

Port Locking (PL) 알고리즘을 이용한 HSR (High-availability Seamless Redundancy)의 유니캐스트 트래픽 성능개선

이브라힘*, 김세목*, 최영운*, 이종명** 정회원

Improvement of Unicast Traffic Performance in High-availability Seamless Redundancy (HSR) Using Port Locking (PL) Algorithm

Ibraheem Read ABDULSAM*, Se Mog Kim*, Young Yun Choi*, and Jong Myung RHEE** *Regular Members*

요 약

HSR(High-availability seamless redundancy)은 이더넷 네트워크의 고장 극복을 목적으로 표준 제정된 프로토콜로서, 하나의 전송 프레임을 복제하여 두 개의 물리적인 포트에 각각의 프레임을 전송하여 고장 극복 시간을 "0"이 되도록 한다. 따라서 HSR은 실시간 고장 극복이 필요한 이더넷 어플리케이션에 사용할 수 있다. 그러나 HSR은 각 노드마다 프레임을 복제하므로 불필요한 프레임이 다수 생성되어 네트워크에 전달되어 네트워크 전송용량을 상당량 점유하는 단점을 갖고 있다. 본 논문에서는 표준 HSR의 이러한 단점을 보완하기 위해 보편적으로 사용되는 여러 개의 ring이 연결된 복합 링 네트워크에 적합한 MAC (media access control) 주소에 기반을 둔 Port Locking (PL) 이라는 새로운 방식을 제안한다. 제안 방식은 네트워크 제어 프레임과는 별도로 Source 및 Destination 노드의 위치를 점차적으로 학습하며, 학습에 따라 Destination 노드가 없는 소규모 ring 네트워크의 입구 포트를 차단함으로써 해당 ring의 프레임 순환을 방지하도록 한다. 이와 같이 PL 알고리즘은 대형 링 네트워크 구조의 트래픽을 현저히 감소시키며, 이에 따라 네트워크의 성능은 크게 향상된다. 이에 대한 이론적 분석 결과는 제안된 PL 방식의 유효성을 입증한다.

Key Words : HSR, Connected-ring, Port Locking, Unicast, Traffic performance,

ABSTRACT

High-availability seamless redundancy (HSR) is a protocol for fault-tolerant Ethernet (FTE) networks. It provides two frame copies and each copy is forwarded on a separate physical path, which provides zero fail-over time. Therefore, the HSR is becoming a potential candidate for various real-time FTE applications. However, the generation and circulation of unnecessary frames due to the duplication of every sending frame is inherent drawback of HSR. Such drawback degrades the performance of the network and may deplete its resources. In this paper, we present a new algorithm called port locking (PL) based on the media access control (MAC) address to solve the abovementioned problem in popular connected-rings network. Our approach makes the network gradually learn the locations of the source and the destination nodes without relying on network control frames. It then prunes all the rings that do not contain the destination node by locking corresponding rings' entrance ports. With the PL algorithm, the traffic can be significantly reduced and therefore the network performance will be greatly enhanced specially in a large scale connected-rings network. Analytical results are provided to validate the PL algorithm.

I. 서 론

HSR (High-availability seamless redundancy)은 International

Electrotechnical Commission (IEC)에 의해 IEC 62439-3 으
로 본래 스마트 전력용으로 표준 제정된 고장 극복용 프로토
콜이다 [1]. HSR은 일반적인 Ring 네트워크에서 고장 극복

* 이 논문은 2013년도 명지대학교 교내연구비 지원 사업 및 2013년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업지원(No. 2013R1A1A2008406)을 받아 수행된 것 입니다.

