



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2024년01월17일  
(11) 등록번호 10-2626729  
(24) 등록일자 2024년01월15일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
H04L 47/00 (2024.01) H04L 47/27 (2022.01)  
H04L 9/40 (2022.01) H04W 28/02 (2009.01)  
(52) CPC특허분류  
H04L 47/12 (2022.05)  
H04L 47/11 (2022.05)  
(21) 출원번호 10-2021-0149735  
(22) 출원일자 2021년11월03일  
심사청구일자 2021년11월03일  
(65) 공개번호 10-2023-0064294  
(43) 공개일자 2023년05월10일  
(56) 선행기술조사문헌  
KR1020200025590 A\*  
KR1020180013174 A\*  
KR1020170063203 A\*  
CN105610820 A\*  
\*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자  
연세대학교 산학협력단  
서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)  
(72) 발명자  
정종문  
서울특별시 용산구 이촌로87길 21, 106동 1502호 (이촌동, 이촌아파트)  
정재욱  
경기도 파주시 탄현면 참매미길 258, 405호 (뒷면에 계속)  
(74) 대리인  
민영준

전체 청구항 수 : 총 14 항

심사관 : 김대성

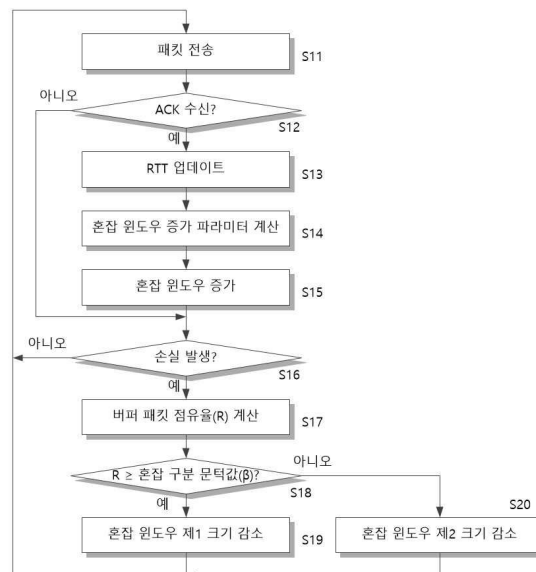
(54) 발명의 명칭 무선 네트워크 MPTCP 혼잡 윈도우 제어 장치 및 방법

(57) 요약

본 발명은 다수의 경로 각각에 대해 설정된 혼잡 윈도우 크기에 대응하는 개수로 전송된 패킷 각각에 대한 응답이 수신되는지 확인하고, 수신된 응답을 기반으로 각 경로의 RTT를 확인하여 최소 RTT와 최대 RTT를 업데이트하는 상태 분석부 및 각 경로를 통해 전송된 패킷 각각에 대응하는 응답이 수신되면, 수신된 응답 각각에 따라 대

(뒷면에 계속)

대표도 - 도4



응하는 경로에 대해 설정된 혼잡 윈도우 크기를 기지정된 크기만큼 증가시키고, 혼잡 윈도우 크기에 따라 전송된 패킷 중 적어도 하나의 패킷에 대한 응답이 수신되지 않은 손실이 발생하면, 손실이 발생한 경로에 대응하는 플로우 버퍼의 전체 크기에 대비하여 큐잉된 패킷의 양을 나타내는 버퍼 패킷 점유율을 계산하고, 계산된 버퍼 패킷 점유율이 무선 채널 상태에 따른 손실인지 또는 네트워크 혼잡으로 인해 발생한 손실인지를 판별하기 위한 기준값으로 미리 설정된 혼잡 구분 문턱값 이상인지 여부에 따라 혼잡 윈도우 크기를 서로 다른 크기만큼 감소시키는 혼잡 윈도우 조절부를 포함하여 무선 채널 상태에 의한 손실과 네트워크 혼잡에 의한 손실을 구분하여 혼잡 윈도우의 크기를 제어함으로써 전송 성능을 유지시킬 수 있고, 무선 자원을 효율적이고 공정하게 사용할 수 있도록 하는 혼잡 윈도우 제어 장치 및 방법을 제공한다.

(52) CPC특허분류

*H04L 47/193* (2022.05)

*H04L 47/27* (2022.05)

*H04L 47/283* (2022.05)

*H04L 69/14* (2022.05)

*H04W 28/0289* (2023.05)

*H04W 8/04* (2013.01)

(72) 발명자

**이창성**

서울특별시 서대문구 충정로7길 30, 306호(충정로2가, 충정로현대아파트)

**백정석**

서울특별시 마포구 토정로18길 11, 101동 701호(현석동, 래미안웬스튜디오)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1711126029

과제번호 2021-0-00040-001

부처명 과학기술정보통신부

과제관리(전문)기관명 정보통신기획평가원

연구사업명 정보통신방송연구개발사업

연구과제명 공공 업무·임무용 정보통신자원의 노출을 최소화하는 지능적 스텔스화 기술개발

기 여 율 1/1

과제수행기관명 한국전자통신연구원

연구기간 2021.01.01 ~ 2021.12.31

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

무선 네트워크 MPTCP를 위한 혼잡 윈도우 제어 장치에 있어서,

다수의 경로 각각에 대해 설정된 혼잡 윈도우 크기에 대응하는 개수로 전송된 패킷 각각에 대한 응신이 수신되는지 확인하고, 수신된 응신을 기반으로 각 경로의 RTT(round-trip-time)를 확인하여 최소 RTT와 최대 RTT를 업데이트하는 상태 분석부; 및

각 경로를 통해 전송된 패킷 각각에 대응하는 응신이 수신되면, 수신된 응신 각각에 따라 대응하는 경로에 대해 설정된 혼잡 윈도우 크기를 기지정된 크기만큼 증가시키고, 혼잡 윈도우 크기에 따라 전송된 패킷 중 적어도 하나의 패킷에 대한 응신이 수신되지 않은 손실이 발생하면, 손실이 발생한 경로에 대응하는 플로우 버퍼의 전체 크기에 대비하여 큐잉된 패킷의 양을 나타내는 버퍼 패킷 점유율을 계산하고, 계산된 버퍼 패킷 점유율이 무선 채널 상태에 따른 손실인지 또는 네트워크 혼잡으로 인해 발생한 손실인지를 판별하기 위한 기준값으로 미리 설정된 혼잡 구분 문턱값 이상인지 여부에 따라 상기 혼잡 윈도우 크기를 서로 다른 크기만큼 감소시키는 혼잡 윈도우 조절부를 포함하되,

상기 버퍼 패킷 점유율(R)은

손실이 발생한 경로에서의 최대 RTT( $u_r$ )와 최소 RTT( $d_r$ ) 사이의 차에 대한 확인된 RTT( $\tau_r$ )와 최소 RTT( $d_r$ ) 사이의 차의 비로 수학적식

$$R = \frac{\tau_r - d_r}{u_r - d_r}$$

에 따라 계산되고,

상기 혼잡 윈도우 조절부가 혼잡 윈도우 크기를 증가시킬 때, 각 경로를 따라 전송된 패킷들의 재정렬 지연 시간이 최소화되도록 혼잡 윈도우 크기의 증가량을 조절하기 위한 혼잡 윈도우 증가 파라미터를 계산하는 재정렬 지연 시간 조절부를 더 포함하는 MPTCP 혼잡 윈도우 제어 장치.

#### 청구항 2

삭제

#### 청구항 3

제1항에 있어서, 상기 혼잡 윈도우 조절부는

상기 버퍼 패킷 점유율이 상기 혼잡 구분 문턱값 이상이면 상기 혼잡 윈도우 크기를 기지정된 제1 크기만큼 감소시키고, 상기 버퍼 패킷 점유율이 상기 혼잡 구분 문턱값 미만이면 상기 혼잡 윈도우 크기를 상기 제1 크기보다 작은 기지정된 제2 크기만큼 감소시키는 MPTCP 혼잡 윈도우 제어 장치.

