

DCS mesh 네트워크에서 다중 선로 장애와 노드 장애를 복구하기 위한 다중 계층 복구 전략

正會員 김 호 건*, 조 규 섭**, 이 원 문**

Multi-Layer Restoration Strategy to Restore the Multi-Link and Node Failures in DCS mesh Networks

Ho Geon Kim*, Kyu Seob Cho**, Won Moon Lee** *Regular Members*

요 약

회선분배시스템(DCS:Digital Cross-connet System)을 이용한 mesh 구조의 동기식 전송망에서 망의 장애를 효과적으로 복구하기 위한 망 복구 방식 중 최근에 제안된 다중 계층 복구(MLR:Multi-Layer Restoration) 방식은 선계획(Pre-planned) 복구 방식과 다이나믹(Dynamic) 복구 방식을 단계별로 구성하여 보다 효율적인 망복구를 수행하기 위한 망 복구 전략으로 B.T(British Telecom)에서 제안되었다[1, 2]. 이 망 복구 전략은 단일 선로 장애에 대해 효율적인 성능을 발휘할 수 있으나, 다중 선로 장애와 노드 장애의 경우 선계획 복구 단계에서 복구되지 못하고 다이나믹 복구 단계에서 복구됨으로 인해서 선계획 복구의 장점을 최대한 활용하지 못하여 복구 성능 감소를 초래한다. 본 논문에서는 기존의 다중 계층 복구 방식에서 사용되는 선계획 복구 단계에 선계획 Multi-chooser 복구 단계를 추가한 새로운 다중 계층 복구 방식을 제안하였으며, 이 방식은 다중 선로와 노드 장애에 대하여 빠른 복구 시간과 높은 복구율을 갖고 있다. 또한, 제안한 복구 알고리즘을 모델링하여 OPNET(Optimized Network Engineering Tool)을 이용한 시뮬레이션을 통해 이의 성능을 분석, 검증하였다.

ABSTRACT

Recently, the Multi-Layer Restoration(MLR) algorithm was proposed by British Telecom(BT) to restore the network failures in Digital Cross-connect System(DCS) mesh survival network[1, 2]. This algorithm has multi restoration stage which is composed of the pre-planned and dynamic restoration. This algorithm is effective its ability in performance for single link failure but bring about a results in the decrease of the restoration performance in multi link or node failures. This reason is that it does not restore in the pre-planned restoration stage but in dynamic

* 한국전자통신연구원(ETRI) 선임연구원

** 성균관대학교 전자공학과

論文番號: 97290-0819

接受日字: 1997年 8月 19日

restoration stage. In this paper, we propose the MLR with Pre-planned Multi-Chooser(PMC) and successive restoration ratio algorithm. This proposed algorithm has a excellent performance for restoration time and ratio, spare channel availability and fast restoration from multiple link failure or node failure. This paper proposed the modeling and restoration algorithm, and analyzed the performance of the algorithm by simulation using OPNET (Optimized Network Engineering Tools).

I. 서 론

고도의 정보화 사회로 전환되고 있는 현재에는 대량의 정보를 전달할 수 있는 고속의 대용량 전송망을 요구하고 있다. 이에 부응하여 광 기술의 발달로 광 선로를 이용한 대용량의 신호를 고속으로 처리하는 전송 장비들이 출현하고 있다. 이들 장비들은 대용량의 신호를 고속으로 처리하기 때문에 하드웨어가 복잡하며 이를 제어하는 소프트웨어 양이 방대해짐으로 고장의 발생 빈도가 높아지고 있으며, 이런 장치 자체의 고장 뿐만이 아니라, 광 선로의 절단, 그리고 자연적인 재난에 의한 장애 등으로 발생하는 전송망의 장애는 사회적으로 막대한 경제적인 손실을 야기시킨다[3, 4]. 따라서 이러한 손실을 자동적으로 신속하게 복구하기 위한 망복구 알고리즘이 중요한 과제로 대두하게 되었다.

특히, 동기식 전송망에서 채널의 재구성(reconfiguration) 기능을 갖고 있는 회선분배시스템(DCS: Digital Cross-connect System)을 이용한 망복구 방식은 망에 할당된 예비 채널을 효율적으로 운용하여 망 장애 발생시 장애가 발생된 채널을 예비 채널로 재라우팅하는 것으로 적은 비용으로 높은 복구 성능과 망에 유연성(flexibility)을 제공한다[5, 6]. DCS를 이용한 망구성 형태는 메쉬(mesh) 구조로 발전 될 것이며, 망의 장애에 대비한 망 복구 알고리즘은 각 DCS 노드에서 복구를 독립적으로 수행하는 분산제어 방식이 적용되고 단대단(point-to-point) 경로(path) 단위를 중심으로 복구를 수행할 것이다. 이와같은 구조에서 주로 사용하는 복구 방식으로 장애가 발생한 후 망의 상황을 반영하여 실시간으로 복구를 수행하는 다이나믹 복구(dynamic restoration) 방식이 있다. 그러나, 이 방식은 각 DCS 노드간의 메시지 통신 채널을 이용하여 복구 메시지를 방송형태로 전달하므로써 메시지 처리 부하가 증가하여 복구 성능이 감소되는 단점을 갖는다. 반면에, 선계획 복구(pre-planned restoration) 방식

은 장애 발생 위치에 따라 미리 지정된 복구 라우트를 통하여 복구를 수행함으로써 높은 복구 성능을 나타내지만, 망의 모든 장애에 대해 복구 라우트를 미리 지정할 수 없으며 이를 위한 메모리의 양이 방대해지고 망의 트래픽 변동에 취약하여 모든 장애를 성공적으로 복구할 수 없다.

