{link}$) 및 경로 비용($Cost_{path}$)을 계산하는 PLC용 목적함수를 활용하는 것을 특징으로 하는 전력선 통신 네트워크에서의 경로 선택 방법.

$$Cost_{link} = DV_c \cdot ETX$$

$$Cost_{path} = \sum_{link \in path} Cost_{link}$$

청구항 5

삭제

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 로드 밸런싱을 적용하는 단계에서 다음 확률로 동전을 던져 네트워크의 변환 여부를 결정하는 것을 특징으로 하는 전력선 통신 네트워크에서의 경로 선택 방법.

$$Prob_{switch} = \frac{\alpha \times (Size_{current\ subtree} - Size_{another\ subtree})}{Size_{current\ subtree}}$$

여기서, α 는 현재 전력선 통신 네트워크에 연결된 노드의 고정성을 제어하기 위한 가중치이고, $Size_{current\ subtree}$ 는 현재 하위 트리의 크기이고, $Size_{another\ subtree}$ 는 비교되는 다른 하위 트리의 크기이며, $Prob_{switch}$ 는 네트워크 전환을 위한 확률임.

청구항 7

전력선 통신(PLC) 네트워크에 속하는 노드의 경로 선택 시스템으로서,

상기 노드에서 연결되는 후보 경로에 대한 기대 전송횟수(ETX)를 획득하고, 상기 후보 경로에 대한 다이버시티(diversity) 값을 획득하는 파라미터 획득부;

상기 다이버시티 값과 상기 기대 전송횟수를 경로 메트릭으로 이용하여 링크 상태를 결정하고, 부모 후보를 결정하는 부모 후보 결정부; 및

경로 비용이 유사한 복수의 상기 부모 후보에 대해 현재 네트워크와의 경로 비용 차이를 비교하고, 경로 비용 차이가 기준치 이상인 경우에는 로드 밸런싱을 적용하지 않고, 경로 비용 차이가 기준치 미만인 경우에는 로드 밸런싱을 통해 네트워크 전환 여부를 결정하는 로드 밸런싱부를 포함하되,

상기 기대 전송횟수는 채널 접근을 포함한 전체 논리적 데이터 전송횟수의 기대치로서 링크 계층 파라미터이고, 상기 다이버시티 값은 1번의 채널 접근에 대해 연속적으로 메시지를 반복하는 횟수로서 물리 계층 파라미터인 것을 특징으로 하는 전력선 통신 네트워크에 속하는 노드의 경로 선택 시스템.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 부모 후보 결정부는 상기 다이버시티 값을 미리 지정된 범위 내로 스케일링 보정하는 것을 특징으로 하는 전력선 통신 네트워크에 속하는 노드의 경로 선택 시스템.

청구항 9

제7항에 있어서,

상기 다이버시티 값은 $DV_c = \lfloor (DV_m/5) + 1 \rfloor$ 에 따라 스케일링되는 것을 특징으로 하는 전력선 통신 네트워크에 속하는 노드의 경로 선택 시스템.

여기서, DV_c 는 보정된 다이버시티 값이고, DV_m 은 측정된 평균 다이버시티 값임.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 부모 후보 결정부는 하기 수학식에 따라 링크 비용($Cost_{link}$) 및 경로 비용($Cost_{path}$)을 계산하는 PLC용 목적 함수를 활용하는 것을 특징으로 하는 전력선 통신 네트워크에 속하는 노드의 경로 선택 시스템.

$$Cost_{link} = DV_c \cdot ETX$$

$$Cost_{path} = \sum_{link \in path} Cost_{link}$$

청구항 11

삭제

청구항 12

제7항에 있어서,

상기 로드 밸런싱부는 다음 확률로 동전을 던져 네트워크의 변환 여부를 결정하는 것을 특징으로 하는 전력선 통신 네트워크에 속하는 노드의 경로 선택 시스템.

$$Prob_{switch} = \frac{\alpha \times (Size_{current subtree} - Size_{another subtree})}{Size_{current subtree}}$$

여기서, α 는 현재 전력선 통신 네트워크에 연결된 노드의 고정성을 제어하기 위한 가중치이고, $Size_{current subtree}$ 는 현재 하위 트리의 크기이고, $Size_{another subtree}$ 는 비교되는 다른 하위 트리의 크기이며, $Prob_{switch}$ 는 네트워크 전환을 위한 확률임.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 전력선 통신 네트워크에서의 RPL 프로토콜 성능 향상을 위한 경로 선택 방법 및 시스템에 관한 것이다.

배경 기술

[0003] 수많은 무선 IoT(사물인터넷) 장비들이 개발됨에 따라 제한된 무선자원이 점점 고갈되고 있다. 또한, 선박이나 철벽과 같은 전파가 통과하기 힘든 환경에서 무선 통신은 한계를 가지고 있다.

[0004] 이러한 이유로 전력선 통신(PLC: power line communication)은 사물인터넷 환경에서 무선 통신을 대체하기 위한 기술로 주목을 받고 있으며, 그 성능도 계속 발전하고 있다.

[0005] 전력선 통신은 전원 콘센트에 연결되는 전력선을 통해서 전기신호를 전달하는 기술로, 기존 이더넷과 같은 유선

통신보다 설치 및 운용에 있어 경제적이다.

[0006] 도 1은 주요 전력 사업자에서 구축하고 있는 IoT 기반의 전력선 통신(PLC)을 통한 스마트 그리드 AMI 시스템의 예를 보여주고 있다.

[0007] 이러한 이점에도 불구하고 전력선 통신(PLC)은 실제 IoT 애플리케이션에 사용하기 전에 고려해야 할 몇 가지 특성이 있다. 전력이 건물 전체에 걸쳐 끊임없이 연결된 것처럼 보이지만, PLC는 회로차단기(circuit breaker)와 변압기 등을 통과하지 못하여 게이트웨이, 릴레이, 리피터 등을 이용한 멀티홉 통신이 요구된다. 그리고 에어컨, 냉장고 등과 같이 많은 전력을 소비하면서도 시변하고 비대칭인 전력 사용량을 가지는 기기로부터 발생하는 간섭 및 잡음 때문에 수신 감도가 떨어지는 등 저전력 무선네트워크(LLN: low-power and lossy network)와 유사한 특성을 가지지만, 또한 통신 이외의 전력 사용으로 인한 추가적인 잡음, 간섭 및 비대칭에 노출되어 있는 특성을 가지고 있다.

[0008] 이러한 전력선 통신 네트워크의 특성으로 인해 전력선 통신 단말기는 목적지까지 도달하기 위해 멀티홉을 거치는 경로를 설정하는 라우팅 알고리즘이 필요하며, LLN에서 주로 사용되는 RPL(IPv6 routing protocol for LLN)에 접목하고자 하는 시도가 있다. 하지만, RPL이 전력선 통신의 고유한 특성을 반영하지 않기 때문에 상당한 신뢰성 손실을 겪는 문제점이 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0010] (특허문헌 0001) 한국등록특허 제10-0853998호 (2008.08.19. 등록) - 전력선 통신에서의 데이터 전송경로 라우팅 방법

발명의 내용

해결하려는 과제

[0011] 본 발명은 전력선 통신 네트워크에서 RPL을 운영하기 위해 PLC 물리 계층에서 사용되는 다이버시티(diversity)를 링크 메트릭(혹은 경로 메트릭)으로 접목한 목적 함수를 이용하여 최적 경로를 선택할 수 있는 전력선 통신 네트워크에서의 RPL 프로토콜 성능 향상을 위한 경로 선택 방법 및 시스템을 제공하기 위한 것이다.

[0012] 본 발명의 이외의 목적들은 하기의 설명을 통해 쉽게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

[0014] 본 발명의 일 측면에 따르면, 전력선 통신(PLC) 네트워크에 속하는 노드에서 수행되는 경로 선택 방법으로서, 상기 노드에서 연결되는 후보 경로에 대한 기대 전송횟수(ETX)를 획득하는 단계; 상기 후보 경로에 대한 다이버시티(diversity)를 획득하는 단계; 상기 다이버시티와 상기 기대 전송횟수를 이용하여 링크 상태를 결정하고, 부모 후보를 결정하는 단계; 경로 비용이 유사한 복수의 상기 부모 후보에 대해 현재 네트워크와의 경로 비용 차이를 비교하는 단계; 및 경로 비용 차이가 기준치 이상인 경우에는 로드 밸런싱을 적용하지 않고, 경로 비용 차이가 기준치 미만인 경우에는 로드 밸런싱을 통해 네트워크 전환 여부를 결정하는 단계를 포함하는 전력선 통신 네트워크에서의 경로 선택 방법이 제공된다.

[0015] 상기 링크 상태와 상기 부모 후보를 결정하는 단계 이전에, 상기 다이버시티를 미리 지정된 범위 내로 스케일링 보정하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0016] 상기 다이버시티는 $DV_c = \lfloor (DV_m/5) + 1 \rfloor$ 에 따라 스케일링될 수 있다. 여기서, DV_c 는 보정된 다이버시티이고, DV_m 은 측정된 평균 다이버시티이다.

[0017] 상기 링크 상태와 상기 부모 후보를 결정하는 단계는 하기 수학식에 따라 링크 비용($Cost_{link}$) 및 경로 비용($Cost_{path}$)을 계산하는 PLC용 목적함수를 활용할 수 있다.

$$Cost_{link} = DV_c \cdot ETX$$

$$Cost_{path} = \sum_{link \in path} Cost_{link}$$

[0018]

[0019]

상기 기대 전송횟수는 채널 접근을 포함한 전체 논리적 데이터 전송횟수의 기대치로서 링크 계층 파라미터이고, 상기 다이버시티는 1번의 채널 접근에 대해 연속적으로 메시지를 반복하는 횟수로서 물리 계층 파라미터일 수 있다.