#### 청구항 4

삭제

#### 청구항 5

제1항에 있어서, 상기 혼잡 구분 문턱값( $\beta$ )은

이전 설정된 혼잡 윈도우 크기( $w_r$ )에 대응하는 개수의 패킷을 전송한 후, 각 패킷에 대한 응신(ACK) 수신 여부에 따라 조절된 혼잡 윈도우 크기( $w_r$ )가 이전 설정된 혼잡 윈도우 크기( $w_r$ )와 동일한 경우의 버퍼 패킷 점유율(R)로서 수학적식

$$\beta = \frac{2a_r\tau_r}{w_r d_r w_{total}}$$

(여기서  $a_r$ 은 혼잡 윈도우 증가 파라미터이고,  $w_{total}$ 은 모든 경로에 대한 혼잡 윈도우 크기( $w_r$ )의 합으로 계산되는 총 혼잡 윈도우 크기를 나타낸다.)

에 따라 계산되는 MPTCP 혼잡 윈도우 제어 장치.

#### 청구항 6

제1항에 있어서, 상기 재정렬 지연 시간 조절부는

증가된 혼잡 윈도우 크기에 따라 각 경로로 패킷을 전송할 때, 경로( $r$ )에 대한 RTT( $\tau_r$ )가 MPTCP 상의 다른 경로의 RTT와 동일해지도록 하는 평형 RTT(Equilibrium RTT)( $\hat{\tau}_r$ )를 계산하고, 모든 경로에 대한 평형 RTT( $\hat{\tau}_r$ )가 동일해지는 목표 평형 RTT( $\hat{\tau}_{target}$ )를 계산하여 설정하며, 기지정된 조건하에서 평형 RTT( $\hat{\tau}_r$ )와 목표 평형 RTT( $\hat{\tau}_{target}$ ) 사이의 차이가 최소가 되도록 하는 상기 혼잡 윈도우 증가 파라미터( $a_r$ )를 계산하여 획득하는 MPTCP 혼잡 윈도우 제어 장치.

#### 청구항 7

제6항에 있어서, 상기 평형 RTT( $\hat{\tau}_r$ )는

수학적식

$$\hat{\tau}_r = \frac{2a_r\tau_r}{w_r d_r w_{total}} (u_r - d_r) + d_r$$

(여기서  $w_r$ 은 경로( $r$ )의 혼잡 윈도우 크기,  $d_r$ 은 최소 RTT,  $u_r$ 은 최대 RTT,  $w_{total}$ 은 모든 경로에 대한 혼잡 윈도우 크기( $w_r$ )의 합으로 계산되는 총 혼잡 윈도우 크기를 나타낸다.)

에 따라 계산되는 MPTCP 혼잡 윈도우 제어 장치.

#### 청구항 8

제7항에 있어서, 상기 목표 평형 RTT( $\hat{\tau}_{target}$ )는

수학적식

$$\hat{\tau}_{target} = \frac{\sum_k (\sigma_k a_k (u_k - \tau_k) + d_k) \frac{w_k}{\tau_k}}{\sum_k \frac{w_k}{\tau_k}}$$

(여기서  $\sigma_k$ 는 수식을 단순화하기 위해 적용된 변수로서 경로( $r$ )에 대해  $\sigma_r = \frac{2\tau_r}{w_r d_r w_{total}}$  이다.)

에 따라 계산되는 MPTCP 혼잡 윈도우 제어 장치.

#### 청구항 9

제8항에 있어서, 상기 혼잡 윈도우 증가 파라미터( $a_r$ )는

수학식

$$a_r = \left[ \min \left\{ \frac{\sum_{k \in R_s \setminus \{r\}} 2\rho_k (a_k \sigma_k + d_k - \varphi) (\sigma_r \rho_r) - 2\rho_r (d_r - \varphi) (\sigma_r - \sigma_r \rho_r)}{\sum_{k \in R_s \setminus \{r\}} 2\rho_k (\sigma_r \rho_r)^2 + 2\rho_r (\sigma_r - \sigma_r \rho_r)^2}, \frac{w_{total}}{x_r d_r} \right\} \right]^+$$

(여기서  $\varphi$ 는 수학식을 간략화하기 위한 표현으로  $\varphi = \sum_{k \in R_s \setminus \{r\}} \rho_k (a_k \sigma_k + d_k) - d_r \rho_r$ 이다.)

에 따라 계산되는 MPTCP 혼잡 윈도우 제어 장치.

#### 청구항 10

무선 네트워크 MPTCP 혼잡 윈도우 장치에 의해 수행되는 혼잡 윈도우 제어 방법에 있어서,

다수의 경로 각각에 대해 설정된 혼잡 윈도우 크기에 대응하는 개수로 전송된 패킷 각각에 대한 응답이 수신되는지 확인하고, 수신된 응답을 기반으로 각 경로의 RTT(round-trip-time)를 확인하여 최소 RTT와 최대 RTT를 업데이트하는 단계;

각 경로를 통해 전송된 패킷 각각에 대응하는 응답이 수신되면, 수신된 응답 각각에 따라 대응하는 경로에 대해 설정된 혼잡 윈도우 크기를 기지정된 크기만큼 증가시키는 단계; 및

혼잡 윈도우 크기에 따라 전송된 패킷 중 적어도 하나의 패킷에 대한 응답이 수신되지 않은 손실이 발생하면, 손실이 발생한 경로에 대응하는 플로우 버퍼의 전체 크기에 대비하여 큐잉된 패킷의 양을 나타내는 버퍼 패킷 점유율을 계산하고, 계산된 버퍼 패킷 점유율이 무선 채널 상태에 따른 손실인지 또는 네트워크 혼잡으로 인해 발생한 손실인지를 판별하기 위한 기준값으로 미리 설정된 혼잡 구분 문턱값 이상인지 여부에 따라 상기 혼잡 윈도우 크기를 서로 다른 크기만큼 감소시키는 단계를 포함하되,

상기 버퍼 패킷 점유율(R)은

손실이 발생한 경로에서의 최대 RTT( $u_r$ )와 최소 RTT( $d_r$ ) 사이의 차에 대한 확인된 RTT( $\tau_r$ )와 최소 RTT( $d_r$ ) 사이의 차의 비로 수학식

$$R = \frac{\tau_r - d_r}{u_r - d_r}$$

에 따라 계산되고,

상기 증가시키는 단계는

각 경로를 따라 전송된 패킷들의 재정렬 지연 시간이 최소화되도록 혼잡 윈도우 크기의 증가량을 조절하기 위한 혼잡 윈도우 증가 파라미터를 계산하는 단계; 및

상기 혼잡 윈도우 크기를 상기 혼잡 윈도우 증가 파라미터와 모든 경로에 대한 혼잡 윈도우 크기의 합으로 계산되는 총 혼잡 윈도우 크기 사이의 비에 따라 증가시키는 단계;를 더 포함하는 MPTCP 혼잡 윈도우 제어 방법.

#### 청구항 11

삭제

#### 청구항 12

제10항에 있어서, 상기 감소시키는 단계는

상기 버퍼 패킷 점유율이 상기 혼잡 구분 문턱값 이상이면 상기 혼잡 윈도우 크기를 기지정된 제1 크기만큼 감소시키는 단계; 및

상기 버퍼 패킷 점유율이 상기 혼잡 구분 문턱값 미만이면 상기 혼잡 윈도우 크기를 상기 제1 크기보다 작은 기

지정된 제2 크기만큼 감소시키는 단계를 포함하는 MPTCP 혼잡 윈도우 제어 방법.

