



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2021년02월09일  
(11) 등록번호 10-2214854  
(24) 등록일자 2021년02월04일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
H04L 12/875 (2013.01) H04L 12/26 (2006.01)  
H04L 12/801 (2013.01) H04L 12/807 (2013.01)  
H04L 29/06 (2006.01) H04L 29/08 (2006.01)

(52) CPC특허분류  
H04L 47/56 (2013.01)  
H04L 43/0864 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2019-0144857

(22) 출원일자 2019년11월13일

심사청구일자 2019년11월13일

(56) 선행기술조사문헌

KR1020180010531 A\*

‘Bufferbloat 경로를 가지는 MPTCP의 성능 향상을 위한 수신 버퍼 HoL 패킷 재전송 알고리즘 설계’, 전자공학회 논문지, 55(2), pp.39-49, 2018.2.\*

\*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

연세대학교 산학협력단

서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)

(72) 발명자

정종문

서울특별시 서대문구 연세로 50, 연세대학교 제3공학관 C203-1(신촌동)

이창성

서울특별시 서대문구 연세로 50, 연세대학교 제3공학관 C203-1(신촌동)

정재욱

서울특별시 서대문구 연세로 50, 연세대학교 제3공학관 C203-1(신촌동)

(74) 대리인

민영준

전체 청구항 수 : 총 10 항

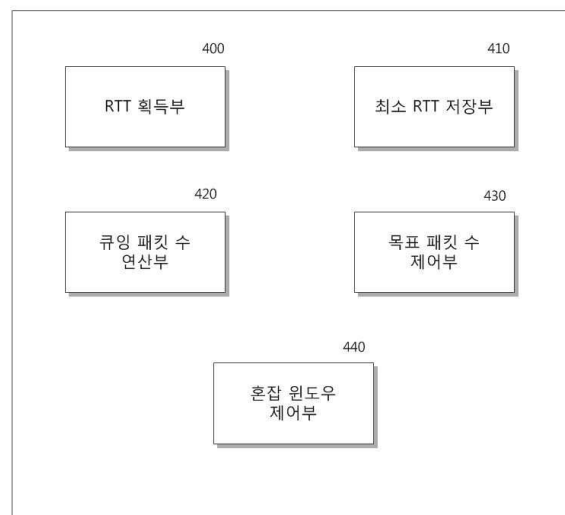
심사관 : 김대성

(54) 발명의 명칭 고속-저지연 통신을 위한 MPTCP 혼잡 제어 장치 및 방법

(57) 요약

고속-저지연 통신을 위한 MPTCP 혼잡 제어 장치 및 방법이 개시된다. 개시된 장치는, 경로별로 현재 RTT 값을 획득하는 RTT 획득부; 각 경로별로 현재 큐잉되어 있는 패킷의 수를 연산하는 큐잉 패킷 수 연산부; 및 재정렬 지연이 발생된다고 판단되는 경우 각 경로별로 큐잉 가능한 패킷 수(목표 패킷 수)를 재설정하는 목표 패킷 수 제어부를 포함하되, 상기 목표 패킷 수 제어부는 각 경로별 RTT 값의 차이가 최소화되도록 상기 목표 패킷 수를 재설정한다. 개시된 장치 및 방법에 의하면, 고속 전송 및 저지연을 동시에 도모할 수 있으며, 수신단에서 발생하는 재정렬 지연을 감소시켜 종단간 QoE를 향상시킬 수 있는 장점이 있다.

대표도 - 도4



(52) CPC특허분류

*H04L 47/12* (2013.01)

*H04L 47/14* (2013.01)

*H04L 47/18* (2013.01)

*H04L 47/193* (2013.01)

*H04L 47/27* (2013.01)

*H04L 69/14* (2013.01)

*H04L 69/326* (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	20170002820032007
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	정보통신기획평가원(한국연구재단부설)
연구사업명	정보통신방송연구개발사업
연구과제명	[주관/한국전자통신연구원] 다매체 다중경로 적응적 네트워크 기술 개발 (3/4)
기 여 율	1/1
과제수행기관명	한국전자통신연구원
연구기간	2019.01.01 ~ 2019.12.31

---

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

경로별로 현재 RTT 값을 획득하는 RTT 획득부;

각 경로별로 현재 큐잉되어 있는 패킷의 수를 연산하는 큐잉 패킷 수 연산부; 및

재정렬 지연이 발생된다고 판단되는 경우 각 경로별로 큐잉 가능한 패킷 수(목표 패킷 수)를 재설정하는 목표 패킷 수 제어부를 포함하되,

상기 목표 패킷 수 제어부는 각 경로별 RTT 값의 차이가 최소화되도록 상기 목표 패킷 수를 재설정하고,

상기 큐잉 패킷 수 연산부는 각 경로의 현재 RTT, 각 경로별 최소 RTT 및 각 경로별 혼잡 윈도우의 크기를 이용하여 연산되며,

상기 큐잉 패킷 수 연산부는 다음의 수학적식과 같이 경로  $r$ 의 큐잉 패킷 수를 연산하는 것을 특징으로 하는 MPTCP 혼잡 제어 장치.

$$\varepsilon_r = \left( \frac{w_r}{d_r} - \frac{w_r}{\tau_r} \right) d_r$$

위 수학적식에서  $w_r$ 은 경로  $r$ 에서의 혼잡 윈도우의 크기이고,  $d_r$ 은 경로  $r$ 에서의 최소 RTT이고,  $\tau_r$ 은 경로  $r$ 에서의 현재 RTT임.

#### 청구항 2

제1항에 있어서,

상기 목표 패킷 수 제어부는 전체 경로에 큐잉되어 있는 패킷 수와 전체 경로의 목표 패킷 수를 비교하여 재정렬 지연이 발생되는지 여부를 판단하는 것을 특징으로 하는 MPTCP 혼잡 제어 장치.

#### 청구항 3

제2항에 있어서,

상기 목표 패킷 수 제어부는 전체 경로에 큐잉되어 있는 패킷 수가 전체 경로의 목표 패킷 수보다 큰 상태가 지속될 경우 재정렬 지연이 발생된다고 판단하는 것을 특징으로 하는 MPTCP 혼잡 제어 장치.

#### 청구항 4

삭제

#### 청구항 5

삭제

#### 청구항 6

제1항에 있어서,

상기 큐잉되어 있는 패킷 수와 목표 패킷 수를 비교하여 혼잡 윈도우의 크기를 제어하는 혼잡 윈도우 제어부를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 MPTCP 혼잡 제어 장치.

#### 청구항 7

제6항에 있어서,

상기 혼잡 윈도우 제어부는 상기 큐잉되어 있는 패킷 수( $\epsilon_r$ )가 목표 패킷 수( $\alpha_r$ )보다 작을 경우, 상기 혼잡 윈도우의 크기를  $\min\{2w_r, \gamma\alpha_r\}$  만큼 증가시키며,  $w_r$ 은 현재 혼잡 윈도우의 크기이고,  $\gamma$ 는 미리 설정되는 상수인 것을 특징으로 하는 MPTCP 혼잡 제어 장치.