하지만, 이와 같은 특성을 갖는 두가지 복구 방식을 단계별로 체계화하여 복구를 수행하면, 선계획에서 얻어지는 일정한 규모의 복구율과 빠른 복구시간을 얻을 수 있으며, 선계획 단계에서 복구가 안된 채널에 대해서는 다이나믹 복구 단계에서 복구를 수행하여 높은 복구율을 얻을 수 있다. 이를 다중 계층 복구(Multi-Layer Restoration)방식이라 한다. 그러나 이 방식도 단일 선로 장애에 대해서는 효과적이지만, 다중 선로 장애와 노드 장애에 대해서는 다이나믹 복구 단계에서 거의 모든 복구가 수행됨으로써 다중 계층 복구 방식이 갖는 장점이 감소된다[7, 8, 9]. 이의 개선을 위하여 본 논문에서는 다중 선로 장애와 노드 장애에 대처할 수 있는 PMC(Pre-planned Multi-Chooser) 복구 단계를 선계획 단계에 추가함으로써 선계획 복구 단계를 활성화하는 복구 방식을 제안하였다. 이 방식은 다중 선로 장애와 노드 장애 발생시 기존의 선계획 복구를 수행하지 않고 PMC 복구 단계를 수행하여 선계획 단계의 활용도를 높여 다중 계층 복구 방식이 효율적으로 수행되도록 하였다.

II. 기존의 다중 계층 복구 방식

다중 계층 복구 방식은 BT(British Telecom) 연구소에서 제안된 망 복구 방식으로써 기존의 망 복구 방식들이 하나의 복구 방식을 중심으로 이루어지는데 반해, 선계획 복구 방식과 다이나믹 복구 방식의 두가지 복구 방식을 단계별로 적용하였으며, 복구 라우팅 방법에 따라 선로와 경로 복구 방식으로 세분화된 구조를 이루고 있다[1, 2]. 결국, 선계획 및 다이나믹

복구 방식 각각의 장점을 부각시키고 반대로 단점은 최소화할 수 있는 새로운 개념의 망 복구 방식으로써 장애 복구 시간과 복구율을 최대로 만족시킬 수 있다.

1. 다중 계층 복구 방식의 개념

이 방식은 망 장애가 발생할 경우, 먼저 선계획 복구 방식으로 복구를 시도하여 빠른 복구가 이루어지도록 하며 선계획 복구 방식에서 복구가 불완전할 경우 높은 복구율을 만족시키기 위해 다이나믹 복구 방식으로 보강하는 구조이다. 이의 복구 단계 구조는 그림 1과 같다.

이 복구 단계의 기본적인 구성은 첫 번째 단계에서 선로와 경로, 그리고 노드의 장애에 대비하여 미리 계획한 시나리오에 따른 복구 라우트 데이터베이스 정보를 이용하여 복구하며, 이 단계에서 완벽한 복구가 수행되지 못하였을 경우에 다음 단계인 다이나믹 선로 복구를 수행한다. 이 단계에서도 복구가 성공되지 못하면 3단계인 다이나믹 경로 복구를 수행하여 복구를 종료한다. 이와 같은 복구 단계를 갖는 다중 계층 복구 방식의 장점은 다음과 같다.

- 선계획 복구 단계에서 복구가 성공할 경우 복구에 소요되는 시간을 최소화할 수 있다.
- 단계별로 복구율이 누적되어 높은 복구율을 얻을 수 있다.
- 망에서 제공되는 망 상태 정보 등을 이용함으로써 효율적인 망 복구 및 예비 채널등 네트워크의 자원 활용도가 높다.

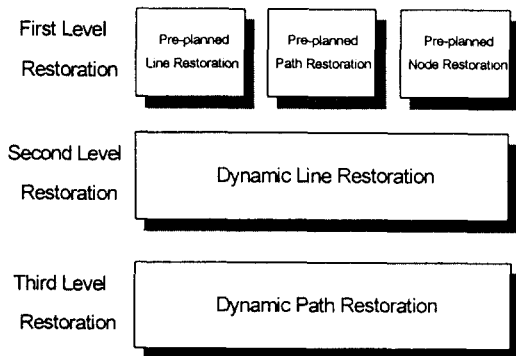


그림 1. 다중 계층 복구 방식의 복구 단계

- 여러 계층으로 복구를 수행하여 거의 모든 장애에 대하여 복구를 수행할 수 있다.

2. 개선 사항

다중 계층 복구 방식은 기존의 다이나믹 복구 방식에 선계획 복구 방식을 부가하여 복구 절차를 체계화함으로써 단일 선로 장애에 대해 우수한 복구 성능을 나타내는 반면, 다중 선로 장애나 노드 장애에 대해서는 선계획 복구 단계가 제대로 활용되지 못하는 등 다음과 같이 개선할 점을 가지고 있다.

1) 선계획 단계에서 망의 변경으로 인한 문제

망의 변동 상황을 실시간으로 각 노드에 전달하여 망의 장애 발생시 선계획 단계에서 효과적으로 복구할 수 있는 기능이 필요하다.

2) 선계획 단계에서 장애 시나리오에 따른 데이터베이스 구축 문제

망이 확장되고 복잡해짐에 따라 장애 복구를 위한 복구 라우트 정보를 저장할 데이터베이스 양이 증가할 뿐만 아니라 다중 선로 장애와 노드 장애를 복구하기 위한 구체적인 장애 시나리오가 필요하다. 주로 구성되는 선계획 복구정보는 단일 선로 장애를 대비하기 위한 것이다.

3) 다중 선로 장애와 노드 장애시 발생하는 문제점

다중 선로 장애와 노드 장애 발생시 선계획 복구 단계에서는 복구가 실패할 경우가 많아지게 되어 거의 모든 복구가 다이나믹 복구 단계에서 처리될 것이므로 복구 성능 측면에서 다이나믹 복구를 선계획 보다 먼저 수행하는 것이 유리하다. 또한, 다이나믹 복구 방식의 단점인 복구메세지의 방송으로 복구 메세지 처리 시간이 증가하며 다중 장애가 제한된 예비 채널을 확보하기 위해 경쟁함으로써 복구 시간이 증가하고 복구율도 낮아지게 되는 문제점이 발생하게 된다.

이와 같은 문제점으로 인해 빠른 복구시간을 제공하는 다중 계층 복구 방식의 최대 장점이 감소하게 되므로 이를 해결하기 위해서는 선계획 복구 단계를 강화하여 다중 선로 장애와 노드 장애에 대처할 수 있는 새로운 복구 단계의 추가가 필요하다.