*명지대학교 정보통신공학과 Ubiquitous&Convergence 연구실 (ibrahimgate@gmail.com, kimsemog@empal.com, dudbschoi90@naver.com),

**명지대학교 정보통신공학과 (jmr77@mju.ac.kr), 교신저자 : 이종명

접수일자 : 2014년 1월 25일, 수정완료일자 : 2014년 3월 7일, 최종게재확정일자 : 2014년 3월 10일

시간이 "0"이 되는 것을 목표로 개발 되었다. 고장 극복 시간이 "0"이 된다는 것은, 노드 또는 링크 장애에서 네트워크 동작의 어떠한 중단도 없음을 의미 하는 것이다. 따라서 HSR 프로토콜은 RSTP (Rapid Spanning Tree Protocol) 등과 같은 기존의 고장 극복용 프로토콜에서 제공할 수 없었던 실시간 고장 극복 시간을 갖고 있기에, 초기 개발 목적인 전력 통신 이외에 다음과 같은 응용 분야에 활용할 수 있다.

- ① 위성 통신
- ② 군 통신 시스템
- ③ 산업 프로세스 자동화

HSR은 빠른 고장 극복 시간을 지원하기 위해 프레임을 복제하여 두 개의 인터페이스를 통해 전송 한다 [2]. 이러한 트래픽은 일반적 구조인 여러 개의 ring이 연결된 하나의 대규모 복합 ring 네트워크에서, destination 노드를 포함하지 않는 ring에는 해당 신호를 전송할 필요가 없음에도 불구하고 표준 HSR은 연결된 모든 포트에 신호를 전송하도록 설계된 프로토콜이다. 이것은 전송 신호의 잠재적인 충돌이나 전송 지연 등과 같은 네트워크 성능을 저해한다. 표준 HSR의 성능을 향상시키기 위해서 최근 여러 연구가 진행되었으나 [3-5], 본 논문은 간단하고도 적용성이 높은 방식을 고려했다. 따라서 본 논문에서는, 여러 개의 ring이 연결된 네트워크 구조에서 추가적인 트래픽을 줄이기 위해 Port Locking (PL) 이라는 새로운 방식을 제안한다. 제안 방식의 기본 개념은 이미 [7]에서 제시되었으나, 여기서는 이를 보다 체계화하여 제시한다. PL 방식은 외부 제어 장치나 제어 프레임 없이 노드 구조를 학습하도록 하여, Data의 전송 흐름을 제어한다.

본 논문 II장에서 표준 HSR의 동작 개념을, III장은 제안된 PL 방식을 설명한다. 또한 트래픽 성능 분석을 IV장에 이론적으로 제시하며, 제시된 성능 분석 방안으로 산출한 성능 비교결과를 V장에서 나타낸다. 마지막으로 VI장에 결론과 추가적인 연구 방향을 제시한다.

II. 표준 HSR 전송

표준 HSR 프로토콜은 일반적으로 네 가지 유형의 노드 (DANH, RedBox, QuadBox, 그리고 SAN)으로 구성되어 있으나, 일반화에 문제가 없기에 본 논문에서는 DANH과 QuadBox의 두 가지 노드구성을 가정하고 해석 한다 [3]. DANH은 동일한 MAC과 IP (Internet Protocol) 주소를 공유하는 두 개의 이더넷 포트를 가지고 있으며, QuadBox는 네 개의 이더넷 포트를 사용하여 각각의 ring을 상호 접속하는 노드이다.

DANH에서는 그림 1에서와 같이 상위 계층에서 생성된 non-HSR 프레임을 두 개로 복제하여 (Copy A, Copy B), HSR 태그를 추가하고 두 개의 포트를 통해 각각의 프레임을

전송 한다. 즉, 하나의 프레임 (Copy A)은 시계 방향으로 다른 프레임 (Copy B)은 반시계방향으로 전송 한다. Ring 구조에서 전송된 두 개의 Broadcast 프레임은 다시 전송한 노드에 돌아와서야 제거되어진다. 이것은 전송한 프레임과 연결된 링크 중, 한 링크에서 장애가 발생하였을 때, 반대편에서 전송되는 프레임을 통해 Data를 전달하도록 하기 위한 것이다. 그림 2와 같은 단일 ring 구조의 unicast 전송은, HSR의 복제된 두 프레임 (A-frame, B-frame)이 각각의 경로로 전달되어 목적지까지 최단 경로로 이동하기에 불필요한 트래픽은 발생하지 않는다. 그러나 여러 개의 ring을 연결하기 위해 QuadBox를 사용하는 복합 ring 구조에서는 전송된 프레임을 QuadBox에서 다시 복제하여 전달하면서 불필요한 트래픽이 생성하게 된다. 즉 그림 3에서, 두 개로 복제된 프레임은 destination 노드에 도달 할 때까지 여러 개의 ring과 해당 ring의 노드로 전송되어, destination 노드가 없는 ring에도 트래픽이 흐르게 된다. 이러한 트래픽은 트래픽 충돌 또는 전송 지연을 일으켜 네트워크 성능을 저하시킨다.