#### 청구항 8

제7항에 있어서,

상기 혼잡 윈도우 제어부는 상기 큐잉되어 있는 패킷 수( $\epsilon_r$ )가 목표 패킷 수( $\alpha_r$ )보다 클 경우 상기 혼잡 윈도우의 크기를  $\gamma(\epsilon_r - \alpha_r)$  만큼 감소시키는 것을 특징으로 하는 MPTCP 혼잡 제어 장치.

#### 청구항 9

경로별로 현재 RTT 값을 획득하는 단계(a);

각 경로별로 현재 큐잉되어 있는 패킷의 수를 연산하는 단계(b); 및

재정렬 지연이 발생된다고 판단되는 경우 각 경로별로 큐잉 가능한 패킷 수(목표 패킷 수)를 재설정하는 단계(c)를 포함하되,

상기 단계(c)는 각 경로별 RTT 값의 차이가 최소화되도록 상기 목표 패킷 수를 재설정하고,

상기 단계(b)는 각 경로의 현재 RTT, 각 경로별 최소 RTT 및 각 경로별 혼잡 윈도우의 크기를 이용하여 연산되며,

상기 단계(b)는 다음의 수학적식과 같이 경로 r의 큐잉 패킷 수를 연산하는 것을 특징으로 하는 MPTCP 혼잡 제어 방법.

$$\epsilon_r = \left( \frac{w_r}{d_r} - \frac{w_r}{\tau_r} \right) d_r$$

위 수학적식에서  $w_r$ 은 경로 r에서의 혼잡 윈도우의 크기이고,  $d_r$ 은 경로 r에서의 최소 RTT이고,  $\tau_r$ 은 경로 r에서의 현재 RTT임.

#### 청구항 10

제9항에 있어서,

상기 단계(c)는 전체 경로에 큐잉되어 있는 패킷 수와 전체 경로의 목표 패킷 수를 비교하여 재정렬 지연이 발생되는지 여부를 판단하는 것을 특징으로 하는 MPTCP 혼잡 제어 방법.

#### 청구항 11

제10항에 있어서,

상기 단계(c)는 전체 경로에 큐잉되어 있는 패킷 수가 전체 경로의 목표 패킷 수보다 큰 상태가 지속될 경우 재정렬 지연이 발생된다고 판단하는 것을 특징으로 하는 MPTCP 혼잡 제어 방법.

## 청구항 12

삭제

## 청구항 13

삭제

## 청구항 14

제9항에 있어서,

상기 큐잉되어 있는 패킷 수와 목표 패킷 수를 비교하여 혼잡 윈도우의 크기를 제어하는 단계(d)를 더 포함하되,

상기 단계(d)는 상기 큐잉되어 있는 패킷 수( $\epsilon_r$ )가 목표 패킷 수( $\alpha_r$ )보다 작을 경우, 상기 혼잡 윈도우의 크기를  $\min\{2w_r, \gamma\alpha_r\}$  만큼 증가시키고, 상기 큐잉되어 있는 패킷 수( $\epsilon_r$ )가 목표 패킷 수( $\alpha_r$ )보다 작을 경우, 상기 혼잡 윈도우의 크기를  $\min\{2w_r, \gamma\alpha_r\}$  만큼 감소시키며,  $w_r$ 은 현재 혼잡 윈도우의 크기이고,  $\gamma$ 는 미리 설정되는 상수인 것을 특징으로 하는 MPTCP 혼잡 제어 방법.

## 청구항 15

삭제

## 발명의 설명

## 기술 분야

[0001] 본 발명은 혼잡 제어 장치 및 방법에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 고속-저지연 통신을 위한 혼잡 제어 장치 및 방법에 관한 것이다.

## 배경 기술

[0003] 5G 네트워크의 높은 전송속도 요구사항을 만족시키기 위해 3GPP는 밀리미터웨이브 기술을 도입하였다. 이는 밀리미터웨이브 대역이 기존의 3 GHz 대역보다 높은 대역폭을 제공해 줄 수 있기 때문이다. 그러나 밀리미터웨이브 대역은 높은 전송 용량을 장점으로 하지만, 채널의 상태가 환경에 따라 심하게 변화하는 특징이 있다. 밀리미터웨이브 링크는 LOS(line-of-sight) 환경에서 높은 전송률을 보여주지만, NLOS(non-LOS) 환경에서는 SINR이 최대 35 dB 만큼 떨어질 수 있다. 이는 밀리미터웨이브 신호가 건물, 나무, 사람 등에 의한 장애물에 취약하기 때문이다. 이러한 밀리미터웨이브의 채널 특성으로 인해 PHY나 MAC 뿐만 아니라 전송 계층(transport layer)에서의 개선된 전송기술이 요구된다.

[0004] 최근 연구에 따르면 밀리미터웨이브 대역에서의 잦은 LOS-NLOS 전환은 전송 계층의 성능을 심하게 저해한다는 결과가 있다.

[0005] 또한 증강 현실(AR) 및 가상 현실(VR)과 같은 5G 네트워크를 통한 차세대 애플리케이션은 높은 데이터 전송 속도와 더불어 낮은 지연 시간도 요구한다. 예를 들어, 고해상도 VR 애플리케이션은 10 ms 미만의 왕복 지연 시간과 1 Gbps를 초과하는 데이터 전송 속도가 필요하다. 결과적으로 빠른 전송속도와 낮은 지연 시간 요구 사항을 동시에 달성하려면 매우 가변적인 밀리미터웨이브 링크를 고려하여 전송 계층을 재설계해야 한다.

[0006] MPTCP (Multipath TCP)는 2013 년 IETF Working Group에서 표준화한 전송 프로토콜의 새로운 기술 중 하나이다. MPTCP는 기존 TCP의 다중 경로 버전으로서 여러 경로를 병렬로 활용하여 네트워크 자원을 보다 효율적으로 활용한다. MPTCP의 두 가지 이점은 향상된 전송 속도 성능과 네트워크 장애에 대한 향상된 복원능력이다. 따라서 5G 네트워크에서 MPTCP를 활용하는 것은 차세대 애플리케이션의 높은 데이터 전송률 요구 사항을 충족시키는 E2E 솔루션 중 하나이다. 예를 들어 사용자는 다중 연결을 사용하여 LTE eNB 및 밀리미터웨이브

이브 gNB에 모두 연결할 수 있으며 MPTCP는 두 경로를 동시에 사용하여 전송 성능을 높일 수 있다.

[0007] MPTCP의 핵심 구성 요소는 혼잡 제어 기법이다. MPTCP 혼잡제어 기법은 각 서브 플로우의 혼잡 상태가 혼잡 윈도우에 의해 제어되는 방식으로 수행된다. 첫 번째 MPTCP 혼잡제어 기법으로서 LIA(Linked Increases Algorithm)가 제안되었고 LIA에 대한 개선으로서 OLIA(Opportunistic LIA)와 Balia(Balanced LIA)가 제안되었다. 이러한 방식은 혼잡의 신호로 패킷 손실을 이용하므로 손실 기반 기법으로 분류 할 수 있다. 반면 wVegas(weighted Vegas)는 TCP Vegas 대한 확장으로 제안되었다. wVegas는 혼잡의 신호로 증가 된 지연시간을 사용하기 때문에 지연 기반 기법으로 분류한다. 위에서 언급 한 LIA, OLIA, Balia 및 wVegas는 현재 Linux Kernel의 기본 MPTCP 혼잡제어 기법이다.

