데이터 통신망을 위한 공평성 성능 확보 방안
Fairness Measures for Data Communication Networks

주운기*. 이형섭**
* 선문대학교 지식정보산업공학과 부교수, E-mail : ugjoo@sunmoon.ac.kr
** 한국전자통신연구원 광대역통신망연구단 액세스시스템팀 팀장

Abstarct

This paper considers a ring loading problem on RPR(Resilient Packet Ring), where RPR is recommended by IEEE802.17 Resilient Packet Ring working group for data optimized networks without the requirements of provisioning circuits. RPR is well suitable for metropolitan area network with two counter-rotating rings that multiple stations share the bandwidth, where the data and its corresponding control traffic is transmitted to the two opposite directional rings, respectively. One of the major concerns on RPR is to provide fairness among traffic requirements. The paper discusses several fairness measures and analysis ring loading problems for the fairness.

1. RPR 개요

인터넷과 같은 데이터 망에서 서비스 제공자는 가입자에게 서비스를 제공하기 위해 다수의 링크를 통합하여 하나의 POP(Point Of Presence)와 인터페이스를 하는데, 통합을 위해 사용 가능한 방법으로는 모든 노드를 직접 점대점 방식으로 연결하는 POS(Packet Over SONET) 방식, GE(Gigabit Ethernet)이나 FE(Fast Ethernet)에 대해 L2 스위치를 이용하여 노드를 연결하는 방법, 그리고, 링으로 노드를 연결하는 방법이 있다[1].

링으로 노드를 연결하는 방법에는 LAN 영역의 토큰 링, FDDI(Fiber Distributed Data Interface), 메트로 및 백본망의 SONET, RPR(Resilient Packet Ring) 등이 있다. 토큰 링이나 FDDI는 송신 노드에서 한번 전송된 패킷은 수신 노드에서 수신된 후에도 송신 노드에서 제거될 때 까지 링 자원을 계속 점유하는 문제가 있다. 한편 SONET은 높은 신뢰성을 보장하지만, 음성 트래픽 전송에 최적화 되어 있어서 데이터와 같이 버스티한 트래픽 전송에는 비효율적이다. 반면, RPR은 이러한 문제점을 개선하고자 서로 반대 방향으로 데이터를 전달하는 2개의 링으로 구성되며, 주요 특징으로는 레질런시(resiliency), 공간 재사용, 노드 간 공평성 및 우선순위 서비스(priority) 등이 있다.

레질런시를 위해 RPR은 동일한 목적지에 대해 두 개의 링을 이용하여 데이터를 전달할 수 있다. 재 사용성 향상을 위해 RPR에서는 수신노드 제거(destination stripping) 방식을 취하는데, 기존의 토큰 링이나 FDDI의 송신 노드 제거(source stripping) 방식에서는 송신 노드로부터 발생된 유니케스트 패킷은 수신 노드를 거쳐 전체 링을 경유한 후 송신 노드에서 제거 되므로 불 필요한 대역폭의 낭비를 가져온다. 따라서, RPR에서와 같이 데이터를 수신한 노드가 그 데이터의 불 필요한 전송을 막으므로 다른 노드가 해당 대역폭을 재 사용할 수 있다.

링 상의 각 노드에서의 전체 트래픽은 자신의 노드에서 발생시키는 트래픽(transmit traffic)과 이웃한 노드로부터 입력되어 다음 노드로 전달되는 트래픽(transit traffic)으로 나뉠 수 있다. 각 노드에 전달되는 트래픽(transit traffic)이 많을 경우에는 자신의 노드에서 발생되는 트래픽(transmit traffic)을 목적지로 전달하지 못하는 경우가 발생하고, 해당 노드는 혼잡상태(congestion)가 된다. 따라서, 링크의 대역폭 독점을 방지위한 방안이 필요한데, 각 노드는 이를 위해 공평성 알고리즘(fairness algorithm)을 수행한다.

Gambiroza et al.[8]은 RPR망의 주요 성능 척도로써 이용율, 대역폭 재사용성 및

공평성을 들었고, 이중 공평성을 고려한 대역폭 할당의 중요성을 주장하였고, Throughput 측정을 통해 링크의 이용률과 혼잡 제어 및 공평성을 측정하고, delay나 jitter의 측정을 통해 공평성을 측정한 결과 RPR에서의 대역폭 할당 방법(flow control mechanism)은 성능에 큰 영향을 미칠 수 있음을 보였다.

