(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2021-0146094
(43) 공개일자 2021년12월03일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H04L 12/835 (2013.01) *H04L 12/801* (2013.01)
H04L 12/863 (2013.01) *H04L 12/911* (2013.01)
H04W 40/04 (2009.01) *H04W 72/04* (2009.01)
H04W 84/18 (2009.01)
(52) CPC특허분류
H04L 47/30 (2013.01)
H04L 47/18 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2020-0063139
(22) 출원일자 2020년05월26일
심사청구일자 2020년05월26일

(71) 출원인
울산대학교 산학협력단
울산광역시 남구 대학로 93(무거동)
(72) 발명자
김명균
울산광역시 남구 신복로45번길 4, 907호 (무거동, 현대문수팰리스)
(74) 대리인
김종선, 이형석

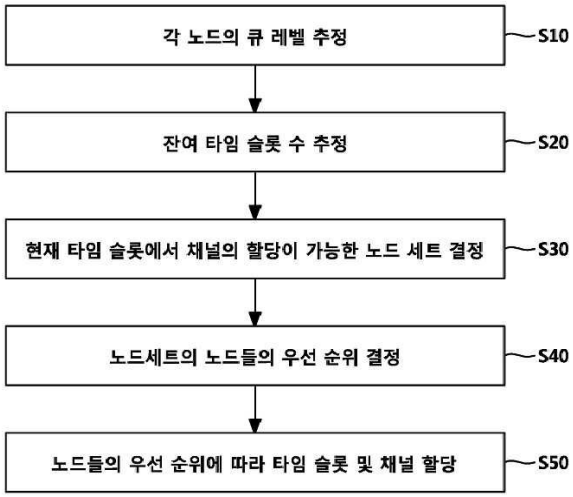
전체 청구항 수 : 총 12 항

(54) 발명의 명칭 **무선 센서 네트워크에서 노드의 패킷양 예측 기법을 이용한 링크 스케줄링 방법 및 이를 구현하기 위한 프로그램이 기록된 기록매체**

(57) 요 약

무선 센서 네트워크에서 노드의 패킷양 예측 기법을 이용한 링크 스케줄링 방법 및 이를 구현하기 위한 프로그램이 기록된 기록매체가 제공된다. 본 발명의 일 실시예에 따른 무선 센서 네트워크에서 노드의 패킷양 예측 기법을 이용한링크 스케줄링 방법은, 각 노드의 큐 레벨이 추정되는 단계; 상기 각 노드에 할당할 잔여 타임 슬롯 수가 추정되는 단계; 상기 각 노드의 큐 레벨 및 잔여 타임 슬롯 수를 기초로 현재 타임 슬롯에서 채널을 할당받을 수 있는 노드 세트가 결정되는 단계; 상기 큐 레벨 및 잔여 타임 슬롯 수를 기초로 상기 노드 세트의 노드들의 우선 순위가 결정되는 단계; 및 상기 노드 세트의 노드들의 우선 순위에 따라 상기 현재 타임 슬롯에서 노드에 타임 슬롯 및 채널이 할당되는 단계를 포함한다.

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류
H04L 47/625 (2013.01)
H04L 47/821 (2013.01)
H04L 47/823 (2013.01)
H04W 40/04 (2013.01)
H04W 72/0446 (2013.01)
H04W 84/18 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 1425131611
과제번호 S2665996
부처명 중소벤처기업부
과제관리(전문)기관명 중소기업기술정보진흥원
연구사업명 산학연협력기술개발(R&D)
연구과제명 저전력/고신뢰 무선네트워크 기술 기반 산업용 환경설비 모니터링 시스템(FMS: Facility Monitoring System) 개발
기 여 율 7/10
과제수행기관명 울산대학교 산학협력단
연구기간 2018.11.01 ~ 2020.10.31
이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 1345314612
과제번호 2017R1D1A1B03030208
부처명 교육부
과제관리(전문)기관명 한국연구재단
연구사업명 개인기초연구(교육부)(R&D)
연구과제명 저전력장거리 통신 기술 LoRa를 이용한 멀티홉 통신 네트워크 기술 개발
기 여 율 3/10
과제수행기관명 울산대학교 산학협력단
연구기간 2017.06.01 ~ 2020.05.31

명 세 서

청구범위

청구항 1

각 노드의 큐 레벨이 추정되는 단계;

상기 각 노드에 할당할 잔여 타임 슬롯 수가 추정되는 단계;

상기 각 노드의 큐 레벨 및 잔여 타임 슬롯 수를 기초로 현재 타임 슬롯에서 채널을 할당받을 수 있는 노드 세트가 결정되는 단계;

상기 큐 레벨 및 잔여 타임 슬롯 수를 기초로 상기 노드 세트의 노드들의 우선 순위가 결정되는 단계; 및

상기 노드 세트의 노드들의 우선 순위에 따라 상기 현재 타임 슬롯에서 노드에 타임 슬롯 및 채널이 할당되는 단계를 포함하는, 무선 센서 네트워크에서 노드의 패킷양 예측 기법을 이용한 링크 스케줄링 방법.

청구항 2

제 1항에 있어서,

상기 각 노드의 큐 레벨 및 상기 각 노드에 할당할 잔여 타임 슬롯 수가 초기화되는 단계를 더 포함하는, 무선 센서 네트워크에서 노드의 패킷양 예측 기법을 이용한 링크 스케줄링 방법.

청구항 3

제 1항에 있어서,

상기 큐 레벨이 추정되는 단계는,

상기 각 노드의 노드 간 링크의 PRR(packet reception rates)이 확인되는 단계; 및

상기 타임 슬롯이 할당된 각 노드의 현재 큐 레벨 및 상기 확인된 PRR을 이용하여 상기 큐 레벨이 갱신되는 단계를 포함하는, 무선 센서 네트워크에서 노드의 패킷양 예측 기법을 이용한 링크 스케줄링 방법.

청구항 4

제 1항에 있어서,

상기 잔여 타임 슬롯 수가 추정되는 단계는,

상기 무선 센서 네트워크의 종단 간(End-to-End) 목표 PRR을 기초로 홉당 링크 PRR이 연산되는 단계;

상기 홉당 링크 PRR을 기초로 링크 PRR 평균이 연산되는 단계;

상기 각 노드가 전송해야 할 패킷 수가 연산되는 단계; 및

상기 연산된 링크 PRR의 평균 및 상기 각 노드가 전송해야 할 패킷 수를 기초로 상기 잔여 타임 슬롯 수가 갱신되는 단계를 포함하는, 무선 센서 네트워크에서 노드의 패킷양 예측 기법을 이용한 링크 스케줄링 방법.

청구항 5

제 1항에 있어서,

상기 노드 세트가 결정되는 단계는,

상기 큐 레벨이 최소 큐 레벨 이상이며, 상기 잔여 타임 슬롯 수가 1 이상인 노드들이 상기 노드 세트로 결정되는 단계를 포함하는, 무선 센서 네트워크에서 노드의 패킷양 예측 기법을 이용한 링크 스케줄링 방법.

청구항 6

제 5항에 있어서,

상기 타임 슬롯 및 채널이 할당되는 단계는,

상기 큐 레벨이 최소 큐 레벨 이상이며, 상기 잔여 타임 슬롯 수가 1 이상인 노드들이 없을 경우, 상기 각 노드의 큐 레벨에 따라 노드에 추가 타임 슬롯이 할당되는 단계를 포함하는, 무선 센서 네트워크에서 노드의 패킷양 예측 기법을 이용한 링크 스케줄링 방법.

청구항 7

제 1항에 있어서,

상기 타임 슬롯 및 채널이 할당되는 단계는,

상기 큐 레벨이 가장 큰 노드가 우선 순위 노드로 선택되어 상기 현재 타임 슬롯에서 상기 타임 슬롯 및 채널이 할당되는 단계를 포함하는, 무선 센서 네트워크에서 노드의 패킷양 예측 기법을 이용한 링크 스케줄링 방법.

청구항 8

제 7항에 있어서,

상기 타임 슬롯 및 채널이 할당되는 단계는,

상기 큐 레벨이 동일할 경우, 상기 잔여 타임 슬롯 수가 가장 큰 노드가 우선 순위 노드로 선택되어 상기 현재 타임 슬롯에서 상기 타임 슬롯 및 채널이 할당되는 단계를 포함하는, 무선 센서 네트워크에서 노드의 패킷양 예측 기법을 이용한 링크 스케줄링 방법.

청구항 9

제 8항에 있어서,

상기 타임 슬롯 및 채널이 할당되는 단계는,

상기 잔여 타임 슬롯 수가 동일할 경우, 상기 노드의 트리 레벨이 가장 높은 노드가 우선 순위 노드로 선택되어 상기 현재 타임 슬롯에서 상기 타임 슬롯 및 채널이 할당되는 단계를 포함하는, 무선 센서 네트워크에서 노드의 패킷양 예측 기법을 이용한 링크 스케줄링 방법.

청구항 10

제 1항에 있어서,

상기 타임 슬롯 및 채널이 할당되는 단계는,

상기 우선 순위가 결정된 노드의 전이중 충돌(duplex conflict) 노드를 제외한 비충돌 노드가 상기 현재 타임 슬롯에서 우선 순위 노드에 할당된 채널과 다른 채널에 할당되는 단계를 포함하는, 무선 센서 네트워크에서 노드의 패킷양 예측 기법을 이용한 링크 스케줄링 방법.

청구항 11

제 10항에 있어서,

상기 현재 타임 슬롯의 다음 타임 슬롯에서 상기 각 단계를 반복하는 단계를 더 포함하는, 무선 센서 네트워크에서 노드의 패킷양 예측 기법을 이용한 링크 스케줄링 방법.

청구항 12

제 1항 내지 제 11항 중 어느 한 항의 방법을 구현하기 위한 프로그램이 기록된 컴퓨터로 판독 가능한 기록매체.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 TDMA (Time Division Multiple Access) 기반 산업용 무선 센서 네트워크에서 노드의 패킷양 예측 기

법을 이용한 링크 스케줄링 방법 및 이를 구현하기 위한 프로그램이 기록된 기록매체에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 산업용 모니터링 및 제어 시스템 분야에서 다수의 무선 센서 네트워크를 사용하기 위하여 데이터를 안정적으로 전달해야 할 필요가 있다.