[0008] 그러나 앞서 언급한 MPTCP 혼잡제어 기법들이 5G 네트워크에서 높은 처리량과 낮은 지연 시간을 동시에 달성하는 것은 불가능하다. 첫째, 손실 기반 기법(LIA, OLIA, Balia)은 낮은 E2E 지연 시간을 달성 할 수 없다. 밀리미터웨이브 네트워크에서는 LOS에서 NLOS 상태로의 갑작스런 전환으로 인해 패킷 손실이 자주 발생할 수 있다. 그러나, 링크 계층 재전송 기법들 (예를 들어, MAC 계층에서의 HARQ(Hybrid Automatic Repeat Request) 및 RLC(Radio Link Control) 계층에서의 AM(Acknowledged Mode))은 발생한 패킷 손실을 전송 계층으로 알리지 않고 처리하기 때문에, 손실 기반 기법은 패킷 손실이 일어나도 전송속도를 감소시키지 않는다. 이러한 재전송 방식은 전송 계층에서의 처리량 저하를 피할 수 있지만 MPTCP는 밀리미터웨이브의 저하된 전송 능력을 인식하지 못한다. 이는 병목 버퍼에서 매우 긴 큐잉 지연을 초래하며, 이를 bufferbloat 현상이라고 부른다. 5G 네트워크에서는 가변적인 밀리미터웨이브 링크의 채널 변화를 완화하기 위해 RLC 버퍼 크기를 크게 설정하고 이에 따라 bufferbloat 현상이 더 심각해진다. 둘째, 현재 지연 기반 기법(wVegas)은 높은 전송속도를 달성할 수 없다. wVegas는 TCP Vegas를 기반으로 하기 때문에 TCP Vegas와 동일한 단점을 지니고 있다. 그렇기 때문에 wVegas는 낮은 공격성(aggressiveness)으로 인해 BDP(bandwidth delay product)를 가진 경로를 사용할 때 성능을 제대로 발휘할 수 없다. wVegas는 손실 기반 기법과 비교할 때 공정성(fairness)과 혼잡 균형(balanced congestion)에 중점을 크게 두기 때문이다.

[0009] 또한, 현재 MPTCP 혼잡제어 기법은 MPTCP의 경로 이질성으로 인한 추가적인 재정렬 지연(reordering delay)를 고려하지 않는다. MPTCP는 다른 RTT(round-trip time)를 갖는 이중 경로를 이용하기 때문에 수신단에 패킷이 순서에 맞지 않게 도착할 수 있다. 이로 인해 수신 버퍼에서 HOL(head-of-line) blocking이 발생하는데, 여기서 수신단은 누락 된 패킷이 도착할 때까지 기다려야 한다. 수신 버퍼에서 이러한 추가 큐잉 지연을 재정렬 지연이라고 하며, 애플리케이션 계층에서 패킷 지연을 증가시키기 때문에 사용자 경험 품질(QoE)을 저하시킬 수 있다.

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

[0011] 본 발명은 고속 전송 및 저지연을 동시에 도모할 수 있는 MPTCP 혼잡 제어 방법 및 장치를 제안한다.

[0012] 또한, 본 발명은 수신단에서 발생하는 재정렬 지연을 감소시켜 중단간 QoE를 향상시킬 수 있는 MPTCP 혼잡 제어 방법 및 장치를 제안한다.

### 과제의 해결 수단

[0014] 상기와 같은 목적을 달성하기 위해, 본 발명의 일 측면에 따르면, 경로별로 현재 RTT 값을 획득하는 RTT 획득부; 각 경로별로 현재 큐잉되어 있는 패킷의 수를 연산하는 큐잉 패킷 수 연산부; 및 재정렬 지연이 발생된다고 판단되는 경우 각 경로별로 큐잉 가능한 패킷 수(목표 패킷 수)를 재설정하는 목표 패킷 수 제어부를 포함 하되, 상기 목표 패킷 수 제어부는 각 경로별 RTT 값의 차이가 최소화되도록 상기 목표 패킷 수를 재설정하는 MPTCP 혼잡 제어 장치가 제공된다.

[0015] 상기 목표 패킷 수 제어부는 전체 경로에 큐잉되어 있는 패킷 수와 전체 경로의 목표 패킷 수를 비교하여 재정렬 지연이 발생되는지 여부를 판단한다.

[0016] 상기 목표 패킷 수 제어부는 전체 경로에 큐잉되어 있는 패킷 수가 전체 경로의 목표 패킷 수보다 큰 상태가 지속될 경우 재정렬 지연이 발생된다고 판단한다.

[0017] 상기 큐잉 패킷 수 연산부는 각 경로의 현재 RTT, 각 경로별 최소 RTT 및 각 경로별 혼잡 윈도우의 크기를 이용하여 연산된다.

[0018] 상기 큐잉 패킷 수 연산부는 다음의 수학적식과 같이 경로  $r$ 의 큐잉 패킷 수를 연산한다.

$$[0019] \quad \varepsilon_r = \left( \frac{w_r}{d_r} - \frac{w_r}{\tau_r} \right) d_r$$

[0020] 위 수학적식에서  $w_r$ 은 경로  $r$ 에서의 혼잡 윈도우의 크기이고,  $d_r$ 은 경로  $r$ 에서의 최소 RTT이고,  $\tau_r$ 은 경로  $r$ 에서의 현재 RTT임.

[0021] 상기 혼잡 제어 장치는 상기 큐잉되어 있는 패킷 수와 목표 패킷 수를 비교하여 혼잡 윈도우의 크기를 제어하는 혼잡 윈도우 제어부를 더 포함한다.

[0022] 상기 혼잡 윈도우 제어부는 상기 큐잉되어 있는 패킷 수( $\varepsilon_r$ )가 목표 패킷 수( $\alpha_r$ )보다 작을 경우, 상기 혼잡 윈도우의 크기를  $\min\{2w_r, \gamma\alpha_r\}$  만큼 증가시키며,  $w_r$ 은 현재 혼잡 윈도우의 크기이고,  $\gamma$ 는 미리 설정되는 상수이다.

[0023] 상기 혼잡 윈도우 제어부는 상기 큐잉되어 있는 패킷 수( $\varepsilon_r$ )가 목표 패킷 수( $\alpha_r$ )보다 클 경우 상기 혼잡 윈도우의 크기를  $\gamma(\varepsilon_r - \alpha_r)$  만큼 감소시킨다.

