

무선 브리지를 위한 효과적 패킷 전달 기법

김종성⁰, 김영호⁰
 부산대학교 전자계산학과
 jsungkim@juno.cs.pusan.ac.kr⁰, yhkim@pusan.ac.kr

An Effective Packet Forwarding Method for Wireless Bridges

Jong-Sung Kim⁰, Young-Ho Kim⁰
 Dep. of Computer Science, Pusan National University

요 약

무선 브리지는 지리적으로 떨어져있는 여러 네트워크들을 무선 인터페이스를 이용하여 하나의 지역 네트워크로 통합한다. 네트워크간 패킷 전달이 단일 장비 내에서 이루어지는 전통적인 유선 브리지와는 달리, 무선 브리지는 두개의 무선 브리지 장비가 하나의 논리적 브리지를 구성하게 된다. 따라서, 무선 네트워크 인터페이스를 통한 무선 브리지간 패킷 전달의 속도와 효율이 무선 브리지에 의해 통합된 브리지 네트워크의 성능에 많은 영향을 미치게 된다. 본 논문에서는 무선 네트워크 인터페이스를 통한 무선 브리지 간의 패킷 전달에 적용될 수 있는 효과적인 패킷 전달 기법을 제시한다. 제시된 기법은 무선 인터페이스의 특성에 독립적이고, 무선 브리지 사이의 패킷 전달 효율을 높일 수 있다. 그리고, 제시된 기법을 적용한 무선 브리지를 구현하고, 실험을 통해 성능을 분석하였다.

I. 서론

브리지는 단절된 네트워크를 지역 네트워크로 통합한다. 연결하고자 하는 네트워크가 거리상으로 멀리 있거나, 네트워크간 전용선 설치의 난이도가 높은 경우에, 무선 브리지를 적용하여 문제를 간단하게 해결할 수 있다. 무선 브리지는 네트워크간 링크를 무선 인터페이스를 통해 제공하는 다른 형태의 브리지이다. 그림 1에 브리지와 무선 브리지의 개관을 나타내었다.

브리지 네트워크를 위해 사용되는 대표적 프로토콜에는 투명 브리지 프로토콜(TBP: Transparent Bridging Protocol)[1]과, 원천 경로설정 프로토콜(Source Routing Protocol)[2]을 들 수 있다. 이러한 브리지 프로토콜이 가진 문제점의 개선을 통하여, 브리지 네트워크의 전체 성능을 향상시키기 위한 많은 연구들이 있었다. [4][5][6]

이러한 브리지 프로토콜의 개선을 통한 브리지 네트워크의 성능 향상도 중요하지만, 네트워크의 성능은 당연히 최대 흐름 최소 절단 정리(Max-Flow-Min-Cut Theorem)를 따른다. 유선 네트워크는 이미 100Gbps에 이르렀으며, 테라비트 이더넷이 2010년 경에 실현될 것으로 예상되고 있다. 무선 네트워크 역시 짧은 기간동안 많은 발전을 이루었지만, 유선 네트워크의 성능에는 비할 것이 못된다. 따라서, 무선 브리지에 의해 통합된 브리지 네트워크에서, 전체 네트워크 성능의 한계는 유선 네트워크가 아닌 무선 네트워크의 성능으로 결정된다.

무선 네트워크에서는 공개된 매체를 사용해서 프레임 전송하므로, [7]에서 정리된 바와 같이, 다중 접근을 제어하기 위한 프로토콜이 추가로 필요하게 된다. 그 결과, 무선 네트워크 인터페이스는 다양한 네트워크 프로토콜 계층의 집합체로 정의되었으며, 특히 길이가 짧은 프레임들을 전송하기 위해서는 많은 비용이 든다. [8][9]

본 논문에서는 기존의 연구 방향과는 다르게, 무선 브리지 네트워크의 성능 향상을 통해 전체 브리지 네트워크의 성능 향상을 얻을 수 있는 방법으로, 무선 브리지간 사용될 수 있는 새로운 패킷 전달 기법을 제시한다. 제시된 기법은, 무선 브리지간 연결에 사용될 수 있는 다양한 무선 인터페이스들의 특성에 독립적이고, 무선 네트워크에서 전달되는 프레임의 수를 최소화 함으로써, 패킷 전달 효율을 향상시킬 수 있다.