[0003] 그런데, 산업 환경에서 많은 장애물, 높은 습도, 진동, 먼지 등 센서 노드의 성능에 영향을 미치는 여러 환경적 요소가 있다. 이러한 열악한 환경 조건은 무선 링크의 성능을 저하시켜 안정적인 데이터 전달을 더욱 어렵게 한다.

[0004] 또한, 대부분의 센서 노드는 처리 능력, 메모리, 에너지 측면에서 부족한 자원을 가지게 된다. 물리적인 노드의 크기가 제한되어 있기 때문에 센서의 배터리 에너지 공급이 제한되고, 메모리도 제한되어 계산 기능도 제한된다.

[0005] 한편, 산업용 무선 센서 네트워크(IWSN)에서 종단 간(end-to-end) 엄격한 신뢰성(reliability)이 요구된다. 종래, 무선 센서 네트워크에 종단 간 신뢰성을 제공하는 접근 방식은 전송 실패 시에 패킷을 재전송하는 것이다. 즉, 산업용 무선 네트워크 분야에서 요구되는 신뢰성을 제공하기 위해, 연속적인 타임 슬롯에서 패킷을 여러 번 보낸다.

[0006] 그러나, 오류가 발생하기 쉬운 무선 센서 네트워크에서 센서 데이터를 신뢰성 있고, 안전하게 전송하기 위해 패킷을 재전송하는 경우, 패킷의 전송 지연 시간이 길어지고, 큐에 버퍼링되는 패킷 수가 증가하는 등의 문제가 발생할 수 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0007] (특허문헌 0001) 대한민국 등록특허 0919483호 (2009.09.22. 등록)

(특허문헌 0002) 대한민국 등록특허 1473559호 (2014.12.10. 등록)

(특허문헌 0003) 대한민국 등록특허 2010670호 (2019.08.07. 등록)

(특허문헌 0004) 국제공개특허 WO 2004/095734호 (2004.11.04. 공개)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 본 발명은 상기 문제점을 해결하기 위한 것으로, 노드들의 버퍼에 저장된 패킷 양을 예측하고, 패킷 양이 많은 노드에 타임 슬롯을 우선적으로 할당함으로써, 패킷의 평균 대기 시간을 줄여 빠르게 전송하고, 각 노드에서 버퍼링되는 패킷 수를 저감할 수 있는 무선 센서 네트워크의 링크 스케줄링 방법 및 이를 구현하기 위한 프로그램이 기록된 기록매체를 제공한다.

[0009] 본 발명이 해결하고자 하는 과제들은 이상에서 언급한 과제들로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 과제들은 아래의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

[0010] 상기 과제를 달성하기 위한 본 발명의 일 실시예에 따른 무선 센서 네트워크의 링크 스케줄링 방법은, 각 노드의 큐 레벨이 추정되는 단계; 상기 각 노드에 할당할 전여 타임 슬롯 수가 추정되는 단계; 상기 각 노드의 큐 레벨 및 잔여 타임 슬롯 수를 기초로 현재 타임 슬롯에서 채널을 할당받을 수 있는 노드 세트가 결정되는 단계; 상기 큐 레벨 및 잔여 타임 슬롯 수를 기초로 상기 노드 세트의 노드들의 우선 순위가 결정되는 단계; 및 상기 노드 세트의 노드들의 우선 순위에 따라 상기 현재 타임 슬롯에서 노드에 타임 슬롯 및 채널이 할당되는 단계를 포함한다.

[0011] 또한, 상기 각 노드의 큐 레벨 및 상기 각 노드에 할당할 잔여 타임 슬롯 수가 초기화되는 단계를 더 포함할 수

있다.

[0012] 또한, 상기 큐 레벨이 추정되는 단계는, 상기 각 노드의 노드 간 링크의 PRR(packet reception rates)이 확인되는 단계; 및 상기 타임 슬롯이 할당된 각 노드의 현재 큐 레벨 및 상기 확인된 PRR을 이용하여 상기 큐 레벨이 갱신되는 단계를 포함할 수 있다.

[0013] 또한, 상기 잔여 타임 슬롯 수가 추정되는 단계는, 상기 무선 센서 네트워크의 종단 간(End-to-End) 목표 PRR을 기초로 홉당 링크 PRR이 연산되는 단계; 상기 홉당 링크 PRR을 기초로 링크 PRR 평균이 연산되는 단계; 상기 각 노드가 전송해야 할 패킷 수가 연산되는 단계; 및 상기 연산된 링크 PRR의 평균 및 상기 각 노드가 전송해야 할 패킷 수를 기초로 상기 잔여 타임 슬롯 수가 갱신되는 단계를 포함할 수 있다.

[0014] 또한, 상기 노드 세트가 결정되는 단계는, 상기 큐 레벨이 최소 큐 레벨 이상이며, 상기 잔여 타임 슬롯 수가 1 이상인 노드들이 상기 노드 세트로 결정되는 단계를 포함할 수 있다.

[0015] 또한, 상기 타임 슬롯 및 채널이 할당되는 단계는, 상기 큐 레벨이 최소 큐 레벨 이상이며, 상기 잔여 타임 슬롯 수가 1 이상인 노드들이 없을 경우, 상기 각 노드의 큐 레벨에 따라 노드에 추가 타임 슬롯이 할당되는 단계를 포함할 수 있다.

[0016] 또한, 상기 타임 슬롯 및 채널이 할당되는 단계는, 상기 큐 레벨이 가장 큰 노드가 우선 순위 노드로 선택되어 상기 현재 타임 슬롯에서 상기 타임 슬롯 및 채널이 할당되는 단계를 포함할 수 있다.

[0017] 또한, 상기 타임 슬롯 및 채널이 할당되는 단계는, 상기 큐 레벨이 동일할 경우, 상기 잔여 타임 슬롯 수가 가장 큰 노드가 우선 순위 노드로 선택되어 상기 현재 타임 슬롯에서 상기 타임 슬롯 및 채널이 할당되는 단계를 포함할 수 있다.

[0018] 또한, 상기 타임 슬롯 및 채널이 할당되는 단계는, 상기 잔여 타임 슬롯 수가 동일할 경우, 상기 노드의 트리 레벨이 가장 높은 노드가 우선 순위 노드로 선택되어 상기 현재 타임 슬롯에서 상기 타임 슬롯 및 채널이 할당되는 단계를 포함할 수 있다.

[0019] 또한, 상기 타임 슬롯 및 채널이 할당되는 단계는, 상기 우선 순위가 결정된 노드의 전이중 충돌(duplex conflict) 노드를 제외한 비충돌 노드가 상기 현재 타임 슬롯에서 우선 순위 노드에 할당된 채널과 다른 채널에 할당되는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0020] 그리고, 상기 현재 타임 슬롯의 다음 타임 슬롯에서 상기 각 단계를 반복하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0021] 상술하여 설명한 상기 과제를 달성하기 위한 본 발명의 여러 실시예에 따른 무선 센서 네트워크의 링크 스케줄링 방법들을 구현하기 위한 프로그램이 기록된 컴퓨터로 판독 가능한 기록매체에 기록될 수 있다.

[0022] 본 발명의 기타 구체적인 사항들은 상세한 설명 및 도면들에 포함되어 있다.

발명의 효과

[0023] 본 발명에 따르면, 산업용 무선 센서 네트워크에서 노드에 타임 슬롯을 효율적으로 할당하여 종단 간 패킷의 평균 대기 시간을 줄이고, 종단 간 신뢰성을 만족하면서 버퍼링되는 패킷의 양을 줄일 수 있으며, 이를 통해 무선 센서 네트워크에서 안정적이고 신뢰성 있는 데이터를 전송할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0024] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 무선 센서 네트워크의 링크 스케줄링 방법의 순서도이다.

도 2a는 본 발명의 일 실시예에 따른 무선 센서 네트워크의 링크 스케줄링 방법을 설명하기 위한 네트워크의 일 예를 도시한 도면이다.

도 2b는 도 2a의 네트워크에서 각 노드가 하나의 슬롯프레임(slot-frame)에서 전송할 패킷의 수가 1개씩이고, 각 노드의 종단간 목표 전송률이 99%인 경우, 본 발명의 일 실시예에 따른 무선 센서 네트워크의 링크 스케줄링 방법을 통해 도출되는 PA 및 TS 값을 도시한 도면이다.

도 3은 본 발명의 다른 실시예에 따른 무선 센서 네트워크의 링크 스케줄링 방법의 순서도이다.

도 4a 내지 도 4d는 본 발명의 일 실시예에 따른 구체적인 스케줄링 알고리즘을 도시한 도면이다.

도 5a는 도 2a의 네트워크에서 본 발명에서 제안한 알고리즘을 통해 2-채널 네트워크에서 스케줄링을 하는

경우, 각 타임슬롯에서 각 노드의 QL 및 TS 값을 도시한 도면이며, 도 5b는 도 2a의 네트워크에서 스케줄링 결과를 도시한 도면이다.

도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 무선 센서 네트워크의 링크 스케줄링 방법을 설명하기 위한 네트워크의 다른 예를 도시한 도면이다.

도 7은 도 6의 네트워크에서 각 노드가 하나의 슬롯 프레임(slot-frame)에서 전송할 패킷의 수가 1개씩이고, 각 노드의 종단 간 목표 전송률이 99%인 경우, 종래의 플로우 기반 알고리즘(flow-based algorithm)을 이용한 스케줄링 결과를 도시한 도면이다.

도 8은 도 6의 네트워크에서 각 노드가 하나의 슬롯 프레임(slot-frame)에서 전송할 패킷의 수가 1개씩이고, 각 노드의 종단 간 목표 전송률이 99%인 경우, 본 발명의 일 실시예에 따른 무선 센서 네트워크의 링크 스케줄링 방법을 통해 도출되는 PA 및 TS 값을 도시한 도면이다.

도 9는 도 6의 네트워크에서 본 발명의 일 실시예에 따른 무선 센서 네트워크의 링크 스케줄링 방법을 이용한 스케줄링 결과를 도시한 도면이다.