### 청구항 13

삭제

### 청구항 14

제10항에 있어서, 상기 혼잡 구분 문턱값( $\beta$ )은

이전 설정된 혼잡 윈도우 크기( $w_r$ )에 대응하는 개수의 패킷을 전송한 후, 각 패킷에 대한 응신(ACK) 수신 여부에 따라 조절된 혼잡 윈도우 크기( $w_r$ )가 이전 설정된 혼잡 윈도우 크기( $w_r$ )와 동일한 경우의 버퍼 패킷 점유율(R)로서 수학적식

$$\beta = \frac{2a_r \tau_r}{w_r d_r w_{total}}$$

(여기서  $a_r$ 은 혼잡 윈도우 증가 파라미터이고,  $w_{total}$ 은 모든 경로에 대한 혼잡 윈도우 크기( $w_r$ )의 합으로 계산되는 총 혼잡 윈도우 크기를 나타낸다.)

에 따라 계산되는 MPTCP 혼잡 윈도우 제어 방법.

### 청구항 15

제10항에 있어서, 상기 혼잡 윈도우 증가 파라미터를 계산하는 단계는

증가된 혼잡 윈도우 크기에 따라 각 경로로 패킷을 전송할 때, 경로(r)에 대한 RTT( $\tau_r$ )가 MPTCP 상의 다른 경로의 RTT와 동일해지도록 하는 평형 RTT(Equilibrium RTT)( $\hat{\tau}_r$ )를 계산하는 단계;

모든 경로에 대한 평형 RTT( $\hat{\tau}_r$ )가 동일해지는 목표 평형 RTT( $\hat{\tau}_{target}$ )를 계산하는 단계;

기지정된 조건하에서 평형 RTT( $\hat{\tau}_r$ )와 목표 평형 RTT( $\hat{\tau}_{target}$ ) 사이의 차이가 최소가 되도록 하는 상기 혼잡 윈도우 증가 파라미터( $a_r$ )를 계산하여 획득하는 단계를 포함하는 MPTCP 혼잡 윈도우 제어 방법.

### 청구항 16

제15항에 있어서, 상기 평형 RTT( $\hat{\tau}_r$ )는

수학적식

$$\hat{\tau}_r = \frac{2a_r \tau_r}{w_r d_r w_{total}} (u_r - d_r) + d_r$$

(여기서  $w_r$ 은 경로(r)의 혼잡 윈도우 크기,  $d_r$ 은 최소 RTT,  $u_r$ 은 최대 RTT,  $w_{total}$ 은 총 혼잡 윈도우 크기를 나타낸다.)

에 따라 계산되는 MPTCP 혼잡 윈도우 제어 방법.

### 청구항 17

제16항에 있어서, 상기 목표 평형 RTT( $\hat{\tau}_{target}$ )는

수학식

$$\hat{\tau}_{target} = \frac{\sum_k (\sigma_k a_k (u_k - \tau_k) + d_k) \frac{w_k}{\tau_k}}{\sum_k \frac{w_k}{\tau_k}}$$

(여기서  $\sigma_k$ 는 수식을 단순화하기 위해 적용된 변수로서 경로(r)에 대해  $\sigma_r = \frac{2\tau_r}{w_r d_r w_{total}}$  이다.)

에 따라 계산되는 MPTCP 혼잡 윈도우 제어 방법.

#### 청구항 18

제16항에 있어서, 상기 혼잡 윈도우 증가 파라미터( $a_r$ )는

수학식

$$a_r = \left[ \min \left\{ \frac{\sum_{k \in R_s \setminus \{r\}} 2\rho_k (a_k \sigma_k + d_k - \varphi) (\sigma_r \rho_r) - 2\rho_r (d_r - \varphi) (\sigma_r - \sigma_r \rho_r)}{\sum_{k \in R_s \setminus \{r\}} 2\rho_k (\sigma_r \rho_r)^2 + 2\rho_r (\sigma_r - \sigma_r \rho_r)^2}, \frac{w_{total}}{x_r d_r} \right\} \right]^+$$

(여기서  $\varphi$ 는 수학을 간략화하기 위한 표현으로  $\varphi = \sum_{k \in R_s \setminus \{r\}} \rho_k (a_k \sigma_k + d_k) - d_r \rho_r$  이다.)

에 따라 계산되는 MPTCP 혼잡 윈도우 제어 방법.

#### 발명의 설명

#### 기술 분야

[0001] 본 발명은 무선 네트워크 MPTCP 혼잡 윈도우 제어 장치 및 방법에 관한 것으로, 고속-저지연 통신을 위한 무선 네트워크 MPTCP 혼잡 윈도우 제어 장치 및 방법에 관한 것이다.

#### 배경 기술

[0002] 최근 통신기술이 발달하면서 IoT(Internet of Things) 시스템을 다양하게 산업과 일상생활에서 적용하려는 시도가 증가하고 있다. IoT 시스템에서 증강 현실(AR) 및 가상 현실(VR)과 같은 다양한 애플리케이션을 이용하기 위해서 높은 전송 속도 및 낮은 지연 시간이 요구된다. 이를 위해 높은 전송 속도, 낮은 지연 시간 및 향상된 연결성의 장점을 가진 5G 네트워크를 IoT 시스템에 이용할 수 있다. 5G 네트워크에서도 mmWave(millimeter-wave) 기술은 고주파 대역을 사용하기 때문에 LOS(line-of-sight)에서는 높은 채널 용량으로 통신이 가능하여 수십 Gbps의 전송 속도 요구 조건을 만족시킬 수 있다. 하지만 장애물에 취약하기 때문에 LOS와 NLOS(Non-LOS) 사이의 전환이 잦아 성능의 변동이 크다는 단점이 있다. 이 때문에 mmWave 대역을 IoT에 적용하기에는 어려움이 있다.

[0003] 이러한 문제를 해소하기 위해 TCP를 이용하는 다수의 경로를 통해서 병렬로 데이터를 전송하는 프로토콜인 다중 경로 TCP(Multipath TCP: 이하 MPTCP)를 활용할 수 있다. MPTCP는 다중 경로를 사용하기 때문에 전송 속도에서 이점이 있으며, 한 경로의 링크 상태가 좋지 않아도 좋은 링크 상태의 경로로 데이터를 전송할 수 있으므로 신뢰성에서도 이점이 있다.

[0004] TCP의 중요한 구성 요소인 혼잡 제어 기법은 패킷 손실이나 지연과 같은 혼잡 척도를 이용하여 네트워크의 혼잡 정도를 파악하고 이를 이용하여 혼잡 윈도우의 조절을 통해 전송 속도를 조절하여 네트워크의 혼잡 정도를 조절하는 기법이다. 그리고 MPTCP에서의 혼잡 제어 기법은 다중 경로에 따른 각 서브 플로우(subflow)의 혼잡 상태에 따라 혼잡 윈도우를 제어하는 방식으로 수행된다. 즉 MPTCP에서의 혼잡 제어 기법은 각 경로별로 혼잡 윈도우를 개별적으로 제어한다.

[0005] 다만 기존의 TCP 혼잡 제어 기법은 유선 환경을 기반으로 설계되었기 때문에 무선 환경에 의한 특성을 고려하지 못한다. 즉 기존의 혼잡 제어 기법을 무선 상황에 적용하면 무선 채널에 의해 발생하는 손실을 별도로 구분할 수 없어, 네트워크의 혼잡에 의해 발생했다고 판단한다. 이로 인해 네트워크가 혼잡 상태가 아니라 무선 채널

에 의해서 손실이 발생할지라도, 혼잡 제어 기법에 의해 전송 속도를 줄여 전송 성능이 저하된다. 그러나 현재 많은 IoT 기기들은 무선 네트워크를 통해 통신을 하기 때문에 기존의 TCP 및 MPTCP 혼잡 제어 기법은 IoT에 적용하기에 적합하지 않다.