[0024] 본 발명의 다른 측면에 따르면, 경로별로 현재 RTT 값을 획득하는 단계(a); 각 경로별로 현재 큐잉되어 있는 패킷의 수를 연산하는 단계(b); 및 재정렬 지연이 발생된다고 판단되는 경우 각 경로별로 큐잉 가능한 패킷 수(목표 패킷 수)를 재설정하는 단계(c)를 포함하되, 상기 단계(c)는 각 경로별 RTT 값의 차이가 최소화되도록 상기 목표 패킷 수를 재설정하는 MPTCP 혼잡 제어 방법이 제공된다.

[0025] 본 발명의 또 다른 측면에 따르면, 경로별로 현재 RTT 값을 획득하는 단계(a); 각 경로별로 현재 큐잉되어 있는 패킷의 수를 연산하는 단계(b); 및 재정렬 지연이 발생된다고 판단되는 경우 각 경로별로 큐잉 가능한 패킷 수(목표 패킷 수)를 재설정하는 단계(c)를 포함하되, 상기 단계(c)는 전체 경로에 큐잉되어 있는 패킷 수와 전체 경로의 목표 패킷 수를 비교하여 재정렬 지연이 발생하는지 여부를 판단하는 MPTCP 혼잡 제어 방법이 제공된다.

### 발명의 효과

[0027] 본 발명에 의하면, 고속 전송 및 저지연을 동시에 도모할 수 있으며, 수신단에서 발생하는 재정렬 지연을 감소시켜 종단간 QoE를 향상시킬 수 있는 장점이 있다.

### 도면의 간단한 설명

[0029] 도 1은 MPTCP 스택 구조를 설명하기 위한 도면.

도 2는 MPTCP의 개념을 설명하기 위한 도면.

도 3은 본 발명의 혼잡 제어 장치 및 방법이 적용되는 MPTCP 시스템 구조를 도시한 도면.

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 혼잡 제어 장치의 개념적 구조를 도시한 블록도.

도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 혼잡 제어 방법의 흐름을 나타낸 순서도.

도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 혼잡 제어 방법과 종래의 혼잡 제어 방법의 전송량을 비교한 그래프.

도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 혼잡 제어 방법과 종래의 혼잡 제어 방법의 지연 시간을 비교한 그래프.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0030] 이하에서는 첨부한 도면을 참조하여 본 발명을 설명하기로 한다. 그러나 본 발명은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며, 따라서 여기에서 설명하는 실시예로 한정되는 것은 아니다.

[0031] 그리고 도면에서 본 발명을 명확하게 설명하기 위해서 설명과 관계없는 부분은 생략하였으며, 명세서 전체를 통하여 유사한 부분에 대해서는 유사한 도면 부호를 붙였다.

[0032] 명세서 전체에서, 어떤 부분이 다른 부분과 "연결"되어 있다고 할 때, 이는 "직접적으로 연결"되어 있는 경우뿐 아니라, 그 중간에 다른 부재를 사이에 두고 "간접적으로 연결"되어 있는 경우도 포함한다.



- [0033] 또한 어떤 부분이 어떤 구성 요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성 요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성 요소를 더 구비할 수 있다는 것을 의미한다.
- [0034] 이하 첨부된 도면을 참고하여 본 발명의 실시예를 상세히 설명하기로 한다.
- [0035] 도 1은 MPTCP 스택 구조를 설명하기 위한 도면이고, 도 2는 MPTCP의 개념을 설명하기 위한 도면이다.
- [0036] 도1 에서 (a)는 기존의 TCP 통신을 위한 스택 구조를 나타내고, (b)는 MPTCP 통신을 위한 스택 구조를 나타낸다. (b)에 도시된 바와 같이 MPTCP에서는 TCP 계층을 하나의 MPTCP 계층과 그 하위에 다수의 TCP 서브플로우(subflow)로 구분하고, 다수의 TCP 서브 플로우 개수에 대응하여 IP 계층 또한 또한 다수 개로 구분한다.
- [0037] 여기서 TCP 서브플로우는 각각의 네트워크 인터페이스를 통해 설정된 종단간 연결에 흐르는 패킷의 흐름을 의미한다.
- [0038] 즉 도2 에 도시된 바와 같이, MPTCP에서는 하나의 어플리케이션(Application) 또는 호스트(Host)가 각각 서로 다른 다수의 경로를 구성하고, 다수의 경로를 통해 동시에 하나의 데이터를 송수신할 수 있다.
- [0039] 도2 에서는 클라이언트(client)-서버(server)의 2개의 호스트가 MPTCP 통신 방식에 따라 3개의 서로 다른 경로를 통해 통신을 수행하는 경우를 도시하였다.
- [0040] 도2 에 나타난 바와 같이, 2개의 호스트는 각각 3개의 경로를 통해 통신을 수행하며, 이중 제1 경로(TCP sub-flow1)는 6mbps의 속도로 통신을 수행할 수 있고, 제2 경로(TCP sub-flow2)는 2mbps의 속도로 통신을 수행할 수 있으며, 제3 경로(TCP sub-flow3)는 1mbps의 속도로 통신을 수행할 수 있다.
- [0041] 따라서 2개의 호스트는 3개의 경로를 통해 9mbps의 속도로 통신을 수행할 수 있게 되며, 3개의 경로 중 적어도 하나가 혼잡하거나 차단되더라도, 데이터를 송수신 할 수 있게 된다.
- [0042] 즉 MPTCP는 다수의 경로를 이용하므로, 특정 경로에 혼잡(congestion)이 발생하거나 연결이 끊어지더라도 다른 경로를 통해 연속적으로 데이터를 주고 받을 수 있어 항상 최선의 연결을 보장하는 장점이 있다.
- [0043] 도 3은 본 발명의 혼잡 제어 자치 및 방법이 적용되는 MPTCP 시스템 구조를 도시한 도면이다.
- [0044] 현재 3GPP에서는 5G 네트워크의 최초 버전으로 5G NR과 4G LTE 자원을 동시에 이용하는 NSA(non-standalone)을 고려하고 있다. 이에 도3 에서도 5G NR과 4G LTE의 이중 네트워크 경로를 이용하는 MPTCP를 도시하였다. 즉 MPTCP는 단지 상이한 경로를 통한 데이터 전송을 의미하는 것이 아니라 이중 네트워크의 경로를 이용할 수 있다.
- [0045] MPTCP를 이용한 5G NR과 LTE의 어그리게이션(aggregation)은 5G eMBB 서비스의 높은 데이터 전송량 요구조건을 만족시키기 위한 기술 중 하나이다. 하지만 5G NR과 LTE가 어그리게이션 되어 동시에 사용될 지라도, 상기한 바와 같이, 밀리미터파의 장애물에 취약한 채널 특성은 전송 계층의 성능을 심각하게 저하할 수 있다. 이에 5G NR 경로의 혼잡 윈도우 크기를 조절하여 최적의 오프로딩(offloading)을 통해 최적의 전송률을 달성할 필요가 있다.
- [0046] 한편, 도 3에는 5G NR 경로 및 LTE 경로의 두가지 경로가 도시되어 있으나, 이는 예시적인 것이며 보다 다양한 경로에 대한 MPTCP가 가능하다는 것은 당업자에게 있어 자명할 것이다.
- [0047] 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 혼잡 제어 장치의 개념적 구조를 도시한 블록도이다.
- [0048] 도 4를 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 혼잡 제어 장치는 RTT 획득부(400), 최소 RTT 저장부(410), 큐잉 패킷수 연산부(420), 목표 패킷 수 제어부(430) 및 혼잡 윈도우 제어부(440)를 포함한다.
- [0049] RTT 획득부(400)는 통신 가능한 경로별로 현재 RTT(Round Trip Time)를 획득한다. RTT는 테스트 패킷을 수신단에 전송한 후 돌아오는 시간으로서 RTT는 경로의 상태에 따라 가변된다.
- [0050] RTT 획득부(400)는 미리 설정된 주기 또는 미리 설정된 이벤트 발생 시에 현재의 RTT를 획득한다.
- [0051] 최소 RTT 저장부(410)는 RTT 획득부(400)에서 주기적으로 획득되는 RTT 값들 중 최소 RTT 값을 저장한다. 최소 RTT 저장부(410)에는 미리 설정된 기간동안 수집된 RTT 값들 중 최소의 RTT 값이 저장되는 것이다. 최소 RTT 값은 경로별로 저장되며, 경로별 최소 RTT 값은 각 경로에서 네트워크 상태가 가장 양호할 때의 RTT 값으로 정의될 수 있을 것이다.
- [0052] 큐잉 패킷수 연산부(420)는 각 경로별로 큐잉(Queueing)되어 있는 패킷의 수를 연산한다. 특정 경로에 큐잉되어