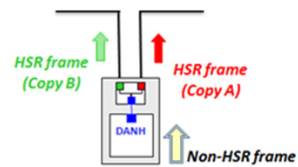


그림 1. 노드 DANH 기능.

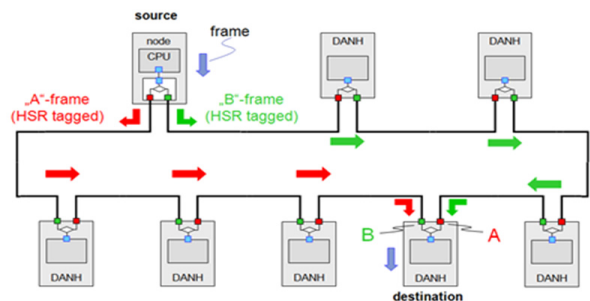


그림 2. 단일 Ring 네트워크의 표준 HSR unicast 전송.

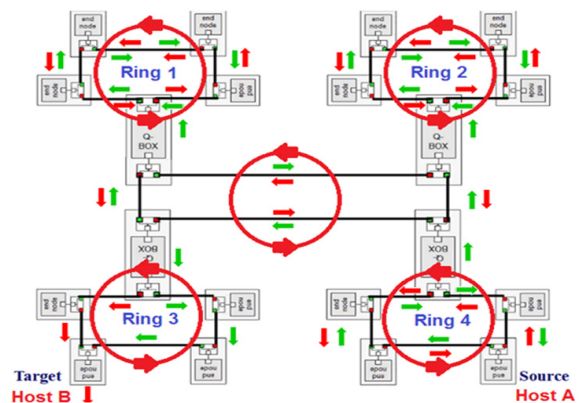


그림 3. 다수 Ring 네트워크의 표준 HSR 트래픽 전송.

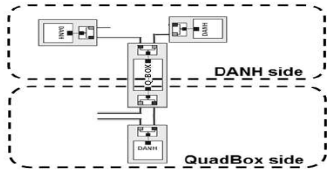


그림 4. QuadBox 연결 구조.

III. PL 알고리즘

본 장에서는 여러 개의 ring이 연결된 복합 ring 네트워크 구조에서, 불필요한 HSR unicast 트래픽을 제거하여 네트워크 성능을 향상시키는 Port Locking (PL) 방식을 설명한다.

먼저 QuadBox는 두 개 ring을 연결하는 노드이며, 두 개의 ring은 그림 4와 같이 DANH side와 QuadBox side로 구분할 수 있다. DANH side는 PL 방식을 사용하고, QuadBox side는 표준 HSR을 사용하도록 한다. PL 방식은 DANH side의 ring에 존재하지 않는 Destination 노드로 전송되는 모든 프레임을 차단 (Port Locking) 하도록 한다.