[0020]

상기 로드 밸런싱을 적용하는 단계에서 다음 확률로 동전을 던져 네트워크의 변환 여부를 결정할 수 있다.

$$Prob_{switch} = \frac{\alpha \times (Size_{current subtree} - Size_{another subtree})}{Size_{current subtree}}$$

[0021]

[0022]

여기서, α 는 현재 전력선 통신 네트워크에 연결된 노드의 고정성을 제어하기 위한 가중치이고, $Size_{current subtree}$ 는 현재 하위 트리의 크기이고, $Size_{another subtree}$ 는 비교되는 다른 하위 트리의 크기이며, $Prob_{switch}$ 는 네트워크 전환을 위한 확률이다.

[0023]

한편 본 발명의 다른 측면에 따르면, 전력선 통신(PLC) 네트워크에 속하는 노드의 경로 선택 시스템으로서, 상기 노드에서 연결되는 후보 경로에 대한 기대 전송횟수(ETX)를 획득하고, 상기 후보 경로에 대한 다이버시티(diversity)를 획득하는 파라미터 획득부; 상기 다이버시티와 상기 기대 전송횟수를 이용하여 링크 상태를 결정하고, 부모 후보를 결정하는 부모 후보 결정부; 및 경로 비용이 유사한 복수의 상기 부모 후보에 대해 현재 네트워크와의 경로 비용 차이를 비교하고, 경로 비용 차이가 기준치 이상인 경우에는 로드 밸런싱을 적용하지 않고, 경로 비용 차이가 기준치 미만인 경우에는 로드 밸런싱을 통해 네트워크 전환 여부를 결정하는 로드 밸런싱부를 포함하는 전력선 통신 네트워크에 속하는 노드의 경로 선택 시스템이 제공된다.

[0024]

상기 부모 후보 결정부는 상기 다이버시티를 미리 지정된 범위 내로 스케일링 보정할 수 있다.

[0025]

상기 부모 후보 결정부는 지정된 수학적식에 따라 링크 비용($Cost_{link}$) 및 경로 비용($Cost_{path}$)을 계산하는 PLC용 목적함수를 활용할 수 있다.

[0026]

상기 로드 밸런싱부는 다음 확률로 동전을 던져 네트워크의 변환 여부를 결정할 수 있다.

$$Prob_{switch} = \frac{\alpha \times (Size_{current subtree} - Size_{another subtree})}{Size_{current subtree}}$$

[0027]

[0028]

여기서, α 는 현재 전력선 통신 네트워크에 연결된 노드의 고정성을 제어하기 위한 가중치이고, $Size_{current subtree}$ 는 현재 하위 트리의 크기이고, $Size_{another subtree}$ 는 비교되는 다른 하위 트리의 크기이며, $Prob_{switch}$ 는 네트워크 전환을 위한 확률이다.

[0029]

전술한 것 외의 다른 측면, 특징, 이점이 이하의 도면, 특허청구범위 및 발명의 상세한 설명으로부터 명확해질 것이다.

발명의 효과

[0031]

본 발명의 실시예에 따르면, 전력선 통신 네트워크에서 RPL을 운영하기 위해 PLC 물리 계층에서 사용되는 다이버시티를 링크 매트릭(혹은 경로 매트릭)으로 접목한 목적 함수를 이용하여 최적 경로를 선택할 수 있는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

[0033]

도 1은 주요 전력 사업자에서 구축하고 있는 IoT 기반의 전력선 통신(PLC)을 통한 스마트 그리드 AMI 시스템의 예시도,

- 도 2는 무선 환경과 PLC 환경에서의 IoT 스택 아키텍처를 나타낸 도면,
- 도 3은 PLC 테스트베드의 예시도,
- 도 4는 도 3에 도시된 노드 31의 링크 신뢰성을 나타낸 그래프,
- 도 5는 PLC 네트워크를 통한 기본 목적함수의 성능을 나타낸 도면,
- 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 전력선 통신 네트워크에서의 RPL 프로토콜 성능 향상을 위한 경로 선택 시스템의 구성 블록도,
- 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 전력선 통신 네트워크에서의 RPL 프로토콜 성능 향상을 위한 경로 선택 방법의 순서도,
- 도 8은 성공적인 패킷 전달을 위해 요구되는 시간을 나타내는 도면,
- 도 9는 PLC 장치의 예시도,
- 도 10은 각 목적함수에서 RPL에 의해 구축된 라우팅 토폴로지,
- 도 11은 7.5 패킷/초의 노드 데이터 생성률에서 3가지 목적함수에 대한 각 노드의 PRR 그래프,
- 도 12는 다양한 데이터 전송률에 대한 3가지 목적함수의 각 노드에서의 PRR 그래프(평균 및 오차 막대),
- 도 13은 다양한 데이터 전송률에 대한 3가지 목적함수의 각 노드에서의 상대 채널 사용량 그래프(평균 및 오차 막대),
- 도 14는 네트워크 장애 상황에서의 PRR 그래프,
- 도 15는 각 목적함수의 라우팅 토폴로지.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0034] 본 발명은 다양한 변경을 가할 수 있고 여러 가지 실시예를 가질 수 있는 바, 특정 실시예들을 도면에 예시하고 상세하게 설명하고자 한다. 그러나 이는 본 발명을 특정한 실시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변경, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다.
- [0035] 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "연결되어" 있다거나 "접속되어" 있다고 언급된 때에는, 그 다른 구성요소에 직접적으로 연결되어 있거나 또는 접속되어 있을 수도 있지만, 중간에 다른 구성요소가 존재할 수도 있다고 이해되어야 할 것이다. 반면에, 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "직접 연결되어" 있다거나 "직접 접속되어" 있다고 언급된 때에는, 중간에 다른 구성요소가 존재하지 않는 것으로 이해되어야 할 것이다.
- [0036] 제1, 제2 등의 용어는 다양한 구성요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 상기 구성요소들은 상기 용어들에 의해 한정되어서는 안 된다. 상기 용어들은 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하는 목적으로만 사용된다.
- [0037] 본 명세서에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시예를 설명하기 위해 사용된 것으로, 본 발명을 한정하려는 의도가 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 명세서에서, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 명세서상에 기재된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.
- [0038] 또한, 각 도면을 참조하여 설명하는 실시예의 구성 요소가 해당 실시예에만 제한적으로 적용되는 것은 아니며, 본 발명의 기술적 사상이 유지되는 범위 내에서 다른 실시예에 포함되도록 구현될 수 있으며, 또한 별도의 설명이 생략될지라도 복수의 실시예가 통합된 하나의 실시예로 다시 구현될 수도 있음은 당연하다.
- [0039] 또한, 첨부 도면을 참조하여 설명함에 있어, 도면 부호에 관계없이 동일한 구성 요소는 동일하거나 관련된 참조 부호를 부여하고 이에 대한 중복되는 설명은 생략하기로 한다. 본 발명을 설명함에 있어서 관련된 공지 기술에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우 그 상세한 설명을 생략한다.
- [0040] 또한, 명세서에 기재된 "...부", "...유닛", "...모듈", "...기" 등의 용어는 적어도 하나의 기능이나 동작을 처리

하는 단위를 의미하며, 이는 하드웨어나 소프트웨어 또는 하드웨어 및 소프트웨어의 결합으로 구현될 수 있다.