[0006] 또한 MPTCP 혼잡 제어 기법은 무선 채널에 의한 문제 외에도 패킷의 재정렬 지연도 추가로 고려해야한다. MPTCP가 서로 다른 여러 개의 경로를 이용하므로 각 경로별 RTT(Round Trip Time) 및 채널 용량 등과 같은 링크 특성의 이질성으로 인해 패킷이 수신 버퍼에 순서대로 도착하지 않으며, 이로 인해 패킷의 순서를 재정렬해야 하는 재정렬 지연이 발생한다.

[0007] 또한 MPTCP는 다른 SPTCP(single-path TCP) 유저들과 네트워크 자원을 공정하게 나누어 사용해야 하는 공정성 문제가 존재하기 때문에 전송 속도를 증대시키기 위해 무작정 혼잡 윈도우를 증가시킬 수 없다. 따라서 전송 속도를 증가시키기 위해서는 재정렬 지연을 최소화하여 종단간(End to End: E2E) 지연의 감소를 통해 수신 측에서 전송받는 속도인 굿풋(goodput)을 증가시켜야 하므로 재정렬 지연에 대한 고려가 꼭 필요하다. 그러나 현재 존재하는 MPTCP 혼잡 제어 기법 알고리즘의 경우에는 공정성 및 부하 분산에 대한 고려는 되어있지만 재정렬 지연에 대한 직접적인 고려가 되어있지 않다는 한계가 있다.

## 선행기술문헌

### 특허문헌

[0008] (특허문헌 0001) 한국 공개 특허 제10-2017-0063203호 (2017.06.08 공개)

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

[0009] 본 발명의 목적은 무선 채널 상태에 의한 손실과 네트워크 혼잡에 의한 손실을 구분하여 혼잡 윈도우의 크기를 제어함으로써 전송량을 향상시킬 수 있는 MPTCP 혼잡 윈도우 제어 장치 및 방법을 제공하는데 있다.

[0010] 본 발명의 다른 목적은 다중 경로를 통해 전송되는 패킷들의 재정렬 지연을 최소화할 수 있는 MPTCP 혼잡 윈도우 제어 장치 및 방법을 제공하는데 있다.

### 과제의 해결 수단

[0011] 상기 목적을 달성하기 위한 본 발명의 일 실시예에 따른 무선 네트워크 MPTCP 혼잡 윈도우 제어 장치는 다수의 경로 각각에 대해 설정된 혼잡 윈도우 크기에 대응하는 개수로 전송된 패킷 각각에 대한 응신이 수신되는지 확인하고, 수신된 응신을 기반으로 각 경로의 RTT(round-trip-time)를 확인하여 최소 RTT와 최대 RTT를 업데이트 하는 상태 분석부; 및 각 경로를 통해 전송된 패킷 각각에 대응하는 응신이 수신되면, 수신된 응신 각각에 따라 대응하는 경로에 대해 설정된 혼잡 윈도우 크기를 기지정된 크기만큼 증가시키고, 혼잡 윈도우 크기에 따라 전송된 패킷 중 적어도 하나의 패킷에 대한 응신이 수신되지 않은 손실이 발생하면, 손실이 발생한 경로에 대응하는 플로우 버퍼의 전체 크기에 대비하여 큐잉된 패킷의 양을 나타내는 버퍼 패킷 점유율을 계산하고, 계산된 버퍼 패킷 점유율이 무선 채널 상태에 따른 손실인지 또는 네트워크 혼잡으로 인해 발생한 손실인지를 판별하기 위한 기준값으로 미리 설정된 혼잡 구분 문턱값 이상인지 여부에 따라 상기 혼잡 윈도우 크기를 서로 다른 크기만큼 감소시키는 혼잡 윈도우 조절부를 포함한다.

[0012] 상기 혼잡 윈도우 조절부는 상기 버퍼 패킷 점유율이 상기 혼잡 구분 문턱값 이상이면 상기 혼잡 윈도우 크기를 기지정된 제1 크기만큼 감소시키고, 상기 버퍼 패킷 점유율이 상기 혼잡 구분 문턱값 미만이면 상기 혼잡 윈도우 크기를 상기 제1 크기보다 작은 기지정된 제2 크기만큼 감소시킬 수 있다.

[0013] 상기 MPTCP 혼잡 윈도우 제어 장치는 상기 혼잡 윈도우 조절부가 혼잡 윈도우 크기를 증가시킬 때, 각 경로를 따라 전송된 패킷들의 재정렬 지연 시간이 최소화되도록 혼잡 윈도우 크기의 증가량을 조절하기 위한 혼잡 윈도우 증가 파라미터를 계산하는 재정렬 지연 시간 조절부를 더 포함할 수 있다.

[0014] 상기 재정렬 지연 시간 조절부는 증가된 혼잡 윈도우 크기에 따라 각 경로로 패킷을 전송할 때, 경로(r)에 대한 RTT( $\tau_r$ )가 MPTCP 상의 다른 경로의 RTT와 동일해지도록 하는 평형 RTT(Equilibrium RTT)( $\hat{t}_r$ )를 계산하고, 모



든 경로에 대한 평형 RTT( $\hat{t}_r$ )가 동일해지는 목표 평형 RTT( $\hat{t}_{target}$ )를 계산하여 설정하며, 기지정된 조건하에 서 평형 RTT( $\hat{t}_r$ )와 목표 평형 RTT( $\hat{t}_{target}$ ) 사이의 차이가 최소가 되도록 하는 상기 혼잡 윈도우 증가 파라미터( $a_r$ )를 계산하여 획득할 수 있다.

[0015] 상기 목적을 달성하기 위한 본 발명의 다른 실시예에 따른 무선 네트워크 MPTCP 혼잡 윈도우 제어 방법은 다수의 경로 각각에 대해 설정된 혼잡 윈도우 크기에 대응하는 개수로 전송된 패킷 각각에 대한 응답이 수신되는지 확인하고, 수신된 응답을 기반으로 각 경로의 RTT(round-trip-time)를 확인하여 최소 RTT와 최대 RTT를 업데이트하는 단계; 각 경로를 통해 전송된 패킷 각각에 대응하는 응답이 수신되면, 수신된 응답 각각에 따라 대응하는 경로에 대해 설정된 혼잡 윈도우 크기를 기지정된 크기만큼 증가시키는 단계; 및 혼잡 윈도우 크기에 따라 전송된 패킷 중 적어도 하나의 패킷에 대한 응답이 수신되지 않은 손실이 발생하면, 손실이 발생한 경로에 대응하는 플로우 버퍼의 전체 크기에 대비하여 큐잉된 패킷의 양을 나타내는 버퍼 패킷 점유율을 계산하고, 계산된 버퍼 패킷 점유율이 무선 채널 상태에 따른 손실인지 또는 네트워크 혼잡으로 인해 발생한 손실인지를 판별하기 위한 기준값으로 미리 설정된 혼잡 구분 문턱값 이상인지 여부에 따라 상기 혼잡 윈도우 크기를 서로 다른 크기만큼 감소시키는 단계를 포함한다.

### 발명의 효과

[0016] 따라서, 본 발명의 실시예에 따른 MPTCP 혼잡 윈도우 제어 장치 및 방법은 무선 채널 상태에 의한 손실과 네트워크 혼잡에 의한 손실을 구분하여 혼잡 윈도우의 크기를 제어함으로써 과도한 혼잡 윈도우 크기 감소를 방지하여 전송 성능을 유지시킬 수 있고, 혼잡 윈도우 크기 증가 시에 다중 경로를 통해 전송되는 패킷들의 재정렬 지연을 최소화는 크기로 증가시켜 무선 자원을 효율적이고 공정하게 사용할 수 있도록 한다.