있는 패킷의 수는 각 경로의 혼잡 정도를 판단하기 위한 파라미터로 활용될 수 있다. 큐잉 패킷 수 연산부(420)는 현재 혼잡 윈도우의 크기, 현재 RTT 값 및 최소 RTT 값을 이용하여 현재 큐잉되어 있는 패킷의 수를 연산한다.

[0053] 경로  $r$ 의 현재 혼잡 윈도우의 크기가  $w_r$ 이고, 경로  $r$ 에서 획득된 최소 RTT 값이  $d_r$ 이며, 경로  $r$ 의 현재 RTT가  $\tau_r$ 로 정의될 때, 경로  $r$ 에 큐잉되어 있는 패킷의 수( $\varepsilon_r$ )는 다음의 수학적 식 1과 같이 연산될 수 있다.

### 수학적 식 1

$$\varepsilon_r = \left( \frac{w_r}{d_r} - \frac{w_r}{\tau_r} \right) d_r$$

[0055] 목표 패킷 수 제어부(430)는 각 경로별 목표 패킷의 수를 제어한다. 경로별 목표 패킷 수 제어부(430)는 패킷의 재정렬로 인한 지연이 발생된다고 판단되는 경우 경로별 목표 패킷 수를 재설정한다.

[0056] 기존의 MPTCP 혼잡 제어 기법에서는 경로 내에서 혼잡 제어 방식만을 제시할 뿐 수신단에서 수신된 패킷을 재정렬하는 과정으로 인해 발생하는 지연은 고려하지 않았다.

[0057] MPTCP 기법이 이용될 때 다수의 경로를 통해 패킷이 전달되고 각 경로별로 전송 시간이 상이하므로 패킷은 정해진 순서대로 도착하지 않게 되고, 따라서 순서에 맞게 도달하지 않은 패킷들을 재정렬하는 지연이 발생하게 된다.

[0058] 본 발명에서는 이와 같은 패킷 재정렬 지연이 발생한다고 판단되는 경우, 목표 패킷의 수를 재설정하도록 한다.

[0059] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 모든 경로의 큐잉되어 있는 패킷 수의 합이 모든 경로에서의 목표 패킷의 수의 합보다 크고 이러한 상태가 지속될 경우 패킷 재정렬 지연이 발생한다고 판단한다.

[0060] 모든 경로에서의 목표 패킷 수의 합이  $\alpha_s$ 로 정의될 때, 다음의 수학적 식 2와 같은 조건이 만족되는지 여부가 1차적으로 판단된다.

### 수학적 식 2

$$\sum \varepsilon_r \geq \alpha_s$$

[0062] 위 수학적 식 2와 같은 판단은 주기적으로 이루어지며, 모든 경로의 목표 패킷 수의 합보다 모든 경로에 큐잉되어 있는 패킷의 수가 더 크면 각 주기별로 카운터가 증가되며, 증가된 카운터가 미리 설정된 임계치 이상일 경우 재정렬 지연이 발생한다고 판단한다.

[0063] 모든 경로의 목표 패킷의 수의 합이 모든 경로에 큐잉되어 있는 패킷의 수보다 더 많은 상태는 일시적으로 발생할 수도 있다. 이러한 일시적 상태가 발생할 때마다 목표 패킷 수를 재설정하게 될 경우 불필요한 자원이 낭비될 수도 있으므로 수학적 식 2의 상태가 지속될 경우에 목표 패킷의 수를 재설정하는 것이 바람직하다.

[0064] 특정 경로  $r$ 의 재정렬 시간을  $\delta_r$ 이라고 정의할 때 재정렬 지연 시간은 다음의 수학적 식 3과 같은 범위를 가질 수 있다.

### 수학적 식 3

$$0 \leq \delta_r \leq \max_{i \in R_s} \frac{\tau_i}{2} - \frac{\tau_r}{2}$$

[0066] 위 수학적 식 3에서  $R_s$ 는 모든 경로의 집합을 의미한다.

[0067] 본 발명의 바람직한 실시예에 따르면, 재정렬로 인한 지연 최소화를 위해 모든 경로의 RTT 값이 균일화되도록

경로별 목표 패킷의 수를 제어한다. 경로  $r$ 의 RTT는 MPTCP fluid model에 따를 때 다음의 수학적 식 4와 같이 모델링될 수 있다.

#### 수학적 식 4

$$\tau_r = \frac{\alpha_r + d_r x_r}{x_r}$$

위 수학적 식 4에서,  $x_r$ 은 경로  $r$ 에 대한 전송량으로  $x_r = w_r / \tau_r$ 로 계산될 수 있다. 모든 경로의 RTT를 균일화시키기 위한 목표 RTT값을  $\tau_{tgt}$ 로 정의할 때, 목표 RTT는 다음의 수학적 식 5와 같이 표현될 수 있다. 수학적 식 5은 가비의 리를 따른 것이다.

#### 수학적 식 5

$$\tau_{tgt} = \tau_r = \tau_2 = \dots = \tau_r = \frac{\alpha_s + \sum_{r \in R_s} d_r x_r}{\sum_{r \in R_s} x_r}$$

목표 패킷 수 제어부(430)는 목표 RTT 값과 현재 RTT 값의 차이가 최소화되도록 목표 패킷 수( $\alpha_r$ )를 재설정한다. 이 최적화 문제는 다음의 수학적 식 6과 같이 표현될 수 있다.