도 10은 도 7 및 도 9의 스케줄링 결과에 따라 시뮬레이터를 이용하여 각 노드들이 싱크노드로 센서 데이터를 전송한 결과, 각 노드들의 종단 간 패킷 수신률(End-to-end Packet Reception Rate)을 비교한 도면이다.

도 11은 도 7 및 도 9의 스케줄링 결과에 따라 시뮬레이터를 이용하여 각 노드들이 싱크노드로 센서 데이터를 전송한 결과, 각 노드들의 평균 종단 간 패킷 지연(Average End-to-end Packet Delay)을 비교한 도면이다.

도 12는 도 7 및 도 9의 스케줄링 결과에 따라 시뮬레이터를 이용하여 각 노드들이 싱크노드로 센서 데이터를 전송한 결과, 각 노드들의 최대로 버퍼링된 패킷의 평균(Average of Maximally Buffered Packets)을 비교한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0025] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예를 상세히 설명한다. 본 발명의 이점 및 특징, 그리고 그것들을 달성하는 방법은 첨부되는 도면과 함께 상세하게 후술되어 있는 실시예들을 참조하면 명확해질 것이다. 그러나 본 발명은 이하에서 개시되는 실시예들에 한정되는 것이 아니라 서로 다른 다양한 형태로 구현될 것이며, 단지 본 실시예들은 본 발명의 개시가 완전하도록 하며, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 발명의 범주를 완전하게 알려주기 위해 제공되는 것이며, 본 발명은 청구항의 범주에 의해 정의될 뿐이다. 명세서 전체에 걸쳐 동일 참조 부호는 동일 구성 요소를 지칭한다.

[0026] 비록 제1, 제2 등이 다양한 소자, 구성요소 및/또는 섹션들을 서술하기 위해서 사용되나, 이들 소자, 구성요소 및/또는 섹션들은 이들 용어에 의해 제한되지 않음은 물론이다. 이들 용어들은 단지 하나의 소자, 구성요소 또는 섹션들을 다른 소자, 구성요소 또는 섹션들과 구별하기 위하여 사용하는 것이다. 따라서, 이하에서 언급되는 제1 소자, 제1 구성요소 또는 제1 섹션은 본 발명의 기술적 사상 내에서 제2 소자, 제2 구성요소 또는 제2 섹션일 수도 있음은 물론이다.

[0027] 본 명세서에서 사용된 용어는 실시예들을 설명하기 위한 것이며 본 발명을 제한하고자 하는 것은 아니다. 본 명세서에서, 단수형은 문구에서 특별히 언급하지 않는 한 복수형도 포함한다. 명세서에서 사용되는 "포함한다(comprises)" 및/또는 "이루어지다(made of)"는 언급된 구성요소, 단계, 동작 및/또는 소자는 하나 이상의 다른 구성요소, 단계, 동작 및/또는 소자의 존재 또는 추가를 배제하지 않는다.

[0028] 다른 정의가 없다면, 본 명세서에서 사용되는 모든 용어(기술 및 과학적 용어를 포함)는 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 공통적으로 이해될 수 있는 의미로 사용될 수 있을 것이다. 또 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 용어들은 명백하게 특별히 정의되어 있지 않는 한 이상적으로 또는 과도하게 해석되지 않는다.

[0029] 이하, 본 발명에 대하여 첨부된 도면에 따라 보다 상세히 설명한다.

[0030] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 무선 센서 네트워크의 링크 스케줄링 방법의 순서도이다.

[0031] 도 1을 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 무선 센서 네트워크의 링크 스케줄링 방법은, 각 노드의 큐 레벨이 추정되며(S10), 상기 각 노드에 할당할 잔여 타임 슬롯 수가 추정되고(S20), 상기 각 노드의 큐 레벨 및 잔여 타임 슬롯 수를 기초로 현재 타임 슬롯에서 채널을 할당받을 수 있는 노드 세트가 결정되고(S30), 상기 큐

레벨 및 잔여 타임 슬롯 수를 기초로 상기 노드 세트의 노드들의 우선 순위가 결정되고(S40), 상기 노드 세트의 노드들의 우선 순위에 따라 상기 현재 타임 슬롯에서 노드에 선택되어 타임 슬롯 및 채널이 할당된다(S50).

[0032] 여기에서, 무선 센서 네트워크는 무선 인터페이스를 갖춘 센서 노드를 포함한다. 무선 인터페이스는 1개일 수 있다. 각 노드는 주기적으로 패킷을 생성하고, 목적지인 싱크(sink) 노드로 패킷을 전송한다. 구체적으로, 센서 노드에서 생성된 패킷이 싱크 노드(sink node)를 통해 외부의 노드로 전송된다.

[0033] 큐 레벨이 추정되는 경우(S10), 각 노드의 노드 간 링크의 PRR(packet reception rates)이 확인되며, 타임 슬롯이 할당된 각 노드의 현재 큐 레벨 및 상기 확인된 링크의 PRR을 이용하여 타임 슬롯이 할당된 다음의 타임 슬롯의 큐 레벨이 연산되어 갱신된다.

[0034] 이때, 큐 레벨(QL; Queue Level)은 각 노드의 버퍼에 저장되어 있는 패킷의 확률적인 양을 나타낸다. 예를 들어, 큐 레벨(QL)이 높은 노드는 큐 레벨(QL)이 낮은 노드보다 확률적으로 큐에 많은 패킷을 가지고 있다는 것을 의미한다. 즉, 큐 레벨이 높을수록 패킷의 양이 많을 확률이 높다.

[0035] 또한, PRR(packet reception rates, 패킷 수신율)은 노드 간 링크를 통해 패킷을 전송할 때 성공적으로 전송될 확률을 위미한다. 이러한 PRR은 링크 품질 측정기 등을 통해 측정 가능하다.

[0036] 무선 링크의 PRR에 의해 큐 레벨은 확률적으로 결정된다. 무선 링크의 확률적인 전송을 고려하여 노드의 큐에서 패킷의 양이 큐 레벨의 백분율로 표현된다.

[0037] 예를 들어, 노드 2에 보낼 패킷이 하나 있고, 노드 1에 패킷이 없으면 노드 2의 큐 레벨은 100이고, 노드 3의 큐 레벨은 0이다. 그리고, 노드 2에서 노드 1로 패킷을 전송하는 경우, 노드 2 및 1 간 링크 <2,1>의 PRR이 70%라 가정하면, 링크 <2,1>를 통해 패킷을 전송한 후에 노드 2의 큐 레벨은 30이고, 노드 3의 큐 레벨은 70이 된다. 여기에서, 링크 <2,1>은 노드 2에서 노드 1로 패킷이 전송되는 무선 링크이다.

[0038] 큐 레벨에 의해 패킷의 양을 추정할 수 있다. 큐 레벨이 높을수록 대기 중인 패킷의 양이 많을 확률이 높게 된다.

[0039] 각 노드의 큐 레벨은 그 노드가 하나의 슬롯 프레임(slot-frame)에서 전송하는 패킷 수에 따라 초기화할 수 있다. 각 노드의 큐 레벨이 초기화된 후, 노드 간 링크의 PRR이 확인되면, 초기화 이후의 큐 레벨이 PRR에 의해 확률적으로 연산된다.

[0040] 잔여 타임 슬롯 수가 추정되는 경우(S20), 무선 센서 네트워크의 종단 간(End-to-End) 목표 PRR을 기초로 홉당 링크 PRR이 연산되며, 상기 연산된 홉당 링크 PRR을 기초로 링크 PRR 평균이 연산되고, 상기 각 노드가 전송해야 할 패킷 수가 연산되고, 상기 연산된 링크 PRR의 평균 및 상기 각 노드가 전송해야 할 패킷 수를 기초로 상기 잔여 타임 슬롯 수가 연산되어 갱신된다.

[0041] 무선 센서 네트워크에서 종단 간 신뢰성(End-to-end Reliability)의 요구를 충족하기 위해, 각 노드에 할당해야 할 타임 슬롯의 수를 결정할 수 있다. 예를 들어, 무선 센서 네트워크의 종단 간 목표 PRR이 제공될 때, 노드가 전송하는 패킷에 할당해야 하는 타임 슬롯 수는 상기 종단 간 목표 PRR 및 그 노드의 링크 PRR에 의존한다. 싱크 노드(sink node)에서 떨어져 있는 노드가 전송하는 패킷의 타임 슬롯 수를 결정하기 위해, 먼저 싱크 노드에서 k 홉 떨어져 있는 노드가 주어진 엔드-투-엔드 PRR을 충족시키도록 필요한 홉당 링크 PRR은 다음의 수학식 1과 같이 결정할 수 있다.

수학식 1

[0042] $$PH_k = e2ePRR^{1/k}$$

[0043] 여기에서, PH_k 는 홉당 링크 PRR이며, $e2ePRR$ 은 종단 간 목표 PRR이다.

[0044] 그 노드를 통해 전송되는 패킷이 2개 이상일 경우, 각 패킷의 홉당 링크 PRR의 평균인 링크 PRR 평균은 다음의 수학식 2와 같다.

수학식 2

[0045] $$PA_k = (\sum_{(p_i,h_i)\epsilon S_k} PH_{h_i}) / |S_k|$$

[0046] 여기에서, PA_k 는 링크 PRR 평균이며, S_k 는 노드 k의 전송 링크 $<k, P_k>$ 를 공유하는 (p_i, h_i) 집합이다. 또한, P_k 는 노드 k의 부모 노드(parent node)이다. 또한, p_i 는 패킷이고, h_i 는 p_i 를 송신하는 노드의 싱크 노드까지의 홉 카운트(hop count)이다.

[0047] 링크 $<k, P_k>$ 를 통하여 패킷을 전송하는 노드 k에 할당되는 타임 슬롯의 수는 다음의 수학식 3과 같다.

수학식 3

[0048] $$TS_k = \min_n\{PA_k \leq 1 - \sum_{j=0}^{|S_k|-1} \binom{n-|S_k|+j}{j} R_k{}^j (1 - R_k)^{n-|S_k|+1}\}$$

[0049] 여기에서, TS_k 는 노드 k의 타임 슬롯 수이며, R_k 는 링크 $<k, P_k>$ 의 PRR 값이다.