### 도면의 간단한 설명

[0017] 도 1은 MPTCP의 스택 구조를 설명하기 위한 도면이다.  
 도 2는 MPTCP의 개념을 설명하기 위한 도면이다.  
 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 무선 네트워크를 위한 MPTCP 혼잡 윈도우 제어 장치의 개략적 구성을 나타낸다.  
 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 무선 네트워크를 위한 MPTCP 혼잡 윈도우 제어 방법을 나타낸다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0018] 본 발명과 본 발명의 동작상의 이점 및 본 발명의 실시예에 의하여 달성되는 목적을 충분히 이해하기 위해서는 본 발명의 바람직한 실시예를 예시하는 첨부 도면 및 첨부 도면에 기재된 내용을 참조하여야만 한다.

[0019] 이하, 첨부한 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예를 설명함으로써, 본 발명을 상세히 설명한다. 그러나, 본 발명은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며, 설명하는 실시예에 한정되는 것이 아니다. 그리고, 본 발명을 명확하게 설명하기 위하여 설명과 관계없는 부분은 생략되며, 도면의 동일한 참조부호는 동일한 부재를 나타낸다.

[0020] 명세서 전체에서, 어떤 부분이 어떤 구성요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라, 다른 구성요소를 더 포함할 수 있는 것을 의미한다. 또한, 명세서에 기재된 "...부", "...기", "모듈", "블록" 등의 용어는 적어도 하나의 기능이나 동작을 처리하는 단위를 의미하며, 이는 하드웨어나 소프트웨어 또는 하드웨어 및 소프트웨어의 결합으로 구현될 수 있다.

[0021] 도 1은 MPTCP의 스택 구조를 설명하기 위한 도면이고, 도 2는 MPTCP의 개념을 설명하기 위한 도면이다.

[0022] 도 1에서 (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 다수 개로 구분한다.

[0023] 여기서 TCP 서브플로우는 각각의 네트워크 인터페이스를 통해 설정된 종단간 연결에 흐르는 패킷의 흐름을 의미한다. 즉 도 2에 도시된 바와 같이, MPTCP에서는 하나의 어플리케이션(Application) 또는 호스트(Host)가 각각 서로 다른 다수의 경로를 구성하고, TCP 서브플로우는 다수의 경로 중 대응하는 경로를 통해 전달되는 패킷을

전송할 수 있다.

- [0024] 도 2에서는 클라이언트(client)-서버(server)의 2개의 호스트가 MPTCP 통신 방식에 따라 3개의 서로 다른 경로를 통해 통신을 수행하는 경우를 도시하였다.
- [0025] 도 2에 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.
- [0026] 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. 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.
- [0027] 다만 도 2에서는 MPTCP의 모든 경로가 유선으로 연결된 유선 네트워크를 도시한 것으로 무선 네트워크의 경우, 다수의 경로 중 적어도 일부 경로가 무선 통신을 수행하게 된다. 예로서 클라이언트가 무선 단말로 구현된 경우, 제2 내지 제3 경로 중 적어도 하나 및/또는 클라이언트측의 MPTCP 경로(MPTCP flow)가 무선 채널로 구현될 수 있다. 그리고 무선 경로에서는 네트워크 혼잡뿐만 아니라 무선 채널의 상태에 따른 손실도 발생할 수 있다.
- [0028] 그러나 상기한 바와 같이, 기존의 혼잡 제어 윈도우 기법에서는 무선 채널의 상태에 따른 손실과 네트워크 혼잡에 따른 손실을 구분하지 않아, 무선 채널의 상태에 따른 손실이 발생하는 경우에도 혼잡 제어 기법에 따라 전송 속도를 줄여 전송 성능이 저하된다.
- [0029] 이러한 문제를 방지하기 위해 본 실시예에서는 패킷 손실이 네트워크 혼잡에 의해 발생하였는지 또는 무선 채널의 상태에 따라 발생하였는지 구분하고, 이에 따라 혼잡 윈도우를 조절함으로써 전송 속도가 하향되는 것을 방지할 수 있도록 한다.
- [0030] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 무선 네트워크를 위한 MPTCP 혼잡 윈도우 제어 장치의 개략적 구성을 나타낸다.
- [0031] 본 실시예에서 MPTCP 혼잡 윈도우 제어 장치는 송신 호스트에 구현되어 각 경로별로 무선 채널 상태 또는 네트워크 혼잡 수준에 따라 혼잡 윈도우 크기를 조절함으로써, 각 경로를 따라 수신 호스트로 전송되는 패킷의 개수를 조절한다.
- [0032] 도 3을 참조하면, 본 실시예에 따른 혼잡 윈도우 제어 장치(100)는 상태 분석부(110), 혼잡 윈도우 조절부(120), 재정렬 지연 시간 조절부(130)를 포함할 수 있다.
- [0033] 상태 분석부(110)는 수신부(200)를 통해 이전 다수의 경로( $r$ ) 각각에 대해 설정된 혼잡 윈도우 크기( $w_r$ )에 대응하는 개수로 전송된 패킷 각각에 대한 응신(ACK)이 수신되는지 확인하고, 수신된 응신(ACK)을 기반으로 각 경로( $r$ )의 RTT(round-trip-time)( $\tau_r$ )를 확인한다. 또한 상태 분석부(110)는 확인된 RTT( $\tau_r$ )를 해당 경로( $r$ )에서 이전 확인된 최소 RTT( $d_r$ )와 최대 RTT( $u_r$ )와 비교하여, RTT( $\tau_r$ )가 최소 RTT( $d_r$ )보다 작거나 최대 RTT( $u_r$ )보다 크면, 최소 RTT( $d_r$ ) 또는 최대 RTT( $u_r$ )를 RTT( $\tau_r$ )로 업데이트 한다.
- [0034] 혼잡 윈도우 조절부(120)는 현재 설정된 각 경로( $r$ )별 혼잡 윈도우 크기( $w_r$ )의 합으로 총 혼잡 윈도우 크기( $w_{total}$ )를 계산하고, 재정렬 지연 시간 조절부(130)로부터 혼잡 윈도우 증가 파라미터( $a_r$ )를 인가받는다. 여기서 혼잡 윈도우 크기( $w_r$ )는 경로( $r$ )를 통해 연속하여 전송되는 패킷의 수를 의미한다.
- [0035] 그리고 혼잡 윈도우 조절부(120)는 상태 분석부(110)에서 해당 경로( $r$ )로 전송된 패킷 각각에 대한 응신(ACK)이 수신된 것으로 판별되면, 응신(ACK)이 수신될 때마다 해당 경로( $r$ )에 대해 설정된 혼잡 윈도우 크기( $w_r$ )를 증가시킨다. 이때 혼잡 윈도우 조절부(120)는 혼잡 윈도우 크기( $w_r$ )를 미리 지정된 단위로 증가시킬 수 있다. 그러나 혼잡 윈도우 조절부(120)는 각 경로( $r$ )에 대해 현재 설정된 혼잡 윈도우 크기( $w_r$ )를 총 혼잡 윈도우 크기( $w_{total}$ )에 대한 혼잡 윈도우 증가 파라미터( $a_r$ )의 비( $a_r/w_{total}$ )만큼 증가( $w_r \leftarrow w_r + a_r/w_{total}$ )시킬 수 있다. 여기서 혼잡 윈도우 증가 파라미터( $a_r$ )는 패킷이 MPTCP의 다수의 경로를 통해 전송되어 수신단에 서로 다른 시간에 도착하게 됨에 따라 발생하는 재정렬 지연 시간을 저감시키기 위해 설정되는 값으로 상세한 설명은 후술하도록

한다.

[0036] 그러나 전송된 패킷 중 적어도 하나의 패킷에 대한 응신(ACK)이 수신되지 않은 경우, 즉 손실이 발생되면, 혼잡 윈도우 조절부(120)는 해당 경로(r)에 대해 설정된 혼잡 윈도우 크기( $w_r$ )를 감소시킨다.

