

DCS를 이용한 통신망의 장애 복구 알고리즘

Distributed Control Algorithm for Survivable DCS Mesh Networks

주운기

선문대학교 기계 및 시스템 공학부

Abstract

As the increasing the demand on information service, high-capacity and high-speed telecommunication networks are required. For the networks, very intelligent telecommunication equipments such as DCS(Digital Cross-connect System) will be employed for the fast service on the various types of information including voice, data and image. This paper considers the transmission networks composed of DCSs and optical fibers as nodes and links of the networks, respectively. For the networks, some types of restoration algorithms are compared their characteristics for their potential applications. And a distributed control algorithm is described as an empirical example which is implemented on the BDCS(Broadband Digital Cross-connect System), where the BDCS is a type of DCS developed in Korea. Finally, some remarks on the associated further researches are added.

1. 서론

통신망은 각종 통신서비스를 위한 트래픽을 전달할 수 있도록 만들어진 장치(설비)들이 상호 연결되어 있는 하나의 시스템으로 그 기능(역할)에 따라 가입자 망, 교환망 및 전송망으로 구분할 수 있다.

전송망은 정보를 전달하기 위한 통로를 제공해주는 망으로, 급증하는 정보 통신 수요에 대비하기 위해서는 전송 망의 고속화와 망관리의 지능화를 필요로 하며, 이를 처리할 수 있는 메시지 구조가 필요하다. CCITT(International Telegraph and Telephone Consultative Committee)는 충분한(9N 바이트, N=1,4,16) 제어용 정보를 처리할 수 있는 SDH(Synchronous Digital Hierarchy) 관련 권고안을 제시하였다.

대용량의 신호를 처리하기 위해서는 ADM(Add Drop Multiplexer)과 DCS(Digital Cross-connect System)와 같은 망 노드(Network Element)가 필요한데, 고속 전송망에서 장애는 많은 데이터의 손실과 불편함을 야기하고 심각한 경제적 손실을 발생시킬 수 있으므로 이러한 망 장애에 신속히 대처하

는 것이 필요하다. 망 장애에 대처하기 위한 방안에 대한 연구는 크게 네 가지로 수행되고 있다. 첫째로, 장애난 부분을 분리해내고 장애 서비스를 복구해주지는 않는 방법으로, 장애가 발생한 모든 데이터의 복구를 수작업(manual repair)으로 해야하므로 복구에 많은 시간이 소요된다. 둘째로, 장애 설비의 서비스를 그 이상의 용량을 가진 설비로 대체해서 서비스를 해주는 방법[2,4,15,16]으로, 일반적으로 빠른 복구를 해줄 수 있으나 이를 위한 설비투자 비용이 크다는 단점이 있다. 셋째로, 사용중이 아닌 여유용량을 이용하여 복구를 해주는 방법[1,5,6,8,10,12,14]으로, 설비이용 효율 측면에서는 좋으나 복구 시간이 약간 느리다는 단점이 있다. 마지막으로, 사용중인 서비스 중 우선 순위가 낮은 서비스를 중단시키고 대신 우선 순위가 높은 장애 서비스를 수행하는 방법[3]으로 복잡한 제어 알고리즘이 필요한 방법이다. 이외에 소프트웨어의 장애에 대비 위한 여러 방안[13]이 연구되고 있다.

본 논문은 일반적인 전송망의 장애에 대해 자동복구를 수행하기 위한 알고리즘을 소개하고 비교하였다. 또한 DCS들을 광섬유를 통해 구성한 일반적인 구조의 통신망에서 발생 가능한 장애에 대처할 수 있도록 본 연구자가 설계하고 구현한 복구알고리즘을 사례로 제시한다.