표준 HSR에서 Source 노드가 Destination 노드와 통신할 때, HSR은 Destination 노드의 MAC 주소를 사용한다. 따라서 Destination 노드가 DANH side로 설정된 ring에 없으면, QuadBox의 DANH side에 있는 두 개의 포트 중, 한 포트에서 프레임을 전송하고 다른 포트를 통해 해당 프레임이 되돌아온다. PL 알고리즘에서는 DANH side로 설정된 ring에 Destination 노드가 없으면, DANH side로 연결되는 QuadBox의 포트를 차단하도록 한다 (그림 5 참조). PL 알고리즘은 QuadBox를 두 개의 side로 분할하여, DANH side에는 차단기능을 부여하도록 하고, QuadBox side는 차단 기능을 부여하지 않는다. 이것은 일반적인 Destination 노드는 QuadBox의 DANH side에만 존재하기 때문이다. 따라서 Destination 노드가 있는 ring의 QuadBox의 DANH side로 전송된 프레임은 다시 QuadBox side로 되돌아오지 않는다. 만약 PL 알고리즘을 QuadBox side에 적용하였을 경우, QuadBox로 연결된 링은 프레임 전송이 차단될 것이기에 모든 프레임 전송은 중단될 것이다.

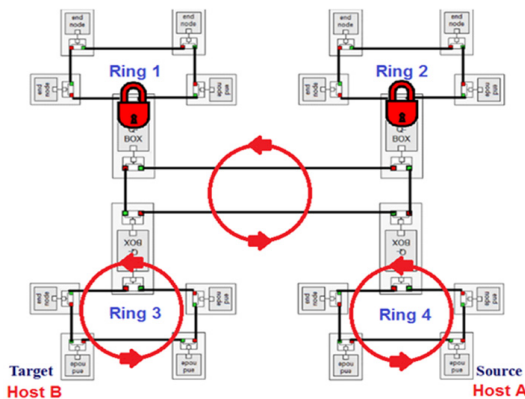


그림 5. PL 알고리즘 적용 후 ring 구성.

PL 알고리즘은 두 개의 단계 즉, 학습단계 와 동작 단계로 구성한다. 학습단계에서 첫 번째 복제된 프레임이 전체 네트워크로 전송될 때, Destination이 아닌 노드는 포트를 차단하고, 일정 시간이 흐르면 네트워크에서는 차단된 포트를 알 수 있다. 학습단계 이후, Destination 노드가 없는 모든 ring은 프레임 전송에서 제외시킨다. 동작 단계에서, 프레임은 차단되지 않은 포트를 통해 데이터를 송신 및 수신된다.

그림 6은 PL 알고리즘 동작 절차를 표시한 것으로, QuadBox를 두 개의 side로 분리하여 QuadBox side는 QuadBox 간 ring으로 연결되고, DANH side는 DANH 과 연결된다. PL 알고리즘은 DANH과 연결된 DANH side에만 적용되며, QuadBox ring으로부터 전송되는 모든 프레임을 확인하여 multicast 및 broadcast 신호는 전송하고, 그렇지 않은 unicast 프레임은 향후 비교를 위해 메모리에 기록한다. 만약 QuadBox가 동일 프레임을 DANH side로부터 수신한다면, QuadBox는 해당 프레임을 제거하고 DANH side의 포트를 차단한다.

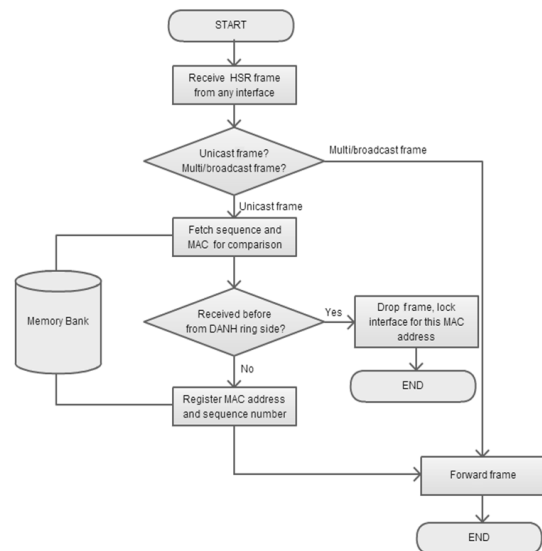


그림 6. PL 알고리즘 동작 절차.

IV. 트래픽 성능의 이론적 해석

본 장에서는 표준 HSR과 PL 알고리즘의 트래픽 성능을 이론적으로 해석하고자 다음과 같이 변수들을 정의하였다.

