

멀티호밍 환경에서 가용 대역폭 측정을 이용한 최적 경로

설정 연구

김대선⁰ 홍충선
경희대학교 컴퓨터공학과
{dskim⁰, cshong}@khu.ac.kr

Best Path Selection Using Available Bandwidth Measurement in Multi-Homing Environments

Dae Sun Kim⁰ Choong Seon Hong
Dept. of Computer Engineering, Kyung Hee University

요 약

멀티호밍 기술은 유비쿼터스 네트워크에서 중요한 기술 중 하나이며 이를 이용한 다양한 네트워크 서비스 시나리오들이 제안되고 있다. 따라서 멀티호밍 환경에서 가장 중요한 경로의 설정 방법, 관리 그리고 대체 경로 설정에 관한 연구가 필요하다. 본 논문에서는 기존 가용대역폭 측정방법을 이용하여 각각의 경로의 가용대역폭을 측정하여 단말이 가지는 여러 경로 중 가장 최상의 경로를 결정하는 메커니즘을 제안한다. 이를 위해 기존의 가용대역폭 측정방법들이 가지는 측정 속도의 문제와 정확한 가용대역폭의 계산을 위한 새로운 알고리즘을 제시하고 이를 이용 단말에서 실시간으로 수신측과 연결되어 있는 경로들에 대한 네트워크의 상태를 파악하여 최적의 경로 설정 메커니즘을 제안한다.

1. 서 론

멀티호밍은 인터넷의 노드, 사이트, 네트워크 등이 다중 IP 주소를 사용하여 동종 또는 이종 링크와 다중으로 접속을 유지하는 기술이며 장점은 이종 액세스 기술을 제공하는 다중 인터페이스의 멀티호밍에 의하여 유비쿼터스적인 액세스를 제공할 수 있으며 라우터나 링크 ISP 등에 고장이 생겨도 멀티호밍에 의하여 서비스는 유지될 수 있다. 또한 트래픽 부하 공유 및 분산에 의하여 자원이 효율적으로 사용될 수 있으며 실시간, 또는 대용량 통신은 동시에 전송되는 다중 캐스팅에 의하여 넓은 대역폭과 줄어든 전송 지연의 보다 신뢰성 있는 실시간 통신이 제공된다. 특히 이동 통신에서는 이동 노드가 통신 도중 접속을 변경하는 경우에 바이캐스팅(bicasting)에 의하여 패킷 손실을 줄일 수 있다 이러한 멀티호밍에 관한 연구는 SCTP, DCCP등과 같은 전송계층뿐만 아니라 최근 IPv6와 같은 네트워크 계층에서도 멀티호밍 지원에 관한 연구가 활발히 진행되어 지고 있다 특히 IETF Shim6 WG에서는 네트워크 계층에서 멀티호밍을 지원하기 위한 Shim6(Site Multihoming by IPv6 Intermediation)[7] 프로토콜을 제안 하였다 이 프로토콜은 IP 주소가 가진 Identifier와 locator의 중복된 의미를 분리하는 구조를 제안하고 있으며 이를 위해 IP

layer 내부에 단대단 통신에 사용되는 Identifier와 실제 경로 라우팅에 사용되는 locator를 매핑하기 위한 L3SHIM (Layer 3 SHIM)을 구현하였다. 이 Shim6 프로토콜의 가장 큰 특징은 오직 호스트에 L3SHIM 계층만 존재하면 멀티호밍이 가능한 것이며 L3SHIM이 없는 노드들과도 상호호환성을 제공한다는 것이다 하지만 Shim6에서 default IP 주소 선택은 RFC 3484[4][5] 규칙을 따른다. 이 규칙은 두 개 이상의 주소를 단말이 가질 경우 address scope(link local, site local) 또는 longest matching prefix등과 같은 방법으로 default IP 주소를 선택한다. 이는 네트워크의 상태를 전혀 고려하지 않은 방법으로 선택되어진 IP 주소의 경로의 네트워크 상태가 좋지 않아도 선택되어진 주소를 default 주소로 사용되어지게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 본 논문에서는 기존 단대단 가용대역폭 측정에 관한 연구들을 분석하고 이를 통해 새로운 가용대역폭 측정 알고리즘을 제안 한다. 이를 이용하여 단말 또는 네트워크가 가지는 여러 경로 중 최적의 경로를 선택할 수 있는 메커니즘을 제안 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 병목 링크의 고정대역폭과 가용대역폭의 개념에 대하여 설명하고 기존 연구들에 대한 문제점을 분석한다 3장에서는 2장에서 제시된 문제점을 해결하기 위해 새롭게 제안한 가용대역폭 알고리즘을 기술한다 4장에서는 멀티호밍 환경에서 제안 가용 대역폭 알고리즘을 이용한 최적의 경로 설정 메커니즘에 대하여 알아본다 마지막으로 5장에서