III. PMC 복구 단계를 적용한 다중 계층 복구 방식

1. PMC 다중 계층 복구 방식의 제안과 구조 및 특징

다중 선로 장애와 노드 장애에 대처하기 위해서 기존 다중 계층 복구 방식의 수행 절차인 선계획 선로 복구, 다이나믹 선로 복구, 다이나믹 경로 복구의 순차적 단계에 본 논문에서 제안한 PMC(Pre-planned Multi-Chooser) 복구 방식을 부가한 새로운 형태의 다중 계층 복구 방식을 제안한다. 이 복구 방식은 전절에서 언급한 기존의 다중 계층 망 복구 전략의 단점 중 다중 선로 장애와 노드 장애 발생시 발생하는 복구 시간의 증가와 방송 형태의 복구 메시지 전파로 인한 데이터 통신 망의 부하를 감소시키는 방식이다. 이의 구조는 그림 2와 같으며, 이 복구 구조는 선계획에 치중한 방식과 다이나믹 복구에 치중한 방식으로 구별 될 수 있다.

기존의 다중 계층 복구 방식의 구조는 그림 2의 a와 같으며 이 구조에 다중 선로 장애와 노드 장애에 대처하기 위한 PMC 복구 단계를 추가한 구조를 그림 2의 b에 나타내었다. 제안한 복구 방식은 선계획 단계에서 각 노드가 보유하고 있는 이웃하는 노드들과의 선로 연결 정보를 최대한 이용하여 다중 선로 장애와 노드 장애를 검출하고 복구를 할 수 있는 효과적인 방법이다.

선계획 복구는 선로 장애를 검출한 양 노드가 sender와 chooser로 선정되어, sender가 장애가 발생한 운용

중인 채널들에 대하여 미리 지정된 복구 라우트를 통해 복구 메시지를 전달하고, 이를 수신한 chooser가 해당 복구 라우트의 유용성을 검증한 후 응답 메시지에 이의 상태(ACK, NACK)를 표시하여 동일한 복구 라우트를 통하여 sender로 전달함으로써 수행된다.

제안한 PMC 복구 구조에서는 다중 선로와 노드 장애를 검출하였을 경우 PMC 복구 단계를 수행한다. 만일, 인접한 선로 사이에서 다중 선로 장애가 발생하여 미리 지정된 복구 라우트로 복구 안될 경우 (sender가 NACK 응답 메시지 수신시)에는 그림 2의 b)와 같이 PMC 복구 단계로 천이되어 복구를 수행한다. 즉, sender가 NACK를 수신하면, 다중 선로 장애 또는 노드 장애로 판단하여 두 번째 선로 장애와 연결된 노드를 중심으로 연결된 이웃 노드들을 multi-chooser로 선택한다. Sender 노드는 각 multi-chooser들과 해당 선로 장애가 발생한 노드를 경유하는 채널들로 각기 독립된 복구 라우트를 구성하여 각 multi-chooser들과 선계획 복구 절차와 동일한 방법으로 복구를 시작한다. 이와 같이 PMC 복구 단계를 통하여 복구가 수행된 채널을 제외한 나머지 채널들에 대해서는 3단계 복구 절차인 다이나믹 경로 복구를 수행하여 복구를 완료하게 된다.

다중 선로 장애와 노드 장애에 대처할 수 있는 PMC

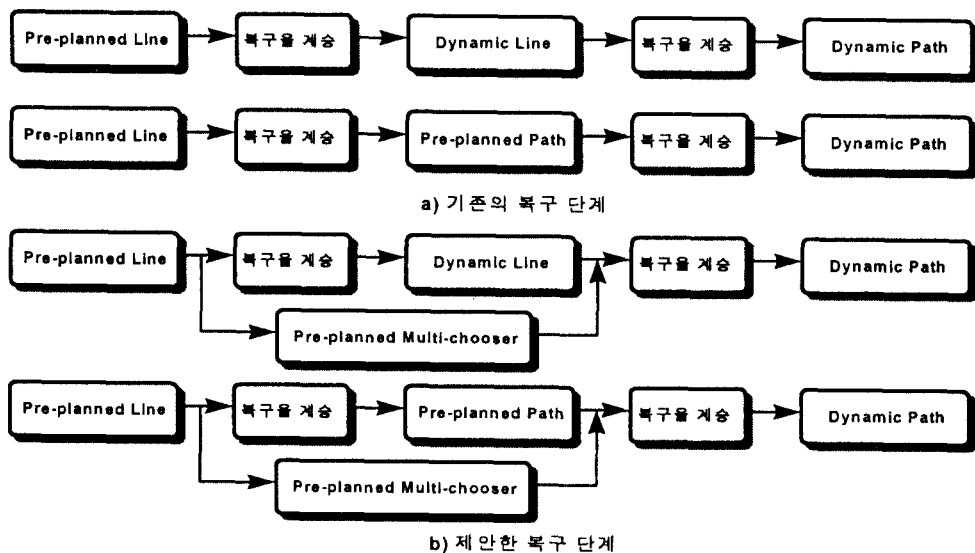


그림 2. 복구 단계별 구조

다중 계층 복구 방식의 특징은 아래와 같다.

- 다중 선로 장애 및 노드 장애를 복구 할 수 있다.
- 다이나믹 복구 방식보다 적은 복구 메시지를 처리하여 통신 관리 망의 부하가 작아진다.
- 예비 채널 확보 경쟁이 감소하여 높은 복구율을 얻을 수 있다.
- 장애 발생 위치 탐색이 쉽다.
- 다중 선로 장애에서도 망 전체에 복구 메시지를 전파하지 않고 장애가 발생한 선로를 중심으로만 복구가 수행되어 망 전체에 영향을 끼치지 않는다.