- [0042] 도 2는 무선 환경과 PLC 환경에서의 IoT 스택 아키텍처를 나타낸 도면이고, 도 3은 PLC 테스트베드의 예시도이며, 도 4는 도 3에 도시된 노드 31의 링크 신뢰성을 나타낸 그래프이고, 도 5는 PLC 네트워크를 통한 기본 목적함수의 성능을 나타낸 도면이며, 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 전력선 통신 네트워크에서의 RPL 프로토콜 성능 향상을 위한 경로 선택 시스템의 구성 블록도이고, 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 전력선 통신 네트워크에서의 RPL 프로토콜 성능 향상을 위한 경로 선택 방법의 순서도이다.
- [0043] 전력선 통신 네트워크의 경우 LLN 환경과 유사한 특성으로 인해 멀티홉 라우팅 프로토콜을 사용할 수 있다.
- [0044] RPL에서 기기는 목적함수(OF: objective function)라는 미리 정의된 결정 규칙을 기반으로 경로를 선택하고 최적화한다. RPL 표준 자체는 호환성을 위해 기본 OF zero(OF0)만을 정의하고 있다. 이외 MRHOF(minimum rank with hysteresis objective function, 히스테리시스 목적함수가 있는 최소 순위)와 같은 더 나은 목적함수로 대체되는 경우가 많다. 하지만, 이는 'IEEE 802.15.4 무선' 링크를 기반으로 설계된 한계가 있다.
- [0045] 따라서, 이하 본 명세서에서는 IEEE 802.15.4 또는 기타 무선과 구별되는 전력선 통신(PLC) 네트워크의 고유 특성을 반영하기 위한 새로운 목적함수(PLC-OF)에 대해 설명하기로 한다.
- [0046] 본 발명의 일 실시예에 따른 전력선 통신 네트워크에서의 RPL 프로토콜 성능 향상을 위한 경로 선택 방법 및 시스템에서는 PLC 환경에 적합한 RPL용 목적함수(PLC-OF)를 이용할 수 있다.
- [0047] 본 실시예에 따른 PLC 목적함수(PLC-OF)는 무선의 다른 접근 방식과 구별되는 라우팅 메트릭(routing metric)으로 PLC의 물리 계층(PHY) 다이버시티(diversity)를 활용하며, 전력선의 갑작스러운 간섭이나 혼잡에 대비하기 위해 가장 차분한 경로(calmer path)를 찾는다. 이는 PLC가 링크 품질에 민감하게 변화하고, 데이터 속도(예컨대, 최대 15배)에 직접적인 영향을 미치는 안정적인 데이터 전달을 위해 다이버시티 기능을 사용하는 것을 기반으로 한다. PLC 목적함수는 더 높은 데이터 전송률을 달성할 뿐만 아니라 버스트, 혼잡 및 부하 불균형을 방지하기 위해 이러한 다이버시티를 고려할 수 있다.
- [0048] PLC 네트워크는 몇 가지 측면에서 LLN과 유사하다. 따라서, 많은 실제 IoT-PLC 네트워크 스택 아키텍처는 도 2에 도시된 것과 같이 PHY 계층을 제외하고 IEEE 802.15.4 기반 LLN과 유사하도록 설계되었다.
- [0049] 하지만, 두 PHY 계층의 잡음 특성은 서로 다르다. PLC 네트워크의 잡음은 일반적으로 덜 자주 변하지만, 전자기기의 온-오프 사용에 영향을 받기 때문에 무선보다 순간 진폭이 훨씬 크다.
- [0050] PLC 네트워크에서는 드물지만, 순간적인 잡음을 해결하기 위해 다이버시티라고 하는 PHY 계층 기술을 PLC 표준에서 지정하고 있다. PLC 송신기는 데이터 프레임을 전송할 때 반복 코드와 유사하게 다이버시티 값만큼 프레임의 페이로드 부분(PHY 헤더 제외)을 반복한다. PLC 송신기가 몇 번의 전송에 대해 ACK를 수신하지 못하면 링크 신뢰성을 향상시키기 위해 다이버시티 값을 높일 것이다. 그렇지 않고 PLC 송신기가 여러 번의 연속된 전송에 대해 ACK를 성공적으로 수신하면 채널 점유를 줄이고 효과적인 처리량을 향상시키기 위해 다이버시티 값을 줄인다. 표준에 따르면, 다이버시티 범위는 1에서 15 사이이며, 이는 유효 처리량이 최대 15배까지 다를 수 있음을 의미한다(개략적으로 헤더 부분을 고려하지 않음). 따라서, 심각한 잡음으로 인한 손실에 대비할 뿐만 아니라 더 높은 데이터 전송률을 달성하기 위해서는 명확한 채널을 찾는 것이 필요하다.
- [0051] RPL은 자원이 제한된 임베디드 장치로 구성된 손실 IoT 환경을 위한 인터넷 표준 IPv6 라우팅 프로토콜이다. 양방향 인터넷 연결을 지원하기 위해 루트(root)라는 경계 라우터에서 유사 포레스트 라우팅 토폴로지(quasi-forest routing topology)를 구성하는 거리 벡터 라우팅 프로토콜이다.
- [0052] RPL 노드는 목적함수라고 하는 미리 정의된 경로 선택 규칙에 따라 인접 노드 중에서 최적의 경로를 찾는다. 어떤 목적함수를 사용하느냐에 따라 RPL의 성능이 크게 달라지므로 목적함수는 RPL에서 중요한 역할을 한다.
- [0053] RPL 표준은 최소한의 호환성을 위해 모든 RPL 노드에서 구현되어야 하는 기본 목적함수(OF0(OF zero))를 지정한다. 이는 단순한 홉 수 기반 방식이므로, 링크 품질을 고려하지 않고 대부분의 실제 환경에서 이상적이지 않을 수 있는 루트로 가는 최단 경로를 선택한다. 후속 표준은 기본적으로 ETX를 라우팅 메트릭으로 사용하는 MRHOF를 정의하고 있다. 하지만, RPL 표준은 특정 목적함수 혹은 라우팅 메트릭을 사용할 것을 요구하지 않으며 구현에 있어 이 부분을 오픈 상태로 남겨두고 있다. 따라서, 광범위한 배포, 애플리케이션 및 네트워크 설계에 필요한 다양한 최적화 기준을 충족하는데 뛰어난 유연성을 제공한다.
- [0054] PLC의 링크 특성과 RPL 성능을 조사하기 위해 도 3에 도시된 것과 같이 12개 노드를 가지는 PLC 테스트베드에서

여러 실험을 수행해 보았다.

- [0055] 시간 경과에 따른 링크 신뢰성(link reliability) : 2일 동안 모든 장치 쌍에 대해 단일홉 링크 품질을 측정했다. 실험에서 각 노드는 이웃 노드를 선택하여 10초 동안 초당 프레임을 교환하고 이를 몇 분 간격으로 반복한다.
- [0056] 링크 패킷 수신 비율(PRR) 결과가 도 4에 도시되어 있다. 도 4의 (a)는 각 방향에서 PRR이 0(zero)이 아닌 모든 링크의 평균 PRR이다. 즉, 양방향으로 서로 도달한 적이 없는 링크(0%)는 제외한다. 종합 링크 품질은 대부분의 시간 동안 안정적이었지만 몇 시간에 걸쳐 몇 가지 급격한 변화가 있었음을 보여준다. 이는 근처 서버를 켜고 꺼졌다. 또한, 반대 방향의 링크(업링크 및 다운링크로 표시됨)의 PRR은 매우 다를 수 있으며(약 30%까지), 도 4의 (b) 및 (c)에 도시된 것과 같이 시간에 따라 (최대 20%까지) 변할 수 있다. 특히 일부 링크는 한 방향으로만 통신을 허용한다(도 4의 (c) 참조). 이러한 결과는 PLC 링크가 비대칭 및 시변 특성을 가질 수 있음을 보여준다.
- [0057] RPL의 성능 : 기본적으로 기본 목적함수(OF0) 기반 RPL 노드는 루트에 대한 더 짧은 대체 경로가 없는 한 DIO 메시지(예: 라우팅 비컨)를 수신한 부모 노드를 선택한다. 그러나 비대칭으로 인해 노드에서 메시지를 수신한다고 해서 해당 노드에 메시지를 보낼 수 있다는 보장은 없다. 따라서, 노드가 해당 부모로부터 비컨 수신시(다운링크) 부모를 선택하더라도 노드는 해당 부모를 통해 루트에 도달하지 못할 수 있다(업링크). 이를 입증하기 위해 PLC 장치에서 기본 목적함수(OF0)로 RPL을 구현하고, 하나의 루트와 11개의 센서노드(각각은 루트를 향해 초당 고유 패킷을 전송함)로 구성된 테스트베드 네트워크에서 RPL 실험을 실행했다.
- [0058] 도 5는 이 실험의 결과를 보여준다. 도면에서 볼 수 있듯이 노드 23, 24 및 34의 신뢰도는 0%이다. 그들은 각각의 부모에게 링크에 있는 어떤 패킷도 전달할 수 없었다. 부모는 자식이 보낸 패킷을 받을 수 없고 자식 노드만 부모의 비콘을 들을 수 있기 때문이다. 즉, 기본 목적함수(OF0)는 부모 선택에서 링크 신뢰성이나 비대칭을 반영하지 않는다.
- [0059] 이는 실제 PLC 애플리케이션 및 배포에 RPL을 적용하기 위해서는 멀티홉 PLC 환경에 맞게 새로운 목적함수를 설계할 필요가 있음을 나타낸다. 따라서, 본 실시예에서는 PLC 네트워크의 특성에 적합하도록 다이버시티를 경로 선택을 위한 라우팅 메트릭으로 적용하는 것을 특징으로 한다.
- [0060] PLC 네트워크에서 낮은 다이버시티를 갖는 경로를 찾는 것은 신뢰성과 높은 데이터 전송률을 달성하는 것과 직접적인 관련이 있다. 기존에 무선 환경에서 기대 전송횟수(ETX: expected transmission count) 메트릭은 메시지를 전달하는데 필요한 전송횟수를 추정하는 유사한 목적으로 사용되었다. 본 실시예에서는 라우팅 메트릭으로 기대 전송횟수(ETX)를 사용하여 다이버시티를 보정 및 결합하고, PLC 네트워크를 위한 RPL용 PLC 목적함수(PLC-OF)를 설계하기 위해 로드 밸런싱 정책을 적용한다.
- [0061] 도 6에는 본 실시예에 따른 PLC 네트워크에서의 RPL 프로토콜 성능 향상을 위한 경로 선택 시스템(100)이 도시되어 있다. 경로 선택 시스템(100)은 PLC 네트워크에 속하는 각 노드에 하드웨어 타입, 소프트웨어 타입 혹은 이들의 결합으로 구현되어 적용될 수 있다.
- [0062] 본 실시예에 따른 경로 선택 시스템(100)은 파라미터 획득부(110), 부모 후보 결정부(120), 로드 밸런싱부(130)를 포함할 수 있다.
- [0063] 파라미터 획득부(110)는 해당 노드에서 연결가능한 후보 경로에 대해 현 시점의 PLC 네트워크의 특성을 반영한 목적함수에 요구되는 파라미터를 측정하여 획득한다(단계 S200, S205). 해당 파라미터에는 링크 계층 파라미터인 기대 전송횟수(ETX)와, 물리 계층 파라미터인 다이버시티(diversity)가 포함될 수 있다.
- [0064] 부모 후보 결정부(120)는 파라미터 획득부(110)에서 획득한 파라미터가 적용된 PLC용 목적함수를 이용하여 각 링크의 상태를 결정하고, 링크 비용을 누적하여 경로 비용을 산출함으로써 해당 노드의 부모 후보를 결정한다(단계 S215).
- [0065] 로드 밸런싱부(130)는 부모 후보 결정부(120)에서 계산되는 링크 메트릭의 최대치가 기대 전송횟수보다 크기에 쏠림 및 병목 현상이 발생할 수 있는 바, 로드 밸런싱을 적용하여 쏠림 현상을 완화시킨다.
- [0066] 로드 밸런싱부(130)는 경로 비용이 유사한 여러 부모 후보에 대해 현재 네트워크와 비교하고(단계 S220), 경로 비용의 차이에 따라(단계 S225) 로드 밸런싱이 적용된 제1 경로 선택 방식(단계 S235) 혹은 로드 밸런싱이 적용되지 않은 제2 경로 선택 방식(단계 S230)을 구분 적용한다.