2. 통신망 구조

망의 장애를 유발하는 것은 여러 가지가 있을 수 있으므로, 장애 상황에 적절한 복구 방식을 적용해야 한다. 망 복구 방식[15]은 적용 대상에 따라 트래픽(traffic) 복구와 장치(facility)복구로 나눌 수 있다. 트래픽 복구는 신호의 지연(delay) 및 불통(blocking)을 관리하기 위해 장애 신호당 단일 우회 경로만 찾아주면 되는 문제로 정형화(formulation) 되므로 쉽게 풀 수 있으나, 장치 복구는 망 가용도를 관리하기 위해 장애난 선로 상에 흐르던 다수의 신호에 대해 각각 우회루트를 설정해줘야 하는 Multi-commodity 문제로 정형화되는데, 이 문제는 NP-Hard문제로 알려져 있다. 따라서, 운용될 망에 적합한 발견적(Heuristic) 알고리즘을 찾기 위한 연구가 많이 수행되고 있는데 본 논문은 장치 복구를 중심으로 다룬다.

장치 복구의 주요 대상인 전송망의 전송

방식은 망 동기화(synchronization) 여부에 따라 ATM(Asynchronous Transfer Mode)망과 STM(Synchronous Transfer Mode)망으로 구분할 수 있다. STM망은 망내의 모든 노드가 단일클럭(clock)으로 운용되므로 이러한 버퍼는 필요하지 않고, 각 정보를 정해진 프레임(frame)으로 구성하여 장치간 송.수신한다. 또한 전송망에 적용하는 교환방식에 따라 패킷교환 방식과 회선교환 방식으로 나눌 수 있는데, 정보 송.수신을 위한 경로 변경이 별로 필요하지 않은 고속의 데이터 전달망을 전송망으로 주로 설정하므로 전송망에서는 회선교환방식이 주류를 차지한다. 회선교환 방식은 연결지향형(connection-oriented) 서비스를 하기 위한 방식으로, 송.수신을 위해 두 노드간 경로를 미리 설정한 후 설정된 경로를 통해 통신 서비스를 수행한다. 본 논문에서는 회선교환 방식을 이용하고 TDM(Time Division Multiplexing) 형태의 다중화 방식을 이용하는 STM망에서의 장애 복구에 대한 것을 다룬다.

2.1 망 장애

망을 구성하는 노드나 링크의 장애는 많은 서비스의 손실을 유발하게 되는데, 망 장애는 운용자 오류에 의한 장애(광섬유 절단, 프로그램 오류, 데이터베이스 오류, 장치의 설치시 오류 등)와 자연 재해에 의한 장애(폭풍, 홍수, 화재, 번개 등)로 구분할 수 있다. 링크 장애의 경우 STM-16 신호의 전송시 링크 장애가 발생되면 125 μ s당 VC3신호 48개가 손실되고, N개의 광링크가 연결된 노드의 장애가 발생하면 48N개의 VC3가 손실된다. 장애의 원인별 다른 복구 절차가 필요하므로 장애의 유형 및 원인의 감지 기능을 가진 망 노드를 사용하는 것이 망 가용도를 향상시키기 위해 필요하다.

망의 장애에 대해서 만족할 만한 성능을 유지하는 능력 및 서비스 중단(service outage)을 예방하는 능력을 망 생존성(network survivability)라 하는데, 통신망의 물리적인 장애 및 자연 재해로 인해 통신 서비스가 중단되는 것을 막기 위한 능력을 말한다. 따라서, 망 생존성의 증진을 위해서는 망 노드 장치 및 망의 중복설계, 고 신뢰도 장치 개발, 적절한 정비와 기능/성능 감시 및 신속한 복구/수리가 필요하다.

2.2 알고리즘 성능

망 복구를 위한 알고리즘은 NP-hard 문제이므로 발견적 알고리즘의 개발에 중점을 두고 있는데, 통신을 위해 이용될 알고리즘은 빠른 처리를 위해 계산량(computational load)이 작은 것이 특히 필요하다.

장애가 발생한 망의 형태, 복구의 시급성 또는 복구에 가용한 비용 한도 등에 따라 여러 형태의 알고리즘을 생각할 수 있는데, 일반적으로 다음의 기준[3,9]들을 만족시키는 알고리즘이 좋다.