[0037] 이때, 본 실시예에 따른 혼잡 윈도우 조절부(120)는 상태 분석부(110)에서 확인된 RTT( $\tau_r$ )와 최대 RTT( $u_r$ ) 및 최소 RTT( $d_r$ )를 기반으로 다수의 경로 각각을 통해 전송할 패킷이 임시로 저장되는 다수의 플로우 버퍼를 구비하는 버퍼부(300)에서 경로(r)에 대응하는 플로우 버퍼의 전체 크기에 대비하여 큐잉된(Queueing 또는 Backlog) 패킷의 양을 나타내는 버퍼 패킷 점유율(R)에 기반하여 혼잡 윈도우 크기( $w_r$ )를 서로 다르게 감소시킨다.

[0038] 우선 혼잡 윈도우 조절부(120)는 손실이 발생되면, 수학식 1에 따라 버퍼 패킷 점유율(R)을 계산한다.

수학식 1

$$R = \frac{\tau_r - d_r}{u_r - d_r}$$

[0039]

[0040] 즉 혼잡 윈도우 조절부(120)는 각 경로에서의 최대 및 최소 RTT( $u_r, d_r$ ) 사이의 차에 대한 현재 RTT( $\tau_r$ )와 최소 RTT( $d_r$ ) 사이의 차의 비로 버퍼 패킷 점유율(R)을 계산한다.

[0041] 수학식 1에 따라 버퍼 패킷 점유율(R)이 계산되면, 혼잡 윈도우 조절부(120)는 계산된 버퍼 패킷 점유율(R)을 미리 획득된 혼잡 구분 문턱값( $\beta$ )과 비교한다. 여기서 혼잡 구분 문턱값( $\beta$ )은 발생한 손실이 무선 채널 상태에 따른 손실인지 또는 네트워크 혼잡으로 인해 발생한 손실인지를 판별하기 위한 기준값으로서, 해당 경로(r)에서 혼잡 윈도우의 크기( $w_r$ )와 네트워크 혼잡 상태에 따른 혼잡 비용이 평형을 이루는 균형 상태에서의 버퍼 패킷 점유율(R)을 나타내며, 미리 설정되어 저장될 수 있다. 여기서 혼잡 구분 문턱값( $\beta$ )은 이전 설정된 혼잡 윈도우 크기( $w_r$ )에 대응하는 개수의 패킷을 전송한 후, 각 패킷에 대한 응신(ACK) 수신 여부에 따라 조절된 혼잡 윈도우 크기( $w_r$ )가 이전 설정된 혼잡 윈도우 크기( $w_r$ )와 동일한 경우의 버퍼 패킷 점유율(R)로 계산될 수 있다. 혼잡 구분 문턱값( $\beta$ )은 수학식 2와 같이 계산될 수 있다.

수학식 2

$$\beta = \frac{2a_r\tau_r}{w_r d_r w_{total}}$$

[0042]

[0043] 그리고 혼잡 윈도우 조절부(120)는 계산된 버퍼 패킷 점유율(R)과 혼잡 구분 문턱값( $\beta$ )을 비교한 결과, 버퍼 패킷 점유율(R)이 혼잡 구분 문턱값( $\beta$ ) 이상( $R > \beta$ )이면, 경로(r)에 대한 혼잡 윈도우 크기( $w_r$ )를 제1 크기만큼 감소시킨다. 즉 버퍼 패킷 점유율(R)이 혼잡 구분 문턱값( $\beta$ )보다 큰 경우에는 전송하고자 하는 패킷이 많이 존재함에도 전송되지 않고 플로우 버퍼에 큐잉되어 있는 상태를 나타내므로, 손실이 네트워크의 혼잡에 의해 발생된 것으로 판단하여 혼잡 윈도우 크기( $w_r$ )를 제1 크기만큼 감소시킨다.

[0044] 일 예로 버퍼 패킷 점유율(R)이 혼잡 구분 문턱값( $\beta$ ) 이상( $R > \beta$ )인 경우, 혼잡 윈도우 조절부(120)는 가산적 증가 배수적 감소(Additive Increase Multiplicative Decrease: AIMD) 기법에 따라 혼잡 윈도우 크기( $w_r$ )를 1/2배( $\Delta w_r = w_r/2$ )만큼 감소( $w_r < w_r - w_r/2$ )시킬 수 있다.

[0045] 그러나 버퍼 패킷 점유율(R)이 혼잡 구분 문턱값( $\beta$ )보다 작으면( $R < \beta$ ), 네트워크 혼잡이 아닌 무선 채널 상태에 따른 손실이 발생된 것으로 판단할 수 있다. 이에 혼잡 윈도우 조절부(120)는 혼잡 윈도우 크기( $w_r$ )를 네

트위크 혼잡에 의해 더 작은 제2 크기만큼 감소시킨다. 일 예로, 혼잡 윈도우 조절부(120)는 버퍼 패킷 점유율(R)이 혼잡 구분 문턱값( $\beta$ )보다 작은 경우( $R < \beta$ ), 혼잡 윈도우 크기( $w_r$ )를 1/5배( $\Delta w_r = w_r/5$ )만큼 감소( $w_r \leftarrow w_r - w_r/5$ )시킬 수 있다.

[0046] 결과적으로 본 실시예에서 혼잡 윈도우 조절부(120)는 MPTCP의 다수의 경로(r)에 대응하여 이전 설정된 혼잡 윈도우 크기( $w_r$ )를 기반으로 패킷을 전송하고, 각 경로(r)를 통해 전송된 패킷 각각에 대한 응신(ACK)이 수신되면, 응신(ACK)이 수신될 때마다 혼잡 윈도우 크기( $w_r$ )를 기지정된 크기 단위로 증가시키되, 총 혼잡 윈도우 크기( $w_{total}$ )에 대한 혼잡 윈도우 증가 파라미터( $a_r$ )의 비( $a_r/w_{total}$ )의 단위로 증가( $w_r \leftarrow w_r + a_r/w_{total}$ )시킨다.

[0047] 그러나 혼잡 윈도우 크기( $w_r$ )로 전송된 패킷 중에서 손실이 발생되면, 버퍼 패킷 점유율(R)과 혼잡 구분 문턱값( $\beta$ )을 비교하여, 버퍼 패킷 점유율(R)이 혼잡 구분 문턱값( $\beta$ )보다 크면( $R > \beta$ ), 혼잡 윈도우 크기( $w_r$ )를 기지정된 제1 크기만큼 감소시키고, 혼잡 구분 문턱값( $\beta$ )보다 작으면( $R < \beta$ ), 혼잡 윈도우 크기( $w_r$ )를 기지정된 제2 크기만큼 감소시킨다.

[0048] 따라서 손실이 발생한 경우에 네트워크 혼잡에 따른 손실인지 또는 무선 채널에 의한 손실인지에 따라 혼잡 윈도우 크기( $w_r$ )를 서로 다르게 감소시킴으로써, 전송 속도가 불필요하게 과도하게 저하되는 것을 방지할 수 있다.

[0049] 한편, 재정렬 지연 시간 조절부(130)는 MPTCP의 다수의 경로 사이의 차이로 인해 각 경로를 통해 전송된 패킷이 수신단에 서로 다른 시간에 도착하여 발생하는 재정렬 시간을 최소화하기 위한 혼잡 윈도우 증가 파라미터( $a_r$ )를 계산한다.

[0050] MPTCP를 이용하는 경우, 다수의 경로 중 측정 경로에서의 상태가 양호하여 패킷이 빠르게 수신단에 도달할 수 있을지라도, 재정렬 지연 시간에 의해 다수의 경로를 통해 가장 늦게 도달하는 패킷을 기준으로 데이터가 복원된다. 이에 재정렬 지연 시간 조절부(130)는 재정렬 지연 시간이 최소가 되도록 하는 혼잡 윈도우 증가 파라미터( $a_r$ )를 계산하여 혼잡 윈도우 조절부(120)로 전달함으로써, 경로(r) 상태가 양호한 경우에도 혼잡 윈도우 조절부(120)가 불필요하게 혼잡 윈도우의 크기( $w_r$ )를 증가시켜 자원을 과도하게 이용하지 않도록 한다. 즉 혼잡 윈도우 조절부(120)가 각 경로(r)를 통해 전달되는 패킷이 동일한 시간에 수신단에 도달되도록 각 경로(r)에 따른 혼잡 윈도우의 크기( $w_r$ )를 조절할 수 있도록 한다.