논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 유선 네트워크로부터의 패킷을 전달하기 위해 기존에 사용되던 패킷 분할 방식에 대해 분석한다. III장에서는 지연된 능숙 프레임 전송을 이용한 향상된 패킷 전달 기법에 대해 설명하고, 제시된 기법을 적용한 무선 브리지 구현을 통

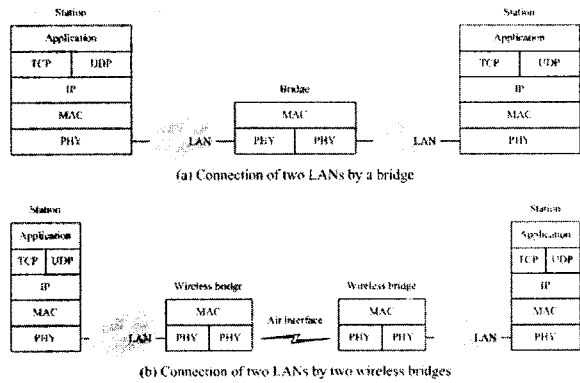


그림 1. 브리지에 의한 네트워크의 연결

한 성능 분석을 IV장에서 다룬다. 마지막으로, V장에서의 결론으로 본 논문은 끝을 맺는다.

II. 패킷 분할

무선 인터페이스에서 사용하는 프로토콜의 최대 전송 단위가 M_w 이고, 패킷의 분할 및 재조립을 위해 사용되는 정보의 길이가 α 인 무선 브리지를 가정해 보자. 유선 네트워크로부터 시간 순서에 따라, 길이가 l_1, l_2, \dots, l_n 인 패킷들을 받았다고 할때,

$$L_n = \sum_{k=1}^n l_k$$

라고 하자. 직관적으로, L_n 의 정보를 가정한 무선 포트를 통해 보내는 데는 $\lceil \frac{L_n}{M_w} \rceil$ 개의 패킷 전달 프레임만 전송하면 된다는 것을 생각할 수 있다. n 개의 패킷을 $\lceil \frac{L_n}{M_w} \rceil$ 개의 프레임만으로 전달하는 기법은 구현 불가능한 것은 아니지만, 여러 복구 등에 심각한 문제가 있으므로, 현실적인 환경에서는 사용되기 어렵다. 기존의 패킷 분할을

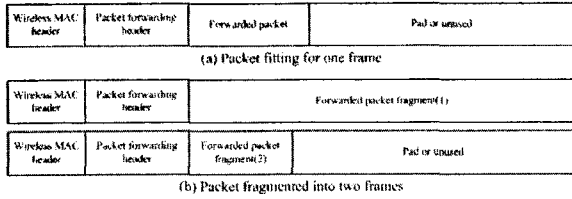


그림 2. 패킷 분할에 의해 생성된 패킷 전달 프레임

```

function packet_forward(pkt, dev)
var frame, len, pkt.len, pkt.offset;
begin
  pkt.len := pkt.len;
  pkt.offset := 0;

  repeat /* until it enqueue whole pkt */
  if there is delayed frame then
    /* use delayed frame buffer */
    frame := delayed frame;
  else
    frame := new frame;
    append forwarding header to frame;

  /* determine the queueing length for frame */
  len := min(pkt.len, frame.room);

  append pkt.data[pkt.offset..pkt.offset + len] to frame;

  /* adjust packet fragment information */
  pkt.len := pkt.len - len;
  pkt.offset := pkt.offset + len;

  if frame.room ≤ ρ then
    transmit frame;
  else
    /* delay frame transfer */
    store frame;
  until len > 0
end;
    
```

그림 3. 지연된 농축 프레임 전송을 이용한 패킷 전달 기법

사용하여 n 개의 패킷을 모두 전달하기 위해, 무선 인터페이스를 통과하는 패킷 전달 프레임의 수 F_n 은 다음과 같이 계산된다.

$$F_n = \begin{cases} 0, & \text{if } n = 0; \\ F_{n-1} + \left\lceil \frac{l_n}{M_w - \alpha} \right\rceil, & \text{otherwise.} \end{cases}$$

따라서, 시간이 흐름에 따라, 이상적인 패킷 전달 프레임의 개수인 $\lceil \frac{l_n}{M_w} \rceil$ 보다는 훨씬 많은 프레임이 발생할 것이라는 것을 예상할 수 있다. 패킷 분할에 의해 생성된 프레임의 구조는 그림 2와 같다.