- 빠른 복구시간

- 많은 복구 수준
- 높은 여유채널 활용도
- 넓은 적용 범위
- 적은 메시지 양

3. 망복구 알고리즘 종류

통신을 위한 약속인 프로토콜을 지킬 수 있는 노드들 간에만 통신이 가능하므로 이를 정하기 위한 노력이 국제표준기구 및 국내표준화 기관에서 수행 중이다. 망 복구를 위한 프로토콜은 현재 표준화를 위해 진행중인 상태이다.

망 복구를 위한 통신망에서의 장치 복구 방식은 복구를 위해 전용 장치를 이용하는지의 여부에 따라 전용(dedicated/static)장치 복구와 다이나믹(dynamic)장치 복구로 나눌 수 있다. 전용 장치 복구 방식은 복구를 위해서 미리 준비된 장치(링크나 노드)를 이용하는 것으로, APS(Automatic Protection Switching), SHR(Self Healing Ring) 및 이중 홈(Dual Homing) 방식 등이 있다. 다이나믹 복구 방식은 장애가 발생한 신호의 전송을 위해서 운용중(working)인 링크의 여유채널을 이용하여 복구하는 방식으로, 제어 구조, 신호 복구 레벨 및 재루팅(rerouting) 경로 계획 등에 따라 여러 가지 방식이 있다.

5. DCS 망 복구 알고리즘 구현 예

망의 복구를 위해서는 동기식 디지털 계위 신호 내의 헤더(header, overhead)를 잘 이용할 수 있고 방송(broadcasting)기능, 스위칭 기능 및 동적인 구성설정(dynamic reconfiguration) 기능을 가진 망 노드 장치가 필요하고, 이들 내에는 모두 같은 망복구알고리즘이 수행될 수 있어야 한다. 또한 망 복구 알고리즘 자체가 완전하다고 하여도 복구에 이용할 우회 루트가 실질적으로 존재하지 않는다면 복구는 불가능하므로, 복구할 두 노드간에 적어도 한 개의 우회 루트를 구성할 수 있을 만한 여유 용량을 망의 노드 및 링크가 가지고 있어야하는데, 본 구현 예는 $2^{16}-1(65,535)$ 개 이하의 DCS 및 광섬유로 구성된 전송망을 적용 대상으로 다음 사항들을 고려하여 구현[1,7,8,11]하였다.

- 분산 제어 하에서의 동(dynamic) 계획을 이용한 선로(Line) 복구 방식으로 망 장애를 복구한다.

- 복구 유니트는 VC3로 하나, VC4급의 신호 단위의 복구도 수행한다.

- DCS 간 복구를 위한 메시지 통신을 위해 RSOH(Regenerator Section OverHead)내의 DCC(Data Communication Channel) 채널(D1~D3)을 이용한다.

- 빠른 우회 경로를 찾기 위한 방안으로서, k-최단 경로(shortest path)는 메시지가 구동자/조달자(Sender/Chooser) 노드에 도착하는 순서로서 결정되나, 알고리즘 수행 도중에는 관련 경로에 포함된 노드의 수(Hop Count)로

서 판단한다.

○ 한번에 가능하면 많은 데이터를 전송할 수 있는 경로(minimum cost path)를 찾기 위해서는 구동자 및 조달자 노드에서 약간의 전송 지연은 피할 수 없는데, 이 전송 지연 시간은 메시지의 도착 갯수(SD:Search Duration)로 설정하여 관리 및 이용한다.

○ 메시지 맵(map)의 크기(소요 메모리의 크기)를 줄이기 위해, 우회 루트로 설정될 수 없는 경로로의 HELP/ACKnowledgement 메시지 전송(방송)은 가능하면 빨리 중지하기 위한 방안들을 반영한다.

○ 동일한 노드 및 링크를 여러 곳(path)에서 이용하려고 하는 경우에 대비해서, 여유용량 사용의 우선 순위는 FCFS(First Come First Service)로 한다.