RPR 관련 표준화는 IEEE 802.17 Resilient Packet Ring Working Group에서 수행하고 있는데, 시스코를 중심으로 결성된 Gandalf 진영의 Gandalf draft와 노텔을 중심으로 결성된 Alladin 진영의 Alladin draft가 제출되어 경합을 벌여왔다. 이들 두 draft는 2002년 2월에 Darwin draft 0.1로 통합되어 제안되었고, 2002년 6월 현재 Darwin draft 0.3이 제출되어 있다.

RPR의 성능 상 이점으로는 이중 링의 사용으로 인한 대역폭의 효율적인 활용이 가능하고, 장애 시 복구가 용이하다는 장점이 있다. 그리고, plug-and-play 형태로 링 상의 노드 수가 총 64개가 될 때까지 새로운 노드의 추가나 제거가 용이하며, 다양한 유형(우선순위)의 데이터 서비스가 가능하고 새로운 데이터 서비스의 수용도 용이하다는 장점이 있다[4]. 그러나, 링 상의 대역폭을 여러 노드가 공동으로 이용하므로 공평성이 있는 대역폭 할당 및 이용을 할 수 있는 방안이 필요하다.

2. RPR 성능 척도

공평성 측정을 위한 데이터에 대한 정의를 위해 다음의 기호를 이용하였다.

n : 총 요구 흐름의 수

A_i : 흐름 i를 위해 실제로 할당한(actual allocation) 대역폭, i=1,2,…, n

O_i : 흐름 i에 대한 최적 할당(optimal allocation) 대역폭, i=1,2,…,n

$X_i = A_i / O_i$: 흐름 i에 대한 상대적인 할당(relative allocation) 대역폭, i=1,2,…, n

공평성을 확인하기 위한 척도로는 기본적으로 X의 평균(mean), 분산(variance) 및 표준 편차(standard deviation) , 그리고 변동계수(coefficient of variation)를 고려할 수 있다. 이외에도 다음과 같은 척도를 고려할 수 있다. 상대적 제곱 편차(relative squared deviation) : $\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(A_i - O_i)^2} / \sqrt{\sum_{i=1}^{n} O_i^2}$; 최소-최대 비율(ratio of the minimum to the maximum) : $\underset{1\le i\le n}{Min}\{X_i\} / \underset{1\le i\le n}{Max}\{X_i\}$; 공평성 척도(fairness index) : $F = (\sum_{i=1}^{n} X_i)^2 / (n \bullet \sum_{i=1}^{n} X_i^2)$.

각 흐름 별 중요도가 모두 동일한 1/n 이라면, $E(X)=(\sum_{i=1}^{n} X_i)/n$이 되고, $E(X^2)=(\sum_{i=1}^{n} X_i^2)/n$ 이므로 공평성 척도 F는 다음과 같은 관계를 가진다는 것을 알 수 있다.

$$F = (\sum_{i=1}^{n} X_i)^2 / (n \bullet \sum_{i=1}^{n} X_i^2)$$

$$= (\sum_{i=1}^{n} X_i / n)^2 / [(\sum_{i=1}^{n} X_i^2)/n]$$

$= (E(X))^2 / E(X^2)$. 그런데, $E(X^2)=Var(X) + (E(X))^2$ 이므로, 공평성 척도는 다음과 같은 관계를 갖는다 : $F = (E(X))^2 / E(X^2) = (E(X))^2 / [Var(X) + (E(X))^2] = 1 / [CV^2+1]$.

각 척도 별로 장 단점이 있고, 일반적으로 공평성 척도 F를 많이 이용하지만, 이는 측정 수단일 뿐 F를 위한 최적해를 확보하기 위해서는 별도의 할당 방안이 필요한데, 할당을 위한 기준으로 MMF(Max-Min Fairness)를 많이 이용한다. MMF란 링 할당을 나타내는 벡터 X에 대해, 각 트래픽 수요별로 최소한 한 개의 bottleneck 링크를 가지고 있으며, 해당 bottleneck 링크에서는 다른 수요에 대해 할당된 흐름량 보다 작지 않은 상태의 할당을 MMF라고 한다.