III. 지연된 농축 프레임 전송을 이용한 패킷 전달 기법

여기서 우리는 지연된 농축 프레임 전송(Delayed and Packed Frame Transmission)을 이용한 무선 브리징의 패킷 전달 기법을 제시한다. 최초로 전달해야 할 패킷이 도착했을 때, 패킷 분할 방법에 의해서 프레임을 구성한다. 하나 혹은 여러개의 프레임이 생성될 수 있는데, 마지막으로 생성된 프레임이 아니라면 모두 전송한다. 마지막으로 생성된 프레임은 추가적인 패킷을 저장할 수 있는 공간을 가질 수 있다. 그러나, 남아 있는 공간이 α 이하, 혹은 별도로 설정된 임계값 ρ ($\rho \geq \alpha$) 이하라면, 그 활용도가 낮으므로 전송하도록 한다. 그밖의 경우에는, 프레임의 전송을 최대 시간 τ 만큼 지연시킨다. 지연된 시간 동안, 추가적으로 전달할 패킷이 도착하면, 지연된 프레임의 남은 공간에 패킷이 저장되어서 최대 전송 단위에 가까운 농축 프레임 상태에서 전송될 수 있게하고, 지연된 시간이 만료될 때까지 추가적인

표 1
패킷 전달을 위해 생성된 프레임의 수 비교

Packets	F_n	\mathcal{F}_n	$\lceil \frac{l_n}{M_w} \rceil$
1	1 (+0%)	1 (+0%)	1
4	10 (+150%)	4 (+0%)	4
16	32 (+191%)	11 (+0%)	11
64	144 (+188%)	50 (+2%)	50
256	565 (+188%)	202 (+3%)	196
1024	2281 (+186%)	819 (+3%)	797
4096	8998 (+188%)	3212 (+3%)	3127
16384	35876 (+188%)	12819 (+3%)	12478

Magz. number (4 octets)	Identification (4 octets)	MF bit	MP bit	Fragment offset (14 bits)	Length (2 octets)
----------------------------	------------------------------	-----------	-----------	------------------------------	----------------------

(a) Packet forwarding header format

Wireless MAC header	Packet forwarding header (MF = 0, MP = 1)	Forwarded packet 1	Packet forwarding header (MF = 1, MP = 0)	Forwarded packet 2 (fragment 1)
Wireless MAC header	Packet forwarding header (MF = 0, MP = 1)	Forwarded packet 2 (fragment 2)		

(b) Packet-packed frame structure

그림 4. 제시된 기법에서 사용되는 헤더 정보와 생성된 프레임 구조

패킷이 도착하지 않는다면, 더 이상의 전송 지연이 생기지 않도록 지연된 프레임을 전송하도록 한다. 제시된 기법의 패킷 전송 프로시저를 그림 3에 나타내었다.

제시된 기법을 적용했을 경우에 발생하는 패킷 전달 프레임의 수를 생각해 보자. 제시된 기법과 기존의 방법의 가장 큰 차이점은, 제시된 기법은 프레임 전송하기 전, 프레임에 남아있는 공간을 활용할 수 있는 여지를 남겨둔다는 점이다. n 번째 패킷을 전달한 후, \mathcal{F}_n 번째 프레임에 남아있는 공간을 \mathcal{R}_n 이라 하면, 생성된 n 개의 패킷을 전달하기 위해 발생하는 프레임의 개수 F_n 은:

$$F_n = \begin{cases} 0, & \text{if } n = 0; \\ F_{n-1} + \left\lceil \frac{l_n}{M_w - \alpha} \right\rceil, & \text{if } n > 0 \text{ and } \mathcal{R}_{n-1} < \rho; \\ F_{n-1} + \left\lceil \frac{\mathcal{R}_{n-1} + l_n}{M_w - \alpha} \right\rceil - 1, & \text{if } n > 0 \text{ and } \mathcal{R}_{n-1} \geq \rho. \end{cases}$$

여기서, \mathcal{R}_n 의 정의에 따라:

$$\left\lceil \frac{\mathcal{R}_{n-1} + l_n}{M_w - \alpha} \right\rceil - 1 \leq \left\lceil \frac{l_n}{M_w - \alpha} \right\rceil$$

이 항상 성립한다. 따라서, $F_n \leq F_n$ 가 항상 성립하며, 제시된 기법을 적용하면 항상 기존의 방식보다 적은 수의 프레임 전송으로 모든 패킷을 전달할 수 있다. $M_w = 1024$, $\alpha = 12$, 그리고 $\rho = 12$ 인 환경에서 무작위로 인터넷 패킷을 발생시키면서 F_n , \mathcal{F}_n , 그리고 $\lceil \frac{l_n}{M_w} \rceil$ 의 값을 측정 한 결과가 표 1에 나타나 있다. 총분한 수의 패킷을 발생시키면, F_n 과 \mathcal{F}_n 은 각각, $\lceil \frac{l_n}{M_w} \rceil$ 의 288%와 103%에 수렴한다. 결과적으로, $\frac{\mathcal{F}_n}{F_n}$ 의 비율은 36%에 수렴하는 것을 알 수 있다. 따라서, 다양한 유형의 패킷이 발생하는 네트워크에 제시된 기법을 적용하면, 기존 방법에 비해 $\frac{1}{3}$ 정도의 프레임들로 동일한 양의 패킷을 모두 전달할 수 있다. 제시된 기법에서 사용한 패킷 전달 정보와, 제시된 기법이 생성하는 패킷 전달 프레임의 형태를 그림 4에 나타내었다.