[0067] 여기서, 제1 경로 선택 방식의 경우, 균형 잡힌 트리 토폴로지를 달성하는 확률적 라우팅 도메인 선택 알고리즘을 통해 경로 비용 차이가 기준치보다 작을 때 동전 던지기로 네트워크 전환 여부를 결정할 수 있다.

[0068] 각 구성요소의 동작 및 기능에 대해 보다 상세히 설명하기로 한다.

[0069] 도 8은 성공적인 패킷 전달을 위해 요구되는 시간을 나타내는 도면이고, 도 9는 PLC 장치의 예시도이며, 도 10은 각 목적함수에서 RPL에 의해 구축된 라우팅 토폴로지이고, 도 11은 7.5 패킷/초의 노드 데이터 생성률에서 3가지 목적함수에 대한 각 노드의 PRR 그래프이며, 도 12는 다양한 데이터 전송률에 대한 3가지 목적함수의 각 노드에서의 PRR 그래프(평균 및 오차 막대)이고, 도 13은 다양한 데이터 전송률에 대한 3가지 목적함수의 각 노드에서의 상대 채널 사용량 그래프(평균 및 오차 막대)이며, 도 14는 네트워크 장애 상황에서의 PRR 그래프이고, 도 15는 각 목적함수의 라우팅 토폴로지이다.

[0070] 파라미터 획득부(110)에서 획득하는 파라미터인 기대 전송횟수와 다이버시티는 메시지를 성공적으로 전달하는데 필요한 반복횟수를 추정한다는 점에서 비슷한 방식으로 작동한다.

[0071] 하지만, 다이버시티는 PHY 계층 파라미터이고, ETX는 링크 계층 전송횟수를 추정한다. 그리고 ETX는 예상되는 추정치일 뿐 실제 링크 전송횟수는 아니다. 예를 들어 ETX가 2인 경우에도 첫번째 전송 시도 내에 성공적으로 ACK를 받으면 메시지 전달이 일찍 완료된다. 다른 상황에서는 두번째 전송 후에도 실패할 수 있다.

[0072] 표준에서 제시하는 PLC 통신은 IEEE 802.15.4 방식의 MAC 프로토콜을 채택하고 있기에, CSMA의 채널 접근 방식을 취하고 있다. ETX는 CSMA 채널 접근을 포함한 전체 논리적 데이터 전송횟수의 기대치인 반면, 다이버시티는 1번의 채널 접근에 다이버시티 값만큼의 데이터를 연속으로 반복한다.

[0073] PLC 전송은 ETX와 달리 초기 반복 수신 성공 여부와 상관없이 항상 초기 종료 없이 다이버시티 값만큼 메시지(페이로드)를 반복한다. 또한, 그 다이버시티 반복 프레임은 하나의 채널 접근에서 전송된다.

[0074] 반면 ETX는 재전송할 때마다 CCA/CSMA를 사용하여 채널 접근을 다시 시도해야 한다. 따라서, ETX에서의 재전송과 다이버시티에서의 반복은 도 8에 도시된 것과 같이 큰 차이를 보인다.

[0075] 따라서, 다이버시티는 채널 접근 시간을 포함하지 않으므로 ETX에 비해 전송 시간에 미치는 영향이 상대적으로 적고, ETX는 일반적으로 다이버시티보다 메시지 전달에 필요한 시간에 더 큰 영향을 미친다. 이 차이는 메시지를 성공적으로 전달하는데 필요한 시간에 상당한 영향을 미치며, 다음과 같이 표현할 수 있다(수학식 (1) 참조).

$$T_{total} = N_{tx} \times (T_{ca} + diversity \times T_{tx}) \quad (1)$$

[0076] 여기서, T_{total} 은 프레임을 전달하는데 필요한 총 시간, T_{ca} 는 CCA를 사용하여 채널에 액세스하는 시간, T_{tx} 는 단일 프레임의 전송 시간, N_{tx} 는 성공적인 전달을 위한 실제 (재)전송횟수를 나타낸다.

[0078] 이러한 특징을 고려하여, 부모 후보 결정부(120)에서는 다이버시티와 ETX를 모두 경로 메트릭으로 결합하여 PLC용 목적함수를 계산함으로써 종단 간 신뢰성뿐만 아니라 처리량도 고려할 수 있게 한다.

[0079] 기본적으로 PLC용 목적함수는 링크 메트릭에 대해 다이버시티와 ETX를 곱한다. 하지만, 다음과 같은 이유로 직접 곱셈은 삼가한다.

[0080] 첫째, ETX의 단위는 전송한 바와 같이 성공적인 전송을 위한 시간 사용에 훨씬 더 큰 영향을 미친다. 둘째, 다이버시티의 범위는 ETX보다 상대적으로 더 크고 더 극적으로 변한다(1에서 15까지).

[0081] 경로 메트릭이 광범위하고 빈번하게 변경되면 경로가 자주 변경되어 경로 불일치가 발생할 수 있다. 따라서, PLC용 목적함수에서는 다음과 같이 다이버시티를 보정한다(수학식 (2) 참조, 단계 S210).

$$DV_c = \lfloor (DV_m/5) + 1 \rfloor, \quad (2)$$

[0082] 여기서, DV_c 는 보정된 다이버시티이고, DV_m 은 측정된 평균 다이버시티이다. 보정을 통해 다이버시티의 범위는 [1,15]에서 [1,4]로 변환될 수 있다.

[0084] 이후 PLC용 목적함수는 홑당 링크 비용($Cost_{link}$)에 대해 ETX에 보정된 다이버시티를 곱하고(수학식 (3) 참조),

경로 비용($Cost_{path}$)에 대해 경로를 따라 링크 비용을 누적한다(수학식 (4) 참조). 여기서, ETX와 측정된 평균 다이버시티는 모두 EWMA(exponentially weighted moving average, 지수 가중 이동 평균)를 사용하여 계산함으로써 기울기를 부드럽게 할 수 있다.

[0085]

$$Cost_{link} = DV_c \cdot ETX \quad (3)$$

[0086]

$$Cost_{path} = \sum_{link \in path} Cost_{link} \quad (4)$$

[0087]

링크 비용이 계산되어 링크 상태가 결정된 경우, 로드 밸런싱부(130)를 통해 로드 밸런싱 여부를 결정한다.

[0088]

경로 비용이 유사한 여러 후보 중에서 최상의 링크를 선택하는 것은 로컬 결정의 문제이다. 하지만, 멀티홉 네트워크의 관점에서 볼 때 중단 간 성능에 대해 항상 최선의 선택이지는 않을 수 있다.

[0089]

N_{best} 라는 노드가 모든 자식 노드에 대해 최상의 부모라고 가정한다. 모든 자식 노드는 경로 탐색 후 결국 N_{best} 에 연결되어 네트워크 병목 현상이 발생한다. 이 경우 모든 노드가 최상의 링크 품질 부모 항목을 선택하더라도 혼잡 및 경합으로 인해 네트워크 성능이 저하된다. 결과적으로 전송 실패는 ETX와 다이버시티의 증가로 이어지며, 따라서 자식 노드는 N_{best} 와의 연결이 나빠졌다고 오해하고 대안을 찾게 된다. 그런 다음 노드는 두번째로 좋은 노드로 밀려날 수 있으며 악순환이 반복된다. 로드 밸런싱부(130)는 안정성 및 처리량에 대한 이러한 불균형 문제를 해결하기 위해 부하 분산 기술을 적용하여 들어오는 트래픽을 분산시킨다.

[0090]

로드 밸런싱부(130)는 균형 잡힌 트리 토폴로지를 달성하는 확률적 라우팅 도메인 선택 알고리즘을 적용한다. 모든 경로 계산(잠재적 부모 재선택을 위해)에서 RPL 노드는 각 후보 하위 트리 네트워크의 크기를 비교하고, 네트워크 크기가 현재 네트워크보다 작으면 다른 네트워크로 이동한다. 앞으로 반복적으로 이동하는 것과 같은 효과를 피하기 위해 다음 확률로 네트워크를 전환할 수 있다(수학식 (5) 참조).

$$Prob_{switch} = \frac{\alpha \times (Size_{current subtree} - Size_{another subtree})}{Size_{current subtree}} \quad (5)$$

[0091]

[0092]

여기서 α 는 현재 네트워크에 연결된 장치의 "고정성"을 제어하기 위한 가중치이다. $Size_{current subtree}$ 는 현재 하위 트리의 크기이고, $Size_{another subtree}$ 는 비교되는 다른 하위 트리의 크기이며, $Prob_{switch}$ 는 네트워크 전환을 위한 확률이다.