- ① 표준 HSR의 전체 네트워크 트래픽 = T_{SH}
- ② PL 알고리즘의 전체 네트워크 트래픽 = T_{PL}
- ③ 각 노드의 전송 함수 = F
- ④ QuadBox ring 수 = Q
- ⑤ i 번째 QuadBox ring의 DANH ring 수 = D_i
- ⑥ j 번째 DANH ring의 DANH 수 = n_j
- ⑦ 전송 프레임 수 = N

표준 HSR의 DANH에서 전송되는 unicast 프레임의 트래픽은 식(1)과 같다.

$$T_{SH} = \left[\sum_{i=1}^Q \sum_{j=1}^{D_i} \sum_{k=1}^{n_j} F \right] \times N \quad (1)$$

식(1)에서 주요 변수는 Q , D_i , 그리고 n_j 이며, T_{SH} 는 생성된 트래픽에 비례한다. PL 알고리즘은 HSR 기능을 유지하면서 생성되는 트래픽을 감소시키기 위해 네트워크의 일정 수를 줄이는 것에 목적이 있다.

학습단계의 첫 번 프레임은 식(1)과 같다. 이후, 동작단계의 프레임에서는 변화된다. 즉, 송신 및 수신하는 노드가 같은 ring에 존재한다면, DANH ring의 수, D 는 1 이며, 송신 및 수신 노드가 다른 ring에 존재한다면, DANH ring의 수, D 는 2 이다. 이것은 식(2a)와 식(2b)와 같이 나타낼 수 있다.

$$T_{PL} = \sum_{i=1}^Q \sum_{j=1}^{D_i} \sum_{k=1}^{n_j} F + \left[\left[\sum_{i=1}^Q F + nF \right] \times (N-1) \right] \quad (2a)$$

$$T_{PL} = \sum_{i=1}^Q \sum_{j=1}^{D_i} \sum_{k=1}^{n_j} F + \left[\left[\sum_{i=1}^Q F + \lim_{D \rightarrow 2} \sum_{j=1}^{D_i} \sum_{k=1}^{n_j} F \right] \times (N-1) \right] \quad (2b)$$

식(2a)는 같은 ring에 송신 및 수신 노드가 있는 경우이고, 식(2b)는 다른 ring에 송신 및 수신 노드가 있는 경우이다. 식(2b)에서 D 를 1로 하면 식(2a)와 같다.

그러나 식(1), (2a), 그리고 식(2b)는 네트워크 트래픽 성능을 제어하는 두 가지 조건이 있다. 첫 번째는 한 번에 전송하는 프레임의 수로, 표준 HSR과 PL 방식이 동일하다. 두 번째는 네트워크의 크기로, 작은 수의 ring이 연결된 네트워크 구조에서는 PL 알고리즘이 많은 효과를 거둘 수 없다. 하지만 많은 수의 ring이 연결된 네트워크 구조에서 PL 알고리즘을 적용하면, 송신과 수신 노드의 위치에 따라 DANH ring이 1 또는 2가 되어 획기적으로 성능이 개선된다.

V. 성능 계산

본 장에서는 표준 HSR이 적용된 식(1)과 PL 알고리즘이 적용된 식(2a), 식(2b)를 사용하여 성능을 산출한다. 여기서는 두 가지의 경우로 구분하여 제시한다. QuadBox ring 수는 고정되어 있지만 DANH ring 수는 가변일 때와 DANH ring 수가 고정이고 QuadBox ring 수가 가변인 경우이다. 모든 결과는 학습단계가 아닌 PL 알고리즘이 적용되는 동작단계에서 산출한 것이다.