#### 수학적 식 6

$$\begin{aligned} & \text{minimize } \sum_{r \in R_s} \omega_r (\tau_r - \tau_{tgt})^2 \\ & \text{subject to } \sum_{r \in R_s} \alpha_r = \alpha_s \\ & \quad \alpha_r \geq T_R / \gamma \tau_r \quad \forall r \in R_s \end{aligned}$$

위 수학적 식 6에서,  $\omega_r$ 은 현재 사용중인 경로의 비율을 나타내는 값으로  $\omega_r = x_r / \sum_i x_i$ 로 계산된다. 또한, 위 수학적 식 6에서

위 수학적 식 6에 대해 Gradient Projection Method를 적용하면 수학적 식 7과 같이 정리될 수 있다.

#### 수학적 식 7

$$\begin{aligned} \frac{\partial L(\alpha, \lambda)}{\partial \alpha_r} &= \frac{2\alpha_r}{x_r \sum_{i \in R_s} x_i} - \frac{2}{\sum_{i \in R_s} x_i} \left( \frac{\alpha_s + \sum_{i \in R_s} d_i x_i}{\sum_{i \in R_s} x_i} - d_r \right) + \lambda \\ \frac{\partial L(\alpha, \lambda)}{\partial \lambda} &= \sum_{r \in R_s} \alpha_r - \alpha_s \end{aligned}$$

위 수학적 식 7에서 얻은 결과를 바탕으로 아래의 수학적 식 8을  $\alpha_r$ 와  $\lambda$ 가 수렴할 때까지 반복해서 업데이트 하면서 최적의 목표 패킷 수인  $\alpha_r$ 을 획득한다.

## 수학식 8

$$\alpha_r(t+1) = \left[ \alpha_r(t) - \theta_\alpha \left( \frac{\partial L(\alpha, \lambda)}{\partial \alpha_r} \right) \right]^+,$$

$$\lambda(t+1) = \left[ \lambda(t) + \theta_\lambda \left( \frac{\partial L(\alpha, \lambda)}{\partial \lambda} \right) \right]^+$$

위 수학식 8에서  $\theta_\alpha$ 와  $\theta_\lambda$ 는 스텝 사이즈이며  $[\cdot]^+$ 는 실현 가능한 정의역 ( $\alpha_r \geq T_R/\gamma\tau_r$ 와  $\lambda \geq 0$ )으로의 프로젝션 연산을 의미한다.

수학식 7내지 수학식 8에 의한 목표 패킷 수 연산은 일 실시예에 불과하며, 모든 경로의 RTT를 균일화시키기 위한 목표 패킷 수는 다른 방식으로도 연산할 수 있다는 점은 당업자에게 있어 자명할 것이다.

혼잡 윈도우 제어부(440)는 혼잡 윈도우의 크기를 제어하는 기능을 한다. 혼잡 윈도우 제어부(440)는 미리 설정된 혼잡 윈도우 제어 주기( $T_R$ )마다 해당 경로가 혼잡 상태인지 여부를 판단하여 혼잡 윈도우의 크기를 제어한다.

특정 목표 패킷의 수와 해당 경로의 큐잉되어 있는 패킷의 수를 비교하여 혼잡 상태인지 여부를 판단한다. 목표 패킷의 수가 큐잉되어 있는 패킷의 수보다 클 경우 혼잡 상태가 아니라고 판단하고 혼잡 윈도우를 증가시킨다. 그러나, 목표 패킷의 수보다 큐잉되어 있는 패킷의 수가 클 경우 혼잡 상태라고 판단하여 혼잡 윈도우의 크기를 감소시킨다.

본 발명의 바람직한 실시예에 따르면,  $\varepsilon_r < \alpha_r$ , 일 경우, 경로 r의 혼잡 윈도우 크기( $w_r$ )를  $\min\{2w_r, \gamma\alpha_r\}$  만큼 증가한다. 여기서,  $\gamma$ 는 혼잡 윈도우 크기 변화의 민감성을 조절하는 상수로서 미리 설정되며  $0 < \gamma \leq 1$ 사이의 값을 가진다. 혼잡 윈도우의 크기를 목표 패킷수에 대해  $\gamma$ 를 곱한 값만큼 증가시키되, 현재 혼잡 윈도우 크기의 2배 이상 증가시키지 않도록 하는 것이다.

한편,  $\varepsilon_r > \alpha_r$ 일 경우, 경로 r의 혼잡 윈도우( $w_r$ )를  $\gamma(\varepsilon_r - \alpha_r)$  만큼 감소시킨다. 이러한 본 발명의 혼잡 윈도우 제어 방법은 가변적인 감소 비율을 가지기 때문에 현재 큐잉되어 있는 패킷의 수가 목표 패킷의 수와 차이가 클 경우 큰 감소율을 가지게 되며, 이를 통해 큐잉 지연 시간이 발생하였을 때 이를 효과적으로 줄일 수 있게 된다.

아울러, 본 발명의 목표 패킷 수는 혼잡 상황에 대한 빠른 반응을 위해 다음의 수학식 9와 같은 조건을 만족하도록 설정된다.

## 수학식 9

$$\alpha_r \geq T_R/\gamma\tau_r$$

위 수학식 9의 조건은 수학식 6에도 설정되어 있다.  $T_R$ 은 앞서 정의한 바와 같이 혼잡 윈도우의 제어 주기이다. 즉, 경로 별 목표 패킷 수는 혼잡 윈도우 제어 주기를  $\gamma\tau_r$ 로 나눈 값에 비해 크게 설정되는 것이다.

도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 혼잡 제어 방법의 흐름을 나타낸 순서도이다.

도 5를 참조하면, 주기적으로 각 경로별로 현재 RTT 값을 획득한다(단계 500).

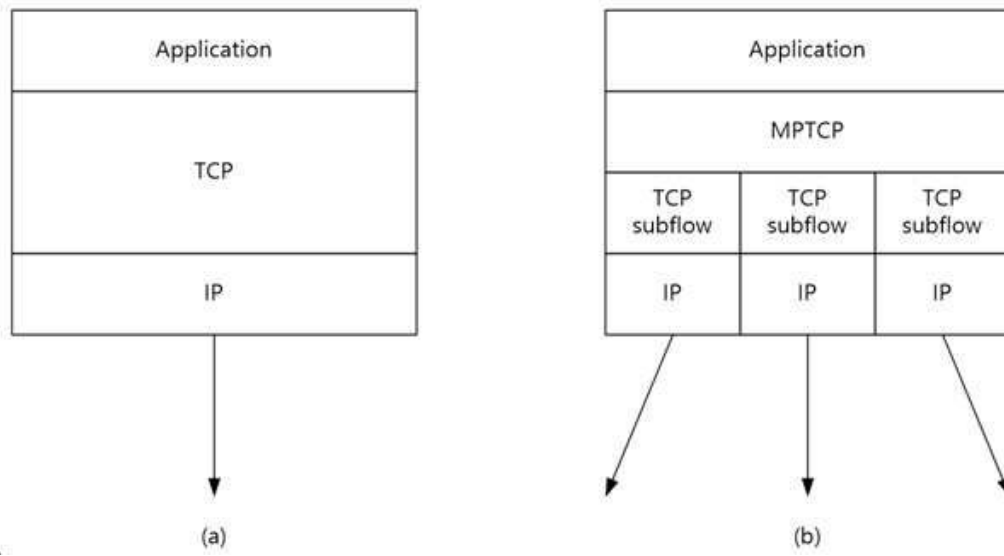
또한, 각 경로별로 주기적으로 현재 큐잉되어 있는 패킷의 수를 연산한다(단계 502). 물론, 큐잉되어 있는 패킷의 수는 주기적으로 이루어지지 않고 혼잡 윈도우 제어 시점 또는 목표 패킷 수 재설정 시점에 연산될 수도 있을 것이다.