3. 공평성을 위한 대역 할당 방법

링을 이용하기 위한 트랙픽이 주어졌을 때, 이들 주어진 트래픽을 적절히 할당해주는 것은 링 이용율의 극대화, 자원 활용도 제고 및 혼잡 방지를 통한 공평성 확보 등을 위해 중요한 과제이다. 링을 이용하는 트래픽은 시간에 따라 요구되는 양에 차이가 있지만, 시간에 따른 변화가 적은 경우는 정적인 분석 방법을 적용한 링 할당을 할 수 있다. 여기에서는 주어진 트래픽에 대한 정적 할당 방안을 다룬다.

링 할당을 위해 먼저 다음의 기호를 정의한자.

O_k : 대역 수요 k의 출처

D_k : 대역 수요 k의 종착지
d_k : 대역 수요 k의 요구 대역폭
C_i : 링크 i의 대역폭
f_k : 대역 요구 k에 대한 실제 할당 대역폭.

공평성의 척도는 요구하는 대역폭에 대한 할당 대역폭에 대한 함수 형태로 반영하는 것이 합리적이다 할 수 있다.

converge network는 N개의 노드가 tandem으로 1,2,...,N-1, N의 순으로 연결되어있고, 각 노드 i에서 노드 N으로 d_i 만큼의 대역폭 요구가 있는 네트워크를 말하는데, 여기에서의 링 할당 문제는 (P1)과 같이 모델링 할 수 있다.

$$[P1]\quad \text{Min} \sum_{i=1}^{N-1}\sum_{j=1}^{N-1}(f_i/d_i - f_j/d_j)^2$$
$$\text{s.t.} \sum_{i=1}^{N-1} f_i = B$$
$$0 \le f_i \le d_i$$

다음 문제는 converge network에서 fairness와 throughput을 동시에 증대하기 위한 loading 방안을 찾는 문제이다. 목적함수 식에서 throughput $\sum_{i=1}^{N-1} f_i$ 를 최대화하기 위해 - $\sum_{i=1}^{N-1} f_i$ 을 붙였다.

$$[P2]\quad \text{Min} \sum_{i=1}^{N-1}\sum_{j=1}^{N-1}(f_i/d_i - f_j/d_j)^2 \; - \sum_{i=1}^{N-1} f_i$$
$$\text{s.t.} \sum_{i=1}^{k} f_i \le C,\ k=1,2,\ldots,K$$
$$0 \le f_i \le d_i$$

다음으로 diverse network를 고려하자. Diverse network는 convergence network의 역의 형태로, 노드 1에서 각 노드 i로의 d_i 만큼의 요구 대역폭에 대해 f_i 만큼의 대역폭을 할당하여 서비스를 해주는 경우이다.

성질 1. converge 및 diverse 망 구조에서의 [P1]과 [P2]의 최적 해는 다음과 같다: $f_i^* = B \cdot d_i / \sum_{i=1}^{N-1} d_i$, 여기서, $B = \text{Min}\{C, \sum_{i=1}^{N-1} d_i\}$.

MMF의 척도를 고려하는 경우, Bertsekas and Gallager[5]는 링크 별 용량제약 조건(feasibility)을 만족하면서 최소 할당 흐름 값을 감소시키지 않고서는 추가할당을 할 수 없는 상태의 대역할당 상태를 MMF로 정의하였다. 이러한 정의를 만족하는 MMF 할당을 찾기 위해 Bertsekas and Gallager[5]는 각 수요 대역폭 k를 위한 서비스 경로가 하나의 고정된 경로로 미리 주어져 있고, 각 수요 대역폭 d_k 값이 충분히 큰 경우, 각 링크i의 용량 C_i 한도 내에서 MMF를 만족하는 할당 방안을 제시하였다. 즉, Bertsekas and Gallager[5]는 d_k 를 고려하지 않은 상태에서 미리 설정된 단일 경로로 서비스 하는 경우의 문제를 다루었다. 그러나, 대역폭에 대한 수요량은 서로 다른 한정된 값을 가지는 것이 일반적이므로, 한정된 수요량 d_k 에 대해 MMF 할당을 찾는 방안에 대한 연구가 필요하다. Gambiroza et al.[8]는 RIAS(Ring Ingress Aggregated with Spatial Reuse) 공평성에 대한 정의를 Bertsekas and Gallager[8]와 동일하게 하여 공평성있는 할당을 위한 새로운 방안을 하나 제안하였다.