그림 3의 네트워크 구조에 식(1), 식(2a), 그리고 식(2b)를 적용하였을 때, 각각의 결과를 그림 7과 그림 8에 나타내었다. 그림 7은 QuadBox ring 수는 3개로 고정하고, 하나의

DANH ring에 DANH이 10개인 DANH ring 수를 1에서 100까지 가변 하였을 때, 표준 HSR과 PL 알고리즘을 비교한 것이다. DANH ring 수가 증가할수록 PL 알고리즘의 성능이 향상됨을 확인할 수 있다. 즉, 20개의 DANH ring이 사용될 때, 표준 HSR에서는 1,437개의 프레임이 생성되지만, PL 알고리즘을 적용하면 161개의 프레임만 생성된다. 또한 60개의 DANH ring이 사용될 때, 표준 HSR에서는 4,317개의 프레임이 생성되지만, PL 알고리즘을 적용하면 401개의 프레임만 생성됨을 확인할 수 있다. 다음으로 그림 8은 DANH ring 수를 3개로 고정하고 QuadBox ring 수를 1에서 100까지 가변 하였을 때, 표준 HSR과 PL 알고리즘을 비교한 것이다. QuadBox ring 수가 증가할수록 PL 알고리즘 성능이 향상됨을 알 수 있다. 즉, 30개의 QuadBox ring이 사용될 때, 표준 HSR에서는 2,265개의 프레임이 생성되지만, PL 알고리즘을 적용하면 329개의 프레임만 생성된다. 또한 60개의 QuadBox ring이 사용될 때 표준 HSR에서는 4,545개의 프레임이 생성되지만 PL 알고리즘을 적용하면 629개의 프레임만 생성됨을 확인할 수 있다.

각각의 경우에 대한 트래픽 감소율을 그림 9와 그림 10에 나타내었다. 두 경우 모두에서 네트워크 ring 수가 클수록 PL 알고리즘을 적용한 네트워크의 트래픽 감소 성능이 더욱 향상됨을 알 수 있다. 즉, PL 알고리즘에서 QuadBox가 3개로 고정된 경우, 10개의 DANH ring을 사용하면 표준 HSR 대비 트래픽은 85.8%가 감소되지만, 100개의 DANH ring을 사용하면 표준 HSR 대비 트래픽은 91%가 감소됨을 알 수 있다. 또한 DANH ring이 3개로 고정된 경우, 10개의 QuadBox ring을 사용하면 표준 HSR 대비 트래픽은 82.6% 감소하지만, 100개의 QuadBox ring을 사용하면 표준 HSR 대비 트래픽은 86.4% 감소함을 확인할 수 있다. 이는 PL 알고리즘을 적용하였을 때, 표준 HSR 대비 획기적인 트래픽 감소량을 나타낸다.

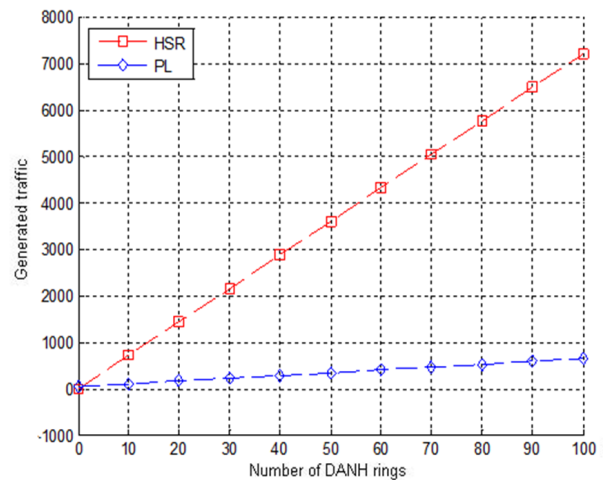


그림 7. QuadBox ring 3개와 가변인 DANH ring 수에 대한 표준 HSR과 PL 알고리즘의 트래픽 비교.