[0093]

α 는 토폴로지 구성에서 응답성과 안정성 간의 균형을 제어하는 데 사용할 수 있으며, 1/2을 사용하여 둘의 균형을 유지한다.

[0094]

로드 밸런싱부(130)는 수학식 (5)를 경로 선택 시 활용한다. 모든 경로 계산에서 최적의 경로를 찾아 현재 네트워크와 비교한다. 경로 비용의 차이가 크면(기준치 이상이면) 부하 분산에 관계없이 더 나은 경로를 선택한다.

[0095]

하지만, 차이가 미미하고(기준치 미만) 다른 부모의 하위 트리 크기가 현재 부모보다 작으면 $Prob_{switch}$ 확률로 동전을 던져 네트워크의 변환 여부를 결정할 수 있다.

[0096]

본 실시예에 따른 PLC용 목적함수를 이용한 경로 선택 시스템 및 방법에 의하면, ETX뿐만 아니라 다이버시티도 고려하고 있어 가장 품질이 좋은 링크를 선택할 수 있다. PLC 네트워크 환경에서는 에어컨, 히터 등 특정 시간에 가동되는 전력소비량이 많은 기기로 인해 급격하게 많은 통신 잡음과 비대칭성이 발생할 수 있다. 이러한 부분에서 PLC용 목적함수는 종래 기술인 기본 목적함수(OFO) 혹은 ETX기반 목적함수(MRHOF)보다 순간적인 잡음 변화에 더 반응적으로 대처할 수 있다.

[0097]

이하에서는 테스트베드 실험을 통해 본 실시예에 따른 PLC용 목적함수(PLC-OF)를 기본 목적함수(OFO) 및 MRHOF와 비교하여 평가한다.

[0098]

실험은 도 3과 같이 PLC 노드 12개(루트 1개, 센서 노드 11개)로 구성된 테스트베드에서 수행된다. PLC 장치는 멀티탭을 통해 벽면 콘센트에 연결된다. 멀티홉 토폴로지를 생성하기 위해 PLC의 신호 강도를 감소시키는 전자 기파 필터인 'SEPA'라는 장치를 사용했다. 5개의 SEPA는 노드 23, 24, 33, 34 및 루트에서 나가는 전력선에 연

결된다. 또한 컴퓨터/서버, 스위치/라우터, 냉장고, 텔레비전, 두 대의 에어컨과 같은 일상적인 전자 제품은 실험과 상관없이 실험실의 전원 콘센트에 연결된다.

[0099] 각 노드는 CNU GLOBAL1(도 9)에서 개발한 임베디드 PLC 장치이며 STM32L496 SoC와 CR100N PLC 칩으로 구성된다. PHY 계층은 최대 전송 속도가 24Mbps인 DQPSK 변조를 사용한다. 페이로드(MAC 데이터 프레임)에 대해 최대 360바이트를 지원하며, 컨볼루션 터보 인코더를 통과하면 프레임 길이가 2배가 된다. 인코딩 후, PHY 계층은 다이버시티 파라미터의 현재 값만큼 인코딩된 데이터를 반복한다. 따라서 다이버시티 값이 15(대략 PHY 헤더 부분을 고려하지 않음)일 때만 ~800Kbps를 달성할 수 있다. 링크 계층은 표준 IEEE 802.15.4 MAC 프로토콜을 준수하는 CSMA를 사용한다. PHY와 링크 계층은 모두 장치 펌웨어에 내장되어 있다. 이 외에도 IPv6, RPL, 6LoWPAN, ND 및 PLC-OF를 포함한 세 가지 OF를 포함한 Free-RTOS에서 완전한 IoT-PLC 스택(도 2)을 구현한다.

Modulation	DQPSK
diversity range	1 - 15
diversity fail count	1
diversity down step	1
diversity success count	3
diversity up step	2
minBE	5
maxBE	10
max retx count	3
payload size	360 bytes

[0100] 표 1. PLC의 PHY/링크 계층 파라미터

[0101] 링크 및 PHY 계층 파라미터는 표 1에 나열되어 있다. 다이버시티 성공/실패 카운트는 다이버시티 적응 이벤트를 트리거하는 데 필요한 연속 전송 성공/실패 수를 나타낸다. 다이버시티 업/다운 단계는 해당 적응 이벤트가 트리거될 때 다이버시티 값을 얼마나 증감할지 설정한다. 예를 들어 PLC 장치는 3번 연속으로 전송에 성공하면 다이버시티 값을 1씩 줄인다. minBE, maxBE 및 max retx count는 채널을 확보하고 필요한 경우 프레임을 재전송하기 위한 일반 CSMA 파라미터이다.

[0103] 평가에 사용되는 애플리케이션은 RPL을 사용하여 라우팅 트리 토폴로지를 구성한 후 6LoWPAN으로 압축된 IPv6을 통해 UDP를 사용하여 메시지를 전송한다. 각 센서 노드는 고유한 데이터 메시지를 주기적으로 생성하여 루트로 전송한다. 실험은 노드당 2.5 패킷/초에서 7.5 패킷/초까지 0.5 증분의 다양한 데이터 전송률로 수행되었다. (1) 각 노드의 루트에서 수신된 고유 패킷 수, (2) 각 발신자에서의 (재)전송 카운트의 수, (3) 실험 중 모든 전송에 대한 다이버시티 값을 측정한다. 이러한 측정에서 패킷 수신 비율(PRR, packet reception ratio), 상대 채널 사용 및 네트워크 장애에 대한 견고성 측면에서 세 가지 목적함수를 평가한다.

[0104] PRR은 각 노드에서 보낸 총 메시지 수에 대한 각 노드로부터 루트가 수신한 고유 메시지의 비율이다. 채널 사용량은 총 전송 카운트에 각 노드의 평균 다이버시티를 곱하여 상대적으로 비교한다. 네트워크 장애에 대한 견고성은 의도적으로 노드를 오프 상태로 죽인 동안 분당 PRR을 검사함으로써 관찰된다.

[0105] 평가결과는 다음과 같다.

[0106] 라우팅 토폴로지: 실험 중 MRHOF 및 PLC-OF에 의해 구성된 라우팅 토폴로지의 스냅샷이 그림 8에 나타나 있다. OF0의 토폴로지는 이미 그림 5a에 나타나 있다. 먼저 SEPA 필터(그림 3)에 연결된 노드 23, 24, 33, 34가 루트에 직접 도달할 수 없음을 알 수 있다. 둘째, 토폴로지의 깊이는 다소 비슷하지만 일반적으로 PLC-OF는 메트릭에 다이버시티를 적용한 결과 트리에서 약간 더 깊은 노드를 가진다.

[0107] 신뢰성: 도 11은 7.5 패킷/초 데이터 전송률 미만의 3개 목적함수에 대한 각 노드의 PRR을 나타낸다. 도 10 및 11을 참조하면 PLC-OF가 다른 OF보다 더 높고 공정한 PRR을 달성함을 분명히 알 수 있다. OF0의 경우 링크 비대칭으로 인해 일부 노드에서 메시지를 전달할 수 없었다(0%). 여기서, 7.5 패킷/초의 데이터 생성 속도는 10개의 노드가 멀티홉을 통해 거의 동시 전송할 때(네트워크에서 150 ~ 180 패킷/초) PLC 장치의 현재 버전에서 다를

수 있는 최고치이다.