This work was supported by the Korea Research Foundation Grant funded by the Korean Government(MOEHRD)" (KRF-2006-521-D00394)

는 결론과 향후 과제를 제시한다

2. 관련 연구

본 장에서는 병목링크의 고정대역폭 및 가용대역폭의 개념에 대하여 알아보고 기존 가용대역폭 기법들의 문제점을 분석한다.

2.1 병목링크의 고정대역폭과 가용대역폭

단대단 가용대역폭과 고정대역폭의 개념은 그림1과 같다.

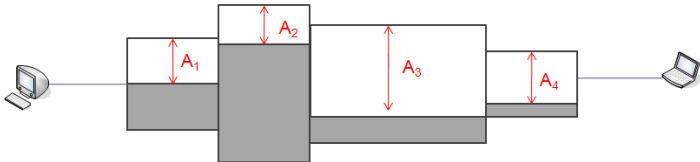


그림 1. 단대단 링크 파이프 모델

그림 1의 단대단 링크 파이프 모델에서 알 수 있듯이 두 단말 사이의 트래픽은 서로 크기가 다른 고정대역폭을 가지는 경로들을 통과 해야 한다 이때 각각의 경로에는 경쟁 트래픽들이 존재하며 실제 두 노드 사이에 사용가능한 대역폭은 고정대역폭에서 경쟁 트래픽의 대역폭을 뺀 부분이라고 할 수 있다. 이를 가용대역폭이라고 한다 또한 각각의 경로에서의 가용대역폭 중 최소값을 가지는 가용대역폭이 두 단대단 통신에서 사용되어 질 수 있다 이를 수식으로 표현 하면 다음과 같다

$$C_L = \min_{i=1..H} C_i \quad (1)$$

네트워크 경로 L 은 $i=1,2,\dots,H$ 개의 개별 링크로 연결되어 있고 각각의 링크 i 는 최대 전송률을 가지며 이를 C_i 로 정의한다. 이때 경로 L 상에서 가장 낮은 전송률을 가지는 링크를 병목링크라 하며 이를 식으로 표현 하면 식 1[1][2]과 같다. 이때 링크 i 에 대해서 시간 $(t-\tau, t)$ 에 존재하는 경쟁 트래픽의 양은 식2[1][2]와 같다.

$$U(t-\tau, t) = \frac{1}{\tau} \int_{t-\tau}^t u(x) dx \quad (2)$$

따라서 전체 경로 L 에서 측정 시간 동안의 가용 대역폭은 식 3[1][2]과 같이 정의 할 수 있다.

$$A_r = \min_{i=1..H} (1 - U_i) C_i \quad (3)$$

즉, 전체 경로 중 가장 작은 대역폭을 추출하고 이를 단대단 경로 중 가용대역폭이라고 정의 할 수 있다

2.2 가용대역폭 측정 기법

가용대역폭 측정의 연구 분야는 크게 Single Hop Gap 모델[1]에 기반을 둔 IGI/PTR[1]과 Self Induced Congestion[2]에 기반을 둔 Pathload[2]로 분류 할 수 있다.

IGI/PTR은 송신측에서 보낸 초기 패킷 간격과 수신측에서 측정한 패킷 간격을 분석하여 가용대역폭을 측정하는 방법이다. 송신측에서는 초기 패킷의 간격이 출력 간격보다 작다면 측정 패킷의 전송률이 가용대역폭 이하로 전송되고 있음을 나타내고 반대로 초기 패킷의 간격이 출력 간격 보다 크다면 측정 패킷의 전송률이 가용대역