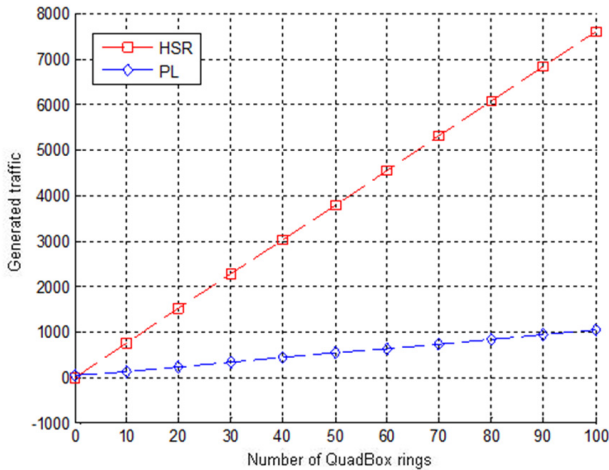


그림 8. DANH ring 3개와 가변인 QuadBox ring 수에 대한 표준 HSR과 PL 알고리즘의 트래픽 비교.

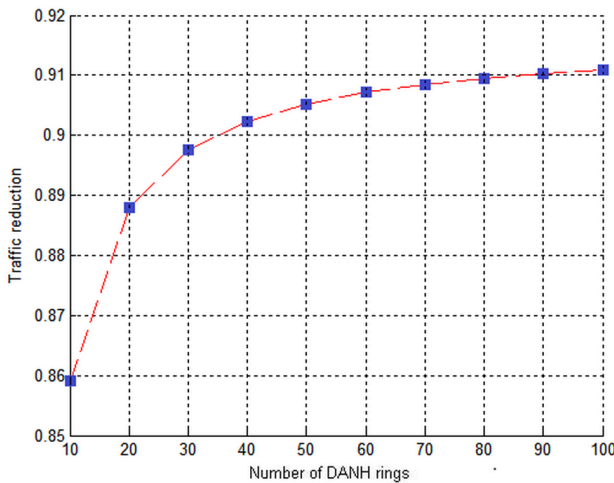


그림 9. QuadBox ring 3개와 가변 DANH ring 수에 대한 표준 HSR 대비 PL 알고리즘의 트래픽 감소율.

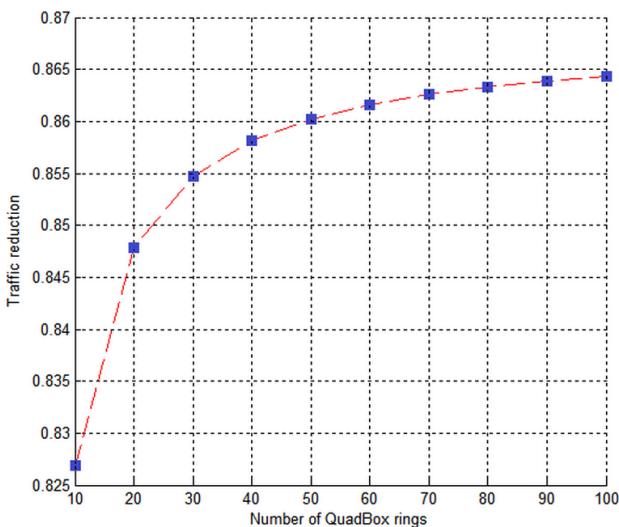


그림 10. DANH ring 3개와 가변 QuadBox ring 수에 대한 표준 HSR 대비 PL 알고리즘의 트래픽 감소율.

VI. 결론

본 논문은 여러 개의 ring이 연결된 복합 ring 네트워크 구조를 대상으로, 실시간 FTE인 표준 HSR 프로토콜의 단점인 불필요하게 발생하는 unicast 트래픽을 감소시키고자 간단하고도 적용성이 높은 PL 알고리즘을 제안하였다. 제안된 PL 알고리즘은 QuadBox를 두 개의 부분, 즉, DANH side와 QuadBox side로 분리하여, Destination이 없는 ring으로 연결되는 DANH side의 포트를 차단함으로써, 전체 네트워크의 트래픽 생성을 감소시킨다. 제안된 방식으로 10개의 DANH ring 또는 QuadBox ring을 사용하였을 경우 표준 HSR 대비 85.8%와 82.6%의 트래픽 감소를 나타내었고, 100개의 DANH ring 또는 QuadBox ring을 사용하였을 경우 표준 HSR 대비 91%와 86.4%의 트래픽이 감소됨을 확인하였다. 즉 ring 수가 증가될수록 트래픽성능이 획기적으로 개선됨을 보인다.