[0050] 노드 세트가 결정되는 경우(S30), 큐 레벨이 최소 큐 레벨 이상이며, 잔여 타임 슬롯 수가 1 이상인 노드들이 상기 노드 세트로 결정된다. 현재의 타임 슬롯에서 채널을 할당 받을 수 있는 노드 세트가 큐 레벨 및 잔여 타임 슬롯 수로 결정할 수 있다. 구체적으로, 첫 번째 타임 슬롯부터 시작하며, 현재 타임 슬롯의 큐 레벨이 최소 큐 레벨을 넘는 노드들을 노드 세트로 결정한다.

[0051] 이때, 큐 레벨이 최소 큐 레벨 이상이나, 잔여 타임 슬롯 수가 0인 노드들의 경우, 상기 각 노드의 큐 레벨에 따라 노드에 추가 타임 슬롯이 할당될 수 있다.

[0052] 우선 순위가 결정되는 경우(S40), 큐 레벨 및 잔여 타임 슬롯 수를 기초로 결정하며, 큐 레벨을 1순위로 하고, 잔여 타임 슬롯 수를 2순위로 하여 우선 순위를 결정할 수 있다. 추가적으로, 노드의 트리 레벨을 3순위로 하여 우선 순위를 결정할 수 있다.

[0053] 구체적으로, 큐 레벨이 가장 큰 노드가 1순위로로 선택되며, 큐 레벨이 동일할 경우에는 잔여 타임 슬롯 수가 가장 큰 노드가 2순위로 선택되고, 큐 레벨 및 타임 슬롯 수가 동일할 경우에는 노드의 트리 레벨이 가장 높은 노드가 3순위로 선택된다.

[0054] 타임 슬롯 및 채널이 할당되는 경우(S50), 큐 레벨이 가장 큰 노드가 우선 순위 노드로 선택되어 현재 타임 슬롯에서 상기 타임 슬롯 및 채널이 할당된다. 즉, 큐 레벨(QL) 기반의 우선 순위 지정 방식을 사용하여 현재의 타임 슬롯을 우선 순위 노드에 할당한다. 큐 레벨(QL)이 가장 높은 노드에 타임 슬롯을 할당하여 패킷의 종단 간 평균 지연을 줄이고, 필요한 종단 간 신뢰성을 만족하면서 큐에 버퍼링되는 패킷의 수를 줄일 수 있게 된다.

[0055] 또한, 큐 레벨이 동일할 경우, 타임 슬롯 수가 가장 큰 노드가 우선 순위 노드로 선택되어 현재 타임 슬롯에서 상기 타임 슬롯 및 채널이 할당될 수 있다.

[0056] 또한, 큐 레벨 및 잔여 타임 슬롯 수가 동일할 경우, 노드의 트리 레벨이 가장 높은 노드가 우선 순위 노드로 선택되어 현재 타임 슬롯에서 상기 타임 슬롯 및 채널이 할당될 수 있다.

[0057] 따라서, 최고의 큐 레벨(QL), 최고의 타임 슬롯 수(TS), 최고의 트리 레벨 순으로 노드에 우선 순위가 부여되어 타임 슬롯이 할당된다.

[0058] 또한, 도 1에 도시하지 않았으나, 우선 순위 노드의 전이중 충돌 노드(duplex-conflict nodes)를 제외한 비충돌 노드가 현재 타임 슬롯에서 우선 순위 노드에 할당된 타임 슬롯의 채널과 다른 채널에 할당될 수 있다. 여기에서, 전이중 충돌 노드(duplex-conflict nodes)는 동일한 타임 슬롯에서 전송할 수 없는 노드를 의미한다. 그러므로, 현재 타임 슬롯에서 전이중 충돌 노드(duplex-conflict nodes)를 제외한 비충돌 노드들만 별개의 채널들을 통해 패킷을 전송할 수 있다.

[0059] 구체적으로, 전이중 충돌 노드는 선택된 우선 순위 노드와 동일한 타임 슬롯에서 데이터를 전송할 수 없으나, 상기 전이중 충돌 노드가 아닌 비충돌 노드는 선택된 우선 순위 노드와 동일한 타임 슬롯에서 서로 다른 채널을 사용하여 데이터를 전송할 수 있다.

[0060] 이하에서는, 트리 구조의 네트워크에 본 발명의 일 실시예에 따른 무선 센서 네트워크의 링크 스케줄링 방법을 적용하여 상세히 설명하도록 한다.

[0061] 도 2a는 본 발명의 일 실시예에 따른 무선 센서 네트워크의 링크 스케줄링 방법을 설명하기 위한 네트워크의 일 예를 도시한 도면이다. 또한, 도 2b 도 2a의 네트워크에서 각 노드가 하나의 슬롯프레임(slot-frame)에서 전송할 패킷의 수가 1개씩이고, 각 노드의 종단간 목표 전송률이 99%인 경우, 본 발명의 일 실시예에 따른 무선 센서 네트워크의 링크 스케줄링 방법을 통해 도출되는 PA 및 TS 값을 도시한 도면이다.

[0062] 도 2a를 참조하면, 하나의 싱크 노드(0)와 네 개의 센서 노드(1, 2, 3, 4)가 도시되어 있다. 싱크 노드(0)는 게이트웨이의 역할을 하며, 각 노드(1, 2, 3, 4)는 half-duplex 무선 인터페이스를 구비한 센서 노드라 하자.

[0063] 각 노드는 데이터를 싱크 노드(0)로 전송하는 부모 노드 P_k를 고려한다. 또한, 전이중 충돌 노드 세트(a set of duplex-conflict nodes)는 충돌을 방지하기 위해 동일한 타임 슬롯에 데이터를 보낼 수 없는 노드의 집합이라 한다.

[0064] 이때, 노드 k의 전이중 충돌 노드 세트를 DC_k라 하자. 이러한 DC_k는 부모 노드 P_k, 노드 k의 자식 노드, P_k의 자식 노드로 구성된다. DC_k에 없는 비충돌 노드는 노드 k와 동일한 타임 슬롯에서 서로 다른 채널을 사용하여 데이터를 보낼 수 있다.

[0065] 도 2a에서, DC_1는 {2, 4}, DC_4는 {1, 2}이며, 노드 1과 노드 3, 노드 3과 노드 4는 서로 다른 채널을 사용하여 동일한 타임 슬롯에서 데이터를 보낼 수 있다.

[0066] 도 2b를 참조하면, 도 2a의 네트워크에서 노드 1에서 노드 4까지의 PA 및 TS 값이 표시되어 있다. 도 2a의 네트워크에서 각 노드에 전송할 패킷이 하나 있고, 모든 패킷에 대한 종단 간 목표 PRR이 0.99라 하자.

[0067] 도 2a에서, 홉(hop)은 1, 2, 3이므로 상술한 수학식 1에 의해 PH_1은 0.99, PH_2는 0.99499, PH_3는 0.99666이 된다.

[0068] 그리고, 노드 1의 전송 링크를 공유하는 집합 S_1은 $\{(p_1, 1), (p_2, 2), (p_4, 2), (p_3, 3)\}$이 된다.

[0069] 그리하여, 노드 1의 링크 PRR 평균은 상술한 수학식 2에 의해 다음의 수학식 4와 같이 표현된다.

수학식 4

[0070] $$PA_1 = \sum(PH_1 + 2 * PH_2 + PH_3)/4)$$

[0071] 여기에서, PA_1은 노드 1의 링크 PRR 평균이며, 상기 수학식 4에 의해 0.99416이 된다.

[0072] 따라서, 상술한 수학식 3에 의해 노드 1의 타임 슬롯 수 TS_1은 7이 된다.

[0073] 또한, 이러한 방법으로 노드 2의 타임 슬롯 수는 6, 노드 3의 타임 슬롯 수는 6, 노드 4의 타임 슬롯 수는 3이 된다.

[0074] 도 2a와 같은 트리 구조의 네트워크가 구축된 후에, 본 발명의 일 실시예에 따른 스케줄링 방법을 실행하는 스케줄링 서버(미도시)는 노드 k로부터 T_k, P_k, R_k를 획득할 수 있다. 여기에서, T_k는 하나의 슬롯 프레임에서 노드 k에 의해 전송되는 패킷 수, P_k는 노드 k의 부모 노드(parent node), R_k 노드 k의 링크 $<k, P_k>$의 PRR 값이다. 이러한 스케줄링 서버는 본 발명의 일 실시예에 따른 무선 센서 네트워크의 링크 스케줄링 방법을

실행하기 위한 프로세서, MCU, 메모리 등을 구비할 수 있다.

[0075] 상술한 바와 같이, 수학식 1 내지 3에 의해 각 노드 k에 대해 PA_k 및 TS_k를 연산한다. 또한, 노드 k의 전이 중 충돌 노드 세트 DC_k에 속하지 않은 비충돌 노드를 타임 슬롯의 다른 채널에 할당한다. 타임 슬롯을 노드에 할당하여 전송의 예약을 위해, 각 노드에 다음의 설정 정보를 도출할 수 있다.

[0076] - 노드 k의 큐 레벨(QL_k) 초기화 (= 100 * T_k)

[0077] - 노드 k의 최소 큐 레벨(MQL_k) (= 100 * (1- PA_k))

[0078] - 노드 k의 전이중 충돌 노드 세트(DC_k)

[0079] 도 3은 본 발명의 다른 실시예에 따른 무선 센서 네트워크의 링크 스케줄링 방법의 순서도이다.

[0080] 도 3을 참조하면, 각 노드의 큐 레벨 및 상기 각 노드에 할당할 잔여 타임 슬롯 수가 초기화한 후(S110), 상기 각 노드의 큐 레벨 및 상기 각 노드에 할당할 잔여 타임 슬롯 수를 추정할 수 있다(S120). 여기에서, 초기화를 통해 각 노드의 큐 레벨 및 잔여 타임 슬롯 수를 동일하게 설정할 수 있다. 구체적인 추기화 및 추정 과정은 상술한 바와 같으므로 상세한 설명은 생략하도록 한다.