[0051] MPTCP의 경로 집합( $R_s$ )에 포함된 각 경로(i)를 통해 전송된 패킷이 수신단에 도달하는 시간은 해당 경로(i)에서의 RTT( $\tau_i$ )의 1/2이므로, 특정 경로(r)의 재정렬 지연 시간( $\varrho_r$ )은 수학식 3의 범위를 가질 수 있다.

### 수학식 3

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

[0052]

[0053] 재정렬 지연 시간은 경로 집합( $R_s$ )에 포함된 모든 경로( $i \in R_s$ )에서의 RTT가 동일한 값으로 균일화될 때 최소가 되며, 경로(r)의 RTT( $\tau_r$ )가 다른 경로(i)의 RTT( $\tau_i$ )와 동일해지기 위한 평형 RTT(Equilibrium RTT)( $\hat{\tau}_r$ )는 수학식 4와 같이 계산될 수 있다.

### 수학식 4

$$\hat{\tau}_r = \frac{2a_r\tau_r}{w_r d_r w_{total}} (u_r - d_r) + d_r$$

[0054]

[0055] 수학식 4에 따라 경로 집합( $R_s$ )에 포함된 모든 경로( $i$ )의  $RTT(\tau_i)$ 가 동일해지는  $RTT$ 를 목표 평형  $RTT(\hat{\tau}_{target})$ 라 하면, 목표 평형  $RTT(\hat{\tau}_{target})$ 는 각 경로( $r$ )에서의 평형  $RTT(\hat{\tau}_r)$ 의 기대값을 이용하여 수학식 5와 같이 계산될 수 있다.

### 수학식 5

$$\hat{\tau}_{target} = \frac{\sum_k (\sigma_k a_k (u_k - \tau_k) + d_k) \frac{w_k}{\tau_k}}{\sum_k \frac{w_k}{\tau_k}}$$

[0056]

[0057] 여기서  $\sigma_k$ 는 수식을 단순화하기 위해 적용된 변수로서 경로( $r$ )에 대해  $\sigma_r = \frac{2\tau_r}{w_r d_r w_{total}}$ 로 계산된다.

[0058] 따라서 평형  $RTT(\hat{\tau}_r)$ 가 목표 평형  $RTT(\hat{\tau}_{target})$ 와 유사해질수록 재정렬 지연 시간은 감소하게 된다. 이에 재정렬 지연 시간 조절부(130)는 평형  $RTT(\hat{\tau}_r)$ 가 목표 평형  $RTT(\hat{\tau}_{target})$  사이의 차이가 최소화되도록 하는 혼잡 윈도우 증가 파라미터( $a_r$ )를 탐색하는 것을 목적으로 하며, 이는 수학식 6에 따른 최적화 문제로 표현될 수 있다.

### 수학식 6

$$\text{minimize}_{a_r} \sum_k \rho_k (\hat{\tau}_k - \hat{\tau}_{target})^2$$

$$\text{subject to } a_r \leq \frac{w_{total} \tau_r}{w_r d_r}$$

$$0 \leq a_r$$

[0059]

[0060] 여기서  $\rho_k$ 는 각 경로( $k$ )의 전송 속도에 기반한 패킷 전송 확률 파라미터로서 경로( $r$ )의 경우  $\rho_r = \frac{x_r}{\sum_{k \in R_s} x_k}$ 로 계산된다.

[0061] 수학식 6의 최적화 문제는 라그랑지안(Lagrangian) 기법을 이용하여 제약 사항을 완화시켜 계산할 수 있으며, 이 경우, 수학식 6에 의해 최적화된 혼잡 윈도우 증가 파라미터( $a_r$ )는 수학식 7과 같이 계산될 수 있다.

### 수학식 7

$$a_r = \left[ \min \left\{ \frac{\sum_{k \in R_s \setminus \{r\}} 2\rho_k (a_k \sigma_k + d_k - \varphi) (\sigma_r \rho_r) - 2\rho_r (d_r - \varphi) (\sigma_r - \sigma_r \rho_r)}{\sum_{k \in R_s \setminus \{r\}} 2\rho_k (\sigma_r \rho_r)^2 + 2\rho_r (\sigma_r - \sigma_r \rho_r)^2}, \frac{w_{total}}{x_r d_r} \right\} \right]^+$$

[0062]

[0063] 여기서  $\varphi$ 는 수학적식을 간략화하기 위한 표현으로  $\varphi = \sum_{k \in R_s \setminus \{r\}} \rho_k (a_k \sigma_k + d_k) - d_r \rho_r$ 이다.

[0064] 혼잡 윈도우 증가 파라미터( $a_r$ )의 초기값은 1로 설정될 수 있다.