- [0108] 도 12는 데이터 생성 속도가 다른 각 OF에 대한 PRR 오차 막대(11개 노드 이상)를 나타낸다. PLC-OF와 MRHOF는 모두 5 패킷/초에 도달할 때까지 낮은 데이터 전송률에서 99% 이상의 PRR을 보장한다. 그러나 그 이상으로 전송률을 높이면 결과가 확연히 달라진다. PLC-OF는 최대 6.5 패킷/초의 전송 속도를 유지할 수 있으며 속도를 더 높여도 PRR은 MRHOF보다 훨씬 느리게 떨어진다. PHY 계층 다이버시티가 링크 계층 ETX보다 더 빠르게 응답하고 적응하기 때문이다. 전반적으로 PLC-OF는 PLC를 통해 ETX 기반 MRHOF보다 더 높은 데이터 전송률 통신을 제공할 수 있다.
- [0109] 채널 사용: PHY 계층 다이버시티와 링크 계층 재전송은 모두 메시지 전달에 필요한 채널 점유량에 영향을 준다. 더 작은 채널 사용은 네트워크가 달성 가능한 처리량, 에너지 사용 및 확장성 측면에서 더 높은 효율성을 달성할 수 있음을 의미한다. 3개의 목적함수의 상대적인 채널 사용을 비교하기 위해 메시지 전달을 위해 반복되는 동일한 프레임의 수를 나타내는 각 프레임에 대한 해당 다이버시티와 전송 수를 곱한다. 여기서, PHY 페이로드가 360 바이트인 반면 PHY 헤더와 프리엠블 크기는 10 바이트 이하이기 때문에 PHY 헤더와 프리엠블 크기는 무시한다.
- [0110] 도 13의 결과는 패킷 손실 및 재전송으로 인해 데이터 전송률이 증가함에 따라 전체 채널 사용이 악화되는 반면 PLC-OF의 채널 사용은 여전히 다른 목적함수보다 현저히 낮음을 보여준다. 이는 PLC-OF가 경로를 찾을 때 ETX뿐만 아니라 다이버시티도 고려하기 때문이다. PLC-OF는 평균적으로 약간 더 긴 경로를 선택하더라도 재전송 및 반복을 줄여 전체 채널 사용량을 줄인다. 결과적으로 PLC-OF는 가장 높은 데이터 전송률에서도 MRHOF에 비해 채널의 1/3만 사용한다.
- [0111] 네트워크 장애에 대한 견고성: 저가 임베디드 장치는 배터리가 부족하거나 실제 IoT 애플리케이션에서 물리적으로 고장이 발생할 수 있다. 예를 들어, 전력을 많이 소비하는 전자 제품에서 발생하는 심각한 노이즈로 인해 일부 링크가 실패할 수 있다. 따라서 네트워크 노드가 견고성과 신뢰성을 위한 대체 경로를 찾을 수 있는 것이 중요하다.
- [0112] 3개의 RPL 목적함수가 노드 장애에 어떻게 응답하는지 조사하기 위해 데이터 수집 세션 동안 토폴로지 중간에 노드를 끄는 실험을 수행했다. 구체적으로, 이전 실험과 동일한 토폴로지(도 10)에서 1 패킷/초 데이터 전송률로 모든 노드에서 데이터를 수집하는 동안, 노드 11의 전원을 실험 시작 후 5분이 경과한 시점부터 10분 동안 켜다가 다시 켜다.
- [0113] 도 14는 노드 장애 시나리오에서 각 목적함수의 분당 PRR을 나타낸다. MRHOF(도 15의 (a))를 사용하면 노드 11이 꺼져 있음에도 불구하고 노드 23이 여전히 노드 11에 연결되어 있다. 이는 MRHOF의 비용 변동이 작고 전송 실패에 느리게 반응하기 때문이다. 예를 들어 노드 23은 노드 11이 종료되기 전에 홉 거리가 3인 노드 21에 연결되었으며 비용은 약 4(경로 ETX의 경우 ≈3, 링크 ETX의 경우 ≈1)였다. 노드 11이 아닌 노드 21을 선택한 이유는 노드 11에 대한 링크 품질이 노드 21보다 현저히 떨어지기 때문이다. 그러나 노드 11이 꺼지면 노드 21이 노드 31의 자식이 되고 노드 21의 경로 비용이 그에 따라 증가한다. 그 당시 노드 21 경로의 총 비용이 노드 11보다 커서 노드 23이 부모 노드를 노드 11로 변경했다. 결과적으로 MRHOF를 사용하면 노드 11이 라우팅 테이블에서 제거될 때까지 여러 노드가 경로를 변경하지 않았다. 시간 초과를 통해, 노드 11의 전원이 다시 켜졌을 때 노드 21이 노드 11의 자식으로 돌아가지 않았기 때문에 노드 23은 연결을 빠르게 복구하지 못했다. 최근-과거 통신 결과에서 노드 11 링크의 품질이 너무 나쁨으로 잘못 계산되기 때문에 현재 경로와 비교된다. 따라서 노드 21은 네트워크 일관성을 위해 경로 변경을 억제했다. OF0의 경로 변경 메커니즘이 MRHOF보다 더 방어적이기 때문에 이 현상은 OF0에서 더욱 악화된다.
- [0114] 반면, 모든 PLC-OF 노드는 도 15의 (b)와 같이 성공적으로 다른 하위 트리로 이동하였다. PLC-OF에서 다이버시티와 ETX를 곱하면 링크 품질이 나빠질 때 네트워크가 비용을 업데이트하고 경로를 빠르게 우회할 수 있다. 따라서 PLC-OF는 훨씬 더 나은 신뢰성을 가지면서도 약간의 영향만 미쳤다.
- [0115] 전반적으로 실험 결과는 PLC-OF가 1) 더 높은 데이터 전송률에서의 신뢰성, 2) 데이터 전달 중 채널 점유, 3) 네트워크 장애에 대한 견고성 측면에서 더 나은 RPL 성능을 달성할 수 있음을 보여준다.
- [0116] 전술한 경로 선택 방법은, 컴퓨터에 의해 실행되는 애플리케이션이나 프로그램 모듈과 같은 컴퓨터에 의해 실행 가능한 명령어를 포함하는 기록매체의 형태로도 구현될 수 있다. 컴퓨터 판독 가능 매체는 컴퓨터에 의해 액세스될 수 있는 임의의 가용 매체일 수 있고, 휘발성 및 비휘발성 매체, 분리형 및 비분리형 매체를 모두 포함한다. 또한, 컴퓨터 판독 가능 매체는 컴퓨터 저장 매체를 포함할 수 있다. 컴퓨터 저장 매체는 컴퓨터 판독 가능

명령어, 데이터 구조, 프로그램 모듈 또는 기타 데이터와 같은 정보의 저장을 위한 임의의 방법 또는 기술로 구현된 휘발성 및 비휘발성, 분리형 및 비분리형 매체를 모두 포함한다.

[0117] 전술한 경로 선택 방법은, 단말기에 기본적으로 설치된 애플리케이션(이는 단말기에 기본적으로 탑재된 플랫폼이나 운영체제 등에 포함된 프로그램을 포함할 수 있음)에 의해 실행될 수 있고, 사용자가 애플리케이션 스토어 서버, 애플리케이션 또는 해당 서비스와 관련된 웹 서버 등의 애플리케이션 제공 서버를 통해 마스터 단말기에 직접 설치한 애플리케이션(즉, 프로그램)에 의해 실행될 수도 있다. 이러한 의미에서, 전술한 경로 선택 방법은 단말기에 기본적으로 설치되거나 사용자에게 의해 직접 설치된 애플리케이션(즉, 프로그램)으로 구현되고 단말기 등의 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록매체에 기록될 수 있다.

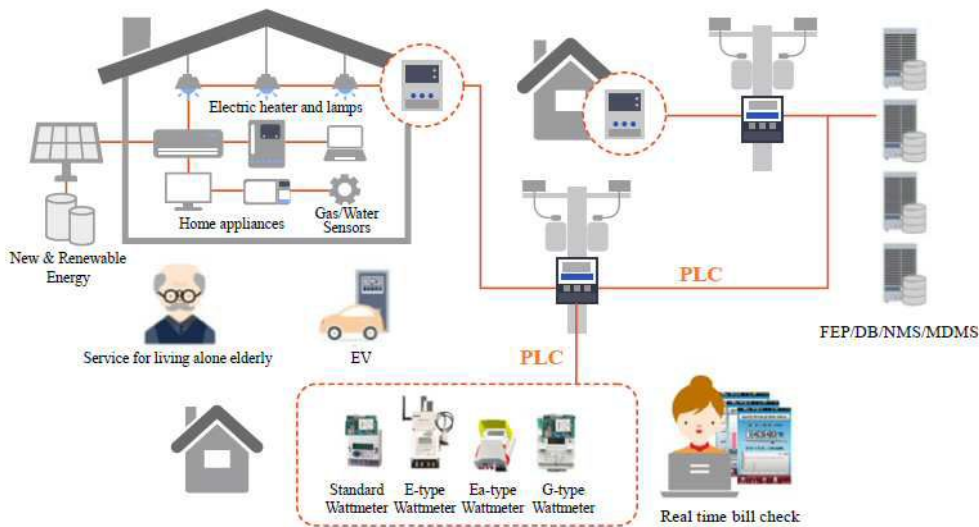
[0118] 상기에서는 본 발명의 실시예를 참조하여 설명하였지만, 해당 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 하기의 특허 청구의 범위에 기재된 본 발명의 사상 및 영역으로부터 벗어나지 않는 범위 내에서 본 발명을 다양하게 수정 및 변경시킬 수 있음을 이해할 수 있을 것이다.

부호의 설명

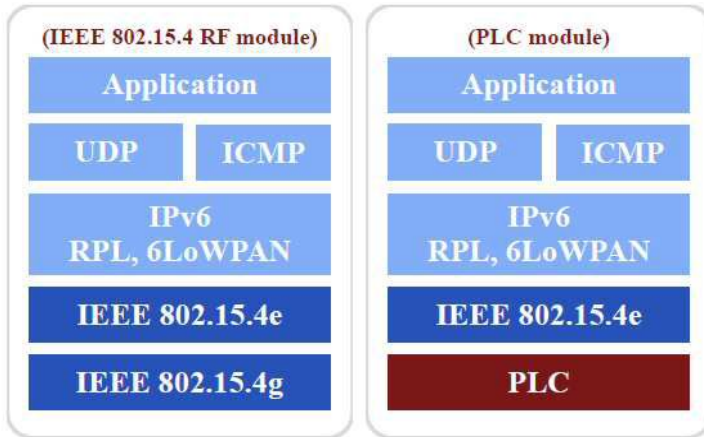
- [0120] 100: 경로 선택 시스템
- 110: 파라미터 획득부
- 120: 부모 후보 결정부
- 130: 로드 밸런싱부