중요도가 같은 임의의 망 구조에서 각 수요 별 경로가 하나씩 미리 정해져 잇는 경우, Pioro et al.[6]은 MMF 문제와 Lexicographically Maximize 문제 간 관계를 이용하여, Lexicographically Maximize 문제를 위한 해법을 제안 하였다.

[P3] Lexicographically Max Y
$$\text{s.t.} \sum_{k\in K_i^+} d_k Y_k \le C_i$$
$$\sum_{k\in K_i^-} d_k Y_k \le C_i$$
$$0 \le Y_k \le 1,$$

여기서, $Y_k = f_k / d_k$ 이다.

성질 2. [P3]의 최적해는 MMF를 만족하는 유일한 해를 갖는다.

성질 2에 의하면, MMF 해를 찾기 위해 [P3]를 풀면 되는데, [P3]를 풀기 위한 알고리즘은 lexicographically maximize 위한 해법을 활용할 수 있다.

4. 결론

본 논문은 RPR을 위한 트래픽 할당 방식에 대한 것으로, 주어진 링 망의 이용률은 요구되는 트래픽을 어떻게 할당하는 가에 매우 큰 영향을 받는다. 더구나, RPR의 성능 향상을 위한 주요 요소 중 하나인 공평성

할당 방식과 관련해서도, 적절한 트래픽 할당은 RPR 규격에서 권고하는 공평성 알고리즘의 activation 기회를 줄여주는 효과가 있으므로, 트래픽 할당 문제는 링 망의 성능에 큰 영향을 미친다.

본 논문은 트래픽 할당을 위한 척도로써 링 상의 각 링크에 할당된 부하 중 최대 부하를 최소화하는 MinMax 기준, 공평성 할당을 위해 할당량간 분산을 작게하기 위한 기준 및 MMF에 대해 최적할당을 하기 위한 방안을 제시하였다. 이 결과는 링 구조의 망에서의 효율적인 트래픽 할당과 링의 효율적 활용을 위해 활용이 가능하리라고 판단된다.

참고문헌

[1] 남홍순, 이상우, 성정식, 허재두, 이형섭, 이형호, “RPR 기술동향 및 향후 전망, The Trend and Perspectives on Resilient Packet Ring”, 전자통신동향분석, 2002, 제17권 제5호, pp.55-67.
[2] A Summary and Overview of the IEEE 802.17 Resilient Packet Ring Standard, Version 2.1, Resilient Packet Ring Alliance, 2003.
[3] Jain, R., “Fairness : How to Measure Quantitatively ?”, ATM Forum, 94-0881, 1994.
[4] H. Kim, Y. Lee, and K. Kim, “Fairness Concept in terms of the Utilization”, IEEE Electronics Letters, Vol.36, No.4, 2000, pp.379-381.
[5] D. Bertsekas and R. Gallager, Data Networks, Prentice-Hall, Chapter 6 Flow Control, 1992.
[6] M. Pioro, P. Nilsson, and E. Kubilinskas, “On Efficient Max-Min Fair Routing Algorithms”, Proceedings of the Eighth IEEE International Symposium on Computers and Communication (ISCC’03), 2003, pp.365-372.
[7] The ATM Forum Technical Committee, Traffic Management Specification, Version 4.1, AF-TM-0121.000, 1999.
[8] V. Gambiroza, Y. Liu, P. Yuan, and E. Knightly, “High Performance Fair Bandwidth Allocation for Resilient Packet Rings”, Proceedings of the 15th Specialist Seminar on Traffic Engineering and Traffic Management, 2002.
[9] J. Ros and W.T. Tsai, “A General Theory of Constrained Max-Min Rate Allocation for Multicast Networks”, IEEE International Conference On Netwirks(ICON) 2000, 2000, pp.327-335.