이러한 기법에서 성능을 좌우할 수 있는 것은, τ 의 값이다. τ 가 무한대라면, 표 1에서의 \mathcal{F}_n 을 얻을 수 있지만, 패킷 왕복 시간(Round-Trip Time)이 한없이 길어질 수 있다. 반대로, τ 를 아주 작은 값으로 설정하면, 짧은 패킷 왕복 시간을 보장할 수 있는 대신, τ 가 만료 전에 추가의 패킷이 도착할 확률이 낮아지므로, \mathcal{F}_n 보다 많은 수의 프레임이 발생하게 된다.

IV. 구현 및 성능평가

제시된 패킷 전달 알고리즘을, 10/100Mbps 인터넷 네트워크를 11Mbps 무선랜 인터페이스로 연결하는 브리지 네트워크에 적용하

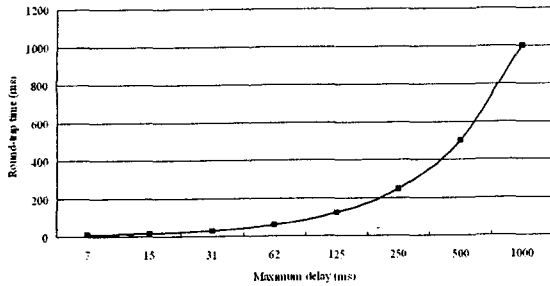


그림 5. 최대 전송 지연 시간에 따른 패킷 왕복 시간

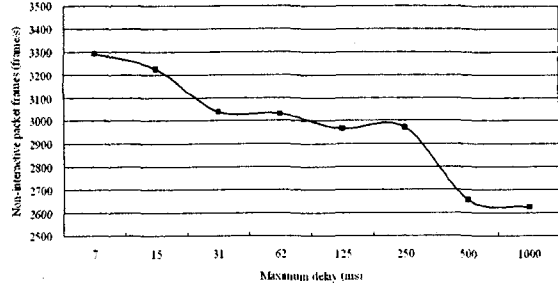


그림 7. 최대 전송 지연 시간에 따른 패킷 전달 프레임의 수

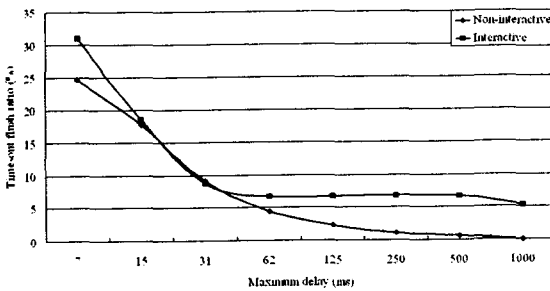


그림 6. 타임 아웃에 의해 전송되는 패킷 전달 프레임의 비율

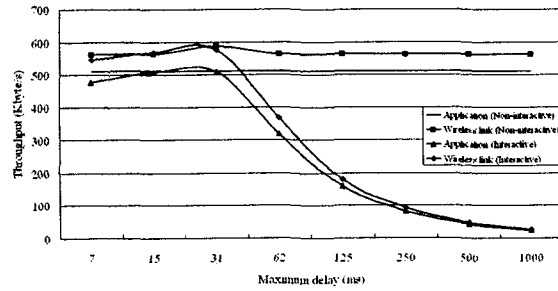


그림 8. 최대 전송 지연 시간에 따른 전송률

였다. 브리지 장비는 두 대의 펜티엄2 PC에서, 리눅스 2.2.20 버전의 커널과 가상 네트워크 장치 모듈을 이용하여 구현되었다.

이러한 실험 환경에서, ρ 는 28바이트로 고정시키고, τ 값을 변화시켜가며, 다음 항목들을 측정하여 그림 5~8에 도식화 하였다.¹

- 네트워크 간 패킷 왕복 시간
- 16Mbyte의 패킷에 의해 생성되는 프레임의 수
- τ 만료에 의해 전송되는 프레임의 비율
- 네트워크 및 무선 브리지간 전송률

τ 값에 직접 영향을 받는 것은 패킷 왕복 시간과, τ 의 만료에 의해 전송되는 프레임의 비율이다. 발생된 패킷이 최대한 버퍼에 머무를 수 있는 시간이 τ 이므로, 패킷 왕복 시간은 τ 에 비례해서 변화한다. τ 가 커지면, 만료되기 전에 패킷이 도착할 확률이 증가하므로, τ 의 만료에 의해 전송되는 프레임의 비율은 적어진다.