도면

도면1

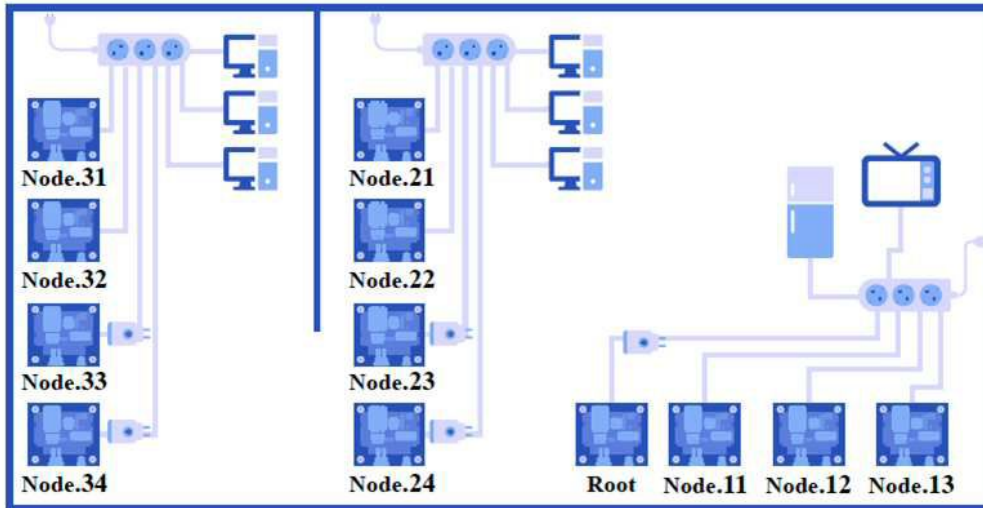


도면2

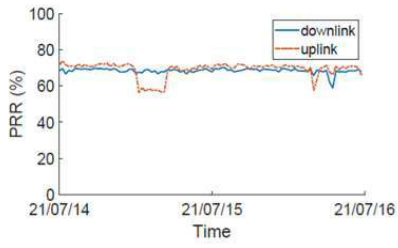


(a) IEEE 802.15.4 stack (b) PLC stack

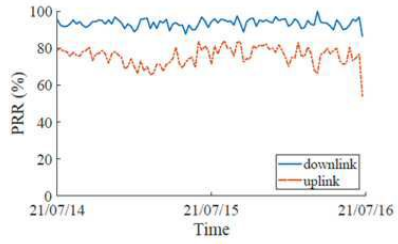
도면3



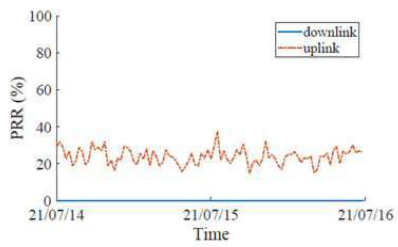
도면4



(a) total

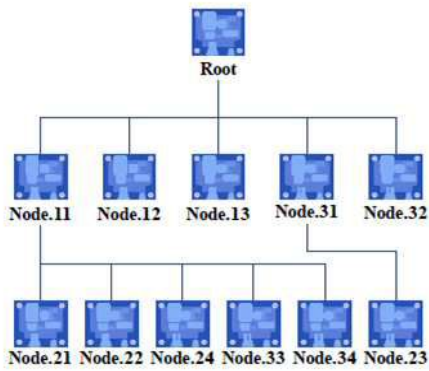


(b) between node 11

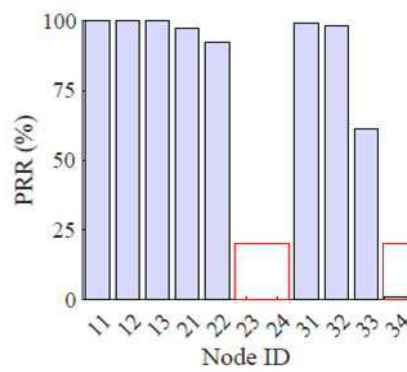


(c) between node 12

도면5

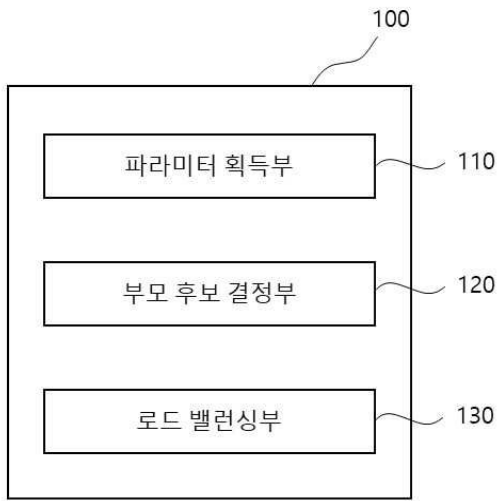


(a) Routing topology

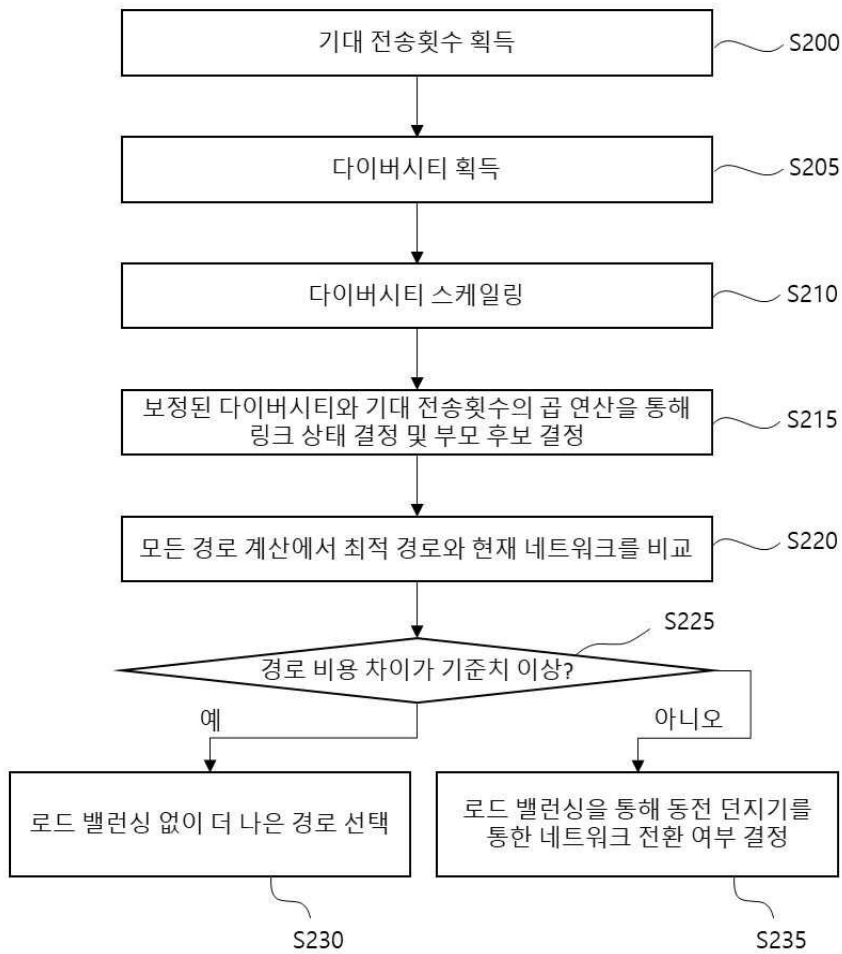