폭 이상으로 전송되고 있음을 의미한다 따라서 초기 패킷 간격과 출력 간격이 동일한 시점을 찾아서 가용 대역폭을 계산하는 기법이 IGI/PTR에서 사용되어 진다. 이와는 다르게 Pathload에서는 패킷의 전송률을 높여가면서 패킷의 속도보다 수신측에서 측정되는 속도가 큐잉에 의해서 작아지는 순간을 관찰하여 가용대역폭을 측정한다 측정 기간동안 측정 패킷의 OWD(One Way Delay)가 감소하면 가용대역폭의 최소값을 갱신하고 다시 측정 패킷의 양을 증가 시킨다 이와같이 측정 기간 동안 패킷의 양을 증감 시킴으로써 가용대역폭의 최대값과 최소값의 폭을 줄여나가고 결국 실제 가용대역폭에 접근하게 된다. 위의 두 기법들은 대표적인 가용대역폭 측정 기법이지만 IGI/PTR은 고정대역폭측정을 netmeter[1], bprobe[3]와 같은 다른 기법들에 의존하며 초기간격과 출력간격의 차이를 측정하기 위하여 선형적으로 초기간격을 증가시킴으로 측정 속도가 느려지게 되며 이에 사용하는 패킷의 수도 증가한다는 문제점을 가지고 있다 또한 Pathload는 가용대역폭 측정을 위하여 패킷의 전송률을 증가 시키므로 네트워크에 혼잡을 발생시킬 수 있는 문제를 가지고 있다

3. 제안 가용대역폭 알고리즘

본 장에서는 2장에서 설명한 기존 가용대역폭 기법들의 문제를 해결할 수 있는 새로운 가용대역폭 알고리즘을 제시한다. 제안 가용대역폭 알고리즘은 네트워크에 혼잡을 피하기 위하여 IGI/PTR 기반이며 고정대역폭 측정을 위한 식을 제안한다.

IGI/PTR에 정의된 출력 간격을 계산하는 식은 식4이며 경쟁 트래픽의 전송률을 구하는 식은 식5에 정의 되어 있다.

$$g_o = \frac{p + B \cdot g_i}{C} \quad (4)$$

$$B = \frac{C \cdot (g_o - g_i)}{g_o} \quad (5)$$

g_o 는 출력 간격, g_i 는 초기 간격, p 는 측정패킷, C 는 병목 링크의 고정대역폭 그리고 B 는 경쟁 트래픽의 대역폭을 의미한다. 식 4와 식 5를 이용하여 방정식을 풀면 병목 링크의 고정대역폭을 구할 수 있는 식 6을 정의 할 수 있다.

$$\frac{g_o \cdot C - p}{g_i} = \frac{C \cdot (g_o - g_i)}{g_o} \quad (6)$$

$$C = \frac{p \cdot g_o}{g_i^2 + g_o^2 - g_i \cdot g_o}$$

식 6을 통해 IGI/PTR기법과 같이 병목링크의 고정대역폭을 계산하기 위하여 다른 기법들에 의존하지 않고 제안 알고리즘에 의해서 계산 되어 질 수 있다 결국 식 6

에서 구한 고정대역폭에서 식 5에서 계산한 경쟁 트래픽의 대역폭을 빼면 가용대역폭을 구할 수 있다 즉 식 7과 같이 정의 할 수 있다.

$$\text{Available Bandwidth} = C - B \quad (7)$$

측정 패킷의 초기 간격과 출력간격의 차가 동일하게 되는 시점을 찾아 식 4, 5, 6, 7을 이용하여 가용대역폭을 측정하는 알고리즘은 표1과 같다.

표1. 가용대역폭 측정 알고리즘

```

01: init_gap=0;
02: probe_num=ProbeNum;
03: packet_size=PacketSize;
04: src_gap_sum=probe_num*init_gap;
05: dst_gap_sum=0;
06: while(!GAP_EQUAL(dst_gap_sum,
src_gap_sum)){
07:     init_gap=(dst_gap-src_gap)/2;
08:     src_gap_sum=probe_num*init_gap;
09:
SEND_PROBING_PACKETS(probe_num,packet_size,init_gap);
    dst_gap_sum=GET_DST_GAPS();
}
10: inc_gap_sum=GET_INCREASED_GAPS();
11:
C=p*dst_gap_sum/src_gap_sum+dst_gap_sum
-src_gap_sum*dst_gap_sum;
12: B=C*inc_gap_sum/dst_gap_sum;
13: Return C-B;
    
```

제안 가용대역폭 알고리즘의 수행 과정은 다음과 같다 초기 간격을 0으로 시작해서 초기 측정 간격의 합을 저장(라인 04)한다. 이때 초기 간격과 출력 간격이 동일하지 않다면 라인 07을 수행하여 초기 간격을 재 설정하게 된다. 그리고 다시 수신측에서는 재 설정한 초기 간격으로 측정 패킷을 수신측으로 전송 하게 된다 이러한 과정을 반복하다가 초기 간격과 출력 간격이 동일하게 되면 라인 10부터 13까지를 수행하여 가용 대역폭을 구하게 된다.