대화형 패킷을 사용하는 응용 프로그램은 패킷 왕복 시간에 큰 영향을 받는다. 따라서 패킷 왕복 시간이 짧을수록 전송률이 높아지는 양상을 보이는데, $\tau \leq 15$ 의 경우에는 τ 만료에 의한 평균 프레임 크기의 감소로 인해, 전송률이 감소하는 것을 볼 수 있다.

비대화형 패킷을 사용하는 응용 프로그램은, τ 가 긴 시간이라 하더라도, 패킷이 발생하는 속도가 충분한 경우에는 전송률의 큰 감소는 없다. τ 값이 커질수록 조금씩 전송률이 감소하는 것은, 마지막으로 전달되는 프레임의 전송 지연 시간으로 설명될 수 있다.

실험 결과, $\tau = 31$ 일 때, 최적의 패킷 전달 성능을 보이며, 네트워크 간 패킷 왕복 시간 28ms, 패킷 전송률에서 520Kbyte/s 정도의 성능을 나타낸다. 동일한 하드웨어 구성에서, 제시된 기법을 적용하는 것만으로 기존의 방법에 의한 전송률 300Kbyte/s에서, 73% 정도의 성능 향상을 보였다.²

¹ $\rho = 28$ 은 패킷 재조립의 편의를 위한 설정으로, 전달할 패킷이 3개 이상의 조각으로 분할되는 것을 방지한다.

² 실험에 사용된 무선 인터페이스는 응용 프로그램에서 480Kbyte/s 정도의 전송률을 보이지만, 기존 패킷 분할 및 재조립을 통해 무선 브리지를 구현하는 경우, 처리 비용의 증가로 인해 전송률이 감소된다.

V. 결론

본 논문에서는 무선 브리지간 패킷 전달 효율을 최대화하기 위해서, 브리지간 패킷 전달에 사용되는 프레임의 수를 최소화할 수 있는 패킷 전달 기법을 제시하고, 구현을 통해 제시된 기법의 성능을 평가하였다. 지연된 프레임 전송 기법을 적용함으로써, 기존 패킷 분할 및 재조립 방법에 의해 발생하는 프레임의 수에 비해 35~55% 정도의 훨씬 적은 수의 프레임으로 동일한 패킷 전달 효과를 얻을 수 있었으며, 기존의 패킷 전달 기법에 비해 전송률에서 70% 이상의 향상을 보였다.

REFERENCES

- [1] IEEE Standard Department, "Media Access Control (MAC) bridges," *IEEE Standard 802.1D-1998*, 1998.
- [2] IEEE Standard Department, "Token ring access method and physical layer specifications," *IEEE Standard 802.5-1998*, 1998.
- [3] IEEE Standard Department, "Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications," *IEEE Standard 802.11-1997*, 1997.
- [4] T. Ichikawa, M. Iizuka, H. Takanashi, and M. Morikura, "Frame Transfer Protocol with Shortcut between Wireless Bridges," *Vehicular Technology Conference, 1999. VTC 1999 - Fall. IEEE VTS 50th*, vol. 3, pp. 1705-1709, 1999.
- [5] K. Segaric, P. Knezevic, and B. Blaskovic, "An Approach to Build Stable Spanning Tree Topology," *EUROCON'2001. Trends in Communications, International Conference on*, vol. 2, pp. 400-403, 2001.
- [6] A. A. Rescigno, "Optimally Balanced Spanning Tree of the Star Network," *Computers, IEEE Transactions on*, vol. 50, issue 1, pp. 88-91, Jan. 2001.
- [7] Z. J. Haas and J. Deng, "Dual busy tone multiple access (DBTMA) - A multiple access control scheme for ad hoc networks," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 50, no. 6, pp. 975-985, Jun, 2002.
- [8] H. Wu, Y. Peng, K. Long, and S. Cheng, "A Simple Model of IEEE 802.11 Wireless LAN," *Info-tech and Info-net, 2001. Proceedings. ICII 2001 - Beijing, 2001 International Conference on*, vol. 2, pp. 514-519, 2001.
- [9] Giuseppe Bianchi, "Performance Analysis of the IEEE 802.11 Distributed Coordination Function," *Selected Areas in Communications, IEEE Journal on*, vol. 18, issue 3, pp. 535-547, Mar 2000.