2. PMC 동작 개요

2.1 다중 선로 장애 검출

선계획 선로 복구에서는 첫 번째 선로 장애의 양인 접 노드 중 sender(A 노드)에서 하나의 복구 라우트 설정에 의해 망 복구가 수행된다. Sender는 장애 선로의 채널들을 복구할 미리 지정된 복구 라우트를 통하여 복구 메시지를 전달한다.(그림 3의 ①번 메시지) 이 메시지를 수신한 중간 노드에서는 연결되어 있는 복구 라우트의 상태 감시를 통해 복구 라우트가 유용한지를 판단하여 정상이면 다음 노드로 복구 메시지를 전달하여 최종 목적지인 chooser에게 도달되도록 한다. 이 전달 과정에서 다른 선로 장애가 발생된 것을 감지하면 해당 노드는 sender에게 NACK 응답 메시지를 전달한다. 복구 라우트가 정상인 경우에는 chooser가 ACK 응답 메시지를 결정된 복구 라우트를 통해 전달하여 복구가 완료된다. 하지만, NACK 응답 메시지를 sender가 수신(그림 3의 ②번 메시지)하여 판독시 다중 선로 장애일 경우 선계획 선로 복구를 중단하고 PMC 복구 단계를 시작한다.

2.2 Multi-chooser 선정 및 복구 메시지 전파

PMC 복구 단계의 첫 과정으로 두 번째 장애가 발생한 노드를 중심으로 이웃하는 노드들을 Multi-chooser로 선정(그림 3의 ③으로 표시)하여 각 chooser들에게 PMC 복구 메시지를 전달한다. 이 복구 메시지 내에는 각 chooser들의 두 번째 장애가 발생한 노드를 경유하는 채널들을 복구하기 위한 복구 라우트가 구성되어 있으며, 이 메시지를 서로 상이한 복구 라우트를 통하여 multi-chooser들에게 전달한다. 또한, 이 복구 메시지에 대하여 각 chooser는 ACK 또는

NACK 응답 메시지를 sender에게 전달하여 PMC 복구 단계를 종료하며, 복구가 안된 채널에 대해서는 3단계 복구 단계인 다이나믹 경로 복구를 통하여 복구를 완료하게 된다.

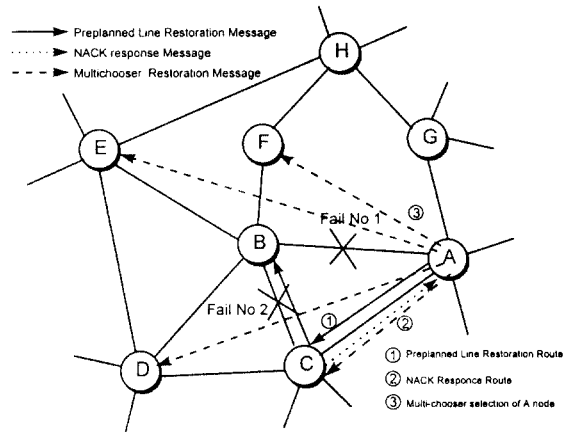


그림 3. Multi-Chooser 선정 과정

2.3 노드 장애

노드 장애는 전송 시스템 내부의 오동작이나 외부의 원인으로 인해 노드로서의 동작 불능 상태인 경우이며, 이 장애는 한 노드를 중심으로 이웃하는 노드들과 접속되어 있는 모든 선로에 장애가 발생한 경우와 동일하다. 따라서, 노드 장애는 다중 선로 장애의 연장으로 보며, 이의 검출을 위해서 각 노드에서는 선계획 복구를 위해 망 운영자가 망의 크기와 망에서 요구되는 트래픽의 양, 이에따른 운용 채널 대비 예비 채널 용량들을 미리 설정하므로써 미리 중요한 선로나 노드의 장애에 대비한 망의 기본적인 정보를 갖고 있어서 PMC 복구 단계에서 복구메시지에 대해 되돌아 오는 NACK 응답 메시지를 분석하여 한 노드를 중심으로 모든 선로의 장애가 발생한 것을 알 수 있으므로 노드장애를 쉽게 판별할 수 있다.

2.4 PMC 복구 절차

기본적인 선계획 복구 절차는 장애가 발생한 곳을 중심으로 양 노드가 sender와 chooser로 구분되며 아래와 같은 절차를 통해 복구하며, 그림 4에서 선계획 복구 단계에서 PMC 복구의 시작 단계를 나타내는

절차의 흐름도를 나타내었다.

- Start 단계: 장애 검출 및 sender와 chooser 노드를 구분한다.
- Sender 단계: 미리 지정된 복구 라우트를 통하여 복구 메시지를 전달하며, NACK 메시지 수신시 선계획 선로 복구를 중지하고 다음 단계로 천이한다.
- Transfer 단계: 복구 라우트를 통하여 전달되는 복구 메시지를 수신한 중간 노드들은 출력될 복구 라우트에 포함된 선로의 경보 및 성능 등 상태를 파악한 후 다음 중간 노드로 복구 메시지를 전달하며, 다른 장애를 검출 시에는 NACK 메시지를 sender에게 전달한다.
- Chooser 단계: 최종적으로 복구 메시지를 수신하는 노드로 복구 라우트의 상태를 파악한 후 ACK/NACK 메시지를 결정된 복구 라우트를 통해 sender에게 전달한다.
- ACKnowledged 단계: ACK/NACK 메시지를 처리하는 단계로 복구 라우트 상의 중간 노드들은 ACK 메시지 수신시 노드의 스위치를 변경하여 신호를 복구하고 이를 다음 노드로 전달하며, NACK 메시지는 그대로 다음 노드로 전달한다.

기존의 다중 계층 복구 방식에서는 sender가 NACK 메시지를 수신하면 다음 복구 단계로 천이하지만, 제안한 PMC 다중 계층 복구 방식에서는 NACK 메시지 내에 NACK 원인을 나타내는 정보를 추가하여 sender가 이를 해독함으로써 다중 선로 장애임을 인식하게 되며 이에 따라 PMC 복구 단계가 수행된다. PMC 복구 단계에서는 두 번째 장애가 발생한 노드를 중심으로 이웃하는 노드들을 multi-chooser로 선정하고, 이들 multi-chooser들이 장애가 발생한 선로를 경유하여 sender에게 전달되는 채널들에 대해 sender와 새로운 복구 라우트를 선정하여 복구를 수행한다.