각 노드의 망 복구 관련 기능은 전송 장치(DCS)의 신호제어 기능블럭내 비휘발성메모리 상에서 망 복구 기능이 수행되도록 프로그램(SHM)을 적재해서 장애시 자동복구가 수행되도록 한다. GUI(Graphic User Interface)를 이용하여 망 운영자가 초기화를 위한 정보를 입력하면 신호제어 기능 블럭은 이 정보를 망 복구를 위해 관리하고, 광 신호 입/출력 기능블럭의 입출력 신호 구성 설정을 포함한 초기화를 신호스위칭 기능블럭을 이용하여 수행한다. 입출력 상태감지 기능블럭은 광 신호의 입/출력 상태를 감지하는 역할을 하며 장애가 발생하거나 수리가 되면 이를 신호제어 기능블럭에 알려서 장애복구 또는 원 상태 복구가 수행되도록 한다.

DCS를 이용하는 망 복구 알고리즘은 분산제어 구조를 적용하므로 각 DCS에서 각기 다른 처리를 동시에 할 수 있는 형태로 구성하였다. 각 DCS의 전원을 켜고 망 운영자가 GUI를 통해 자신의 장치에 직접 연결된 망의 구성 상태, 장애 복구 경로의 길이(Hop Count) 제한 값(RP)과 각 장치간 여유 채널 정보를 입력하는 것으로부터 망복구알고리즘은 시작한다. 광링크의 장애가 발생하면, 입출력상태감지 기능블럭에서 이를 감지하여 신호제어 기능블럭내의 망 복구 모듈(SHM)에 전달한다. 이 정보를 수신한 SHM은 장애가 발생한 링크 상에 흐르던 구성 정보를 파악하여 장애 복구를 시작한다. 노드의 장애가 발생하는 경우는 다중 링크(multiple link) 장애와 같은 현상을 보이게 되고 장애를 감지한 두 노드 중 ID가 작은 것이 구동자(Sender)가 되고 ID가 큰 것이 조달자(Chooser)가 된다. 장애 복구 방식을 적용하기 위해서는 메시지를 주고 받는 종단점이 되는 두 노드(Sender와 Chooser)가 필요한데, 구동자는 HELP 메시지 및 COnFirmation 메시지를 조달자 쪽으로 보내고, 조달자는 ACKnowledgement 메시지를 구동자 노드 쪽으로 보내는 역할을 하며, 이 때 각 메시지의 대표적인 종단점은 구동자와 조달자이다.

이들 노드간의 상태 천이는 구동자의 경우에는 휴지상태-> HELP 메시지 방송 -> 우회

루트 구성 -> 휴지 상태의 천이를 하고, 중간자(Intermediate)의 경우는 휴지 -> HELP 메시지 방송 -> ACK 전송 -> 우회루트 구성 -> 휴지 상태로의 천이를 하며, 조달자는 휴지 -> ACK 전송 -> 우회루트 구성 -> 휴지 상태의 천이를 한다. 여기서 각 상태는 다음을 의미한다.

○ 휴지 상태 : 망 장애가 발생하지 않은 정상적인 상태로, 망 장애 처리 요구 메시지를 기다리는 상태

○ HELP 메시지 방송 상태 : 망 장애가 발생하여 우회 루트를 찾기 위한 과정이 수행된 상태

○ ACK 전송 : 찾아진 우회루트 등에 대하여 여유용량을 확보하는 과정이 수행된 상태

○ 우회루트 구성 : 선택한 우회루트를 통해 새로이 형성한 구성 정보를 수행시킨 상태

6. 결론

고속 대용량 전송망에서의 장애는 심각한 문제를 야기할 수 있으므로, 장애가 발생하면 신속히 이에 대처할 수 있는 생존성(Survivability)이 필요하다. 그러나, 이러한 망 장애의 유형과 시점은 예측 불가능하므로, 발생 가능한 여러 유형에 대비 위한 적절한 복구 알고리즘이 설정되어야 한다. 이를 위해 본 논문에서는 통신망에서 발생할 수 있는 장애의 유형을 살펴보고, 현재 구현 완료 단계인 DCS 망을 위한 망 복구 알고리즘(SHM)을 구현 예로 제시했는데, 이 알고리즘을 위한 전제사항으로부터 알 수 있듯이 SHM은 모든 유형의 장애에 대처할 수 있으므로, SHM 하나의 복구 알고리즘만 구현하여 장애에 대처하도록 해도 되지만, 보통은 여러 가지 복구 알고리즘을 실장하여 장애에 대처한다. 따라서, 각 장애 유형에 대한 적절한 알고리즘 적용 및 선택이 필요하고 이들을 관리 위한 체계가 필요하다.