위의 알고리즘이 IGI/PTR과의 차이점은 첫째, 측정 패킷의 초기 간격과의 차이가 동일하게 되는 시점을 찾는 방식에 있다. 그림 2와 같이 IGI/PTR에서는 초기 패킷의 간격을 선형적으로 증가 시키기 때문에 초기 패킷 간격과 출력간격의 차가 선형적으로 감소 하는 반면 제안 알

고리즘에서는 출력간격과 초기간격의 차의 반 값을 초기 간격으로 재설정 함으로써 IGI/PTR 보다 빠르게 0에 값에 도달 할 수 있다. 이는 적은 양의 측정 패킷을 사용하여 보다 빠르게 가용대역폭을 측정할 수 있다는 것을 의미한다.

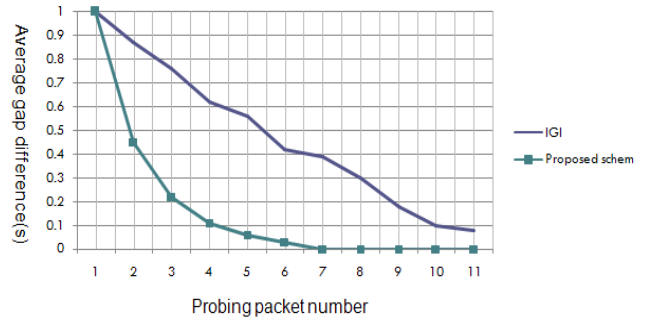


그림 2. 가용 대역폭 측정 속도 비교

두 번째, 차이점은 IGI/PTR에서 고정 대역폭을 구하기 위하여 다른 기법들에 의존 했지만 제안 알고리즘에서는 식 6과 같이 고정 대역폭을 제안 알고리즘 내에서 계산(라인 11)할 수 있다.

4. 멀티호밍 환경에서 최적 경로 설정

본 장에서는 3장에서 제시한 제안 가용 대역폭 알고리즘을 이용하여 멀티호밍 환경에서 최적의 경로를 설정하는 메커니즘을 제시한다

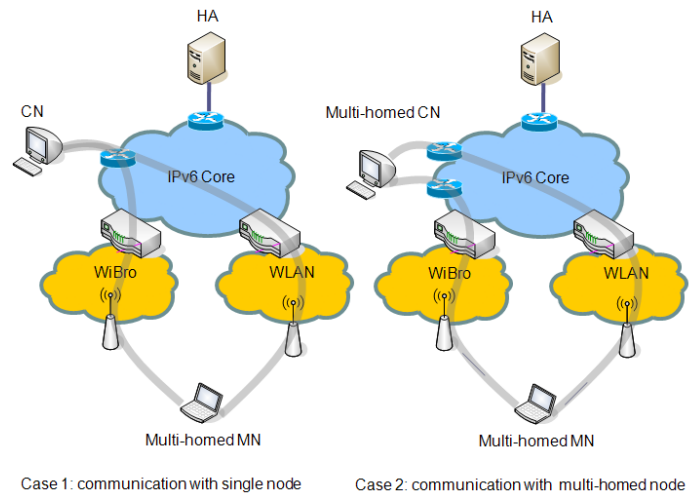


그림 3. 유비쿼터스 멀티호밍 네트워크

그림 3은 멀티호밍 네트워크의 예를 보여 주고 있다 첫 번째 경우는 무선 단말만이 멀티호밍인 경우이고 두 번째 경우는 두 단말 모두 멀티호밍인 경우 이다 본 논문의 목표는 그림 3과 같은 환경에서 단말이 두개이상의 경로를 가질때 두 경로에 대한 가용 대역폭을 식8과 같이 계산 하고 이를 기반으로 두 경로 중 가용 대역폭이 가장 좋은 경로를 최적 즉 주 경로(Primary Path)로 설

정 하는 것이다. 여기서 K는 1과 0의 값을 가질 수 있다.

$$A_i = (-1)^{K+1} \left(\frac{p \cdot g_o}{g_i^2 + g_o^2 - g_i \cdot g_o} - \frac{C \cdot (g_o - g_i)}{g_o} \right) \quad (8)$$

K가 0인 경우는 단말이 핸드오버가 진행 중임을 의미하고 K가 1인 경우는 핸드오버가 아님을 의미한다 이에 대한 판단은 L2 trigger 이벤트가 발생 여부에 따라서 값이 정해 진다. 즉 핸드오버의 경우 측정 가용 대역폭은 음수가 되며 이는 쓸모 없는 값을 의미한다

최적 경로 설정 규칙은 표 2에 정의 되어 있다. 먼저 단말은 두 개의 경로에 대한 가용 대역폭을 계산 후 표 2에 정의되어진 규칙에 의하여 동적으로 주 경로를 변화 시킨다.