제안한 복구 방식의 선계획과 PMC 복구 단계에서 이용하는 메시지를 그림 5에서 나타내었다. 그림 5의 a)는 선계획 복구 메시지의 구조이며, sender와 chooser 식별자와 손실된 채널 용량과 복구 메시지가 전달되는 라우트 정보로 구성되며, 중간 노드에서는 복구 라우트에서 제공되는 예비 채널 용량과 hop 수를 산출하여 chooser에게 전달한다. 또한 이에 대한 응답 메시지는 b)에 표시되어 있으며, ACK와 NACK 표시가 가능하고 NACK의 경우 이의 속성으로 장애가 발생한 선로의 식별자와 손실된 채널의 용량을 표시하여 sender에게 전달한다.

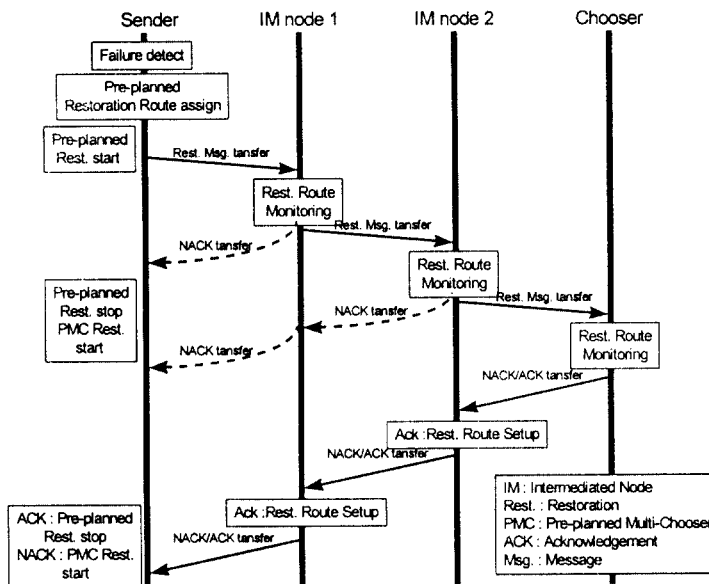


그림 4. 선계획 복구 절차도와 PMC 복구 단계

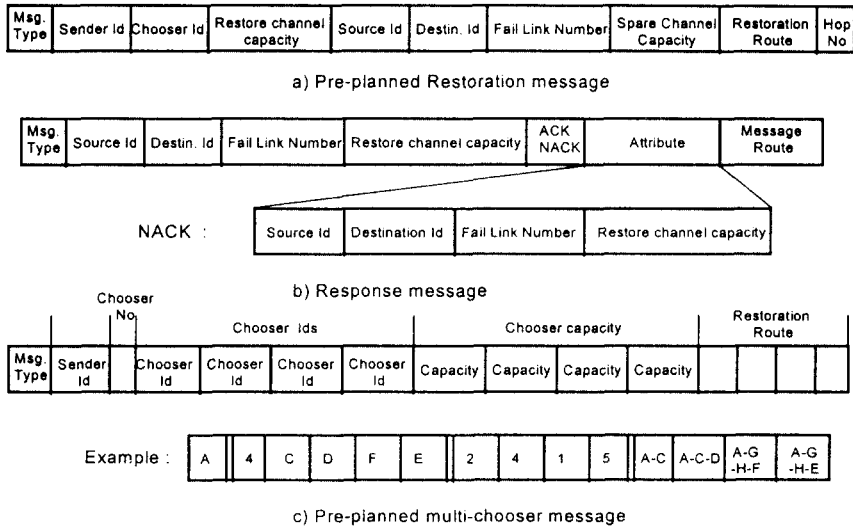


그림 5. PMC 복구 단계에서 사용되는 복구 메시지 구조

또한, 다중 선로 장애 검출시 PMC 복구 단계에서 사용되는 PMC 복구 메시지의 구조는 그림 5의 c)와 같으며, sender와 선택된 chooser 식별자들과 각각의 복구될 용량, 그리고 각 chooser들과의 복구 라우트로 구성된다.

IV. 성능 분석

4.1 시뮬레이션 조건

본 논문에서 제안한 망 복구 방식의 성능을 검증하기 위하여 DCS로 구성된 망을 모델링하여 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션을 위한 도구로서는 MIL3사의 OPNET에서 제공하는 라이브러리 함수를 사용하여, 복구 프로세서의 성능 분석을 위한 모델을 프로그래밍하였다. 그리고 시뮬레이션을 위한 네트워크 환경은 그림 6과 같이 벨코아(Bellcore)에서 성능 분석을 위해 적용한 네트워크 구성을 동일하게 사용하였다. 이 네트워크는 15의 노드와 28개의 선로로 구성된다[10].

시뮬레이션은 다중 선로 장애와 노드 장애에 대하여 수행하였으며, hop 수와 복구 프로세서의 서비스 시간을 변수로 다중 계층 복구 프로세서의 복구 시간의 변화율을 분석하였다.

본 논문에서 수행한 시뮬레이션 모델은 표 1과 같이 분류하였다.

표 1. 시뮬레이션 모델의 분류

시뮬레이션 모델		복구 단계
기존 모델	M1	Pre-planned Line → Dynamic Line → Dynamic path
	M2	Pre-planned Line → Pre-planned Path → Dynamic Path
제안한 모델	M3	Pre-planned Line → Dynamic Line → Dynamic path Multi-chooser
	M4	Pre-planned Line → Pre-planned Path → Dynamic Path Multi-chooser

시뮬레이션 모델의 성능을 비교하기 위하여 시뮬레이션 수행 시 적용되는 입력 파라미터는 다음과 같이 설정하였다.

