

단방향 브레이디드링 구현 및 일반적인 이중화 링 토폴로지와 비교

안종화, 이정도, 박부식
한국전자기술연구원

ajw0305@keti.re.kr, ljdhhi@keti.re.kr, pusik.park@keti.re.kr

Simplex Braided Ring Implementation and Comparison to Typical Redundant Ring Topology

Ahn Jong Wha, Lee Jeong Do, Park Pusik
Korea Electronics Technology Institute

요 약

링 토폴로지 네트워크는 버스, 스타 토폴로지 네트워크에 비해 케이블 길이, 간편한 이중화, 예측 가능한 패킷 전송시간 등의 장점을 가지며 차량, 스마트 팩토리, 항공기와 같이 고신뢰도를 요구하는 네트워크를 구현하기 위한 방법 중 하나로 종종 사용되고 있다. 하지만 일반적인 이중화 링 구조는 노드에 고장이 발생했을 경우 각 노드의 이중화가 깨지는 문제나 고장 전과 비교해 패킷의 수신까지 걸리는 홉(hop)의 편차가 커지는 문제점이 존재한다. 본 논문에서는 이 문제를 보완하기 위해 Honeywell의 braided ring을 단방향으로 구현하고 해당 구조와 기존 이중화 링 구조의 고장 전후의 차이를 비교, 분석하였다. 결과적으로 braided ring은 기존 이중화 링 대비 정상 상황과 고장 상황에 따른 경우 홉의 편차가 크지 않아 고장시에도 고장 전의 전송 특성을 유지할 수 있었다. 단방향 braided ring은 100Mb/s 이더넷의 송수신 케이블을 분리한 커스텀 커넥터를 제작해 구성하였고 앞서 언급한 특징들을 구현을 통해 검증하였다.

I. 서 론

링 토폴로지 네트워크는 버스, 스타 토폴로지 네트워크에 비해 케이블 길이를 줄일 수 있고 예측 가능한 패킷 전송시간을 보장할 수 있으며 이중화가 간단해 신뢰성이 높다[1]는 장점이 있다. 이런 특징 때문에 고신뢰성이 필요한 환경에 종종 사용되고 있으며, 이는 스마트 팩토리 내부 장비간 네트워크에 사용되는 EtherCAT을 링 형태로 구현한 사례와 AeroRing, μ AFDX과 같이 항공용 네트워크를 링 토폴로지로 구현한 사례를 통해 확인할 수 있다. 하지만, 기존의 이중화 링 구조는 고장 발생시 네트워크가 선형으로 변화해 이중화가 유지되지 않으며 정상 동작하는 상황에 비해 패킷 수신에 걸리는 홉의 편차가 크게 발생할 수 있다는 문제점을 가지고 있다.

본 논문에서는 이런 문제를 보완하기 위해 Honeywell의 braided ring[2] 구조를 바탕으로 단방향 braided ring을 구현하고 기존 이중화 링과 고장 발생시 차이를 비교하였다. 이 논문의 본문에서는 기존 이중화 링과 단방향 braided ring의 정상 상황과 고장 상황의 노드 별 수신까지 걸리는 홉과 편차를 비교한다. 또한, 고장 발생시 이중화의 유지 여부와 링 토폴로지가 유지되는지를 확인한 후 결론을 맺는다.

II. 본 론

본 논문에서 소개하는 braided ring과 기존 이중화 링 구성의 차이는 Figure 1과 같다. 기존 이중화 링의 경우 시계 방향의 노드와 송수신하는 링크와 반시계 방향의 노드와 송수신하는 링크로 구성된다. braided ring은 이웃한 노드와 송수신하는 링크와 한 노드를 건너 띄어 그 다음 노드와 송수신하는 점프 링크가 존재한다. 이 경우 양방향 통신을 하기 위해서는 총 4개의(점프 포트 2개 + 이웃 포트 2개) 이더넷 포트가 필요하기 때문에

기존 장비와 호환을 위해 2개의 이더넷 포트만 사용하는 단방향 braided ring을 구성한다.