본 논문에서 일부 언급하고 있는 바와 같이 망 복구에 관련된 경영과학 연구 과제는 다음과 같은 것이 있다.

- 망 구조 설계 문제
- 망 복구 알고리즘 선택 문제
- 여유채널 양 설정 문제
- 망 성능 분석 문제

참고 문헌

- [1] 주운기, 김재근, "Line Restoration and Bandwidth Allocations in a Mesh Type of Telecommunication Network", 한국통신학회 하계 발표회 논문집, pp.8-12, 1994.
- [2] 김재근, 이동춘, 주운기, "BDCS의 기능과 SDH 망의 생존성 확보", 한국통신학회지, 제 12권, 제 3호(1995), pp.71-87.
- [3] Aidarous, S. and T. Plevyak, *Telecommunications Network Management into 21st Century : Techniques, Standards, Technologies, and Applications*, IEEE Press, New York, 1994.
- [4] Doverspike, R.D., J.A. Morgan and W.

- Leland, "Network Design Sensitivity Studies for Use of Digital Cross-Connect Systems in Survivable Network Architectures", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol.12, No.1(1994), pp.69-78.
- [5] Grover, W.D., B.D. Venables, M.H. MacGregor, and J.H. Sandham, "Development and Performance Assessment of a Distributed Asynchronous Protocol for Real-time Network Restoration", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol.9, No.1(1991), pp.112-125.
- [6] Hasegawa, S., Y. Okanoue, T.Egawa and H. Sakauchi, "Control Algorithms of SONET Integrated Self-Healing Networks", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol.12, No.1(1994), pp.110-119.
- [7] Joo, U.G. and J.H. Lee, "An Integrated Restoration Model for Survivable Transmission Networks", *IEEE Malaysia International Conference on Communications '95*, pp.9.7.1-9.7.4, 1995.
- [8] Joo, U.G., J.G. Kim and J.S. Ko, "Algorithms for Efficient Bandwidth Utilization on Survivable Transmission Networks", *International Conference on Communication Systems '94*, pp.1154-1157, 1994.
- [9] Kobrinski, H. and M. Azuma, "Distributed Control Algorithm for Dynamic Restoration in DCS Mesh Networks : Performance Evaluation", *GLOBECOM '93*, pp.1584-1588, 1993.
- [10] Komine, H., T. Chujo, T. Miyazaki, and T. Saejima, "A Distributed Restoration Algorithm for Multiple-link and Node Failures of Transport Networks", *GLOBECOM '90*, pp.459-463, 1990.
- [11] Lee, D.C., U.G. Joo and J.G. Kim, "A Study on Configuration of the SDH-based Survivable Transmission Network", *Korea Telecom International Symposium '94*, pp.197-203, 1994.
- [12] May, G. and D. Jammu, "A Distributed Architecture for Survivable SONET Transport Networks", *GLOBECOM '91*, pp.2013-2017, 1991.
- [13] Pressman, R.S., *Software Engineering - A Practitioner's Approach*, McGraw-Hill, Inc., 1992.
- [14] Sakauchi, H., Y. Nishimura, and S. Hasegawa, "A Self-healing Network with an Economical Share-channel Assignment", *GLOBECOM '90*, pp.438-443, 1990.
- [15] Wu, T.-H., *Fiber Network Service Survivability*, Artech House, Inc., Boston.London, 1992.
- [16] Wu, T.-H., D.J. Kolar and R.H. Cardwell, "Survivable Network Architectures for Broad-Band Fiber Optic Networks : Model and Performance Comparison", *Journal of Lightwave Technology*, Vol.6, No.11(1988), pp.1698-1709.