[0081] 그런 다음, 각 노드의 큐 레벨 및 잔여 타임 슬롯 수를 기초로 현재 타임 슬롯에서 채널을 할당받을 수 있는 노드 세트가 결정되며(S130), 상기 큐 레벨 및 잔여 타임 슬롯 수를 기초로 상기 노드 세트의 노드들의 우선 순위가 결정되고(S140), 상기 노드 세트의 노드들의 우선 순위에 따라 상기 현재 타임 슬롯에서 노드에 타임 슬롯 및 채널이 할당된다(S150). 여기에서, 노드 세트의 결정, 우선 순위의 결정, 타임 슬롯 및 채널의 할당 과정은 상술한 바와 같으므로 상세한 설명은 생략하도록 한다.

[0082] 그런 다음, 현재 타임 슬롯에서 타임 슬롯 및 채널의 할당이 완료되면, 현재 타임 슬롯의 다음 타임 슬롯에서 채널을 할당하기 위해, 큐 레벨 및 잔여 타임 슬롯 수를 다시 추정하여 그 값을 갱신한다. 이러한 과정은 추가 타임 슬롯이 할당될 때까지 계속된다(S160). 즉, 현재 타임 슬롯의 다음 타임 슬롯에서 상기 S120에서 S150까지의 단계를 반복한다.

[0083] 그리고, 추가 타임 슬롯이 할당되면, 타임 슬롯이 할당될 노드가 없으므로, 스케줄링 과정은 종료된다. 이때, 큐 레벨이 최소 큐 레벨 이상이며, 잔여 타임 슬롯 수가 1 이상인 노드들이 없을 경우, 각 노드의 큐 레벨에 따라 노드에 추가 타임 슬롯이 할당된다.

[0084] 도 4a 내지 도 4d는 본 발명의 일 실시예에 따른 구체적인 스케줄링 알고리즘을 도시한 도면이다.

[0085] 도 4a를 참조하면, 구체적인 스케줄링 알고리즘은 각 노드의 큐 레벨(QL) 값과, 최소 큐 레벨(MQL) 값을 초기화한다(1).

[0086] 이때, 현재 타임 슬롯의 번호는 1이고, 채널 번호는 0이 된다(2).

[0087] 그리고, 현재 타임 슬롯의 번호(초기 0)에서 스케줄링해야 하는 노드 세트 N을 결정한다(3). 여기에서, 스케줄링해야 하는 노드 세트 N은 각 노드에서 $TS_k \geq 1$ 및 $QL_k \geq MQL_k$ 를 충족해야 한다.

[0088] (4) ~ (18)의 메인 루프에서 함수 PRIORITIZE(N)에 따라 노드 세트 N의 노드들이 우선 순위에 따라 순서가 정해진다(5).

[0089] 이때, 도 4b에 도시한 바와 같이, 현재 타임 슬롯에서 채널을 할당받을 수 있는 노드들의 우선 순위는 PRIORITIZE (N) 함수에 의해 노드의 QL 값에 따라 우선 순위를 부여하고, QL 값이 동일하면 노드의 TS 값에 다음으로 우선 순위를 부여하고, TS 값도 동일하면 노드의 트리 레벨로 우선 순위를 부여하게 된다.

[0090] (7) ~ (14)의 내부 루프(inner loop)에서 현재의 타임 슬롯 ts에서 동시에 보낼 수 있는 노드를 선택하고 사용 가능한 채널에 할당한다.

[0091] 먼저, (ts 0) (타임 슬롯 ts, 채널 0)를 N(0)에 할당한다. 여기에서, N(0)은 N에서 가장 우선 순위가 높은 노드이다.

[0092] 다음에, 도 4c에 도시한 바와 같이, N(0)을 제거한다. 선택한 노드와 전이중 충돌하는 노드들을 다시 제거한다.

즉, N에서 선택된 노드 n과 전이중 충돌 노드 세트 의 노드들을 삭제한다.

[0093] N에서 다음으로 가장 높은 우선 순위 노드 n을 선택하고 사용 가능한 다음 채널을 노드 n에 할당한다.

[0094] N이 비거나(empty), 사용 가능한 채널이 없을 때까지 이 단계를 반복한다. (7) ~ (14)

[0095] 다음에, 도 4d에 도시한 바와 같이, 현재 타임슬롯 ts에서 동시에 보낼 수 있는 모든 노드를 선택한 후, ADJUST_TS_QL(M) 함수로 M에 속한 링크(ts에서 선택된 링크)의 송신자 및 수신자 노드들의 TS 값과 QL 값을 업데이트한다.

[0096] 타임 슬롯의 번호 ts를 1 증가시키고, 채널 번호 ch를 0으로 설정하고, 현재 타임 슬롯의 다음 타임 슬롯(ts+1)에 채널을 할당할 수 있는 노드의 집합 N을 업데이트한다.

[0097] N이 비어 있지 않은 동안 (4)에서 (18)의 메인 루프를 반복한다.

[0098] 메인 루프 실시 후, 각 노드의 QL을 확인하고 QL이 MQL 이상의 경우 ASSIGN_ADDITIONAL_TS() 함수에서 노드의 추가 타임 슬롯을 할당한다(19).

[0099] 내부 루프 ((7)~(14))가 완료되면, M에는 현재의 타임 슬롯 ts에서 동시에 전송하기 위해 채널이 할당된 링크가 포함된다. ADJUST_TS_QL(M) 함수는 M에 속한 링크의 송신 노드와 수신 노드의 TS와 QL 값을 업데이트하여 다음 타임 슬롯의 채널 할당을 결정한다.

[0100] 잔여 타임 슬롯 수 (TS 값)는 1 감소한다. QL 값은 타임 슬롯 ts에서 보내는 패킷의 양과 PRR 값에 따라 업데이트된다. 패킷 1의 전송을 가정하면, 가 100보다 크면 전송하는 패킷의 양(tx_amount)은 100이고, 그렇지 않으면, tx_amount는 이다. 따라서 M의 각 링크 $<k, P_k>$ 에 대한 ADJUST_TS_QL(M) 함수 단계 (7)과 (8)의 링크 PRR 값 R_k 에 따라 노드 k 및 노드 P_k 의 큐 레벨(QL)을 업데이트한다.

[0101] 도 2a의 트리 구조 네트워크에서 2채널을 사용할 경우, 상술한 스케줄링 알고리즘을 적용하여 설명하도록 한다. 이때, 모든 노드가 각 슬롯 프레임에서 전송하는 패킷을 하나 가지고 있다고 가정한다.

[0102] 도 5a는 도 2a의 네트워크에서 본 발명에서 제안한 알고리즘을 통해 2-채널 네트워크에서 스케줄링을 하는 경우, 각 타임슬롯에서 각 노드의 QL 및 TS 값을 도시한 도면이며, 도 5b는 도 2a의 네트워크에서 스케줄링 결과를 도시한 도면이다.

[0103] 도 5a를 참조하면, 홉당 링크 PRR의 평균인 링크 PRR 평균 값에 따라, 노드 1 내지 노드 4의 MQL(최소 QL)은 노드 k에 대해서 다음의 수학식 5와 같이 표현된다.

수학식 5

[0104] $$MQL_k = 100 * (1 - PA_k)$$

[0105] 여기에서, MQL_k 는 노드 k의 최소 큐 레벨, PA_k 는 노드 k의 링크 PRR 평균이다.

[0106] 도 5a에 도시한 바와 같이, 노드 1의 MQL은 0.584, 노드 2의 MQL은 0.417, 노드 3의 MQL은 0.334, 노드 4의 MQL은 0.501 이다.

[0107] 이때, 상술하여 설명한 바와 같이, 큐 레벨이 최소 큐 레벨 이상이며, 타임 슬롯 수가 1 이상인 노드들이 노드 세트로 결정된다. 즉, $QL_k \geq MQL_k$ 및 $TS_k \geq 1$ 을 충족하는 노드에만 타임 슬롯을 할당한다.

[0108] 타임 슬롯 1의 경우, 큐 레벨이 동일하므로, 타임 슬롯 수가 7로 가장 큰 노드 1에 타임 슬롯이 할당된다. 그리고, 노드 1과 전이중 충돌 노드가 아닌 비충돌 노드는 동일한 타임 슬롯에서 서로 다른 채널을 사용하여 데이터를 전송할 수 있다. 노드 1과 비충돌 노드인 3이 노드 1과 함께 데이터를 전송할 수 있다. 그리하여, 도 5b에 도시한 바와 같이, 채널0(ch0)에 노드 1, 채널1(ch1)에 노드 3이 타임 슬롯 1에 할당되어 패킷을 전송할 수 있다.

[0109] 타임 슬롯 2의 경우, 노드 2의 큐 레벨이 가장 크므로, 노드 2에 타임 슬롯 2가 할당된다. 여기에서, 다른 노드

들은 전이중 충돌 노드 세트에 속한다.

[0110] 타임 슬롯 3의 경우, 노드 4의 큐 레벨이 가장 크므로, 노드 4에 타임 슬롯 3이 할당된다. 노드 4와 비충돌 노드인 3이 노드 4와 함께 데이터를 전송할 수 있다. 그리하여, 도 5b에 도시한 바와 같이, 채널0(ch0)에 노드 4, 채널1(ch1)에 노드 3이 타임 슬롯 3에 할당되어 패킷을 전송할 수 있다.

[0111] 타임 슬롯을 할당하는 동안, 노드의 TS가 0보다 큰 경우에도 QL이 MQL 미만이 될 가능성이 있다. 이러한 경우에 나머지 타임 슬롯이 할당되지 않으므로, 할당된 타임 슬롯의 수를 줄일 수 있다. 도 5a에서, 타임 슬롯 8의 노드 3과, 타임 슬롯 15의 노드 2가 TS가 0보다 큰 경우에도 QL이 MQL 미만이다.

[0112] 타임 슬롯 4부터 타임 슬롯 15까지 큐 레벨(QL) 및 TS(타임 슬롯 수)를 이용하여 우선 순위 노드에 현재의 타임 슬롯을 할당할 수 있다.