향후 연구 방향으로는 PL 알고리즘 성능을 더욱 향상시키기 위해서 QuadBox ring 수와 DANH ring 수를 감소시키는 경로를 자동 선택하는 연구 등을 들 수 있다.

REFERENCES

- [1] IEC 62439-3 International Electrotechnical Commission. Industrial Communication Networks - High - available Automation Networks, Part: 3 Parallel Redundancy Protocol and High-availability Seamless Redundancy (HSR), 2010.
- [2] Hubert Kirrmann. HSR - High Availability Seamless Redundancy, Fault-tolerance in Ethernet networks IEC 62439, Presentation slides, ABB Switzerland Ltd, Corporate Research, Baden, 2010.
- [3] S. A. Nsaif and J. M. Rhee, "Improvement of High-Availability Seamless Redundancy HSR Traffic Performance for Smart Grid Communications," Journal of Communications and Networks, Vol. 14, no. 6, pp. 653-661, Dec. 2012.
- [4] M. Shin and I. Joe, "Performance Improvement for the HSR Ring Protocol with Traffic Control in Smart Grid," Springer-Verlag Berlin Heidelberg, CCIS 351, pp. 48-55, 2012.
- [5] S. Hong and I. Joe, "A Novel Packet Transmission Scheme with Different Periods According to the HSR Ring Direction in Smart Grid," Springer-Verlag Berlin Heidelberg, LNCS 7709, pp. 95-102, 2012.
- [6] Hubert Kirrmann and Oliver Kleineberg, "Seamless and Low-Cost Redundancy for Substation Automation Systems (High availability Seamless Redundancy, HSR)," IEEE-Power and Energy Society General Meeting, pp.1-7, 2011.
- [7] Ibraheem Read Abdulsalam and Jong Myung Rhee, "Improvement of High-availability Seamless Redundancy

(HSR) Unicast Traffic Performance Using Port Locking,”
2013 fourth World Congress on Software Engineering
(WCSE 2013), pp. 246-250, HongKong, China, Dec. 2013.

- 1997년~1999년 : 데이콤 연구소 부소장
 - 1999년~2005년 : 하나로텔레콤 CTO (부사장)
 - 2006년 9월~현재 : 명지대학교 정보통신공학과 교수
- <주 관심분야> : Military Communication, Fault Tolerant System, Ad-hoc, Data Link, Convergence, Smart Grid Communications

Authors

Ibraheem Read ABDULSAM



- 2006년 6월 : Nahrain Univ., Iraq
B.Sc in Laser and Optoelectronics Eng.
- 2010년 6월 : Nahrain Univ., Iraq
M.Sc in Laser and Optoelectronics Eng Eng.

- 2010년~2012년 : Network Engineer in IDN (Iraqi Defense Network) for MOD(Ministry of Defense)
 - 2012년 3월~현재 : 명지대학교 정보통신공학과 박사과정
- <주 관심분야> : Military Communications, Ubiquitous Networks, Smart Grid Communications.

김 세 목(Se Mog Kim)



- 1998년 2월 : 부경대학교 전자공학과 (공학사)
- 2013년 2월 : 명지대학교 통신공학과 (공학박사)
- 1998년~2001년 : (주)네오디지털 과장
- 2002년~2008년 : (주)성원정보통신 부장

- 2009년~현재 : (주)굿네트웍스 실장
- <주 관심분야> : Military Communication, Fault Tolerant System, HFC network.

최 영 윤(Young Yoon Choi)



- 2009년~현재 : 명지대학교 정보통신공학과(학사 과정)

- <관심분야> : Military Communication, ubiquitous and Ad-hoc network

이 종 명(Jong Myung Rhee)

정회원



- 1976년 2월 : 서울대학교 전자공학과 (공학사)
- 1978년 2월 : 서울대학교 전자공학과 (공학석사)
- 1987년 12월 : North Carolina State Univ. ECE Dept. (공학박사)

- 1978년~1997년 : 국방과학연구소 책임연구원