- Cross-connection 시간 지연: DCS 내부에서 변경된 라우트에 따라 채널들을 스위칭하는 시간으로, cross-connection 시간 지연은 0.1msec로 가정함.
- 시그널링 메시지 전달 지연: 이는 DCS 노드간의 복구 메시지 전달을 위한 물리적인 전용 채널의 성능을 나타내며 DCC(Data Communication Channel)의 192kbps채널을 가정함.
- 내부 통신 지연: 입출력 포트와 CPU간의 통신

지연 시간(본 시뮬레이션에서는 제외함)

- 프로세싱 지연: 노드의 복구 프로세서의 프로세싱 지연 시간으로 0.1msec로 가정함.
- 전파 지연: 주어진 선로의 거리에 좌우됨.
- Time-out: 다이나믹 복구에서 사용되는 변수로서 수신되는 복구메세지 대기시간으로 time-out은 10msec로 가정함.
- Hop limits: 복구 메시지가 전파되면서 노드를 통과한 수로 선로 복구에 대한 hop 제한은 6으로 경로 복구에 대한 hop 제한은 8로 가정함.
- 단일 선로 장애: 두 노드 상의 광 선로 손실을 가정함.
- 다중 선로 장애: 다중 선로 장애는 한 노드를 중심으로 인접한 2개의 선로에서 동시에 장애가 발생한다고 가정함.
- 노드 장애: 전송 시스템 내부 또는 외부의 작용에 의해 전송 노드의 기능을 상실하여 제어가 안되는 것을 가정함. 따라서, 장애 노드를 중심으로

이웃하는 노드와 연결된 모든 선로에 장애가 발생한 것으로 가정함.

시뮬레이션의 결과는 복구 시간과 복구율로 나타내었으며, 선로 장애의 복구는 장애 선로 양단의 노드에서 복구를 수행하는 것으로 하였고, 경로 복구는 장애가 발생한 선로를 통하는 모든 채널들의 경로 양단에 있는 source 노드와 destination 노드들 사이에서 복구를 수행하는 것으로하여 경로 복구 시에는 여러 노드들이 동시에 독립적으로 복구를 수행하도록 하였다. 또한, 벨코아에서 사용한 시뮬레이션 네트워크 환경은 기본적으로 단일 선로 장애에 대해 100%의 복구율을 보장하는 여유 채널이 할당되어 있기 때문에 이에대한 시뮬레이션 수행 결과는 생략하였다.

4.2 시뮬레이션 결과

4.2.1 다중 선로 장애 및 노드 장애

그림 7에서는 인접한 2개의 선로에 동시에 선로 장애가 발생한 다중 선로 장애를 9개 선정하여 개별적으로 각 장애에 대한 복구 시간과 복구율을 누적하여 나타내었다. 다중 선로 장애에서는 PMC 복구 단계를 갖는 복구 모델(M3, 4)이 M1, M2 보다 복구 시간과 복구율에서 우수하였다. 특히, PMC 복구 단계에서는 손실된 채널 수에 비례하지 않고 각 장애 별로 일정한 복구시간을 나타내어 안정된 복구 성능을 갖는 것을 알 수 있었다. 거의 모든 다중 선로 장애에 대하여 90%이상의 복구율을 나타내었다. 이와같이 PMC 복구 단계의 추가로 인하여 이 단계에서의 복구율이 상승하여 다이나믹 경로 복구 단계에서 복구하여야 할 경로 수가 적어져서 복구에 참여하는 노드들의 수가 적어지게 되므로 다이나믹 복구 방식의 단점인 복구 메시지 처리량 감소와 예비 채널의 확보 경쟁이 적어짐으로 인해 복구 시간이 빨라지는 특성을 갖는다.

그림 8에서는 7개의 노드를 선정하여 개별적으로 각 노드 장애에 대한 결과를 복구 시간과 복구율을 누적하여 나타내었다. 각 단계별 복구율 비교에서 PMC 복구 단계에서 복구되는 채널 수가 많아짐으로 인해 복구율이 높아지고, 다이나믹 복구 단계에서 수행되는 복구율이 적음으로 인해 복구시간이 짧아짐을 알 수 있었으며, M1, M2 모델은 다이나믹 복구 단계에 복구율이 의존적이지만 M3, M4 모델에서는

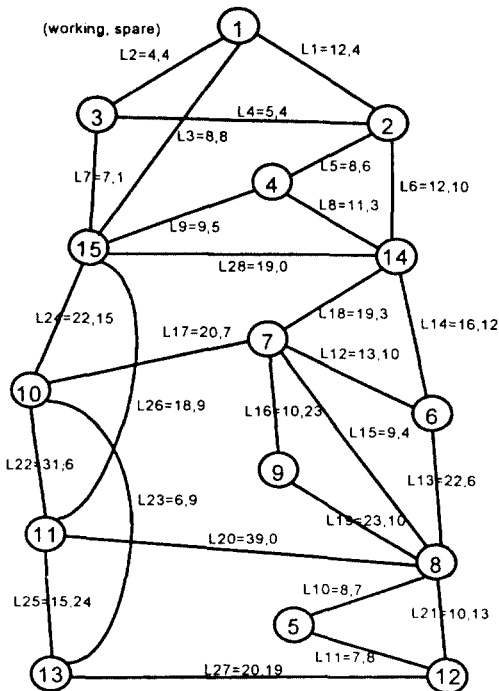


그림 6. 시뮬레이션 네트워크 모델

PMC 복구 단계에서 전체 복구율의 반 이상을 복구하여 복구시간이 많이 감소함을 알 수 있었다. 따라서, 노드 장애에 대해서도 제안한 PMC 복구 단계가 부가된 다중 계층 복구 방식이 우수함을 알 수 있었다. 또한, 선계획에 치중한 복구 구조가 다이나믹에 치중한 복구 구조보다 복구 성능 면에서 훨씬 유리함을 알 수 있었다.