[0113] 타임 슬롯 16의 경우, $QL_k \geq MQL_k$ 및 $TS_k \geq 1$ 을 충족하는 노드가 없으므로, 도 4a의 스케줄링 알고리즘의 메인 루프는 종료된다. 타임 슬롯 16에서 메인 루프가 종료됨에 따라, 도 4d의 ADJUST_TS_QL(M) 함수는 노드 1 내지 노드 4의 QL을 확인하고, $QL_1 > MQL_1$ 이므로, 하나의 추가 타임 슬롯을 노드 1에 할당한다. 즉, 큐 레벨이 최소 큐 레벨 이상이며, 타임 슬롯 수가 1 이상인 노드들이 없을 경우, 상기 각 노드의 큐 레벨에 따라 노드에 추가 타임 슬롯이 할당된다.

[0114] 이에 따라, 도 5a의 QL 및 TS 값을 기초로 타임 슬롯을 할당하여 도 5b의 슬롯 프레임이 된다.

[0115] 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 무선 센서 네트워크의 링크 스케줄링 방법을 설명하기 위한 네트워크의 다른 예를 도시한 도면이다. 또한, 도 7은 도 6의 네트워크에서 각 노드가 하나의 슬롯 프레임(slot-frame)에서 전송할 패킷의 수가 1개씩이고, 각 노드의 종단 간 목표 전송률이 99%인 경우, 종래의 플로우 기반 알고리즘(flow-based algorithm)을 이용한 스케줄링 결과를 도시한 도면이다. 또한, 도 8은 도 6의 네트워크에서 각 노드가 하나의 슬롯 프레임(slot-frame)에서 전송할 패킷의 수가 1개씩이고, 각 노드의 종단 간 목표 전송률이 99%인 경우, 본 발명의 일 실시예에 따른 무선 센서 네트워크의 링크 스케줄링 방법을 통해 도출되는 PA 및 TS 값을 도시한 도면이다. 또한, 도 9는 도 6의 네트워크에서 본 발명의 일 실시예에 따른 무선 센서 네트워크의 링크 스케줄링 방법을 이용한 스케줄링 결과를 도시한 도면이다.

[0116] 도 6을 참조하면, 싱크 노드(노드 0)를 통해 7개의 센서 노드(노드 1 내지 7)가 데이터를 전송한다. 네트워크에서 사용 가능한 채널은 3채널(ch0 ~ ch2)이다. 모든 센서 노드는 각 슬롯 프레임의 시작에 전송하는 패킷 하나를 가지고 있으며, 패킷의 종단 간 신뢰성이 99 %인 것으로 가정한다.

[0117] 도 7을 참조하면, 도 6의 트리 구조에서, 종래의 플로우 기반 알고리즘(flow-based algorithm)을 이용한 스케줄링 결과가 도시되어 있다. 플로우 기반 알고리즘(flow-based algorithm)은 플로우(flow)를 공유하는 플로우 공유 링크를 우선 순위화하고 플로우 간 효율적으로 공유 타임 슬롯을 할당함으로써 요구되는 타임 슬롯 수를 줄이는 방법이다. 이러한 플로우 기반 알고리즘은 플로우의 센서 데이터 전송의 신뢰성에 초점을 맞추고, 요구되는 종단 간 신뢰성을 보장하기 위해 할당되는 타임 슬롯 수를 줄이는 것이다.

[0118] 도 7에서, 플로우의 우선 순위는 F6, F7, F3, F4, F5, F1, F2 의 순으로 설정하여 적용하였다. 여기에서, F6는 노드 6에서 싱크 노드까지의 플로우를 의미하며, 상기 F6가 최우선 순위에 해당한다.

[0119] 도 8을 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 무선 센서 네트워크의 링크 스케줄링 방법을 통해 각 노드(노드 1 ~ 노드 7)의 PA, MQL, TS 값이 도출된다.

[0120] 도 9를 참조하면, 도 8에 표시되어 있는 PA, MQL, TS 값을 기초로 각 노드의 큐 레벨 및 타임 슬롯 수를 추정할 수 있고, 각 노드에 타임 슬롯을 할당할 수 있다.

[0121] 도 7 및 도 9를 비교하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 무선 센서 네트워크의 링크 스케줄링 방법을 이용한 경우, 슬롯 프레임을 구성하는 타임 슬롯의 수가 24개로 종래의 플로우 기반 알고리즘(flow-based algorithm)보다 1개 적은 것을 알 수 있다.

[0122] 도 10은 도 7 및 도 9의 스케줄링 결과에 따라 시뮬레이터를 이용하여 각 노드들이 싱크노드로 센서 데이터를 전송한 결과, 각 노드들의 종단 간 패킷 수신률(End-to-end Packet Reception Rate)을 비교한 도면이다. 또한, 도 11은 도 7 및 도 9의 스케줄링 결과에 따라 시뮬레이터를 이용하여 각 노드들이 싱크노드로 센서 데이터를 전송한 결과, 각 노드들의 평균 종단 간 패킷 지연(Average End-to-end Packet Delay)을 비교한 도면이다. 그

리고, 도 12는 도 7 및 도 9의 스케줄링 결과에 따라 시뮬레이터를 이용하여 각 노드들이 싱크노드로 센서 데이터를 전송한 결과, 각 노드들의 최대로 버퍼링된 패킷의 평균(Average of Maximally Buffered Packets)을 비교한 도면이다.

[0123] 도 7 및 도 9의 스케줄링 결과에 대한 성능 분석은 Cooja simulator를 사용한 시뮬레이션을 통해 분석하였고, 슬롯 프레임 길이 50, 타임 슬롯 길이는 10ms이다. 또한, 종단 간 신뢰성 목표를 99%로 설정한다. 시뮬레이션 동안, 각 센서 노드는 할당된 타임 슬롯 및 채널을 사용하여 각 슬롯 프레임에 하나씩 5000번 데이터를 전송하였다.

[0124] 플로우 기반의 접근 방식은 우선 순위 기반 송신이 사용되며, 할당된 타임 슬롯에서 큐에 여러 패킷이 있는 경우에 정의된 플로우의 우선 순위에 따라 우선 순위가 가장 높은 패킷을 전송한다. 본 발명에서 제안된 스케줄링 알고리즘의 경우, 각 노드는 큐의 패킷을 FIFO(First In First Out) 순서로 전송한다.

[0125] 도 10을 참조하면, 종래 플로우 기반의 접근 방식 및 본 발명에서 제안된 스케줄링 알고리즘 모두 종단 간 신뢰성 99 %를 충족한다. 본 발명에서 제안된 스케줄링 알고리즘에서 노드의 평균 종단 간 신뢰성은 99.76 %이며, 플로우 기반 접근의 신뢰성 99.85 %보다 조금 낮다.

[0126] 도 11을 참조하면, 패킷의 종단 간 지연시간(end-to-end delay)은 슬롯 프레임의 시작 시간부터 싱크 노드에서 패킷이 수신된 시간 사이로 측정한다. 여기에서, 각 슬롯 프레임에서 전송되는 모든 패킷은 슬롯 프레임의 시작 시간에 준비가 된 것으로 한다.

[0127] 도 11에 도시한 바와 같이, 본 발명에서 제안된 스케줄링 알고리즘의 패킷의 평균 종단 간 지연은 노드 6을 제외한 모든 노드에서 종래 플로우 기반의 접근 방식보다 낮은 것을 확인할 수 있다. 노드 6의 패킷의 평균 종단 간 지연이 가장 짧은 것은 플로우 기반 스케줄링에서 노드 6이 최우선 순위 노드이기 때문이다. 모든 플로우의 패킷이 노드 1에 버퍼링된 후, 노드 6의 패킷이 노드 1에 할당된 첫번째 타임 슬롯(타임 슬롯 14)으로부터 전송된다.

[0128] 종래 플로우 기반의 접근 방식에서 모든 노드에 의해 송신되는 패킷의 평균 종단 간 지연은 184.4ms이며, 본 발명에서 제안된 스케줄링 알고리즘의 평균 종단 간 지연은 98.1ms이다. 이에, 플로우 기반의 접근 방식보다 본 발명에서 제안된 스케줄링 알고리즘의 경우, 평균 종단 간 지연이 약 47 % 적다. 노드 1의 경우 본 발명에서 제안된 스케줄링 알고리즘의 패킷의 평균 종단 간 지연은 13.36ms이며, 플로우 기반의 접근 방식에서 노드 1의 평균 종단 간 지연시간(206.58ms)의 약 7 %에 불과함을 확인할 수 있다.

[0129] 도 12를 참조하면, 플로우 기반의 접근 방식의 경우 노드에서 병합되는 플로우의 수가 증가하면, 버퍼링된 패킷의 수가 증가한다. 플로우 기반의 접근 방식의 최대 버퍼링된 패킷은 노드 1에서 6.994, 노드 2에서 1.998, 노드 3에서 2.998이다. 본 발명에서 제안된 스케줄링 알고리즘의 최대 버퍼링된 패킷은 노드 1에서 2, 노드 2에서 1.999, 노드 3에서 2.027이다. 본 발명에서 제안된 스케줄링 알고리즘이 노드 1~3에서 노드의 큐 수준(버퍼링된 패킷의 수)을 거의 일정하게 약 2 정도로 유지하고 있음을 확인할 수 있다.

[0130] 본 발명의 일 실시예에 따른 무선 센서 네트워크의 링크 스케줄링 방법을 통해, 노드의 큐 레벨, 타임 슬롯 수 등을 이용하여 타임 슬롯을 할당하여 패킷을 싱크 노드에 빠르게 전송하고, 무선 센서 네트워크의 종단 간 신뢰성 요구 사항을 충족하면서 각 노드에서 버퍼링된 패킷 수를 줄일 수 있다.

[0131] 한편, 본 발명의 일 실시예에 따른 무선 센서 네트워크의 링크 스케줄링 방법은 소프트웨어, 펌웨어, 하드웨어 중 적어도 하나에 의해 하나의 모듈로 구현 가능하며, 전술한 본 발명의 실시예들은 컴퓨터에서 실행될 수 있는 프로그램으로 작성 가능하고, 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록매체를 이용하여 상기 프로그램을 동작시키는 범용 컴퓨터에서 구현될 수 있다. 상기 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록매체는 롬(ROM), 플로피 디스크, 하드 디스크 등의 자기적 매체, CD, DVD 등의 광학적 매체 및 인터넷을 통한 전송과 같은 캐리어 웨이브와 같은 형태로 구현된다. 또한, 컴퓨터가 읽을 수 있는 기록매체는 네크워크로 연결된 컴퓨터 시스템에 분산되어 분산 방식으로 컴퓨터가 읽을 수 있는 코드가 저장되고 실행될 수 있다.