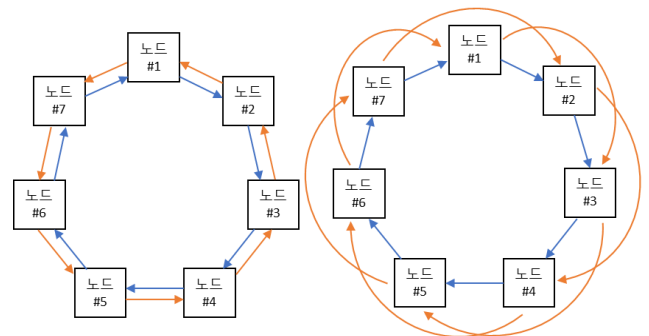


Figure 1 7개의 노드로 구성된 기존 이중화 링(좌측)과 braided ring(우측)

braided ring은 패킷 수신 시 체크섬 필드를 통한 오류 검사를 진행하고 중복 패킷이 수신될 때까지 대기한 후 중복 패킷 수신 시 두 패킷을 비교해 패킷을 전송하는 방식을 사용해 무결성을 보장한다. 또한 중복 패킷이 도착하지 못할 경우 정해진 시간 이후 타임아웃이 발생해 대기 중인 패킷을 전송하여 가용성을 증가한다.

또한, braided ring에서 중복 패킷을 대기하지 않고 먼저 도착한 정상 패킷을 우선 전송하고 이후 수신된 중복 패킷을 버리는 정책을 적용하면 점프 노드를 통해 두 노드씩 통과할 수 있는 braided ring 특성상 수신 지연 시간을 절반 가까이 줄일 수 있다. 두 방식의 분류를 위해 본 논문에서는 해당 방식을 적용한 braided ring을 fast braided ring이라고 부른다.

아래는 총 16개의 노드로 구성된 링 네트워크에서 노드 #1이 각각의 노드로 패킷을 송신하는 상황에서 각 패킷이 최종 목적지에 수신될 때까지 통과하는 홉 수를 정상 상황과 고장 발생 상황에 따라 비교한 그래프이다.

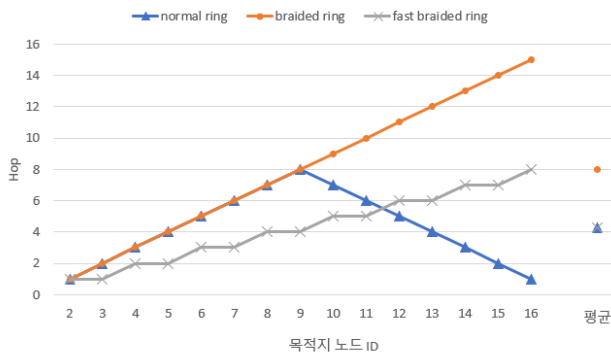


Figure 2 노드#1 이 송신한 패킷의 경우 홉 수(정상 상황)

Figure 2 와 같이 모든 노드와 링크가 정상인 상황에서 기존 링의 경우 양방향 송신을 진행하기 때문에 노드#1의 양옆으로부터 홉이 1 씩 증가하여 최대 $N/2$ 의 홉을 지나게 된다. braided ring 은 송신 방향으로 홉 수가 비례 증가하는 모습을 보여 최대 $N-1$ 개의 홉을 지나게 된다. fast braided ring 의 경우 한 번에 두 노드씩 지나치기 때문에 연속된 두 노드가 같은 홉 수를 갖게 되고 최대 $N/2$ 개의 홉을 지나게 된다. 기존 링과 fast braided ring 의 경우 중복 패킷을 대기하지 않고 송신한다는 점에서 동일하며 평균적으로 걸리는 홉 수가 동일하다. braided ring 의 경우 중복 패킷을 모두 수신 후 비교하여 송신한다는 점에서 패킷의 신뢰성은 더 높지만 평균적으로 수신까지 지나는 홉 수가 크다는 단점이 발생한다.

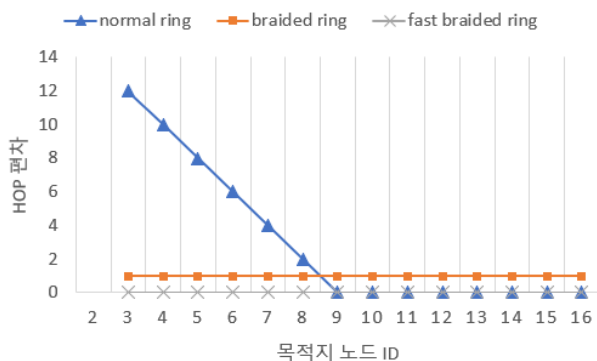


Figure 3 고장과 정상 상황의 목적지 노드 별 홉 차이

만약 노드#2 에 고장이 발생한 경우 기존 링은 반시계 방향으로의 패킷 전송만 발생하게 된다. 따라서 기존에 반시계방향으로 송신한 패킷을 우선 수신하던 노드들은 수신까지 지나는 홉 수의 변화가 없지만 시계방향으로 송신한 패킷을 우선 수신하던 노드들은 해당 패킷을 수신하지 못하고 반시계 방향으로 돌아오는 패킷을 수신해야 하기 때문에 홉 수가 증가하게 된다.