표 2. 최적 경로 설정 규칙

<p>◆ Rule 1 If Ar value is a minus, the mobile node switches to the secondary path</p> <p>◆ Rule 2 If only Ar1 (available bandwidth on path 1) satisfies Br, the mobile node does not switch the primary path</p> <p>◆ Rule 3 If only Ar2 (available bandwidth on path 2) satisfies Br for a period of time, the mobile node switches to the secondary path</p> <p>◆ Rule 4 If both Ar1 and Ar2 satisfy Br, the mobile node switches to the secondary path according to the satisfaction of following state over a period of time state : $\alpha Ar1 < Ar2$ ($\alpha \geq 1$)</p> <p>◆ Rule 5 If neither Ar1 nor Ar2 satisfy Br, the mobile node switches to the secondary path according to the satisfaction of following state over a period of time state : $\alpha Ar1 < Ar2$ ($\alpha \geq 1$)</p> <p>Ar: Available Bandwidth Br: required bandwidth for application α: coefficient of the bandwidth is defined to adjust the operating point for switching paths</p>

Rule 1에서 가용 대역폭 값이 음수 이면 다른 경로로 주 경로를 변경한다. Rule 2에서는 경로 1의 가용 대역폭이 어플리케이션이 요구하는 대역폭을 만족 시키면 경로를 그대로 유지한다. Rule 3에서는 경로 2가 요구 대역폭을

만족 시키면 경로 1에서 경로 2로 주경로를 변경한다. Rule 4는 경로 1과 경로 2 모두 요구 대역폭을 만족 시킬 경우 $\alpha Ar1 < Ar2$ ($\alpha \geq 1$)의 상태를 만족하지 않으면 주 경로를 경로 1로 유지 한다. 여기서 α 는 경로 변경을 위한 계수이며 이는 두 경로간의 근소한 차이로 인해 경로가 자주 바뀌는 문제를 해결하기 위한 것이다. 마지막 Rule 5는 두 경로가 모두 요구 대역폭을 만족 하지 못할 경우 두 경로중 큰 가용 대역폭을 가지는 경로를 주 경로로 선택하게 된다.

5. 결론 및 향후 과제

본 논문에서는 멀티호밍 네트워크 환경에서 단말 또는 네트워크에 최적의 경로를 설정하기 위해서 기존의 주소 선택 기법이 아닌 가용 대역폭 기반의 동적으로 최적 경로 설정을 할 수 있는 메커니즘을 제안 하였다. 이를 위해 기존 가용 대역폭 측정 연구들을 분석하고 문제점을 제시하였고 이를 해결하기 위한 새로운 가용 대역폭 측정 알고리즘을 제안하였다. 또한 제안 가용 대역폭 측정 알고리즘을 기반으로 멀티 호밍 환경에서 주경로를 동적으로 설정 할 수 있는 알고리즘 제안 하였다. 향후 과제는 본 제안 기법에 대한 실험 결과가 필요 하며 본 연구 결과를 기반으로 하는 트래픽 부하 및 공유/분산에 관한 연구가 필요하다.

참고 문헌

- [1] Hu, N. and Steenkiste, P., "Evaluation and characterization of available bandwidth probing techniques," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 21, No. 6, pp. 879-894, August 2003.
- [2] Jain, M. and Dovrolis, C., "End-to-end available bandwidth: measurements methodology, dynamics, and relation with TCP throughput," In Proceedings of ACM SIGCOMM 2002, pp. 295-308, August. 2002.
- [3] Carter, R. and Crovella, M., "Measuring bottleneck link speed in packet-switched networks," Performance evaluation, Vol. 27, No. 28, pp 297-318, October 1996.
- [4] Draves, R., "Default Address Selection for Internet Protocol version 6 (IPv6)", RFC 3484, February 2003.
- [5] Bagnulo, M., "Updating RFC 3484 for multihoming support", draft-bagnulo-ipv6-rfc3484-update-00, December 2005.
- [6] Bagnulo, M. and J. Abley, "Applicability Statement for the Level 3 Multihoming Shim Protocol (Shim6)", draft-ietf-shim6-applicability-03 (work in progress), July 2007.