[0132] 이상 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 실시예를 설명하였지만, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자는 본 발명이 그 기술적 사상이나 필수적인 특징을 변경하지 않고서 다른 구체적인 형태로 실시될 수 있다는 것을 이해할 수 있을 것이다. 그러므로 이상에서 기술한 실시예들은 모든 면에서 예시적인 것이며 한정적이 아닌 것으로 이해해야만 한다.

부호의 설명

[0133] S10: 큐 레벨 추정 단계

S20: 타임 슬롯 수 추정 단계

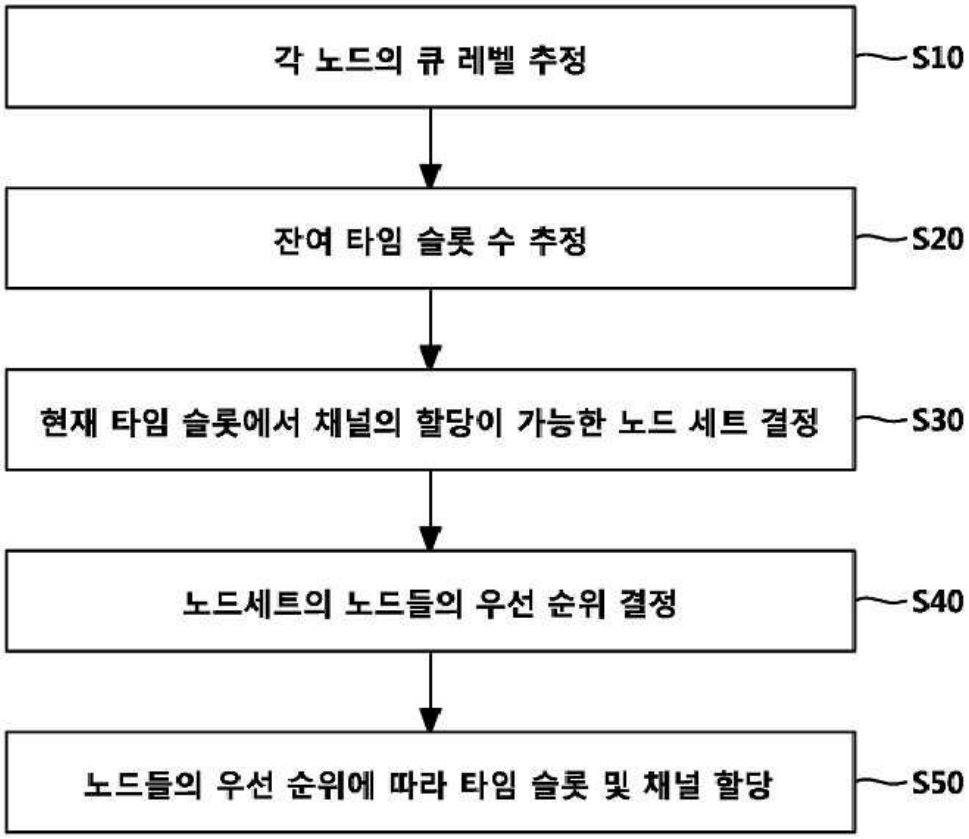
S30: 노드 세트 결정 단계

S40: 우선 순위 결정 단계

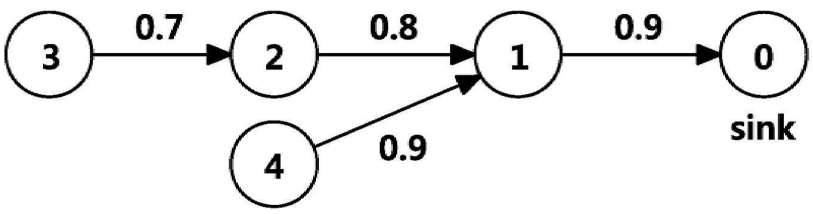
S50: 타임 슬롯 및 채널 할당 단계

도면

도면1



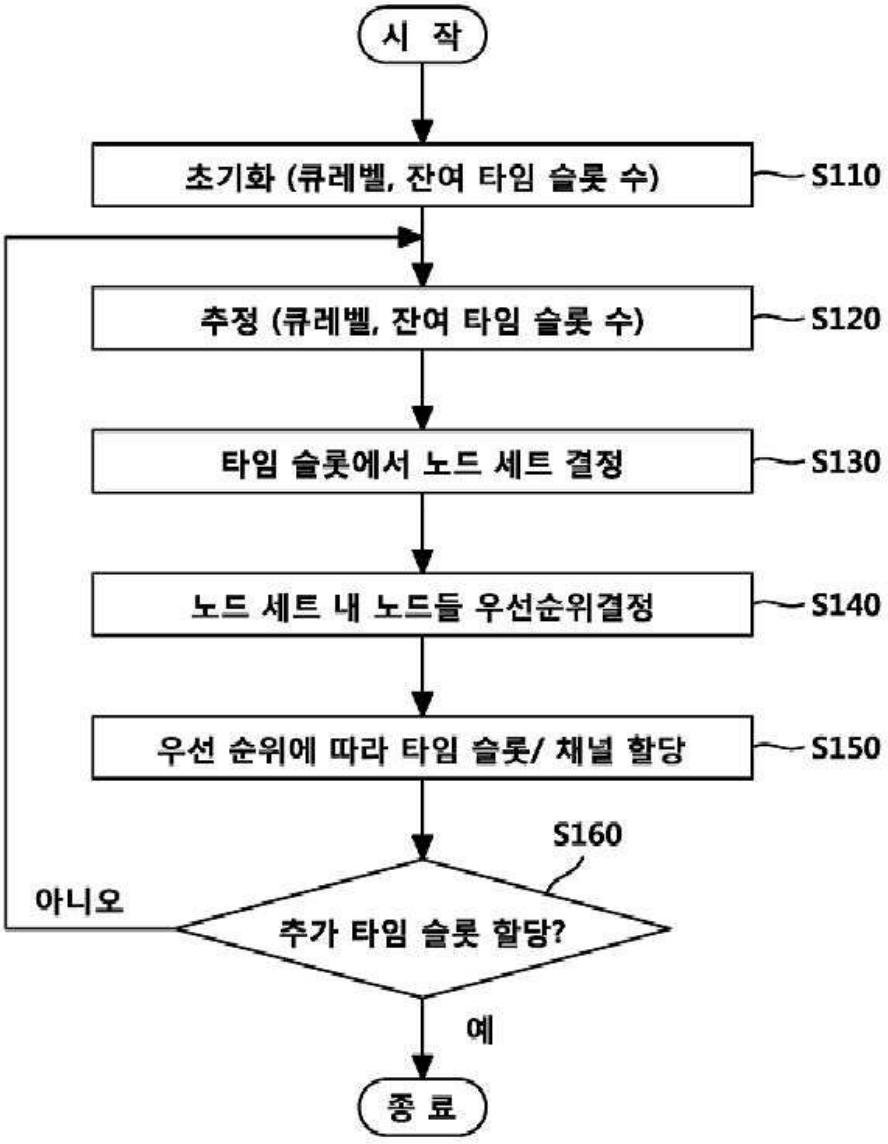
도면2a



도면2b

node	PA	TS
1	0.99416	7
2	0.99583	6
3	0.99666	6
4	0.99499	3

도면3



도면4a

Algorithm : Scheduling Algorithm
// N_{ch} : the number of available channels
// T_k : the number of packets that node k transmits in each slot frame
// TS_k : the number of time slots that needs to be assigned to node k
// PA_k: the per-hop link PRR of link <k, P_k>
// DC_k: a set of nodes that are duplex-conflicting with node k
(1) Initialization:
QL_k = 100 * T_k; MQL_k = 100 * (1 – PA_k)
(2) ts = 1; ch = 0;
(3) N← a set of nodes which satisfies $TS_k \geq 1$ and $QL_k \geq MQL_k$;
(4) while (N is not empty) {
(5) PRIORITIZE(N); // prioritize the nodes in N
(6) M← Ø ;
(7) while (ch < N_{ch}) {
(8) n ← N(0);
(9) assign (ts, ch) to link <n, P_n>;
(10) M←M∪{<n, P_n>};
(11) DLETE_DC_n(N, n); // delete n and nodes in DC_n from N
(12) if (N is empty) break;
(13) ch← ch + 1;
(14) }
(15) ADJUST_TS_QL(M); // adjust TS, QL of nodes in M
(16) ts← ts + 1; ch = 0;
(17) N← a set of nodes which satisfies $TS_k \geq 1$ and $QL_k \geq MQL_k$;
(18) }
(19) ASSIGN_ADDITIONAL_TS();
// check the QL of nodes and assign additional
// time slots when $QL_k \geq MQL_k$

도면4b

Function: PRIORITIZE(N)
// N : a set of nodes to which a slot can be assigned
(1) Sort the nodes in N in descending order of QL values;
(2) In the case of a tie, sort the nodes in N in descending order of TS values;
(3) In the case of a tie, sort the nodes in N in descending order of tree level;

도면4c

Function: DLETE_DC(N, n)
// N : a set of nodes to which a slot can be assigned
// n : selected node
// DC_n : a set of duplex-conflicting nodes with node n
(1) Delete n and all nodes in DC_n;

도면4d

Function: ADJUST_TS_QL(M)
// M : a set of links with channels assigned
// R_k : PRR of link <k, P_k>
(1) for (each link <k, P_k> in M) {
(2) $TS_k = TS_k - 1$;
(3) if (QL_k > 100) then
(4) tx_amount = 100;
(5) else
(6) tx_amount = QL_k;
(7) $QL_k = QL_k$ – (tx_amount * R_k);
(8) $QL_{Pk} = QL_{Pk}$ + (tx_amount * R_k);
(9) }