braided ring 과 fast braided ring 은 노드#2 의 고장에도 정상 상황과 같이 홉 수가 비례 증가하는 형태를 유지하게 된다. 이 경우 braided ring 은 수신 지연 시간이 모든 노드에서 Timeout 처리 시간만큼 증가하게 되나 수신까지 지나는 홉 수만 보면 정상상황이랑 크게 차이가 발생하지 않는다.

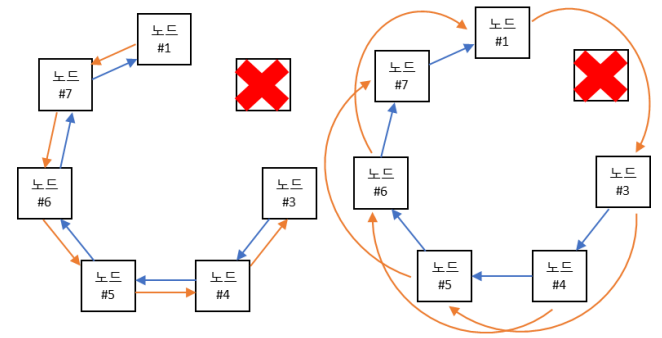


Figure 4 노드#2 고장 시 네트워크의 변화

또한, 노드에 고장이 발생한 경우 Figure 4 에서 보이는 것처럼 기존 이중화 링의 경우 링이 선 형태로 변경되며 모든 노드의 이중화가 깨지게 된다. 하지만, braided ring 의 경우 고장 노드로부터 수신 받는 노드#3, 노드#4 의 이중화는 깨지지만 나머지 노드의 이중화는 유지된다.

III. 결론

본 논문에서는 정상적인 상황과 고장 발생 상황에 따른 단방향 braided ring 과 기존 이중화 링의 차이를 비교하였다.

braided ring 은 기존 이중화 링 대비 고장 상황에서도 수신에 걸리는 홉 수에 큰 차이가 없어 수신 지연 시간이 비교적 일정하다는 장점을 가지고 있다. 또한, 고장시에도 링 형태가 유지되며 이중화가 부분적으로만 깨진다는 것도 장점 중 하나이다.

그러나 패킷의 신뢰성 향상을 위해 중복 패킷을 기다렸다 전송하기 때문에 정상적인 상황에서는 기존 이중화 링에 비해 수신까지 걸리는 평균 홉 수가 더 크다는 단점이 있다. 하지만, 이런 단점은 사전에 미리 시스템을 설계하는 스마트 팩토리, 자동차, 항공용 네트워크 특성상 각 노드를 적절한 위치에 배치하는 것으로 충분히 극복할 수 있다.

ACKNOWLEDGMENT

본 논문은 산업통상자원부 재원으로 한국산업기술평가관리원(KEIT)와 한국산업기술진흥원(KIAT)의 지원을 받아 수행된 과제입니다. [과제명: ARINC 664 와 호환 가능한 $1\mu s$ 미만 시각 동기 정밀도를 갖는 시-민감성 링 토폴로지 기반의 항공용 이더넷(AeroRing) ADB 원천 기술 개발 / 과제 고유 번호 :20003238], [과제명: 스마트 IoT 네트워크 보안을 위한 공격탐지 및 방어 기술 개발 / 과제고유번호: P0016150]

참고 문헌

- [1] Castanon G, Sarmiento AM, Ramirez R, et al. "Software tool for network reliability and availability analysis" Wire Journal International : 2009. pp. 74-81.
- [2] Paulitsch M, Hall B, "Insights into the Sensitivity of the BRAIN (Braided Ring Availability Integrity Network)--On Platform Robustness in Extended Operation," 37th Annual IEEE/IFIP International Conference on Dependable Systems and Networks (DSN'07), Edinburgh, UK, 2007, pp. 154-163.