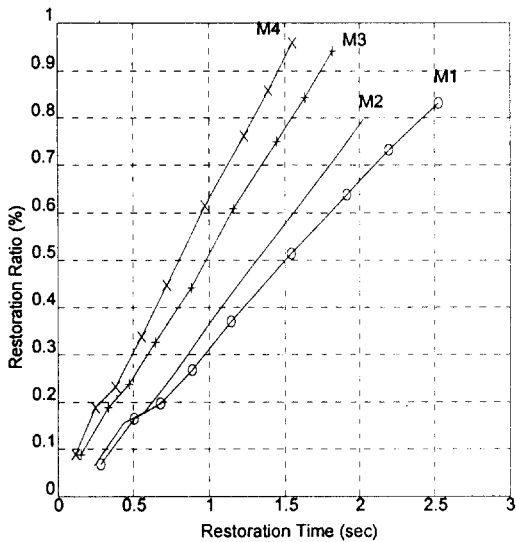


그림 7. 다중 선로 장애에서의 누적 복구시간과 복구율의 비교

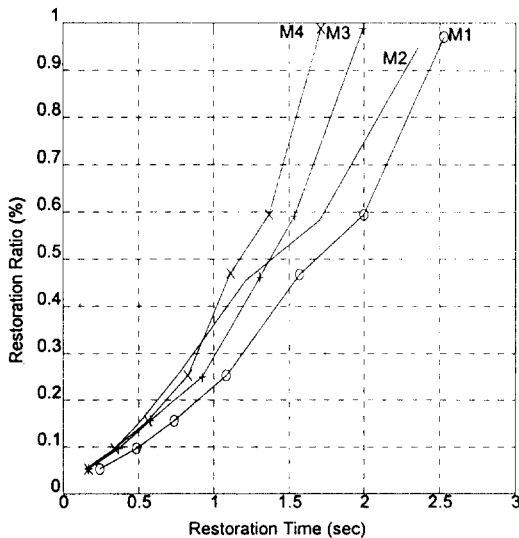


그림 8. 노드장애에서의 누적 복구시간과 복구율의 비교

4.2.2 Hop 수 변화에 의한 복구 성능 비교

앞서 수행한 다중 선로와 노드 장애에 대한 시뮬레이션은 복구 경로를 찾을 수 있는 최대 hop 수를 선로에서는 6개, 경로에서는 8개로 제한하여 복구를 수행하였다. 이러한 hop 수의 제한은 선계획 방식에서는 최적의 복구 라우트를 선정하는 기준이 되며, 다이나믹 복구 방식에서는 여러개의 수신된 복구 메시지 중에서 하나를 선택하기 위한 변수이다. 앞서 시행한 시뮬레이션과 동일한 다중 선로 장애에 대한 시뮬레이션으로 선계획에 치중한 M2와 M4 복구 구조에 대하여 hop 수를 아래와 같이 변화시켰다.

H1: 선로 4, 경로 6 H2: 선로 6, 경로 8(기준)

H3: 선로 8, 경로 10

Hop 수가 증가함에 따라 복구 시간의 변화량이 커졌으며, 주된 복구 시간의 증가는 다이나믹 복구 단계에서 발생하였다. 즉, PMC 복구 단계에서 복구 시간은 거의 변화하지 않았지만, 복구 메시지의 발생 갯수의 증가에 영향을 많이 받는 다이나믹 복구 단계에서 복구 시간이 증가하여 전체 복구시간이 증가하였다. 결국 그림 9와 같이 PMC 복구 단계를 추가한 방식이 이 복구 단계에서 많은 채널을 복구함으로써 다이나믹 경로 복구 단계에서 걸리는 복구 시간을 감

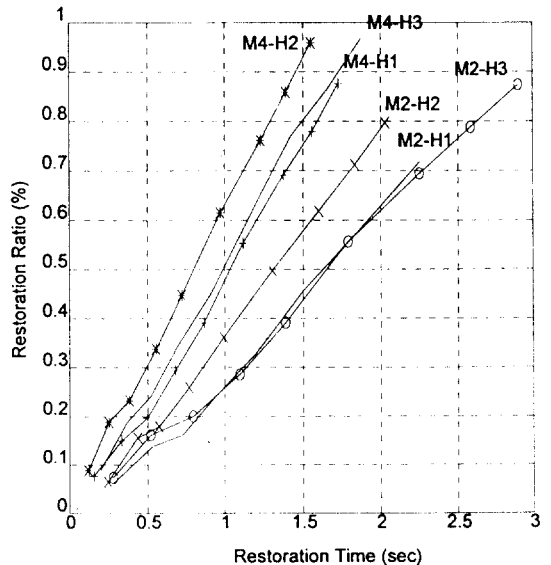


그림 9. Hop 수 변화에 의한 누적 복구시간과 복구율 비교 (다중선로 장애)

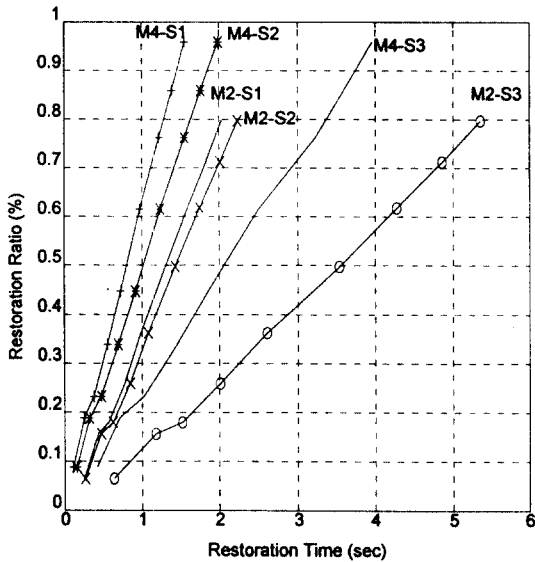


그림 10. 복구 프로세서의 서비스 시간 변화에 의한 누적 복구시간과 복구율(다중선로장애)

소시켜 전체적인 복구 시간이 감소되었음을 알 수 있었다. 또한, HI 조건과 같이 hop 수가 작은 경우에는 복구율이 감소하며 복구 시간이 증가함을 알 수 있었으며, 따라서 적절한 hop 수의 선택이 복구 성능의 변수임을 확인하였다.

4.2.3 복구 프로세서의 서비스 시간 변화에 의한 복구 성능 비교

복구 프로세서의 서비스 시간은 전송 노드 내의 프로세서가 망 복구 처리로 인해 지연되는 시간을 의미하며 이 변수는 복구 시간에 많은 영향을 미친다. 다중 선로 장애에 대한 시뮬레이션으로 선계획에 치중한 M2와 M4 복구 구조에 대하여 복구 프로세서의 서비스 시간을 아래와 같이 변화 시켰다.