앞서 설명한 바와 같이, 큐잉되어 있는 패킷의 수는 현재 RTT, 최소 RTT 및 혼잡 윈도우의 크기를 이용하여 수학식 1과 같이 연산될 수 있다.

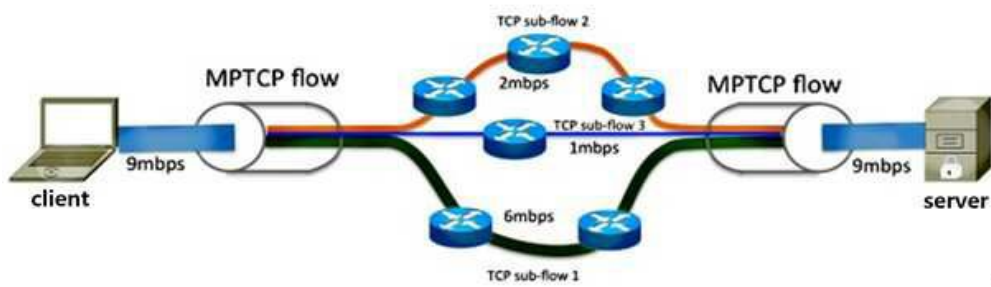
- [0092] 재전송 지연이 발생할 수 있는 상태인지 여부를 판단한다(단계 504). 앞서 설명한 바와 같이, 본 발명의 일 실시예에 따르면, 모든 경로에 큐잉되어 있는 패킷의 수가 모든 경로의 목표 패킷 수보다 큰 상태이고 이러한 상태가 지속될 경우 재전송 지연이 발생할 수 있다고 판단한다.
- [0093] 재전송 지연이 발생할 수 있다고 판단되면, 각 경로별 목표 패킷의 수를 재설정한다(단계 506). 재전송 지연을 최소화하기 위해 모든 경로의 목표 패킷 수가 균일해지도록 경로별 목표 패킷 수를 재설정하며, 수학식 6내지 수학식 8에 의해 경로별 목표 패킷의 수가 재설정될 수 있을 것이다.
- [0094] 또한, 혼잡 윈도우 제어 주기인지 여부가 판단된다(단계 508). 혼잡 윈도우 제어 주기일 경우 혼잡 상태에 따른 혼잡 윈도우 크기 제어가 이루어진다(단계 510). 혼잡 윈도우 크기 제어는 특정 경로에 큐잉되어 있는 패킷의 수와 목표 패킷의 수를 비교한 후 비교 결과에 기초하여 이루어진다. 앞서 설명한 바와 같이, 목표 패킷의 수는 재정렬 지연 발생 여부에 따라 재설정될 수도 있다.
- [0095] 큐잉되어 있는 패킷의 수가 목표 패킷의 수보다 작을 경우 혼잡 상태가 아니라고 판단하여 혼잡 윈도우의 크기를 증가시키도록 혼잡 윈도우 크기 제어가 이루어진다.
- [0096] 큐잉되어 있는 패킷의 수가 목표 패킷의 수보다 클 경우 혼잡 상태라고 판단하여 혼잡 윈도우의 크기를 감소시키도록 혼잡 윈도우 크기 제어가 이루어진다.
- [0097] 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 혼잡 제어 방법과 종래의 혼잡 제어 방법의 전송량을 비교한 그래프이다.
- [0098] 도 6에서 본 발명에 의한 혼잡 제어 방법은 DEFT로 표시되어 있으며, 본 발명의 혼잡 제어 방법을 종래의 혼잡 제어 방법인 Balia, DA-MPTCP, wVegas와 비교하였다. 본 발명의 전송량(Goodput)을 종래의 방법들과 비교해볼 때 Balia 대비 156.62%, DA-MPTCP 대비 119.86%, wVegas 대비 131.48% 성능 이득을 얻을 수 있다는 것을 확인할 수 있다.
- [0099] 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 혼잡 제어 방법과 종래의 혼잡 제어 방법의 지연 시간을 비교한 그래프이다.
- [0100] 도 7을 참조하면, 본 발명의 혼잡 제어 방법(DEFT)을 종래의 혼잡 제어 방법(Balia, DA-MPTCP, wVegas)와 본 발명의 종단간 지연시간을 비교해 보면 평균적으로 Balia 대비 28.04%, DA-MPTCP 대비 18.91%, wVegas 대비 1.80% 지연 시간 감소효과를 얻을 수 있다는 것을 확인할 수 있다. 또한 종단간 지연시간 표준 편차를 비교해 보면 Balia 대비 75.99%, DA-MPTCP 대비 77.29%, wVegas 대비 43.42% 지연 시간 감소효과를 얻을 수 있다.
- [0101] 진술한 본 발명의 설명은 예시를 위한 것이며, 본 발명이 속하는 기술분야의 통상의 지식을 가진 자는 본 발명의 기술적 사상이나 필수적인 특징을 변경하지 않고서 다른 구체적인 형태로 쉽게 변형이 가능하다는 것을 이해할 수 있을 것이다.
- [0102] 그러므로 이상에서 기술한 실시예들은 모든 면에서 예시적인 것이며 한정적이 아닌 것으로 이해해야만 한다.
- [0103] 예를 들어, 단일형으로 설명되어 있는 각 구성 요소는 분산되어 실시될 수도 있으며, 마찬가지로 분산된 것으로 설명되어 있는 구성 요소들도 결합된 형태로 실시될 수 있다.
- [0104] 본 발명의 범위는 후술하는 특허청구범위에 의하여 나타내어지며, 특허청구범위의 의미 및 범위 그리고 그 균등 개념으로부터 도출되는 모든 변경 또는 변형된 형태가 본 발명의 범위에 포함되는 것으로 해석되어야 한다.