(b) Packet reception ratio

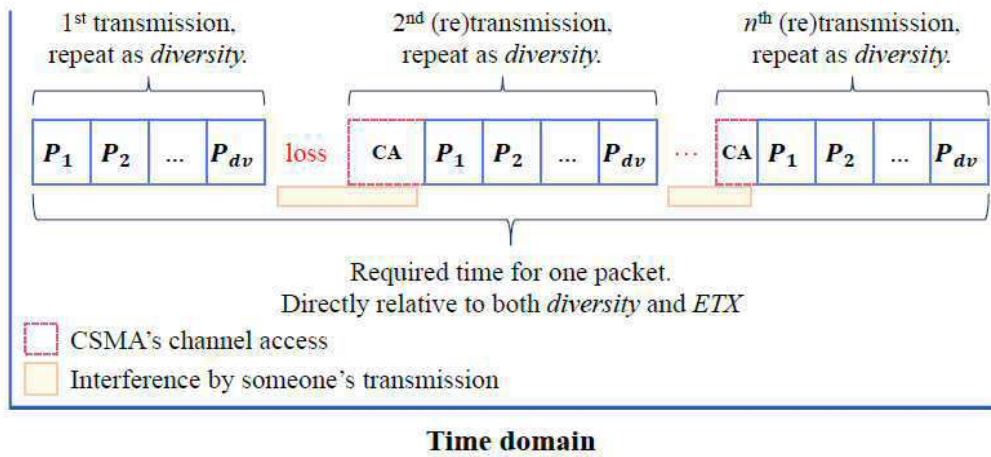
도면6



도면7



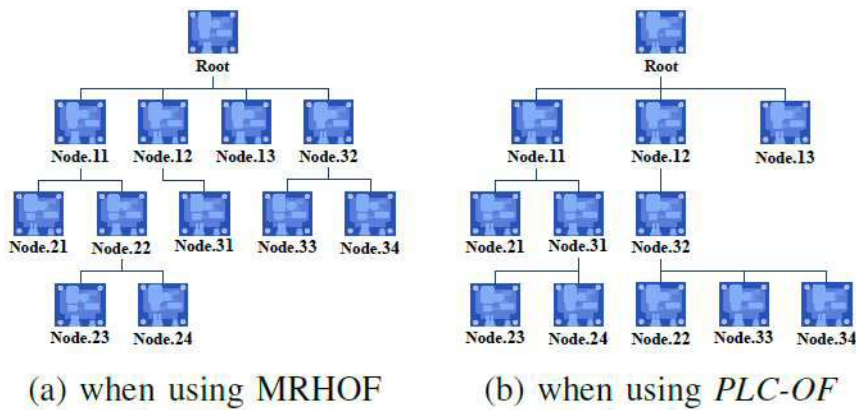
도면8



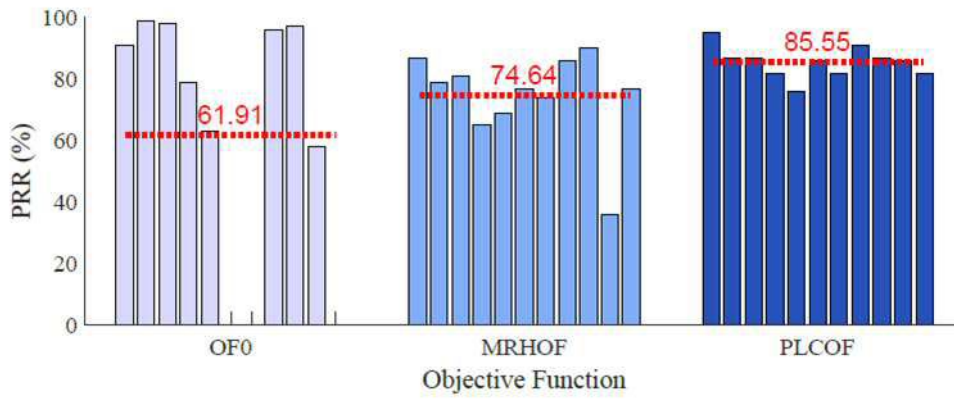
도면9



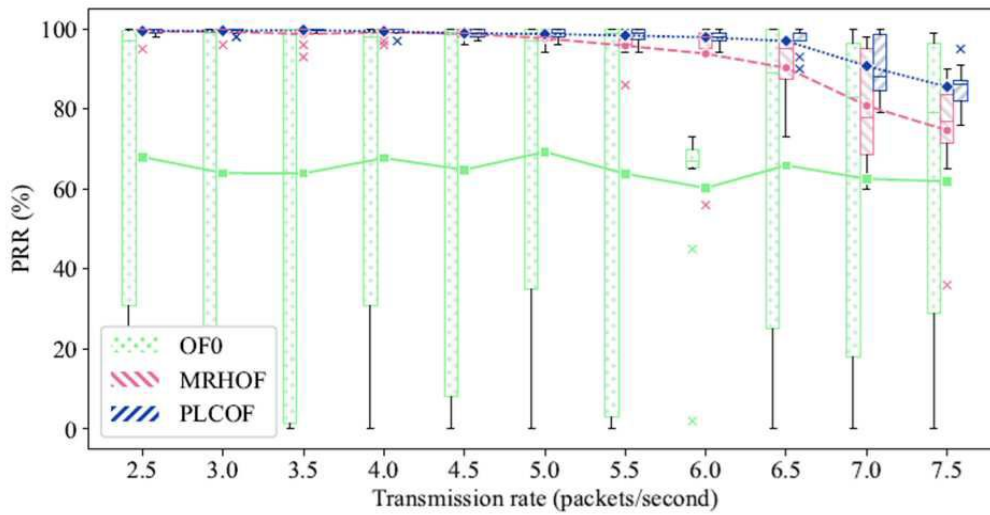
도면10



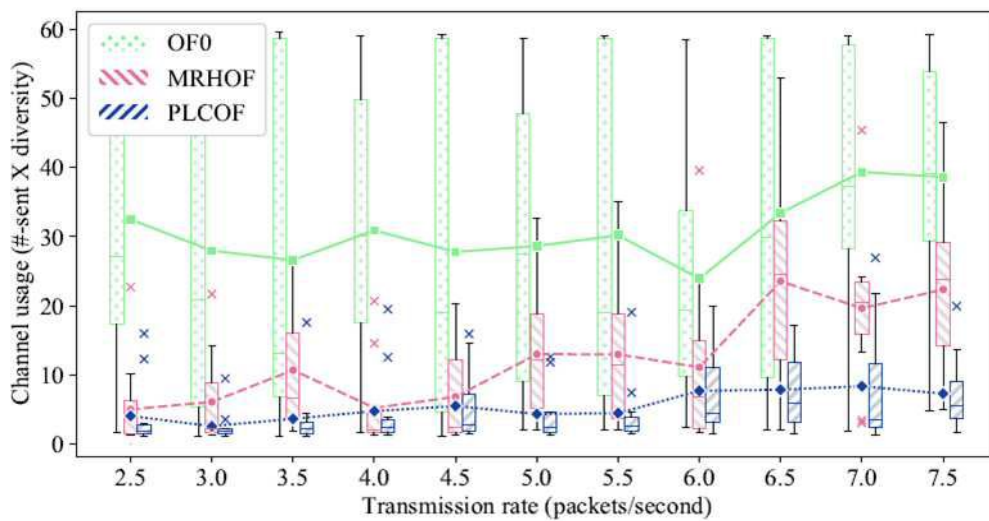
도면11



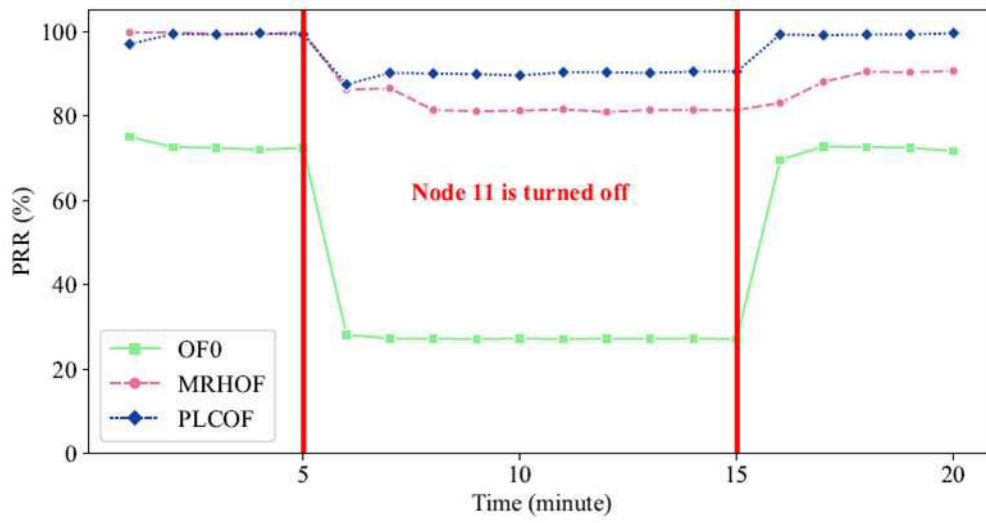
도면12



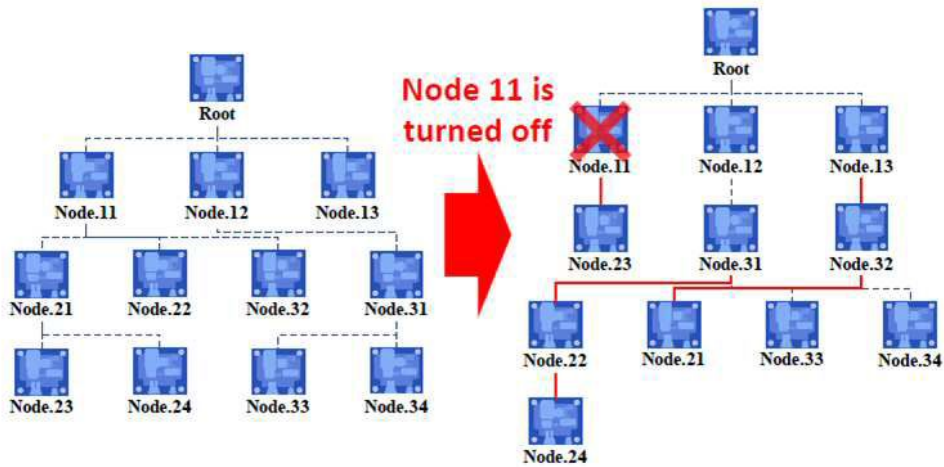
도면13



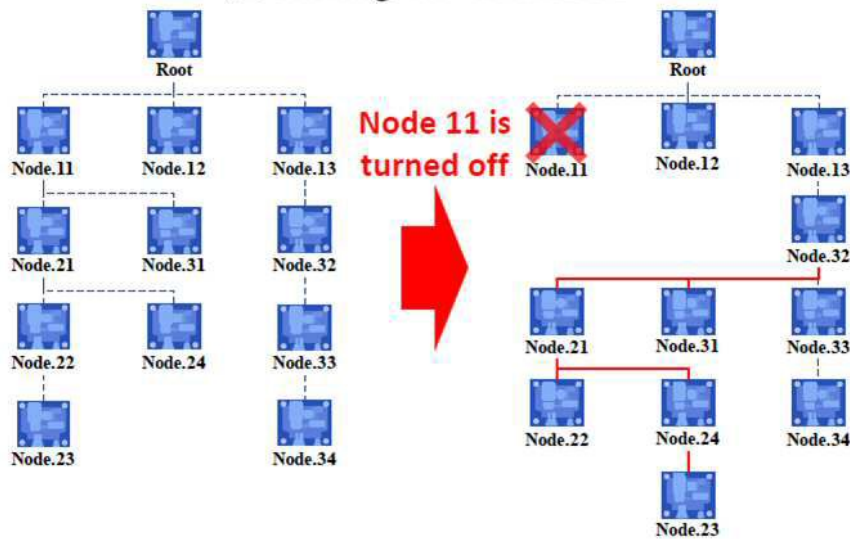
도면14



도면15



(a) Routing tree in MRHOF



(b) Routing tree in *PLC-OF*