S1:0.0001sec(기준) S2:0.001sec S3:0.005sec

분산 제어 방식은 중앙 집중 제어 방식보다는 적은 양의 데이터베이스와 망의 상태 정보가 각 노드에 분산되어 있어서 노드에서 처리되는 복구 처리 시간의 양도 작을 것이다. 하지만, 제한한 복구 방식이 3단계의 프로세서를 갖고 있음으로 인해 1 단계 복구 프로세서를 갖고 있는 기존의 다이나믹 방식보다 서비스 타임이 중요한 변수로 작용할 것으로 예상하였다. 이

의 시뮬레이션 결과에 따르면 그림 10과 같이 복구율의 변화는 없었고 복구 시간의 변화량이 많았다. 그림 9에서 선계획과 PMC 복구 단계에서의 복구 시간 증가량은 S2 조건에서는 0.1 배였으며, S3 조건에서는 0.2 배였으나, 다이나믹 경로 복구 단계에서는 0.8 배와 2배가 넘는 서비스 타임의 증가량을 보였다. 또한, S1과 S2 조건에서 서비스 타임에 비해하지 않고 거의 비슷한 복구 시간을 M2와 M4 복구 구조에서 나타내었다. 따라서, 이와같은 결과는 다이나믹 복구한 단계만을 수행하는 것과 3단계로 구성하는 다중 계층 복구 방식의 서비스 시간 변화량이 거의 다이나믹 복구 단계에 의존하기 때문인 것으로 분석되며 결국 다단계로 복구하는 방식을 사용하여도 기존의 복구 방식에 비해서 복구 시간의 증가량은 미약할 것으로 예상된다.

V. 결 론

Mesh 구조의 전송망에서 DCS를 이용한 망 복구 방식은 각 선로에 할당된 예비 채널을 활용하여 망의 장애 발생시 장애가 발생된 채널을 예비 채널로 재라우팅하여 통신 서비스를 지속적으로 제공하는 것이다. 따라서, 효율적인 망 복구를 위해서는 망 설계 시에 최소의 비용으로 최대한의 통신 서비스를 보호할 수 있는 구조로 설계가 이루어져야 한다. 이를 위해 선계획 복구 방식과 다이나믹 복구 방식으로 구성된 다중 계층 복구 방식이 소개 되었다. 하지만, 이 방식은 다중 선로 장애와 노드 장애 발생시 선계획 복구 단계에서 복구를 수행하지 못하고 다이나믹 복구 단계에서 복구되어 이 방식의 장점을 최대한 이용하지 못하였다. 이를 위해 본 논문에서는 다중 선로 장애와 노드 장애에 대하여 효과적인 성능을 발휘하는 PMC 복구 단계를 추가한 복구 방식을 제안하였으며, 이 방식은 다중 선로와 노드 장애에 대하여 빠른 복구 시간과 높은 복구율을 갖고 있음을 시뮬레이션을 통하여 비교 분석하였다.

이 방식은 망에서 발생하는 장애에 대하여 유연성 있게 대처할 수 있어 원활한 장애 복구와 전송망의 생존성을 향상시킴으로써 결론적으로 통신망의 효율적인 운용 보전에 크게 기여할 것으로 기대된다.

이 연구는 한국전자통신연구원의 자원으로 수행되

있음을 밝히며 관계자 여러분께 사의를 표합니다.

참 고 문 헌

1. D. Johnson, G. N. Brown et al: "Distributed Restoration Strategies in Telecommunications Networks", Proc. IEEE ICC'94, pp. 483-488, 1994.
2. R. S. K. Chng, C. P. Botham, D. Johnson et al: "A Multi-layer Restoration Strategy for Reconfigurable Networks", Proc. IEEE Globecom'94, pp. 1872-1878, 1994.
3. Tsong-Ho Wu: "Fiber Network Service Survivability", Artech House, 1992.
4. Steven H. Herseg, Mark J. Soullene: "Architecture and Applications of SONET in SHN", Proc. IEEE ICC'91, vol. 3, no. 44. 3, pp. 1418-1424, 1991.
5. Tsong-Ho Wu, Haim Korinski Kipak Ghosal: "A Service Restoration Time study for Distributed Control SONET Digital Cross-Connect System Self-Healing Networks", Proc. IEEE ICC'93, pp. 893-899, 1993.
6. J. D. Igleheart D. N. Cross: "Digital Cross Connect Deployment Opportunities", Proc. IEEE Globecom'88, pp. 47.6-47.6.5, 1988.
7. H. Kobrinski M. Azuma: "Distributed Control Algorithms for Dynamic Restoration in DCS Mesh Networks: Performance Evaluation", Proc. IEEE Globecom'93, pp. 1584-1588, 1993.
8. C. H. Yang, S. Hasegawa: "FITNESS: Failure Immunization Technology for Network Service Survivability", Proc. IEEE Globecom'88, pp. 47.3.1-47.3.6, 1988.
9. Hiroaki Komine, Takafumi Chujo: "A Distributed Restoration Algorithm for Multiple-link and Node Failures of Transport Networks", Proc. IEEE Globecom'90, pp. 403.4.1-403.4.5, 1990.
10. Bellcore: "Digital Cross-connect Systems in Transport Network Survivability", Special Report SR-NWT-002514, Issue 1, Jan. 1993.



曹圭燮(Kyu Seob Cho) 정회원
 1974년 2월:성균관대학교 전자공학과 공학사
 1976년 2월:성균관대학교 대학원 전기공학과 공학석사
 1989년 2월:성균관대학교 대학원 전자공학과 공학박사
 1977년 3월~1992년 2월:한국전자통신연구원(ETRI) 책임연구원
 1992년 3월~현재:성균관대학교 전기, 전자 및 컴퓨터공학부 교수



金祐鍵(Ho Geon Kim) 정회원
 1986년 2월:성균관대학교 전자공학과 공학사
 1988년 2월:성균관대학교 전자공학과 공학석사
 1997년 8월:성균관대학교 전자공학과 공학박사
 1988년 3월~현재:한국전자통신연구원(ETRI) 선임연구원



이원문(Won Moon Lee) 정회원
 1996년 2월:성균관대학교 전자공학과 공학사
 1996년 3월~현재:성균관대학교 전자공학과 공학석사 과정