도면

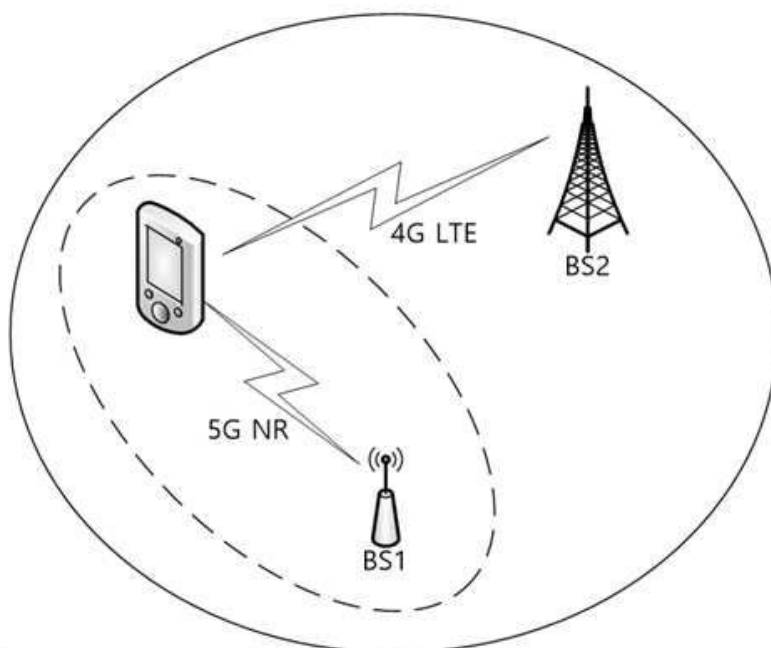
도면1



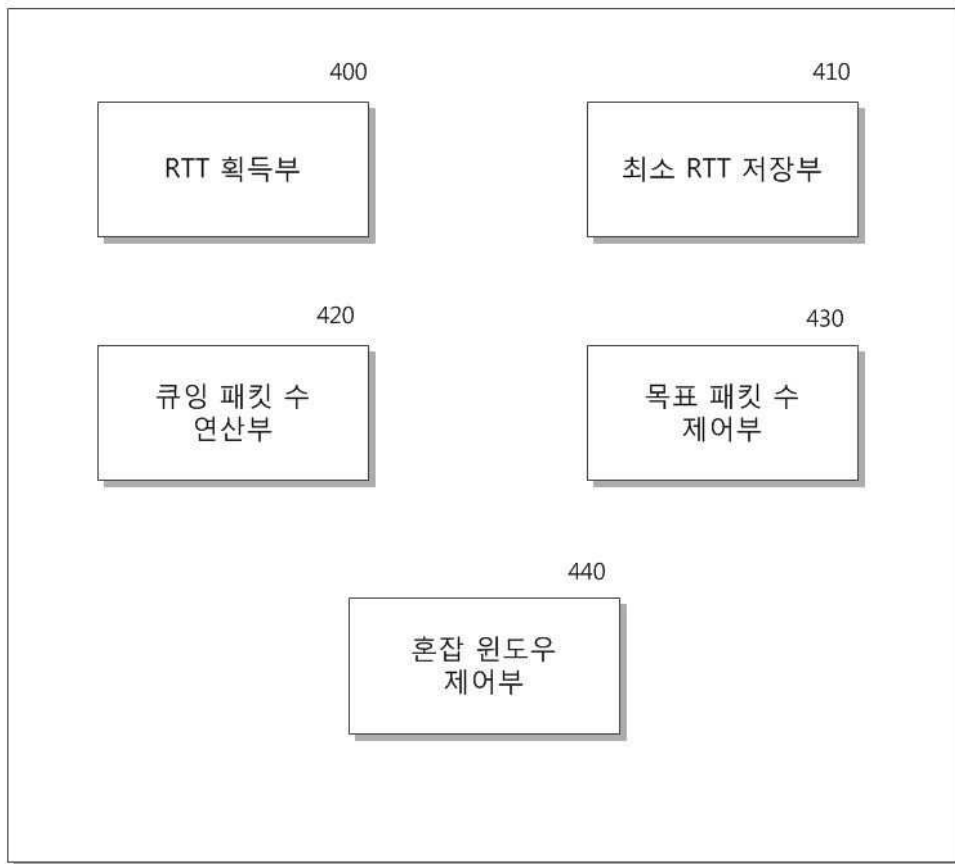
도면2



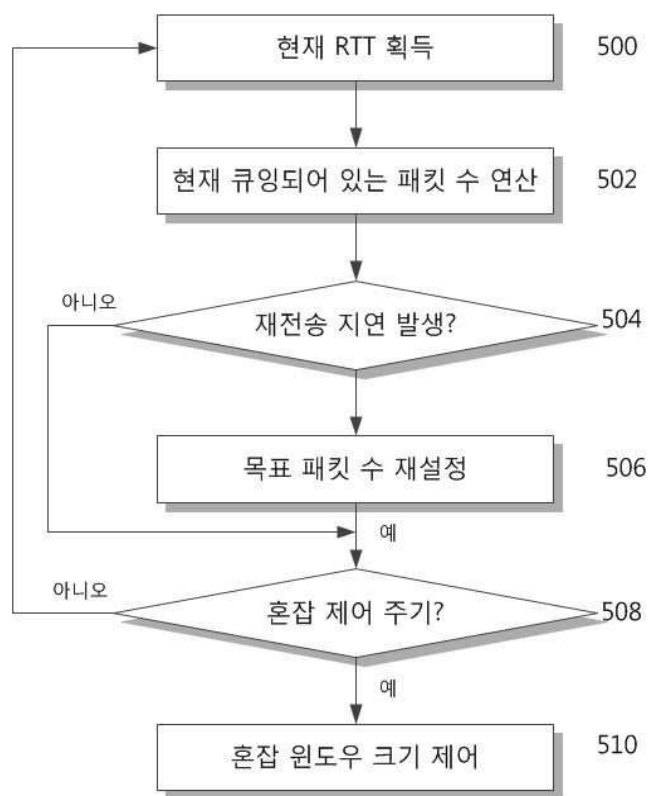
도면3



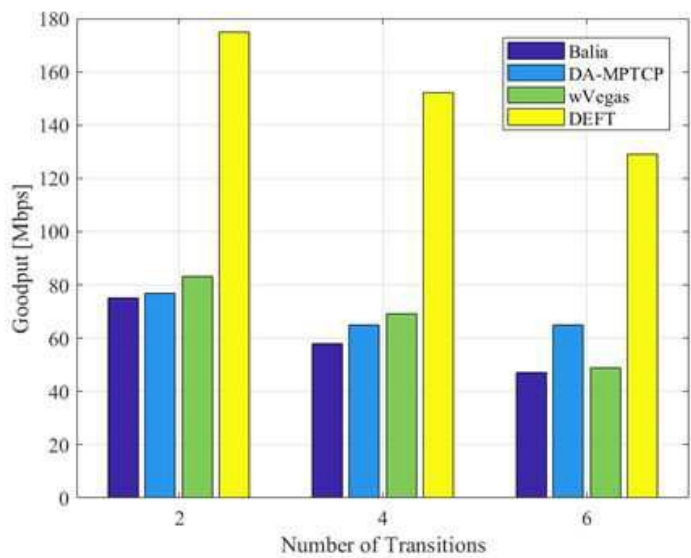
도면4



도면5



도면6





도면7