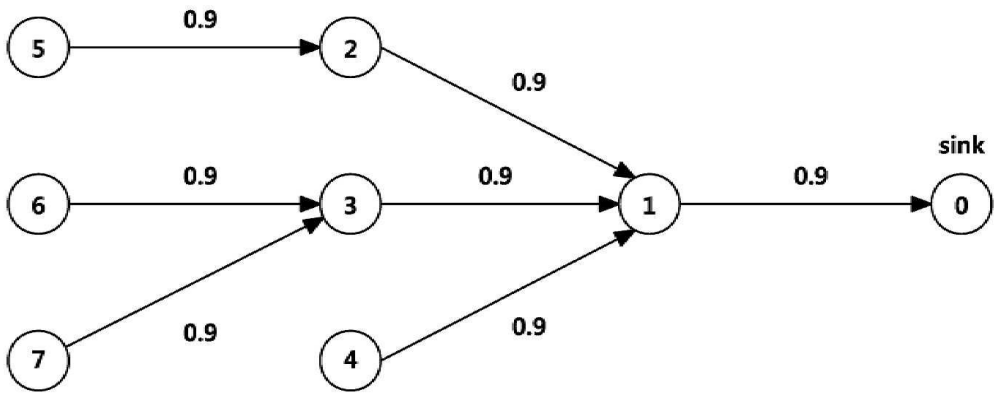
도면5a

time-slot	node: MQL:	4 (0.501)	3 (0.334)	2 (0.417)	1 (0.584)
1	TS	3	6	6	7
	QL	100	100	100	100
2	TS	3	5	6	6
	QL	100	30	170	10
3	TS	3	5	5	6
	QL	100	30	90	90
4	TS	2	4	5	6
	QL	10	9	111	180
5	TS	2	3	5	5
	QL	10	2.7	117.3	90
6	TS	2	3	4	5
	QL	10	2.7	37.3	170
7	TS	2	2	4	4
	QL	10	0.81	39.19	80
8	TS	2	1	4	3
	QL	10	0.243	39.757	8
9	TS	2	1	3	3
	QL	10	0.243	7.9514	39.8056
10	TS	2	1	3	2
	QL	10	0.243	7.9514	3.98056
11	TS	1	1	3	2
	QL	1	0.243	7.9514	12.98056
12	TS	1	1	3	1
	QL	1	0.243	7.9514	1.298056
13	TS	1	1	2	1
	QL	1	0.243	1.59028	7.659176
14	TS	1	1	2	0
	QL	1	0.243	1.59028	0.7659176
15	TS	1	1	1	0
	QL	1	0.243	0.318056	2.0381416
16	TS	0	1	1	0(+1)
	QL	0.1	0.243	0.318056	2.9381416
17	TS	0	1	1	0
	QL	0.1	0.243	0.318056	0.29381416

도면5b

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
ch0	1	2	4	1	2	1	1	2	1	4	1	2	1	2	4	1
ch1	3		3	3		3	3		3							

도면6



도면7

ch0	5	5	7	7	7	6	6	6	3	3	3	3	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
ch1	4	4	5	2	2	2	2	2																	
ch2			4																						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25

(플로우 우선순위: F6, F7, F3, F4, F5, F1, F2)

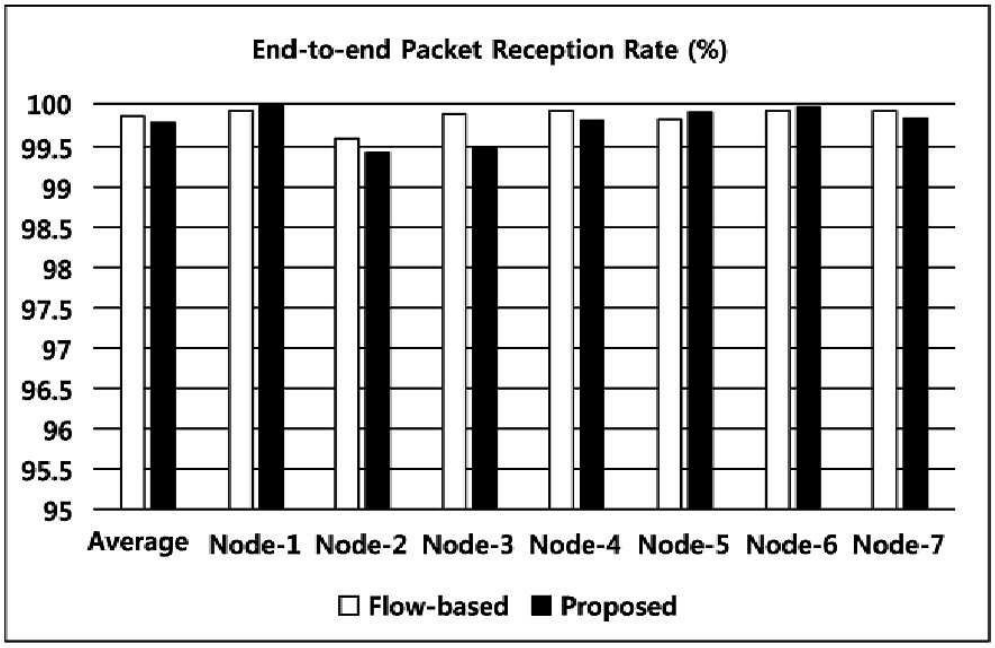
도면8

node	PA	MQL	TS
1	0.99499	0.501	11
2	0.99583	0.417	4
3	0.99610	0.39	6
4	0.99499	0.501	3
5	0.99666	0.334	3
6	0.99666	0.334	3
7	0.99666	0.334	3

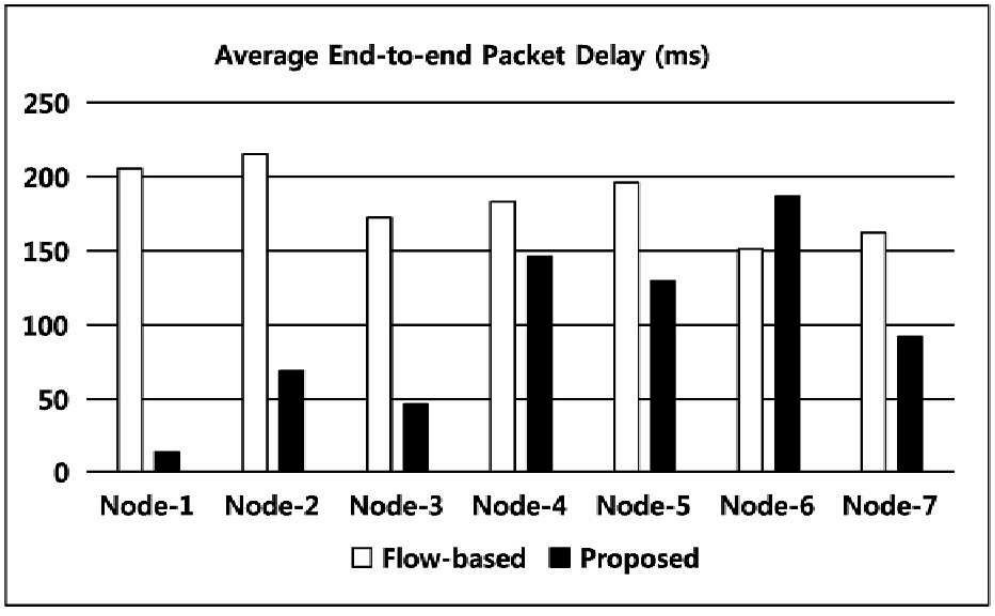
도면9

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
ch0	1	3	2	1	3	1	3	1	2	1	1	4	1	3	1	2	1	4	1	3	1	2	4	1	
ch1	7	5	6	7		6		7	6																
ch2	5			5																					

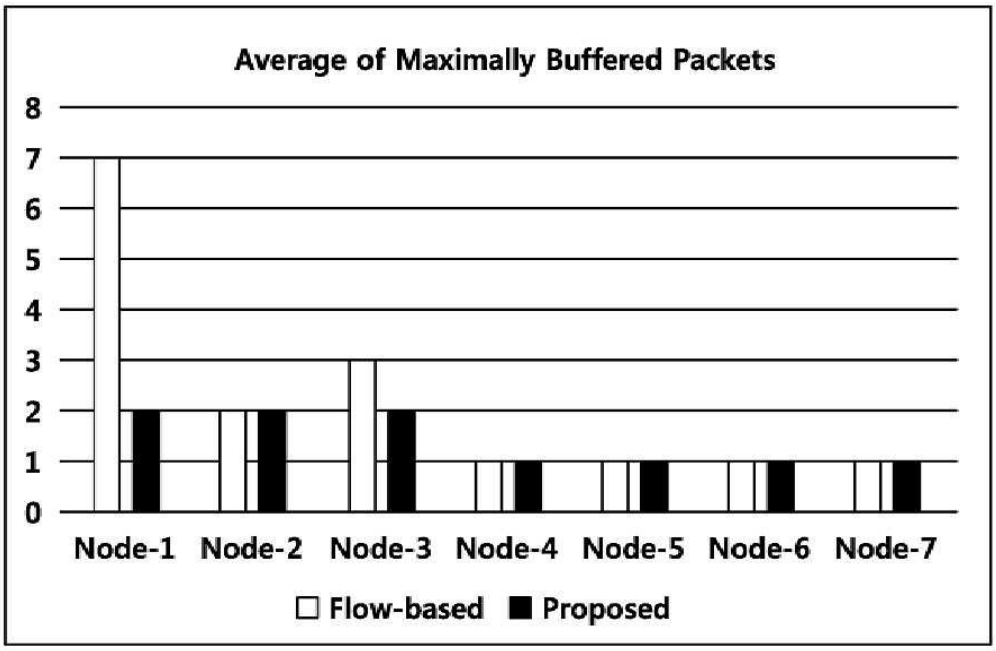
도면10



도면11



도면12


Average of Maximally Buffered Packets
8
7
6
5
4
3
2
1
0
Node-1
Node-2
Node-3
Node-4
Node-5
Node-6
Node-7
Flow-based
Proposed