- [0065] 결과적으로 본 실시예에 따른 혼잡 윈도우 제어 장치(100)는 MPTCP의 다중 경로로 전송된 패킷에서 손실이 발생되면, 손실이 발생된 경로에 대한 버퍼 패킷 점유율( $R$ )이 기지정된 혼잡 구분 문턱값( $\beta$ )보다 큰지 또는 작은지 확인하여, 손실이 무선 채널 상태에 따른 손실인지 또는 네트워크 혼잡으로 인해 발생한 손실인지를 판별하고, 판별 결과에 따라 서로 다른 크기로 혼잡 윈도우 크기( $w_r$ )를 감소시킴으로써, 무선 채널 상태로 인한 손실 발생시에 전송 성능이 과도 저하되는 것을 억제할 수 있다.
- [0066] 그리고 패킷이 정상 전송되어 응신(ACK)이 수신된 경우, 다수의 경로에 따라 전송되는 패킷의 재정렬 지연 시간이 최소화되도록 하는 혼잡 윈도우 증가 파라미터( $a_r$ )에 기반하여 혼잡 윈도우 크기( $w_r$ )를 증가시켜, 과도하게 자원을 이용하지 않도록 억제함으로써 네트워크 자원을 공정하게 사용할 수 있도록 한다.
- [0067] 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 무선 네트워크를 위한 MPTCP 혼잡 윈도우 제어 방법을 나타낸다.
- [0068] 도 4를 참조하면, 본 실시예에 따른 MPTCP 혼잡 윈도우 제어 방법은 우선 이전 설정된 각 경로( $r$ )에 대한 혼잡 윈도우 크기( $w_r$ )에 따라 다수의 경로( $r$ ) 각각으로 설정된 혼잡 윈도우 크기( $w_r$ )에 대응하는 개수의 패킷을 전송한다(S11).
- [0069] 그리고 각 경로( $r$ )로 전송된 패킷 각각에 대해 응신(ACK)이 수신되는지 판별한다(S12). 각 경로( $r$ )를 통해 전송된 패킷에 대응하는 응신(ACK)이 수신되면, 해당 경로( $r$ )에 대한 RTT( $\tau_r$ )를 획득한다(S13). 이때 획득된 RTT( $\tau_r$ )를 기반으로 최소 RTT( $d_r$ )와 최대 RTT( $u_r$ )를 업데이트할 수 있다.
- [0070] 그리고 MPTCP의 다중 경로를 통한 패킷 전송에 따른 재정렬 지연 시간이 최소화되도록 하기 위해, 각 경로( $r$ )에 대한 RTT( $\tau_r$ )가 동일해지도록 경로별 혼잡 윈도우 크기( $w_r$ )의 증가량을 조절하기 위한 혼잡 윈도우 증가 파라미터( $a_r$ )를 수학적 식 6에 따라 계산한다(S14).
- [0071] 이후, 수신된 응신(ACK) 각각에 대응하여 해당 경로( $r$ )에 대한 혼잡 윈도우 크기( $w_r$ )를 혼잡 윈도우 증가 파라미터( $a_r$ )와 총 혼잡 윈도우 크기( $w_{total}$ )의 비( $a_r/w_{total}$ )에 따라 증가( $w_r <- w_r + a_r/w_{total}$ )시킨다(S15).
- [0072] 한편, 각 경로( $r$ )에 따른 혼잡 윈도우 크기( $w_r$ )에 대응하는 개수의 패킷이 모두 전송된 후, 각 경로( $r$ )로 전송된 패킷 중 응신(ACK)이 수신되지 않은 손실이 발생하였는지 여부를 판별한다(S16). 만일 손실이 발생되지 않은 것으로 판별되면, 각 응신(ACK)에 응답하여 증가된 혼잡 윈도우 크기( $w_r$ )에 따라 다시 패킷을 전송한다(S11).
- [0073] 그러나 손실이 발생된 경로( $r$ )가 판별되면, 손실이 발생한 경로( $r$ )에 대응하는 플로우 버퍼의 전체 크기에 대비하여 큐잉된 패킷의 양을 나타내는 버퍼 패킷 점유율( $R$ )을 수학적 식 1에 따라 계산한다(S17). 그리고 계산된 버퍼 패킷 점유율( $R$ )이 발생한 손실이 무선 채널 상태에 따른 손실인지 또는 네트워크 혼잡으로 인해 발생한 손실인지를 판별하기 위한 기준값으로 미리 설정된 혼잡 구분 문턱값( $\beta$ ) 이상인지 판별한다(S18).
- [0074] 만일 버퍼 패킷 점유율( $R$ )이 혼잡 구분 문턱값( $\beta$ ) 이상이면, 손실이 네트워크의 혼잡에 의해 발생한 것으로 판단하여 혼잡 윈도우 크기( $w_r$ )를 제1 크기만큼 감소시킨다(S19). 그러나 버퍼 패킷 점유율( $R$ )이 혼잡 구분 문턱값( $\beta$ ) 미만이면, 손실이 무선 채널 상태에 의해 발생한 것으로 판단하여 혼잡 윈도우 크기( $w_r$ )를 제2 크기만큼 감소시킨다(S20).
- [0075] 그리고 증가 및 감소된 혼잡 윈도우 크기( $w_r$ )에 따라 다시 패킷을 전송한다(S11).
- [0076] 본 발명에 따른 방법은 컴퓨터에서 실행시키기 위한 매체에 저장된 컴퓨터 프로그램으로 구현될 수 있다. 여기서 컴퓨터 판독가능 매체는 컴퓨터에 의해 액세스될 수 있는 임의의 가용 매체일 수 있고, 또한 컴퓨터 저장 매체를 모두 포함할 수 있다. 컴퓨터 저장 매체는 컴퓨터 판독가능 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 포함하며, ROM(판독 전용 메모리), RAM(랜덤 액세스 메모리), CD(컴팩트 디스크)-ROM, DVD(디지털 비디오 디스크)-ROM, 자기 테이프, 플로피 디스크, 광데이터 저장장치 등을 포함할 수 있다.
- [0077] 본 발명은 도면에 도시된 실시예를 참고로 설명되었으나 이는 예시적인 것에 불과하며, 본 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 타 실시예가 가능하다는 점을 이해할 것이다.

[0078] 따라서, 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 청구범위의 기술적 사상에 의해 정해져야 할 것이다.

부호의 설명

- [0079]
- 100: 혼잡 윈도우 제어 장치

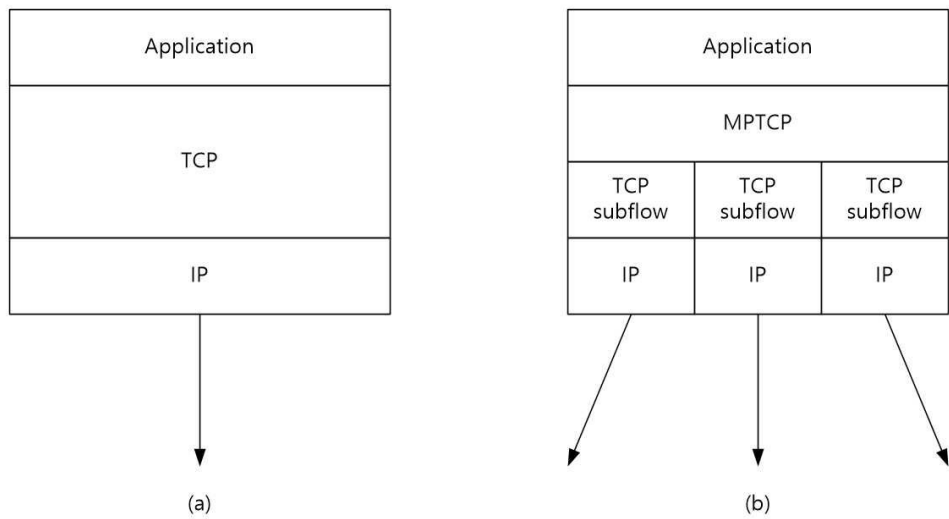
110: 상태 분석부

120: 혼잡 윈도우 조절부

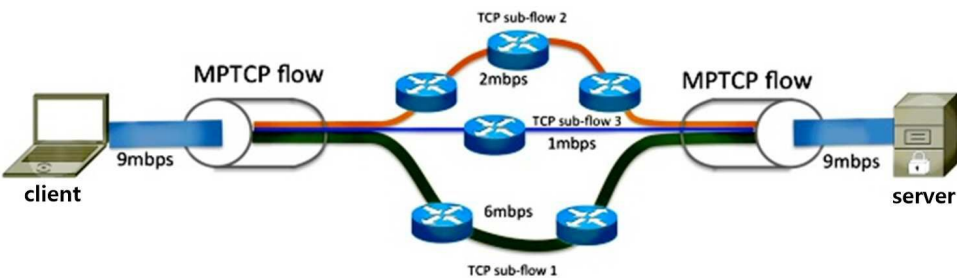
120: 재정렬 지연 시간 조절부

도면

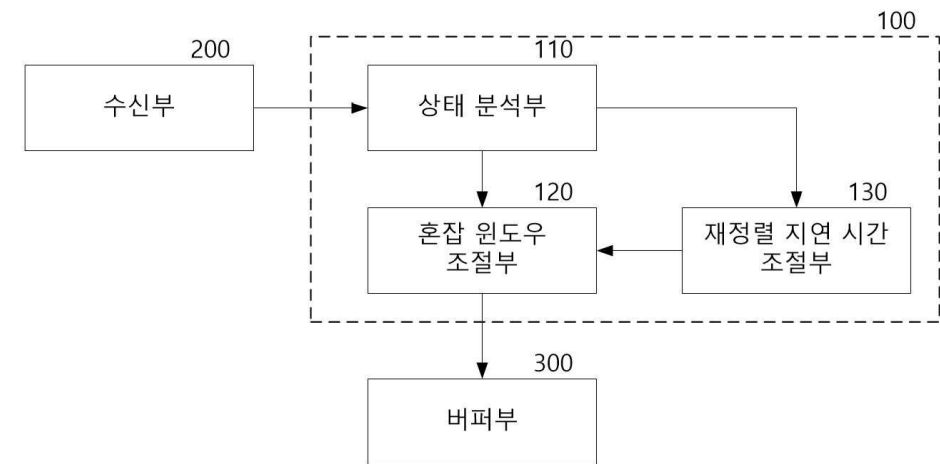
도면1



도면2



도면3



도면4

