

위성 ATM 망을 위한 병렬 평면 구조 기반의 결함 허용 MIN의 설계와 신뢰도 분석

준회원 서 정 준*, 정회원 박 영 근*

Design and Reliability Analysis of a Parallel Plane Based Fault-Tolerant MIN for Satellite ATM Networks

Jeong-Jun Suh*, Young-Keun Park* *Regular Members*

요 약

위성 ATM 망은 멀티미디어 서비스를 전송하는데 있어서 사용자의 요구에 의해 큰 대역폭을 제공해줄 수 있다. 이러한 위성 ATM 망의 설계에 있어서 가장 중요한 요구사항 중의 하나는 우주에 위치하게 되는 위성 ATM 스위치의 특성으로 인한 결함 허용일 것이다. 본 논문에서는 병렬 평면 구조 기반의 8×8 결함 허용 다단 상호연결망(fault-tolerant MIN)을 제안하였다. 제안하는 결함 허용 다단 상호연결망의 특징으로는 여분 경로의 수를 많게 하기 위하여 4×4 SE를 두 개 사용하였다는 점이며, 중간에 두 스테이지는 병렬 형태의 두 평면으로 구성하였다는 점이다. 신뢰도 분석 결과 제안하는 망은 단자 신뢰도에 있어서 기존의 여러 다단 상호연결망들과 비교하여 대체적으로 비슷하거나 높은 수치를 나타내었으며, 기존의 다단 상호연결망들과 비교하여 많지 않은 링크 수로 여분 경로를 여러 개 얻었다. 또한 기존의 다단 상호연결망들과 비교하여 제안하는 망은 망의 크기에 따른 단자 신뢰도와 여분 경로의 수에 있어서 비슷하거나 우수한 성능을 나타내었다.

ABSTRACT

Satellite ATM networks will be superior to terrestrial ATM networks in the future. One of the issues in designing satellite ATM switch is fault-tolerance, and redundant paths can be used for adding fault-tolerance characteristics. In this paper, a fault-tolerant MIN (Multistage Interconnection Network) is proposed for satellite ATM networks. The proposed network consists of 2×2 , 4×4 , 1×2 , and 2×1 SEs (Switching Elements). Two planes are used in parallel for getting redundant paths at the two middle stages of the proposed network. From the evaluation, the terminal reliability of the proposed network is calculated approximately as 0.9279. There are eight redundant paths, and 64 links. The proposed network provides higher or comparable result than the existing MINs with the terminal reliability and redundant paths of various network sizes. By using the suitable number of links, it also gives higher or comparable terminal reliability than the other networks.

I. 서 론

오늘날의 멀티미디어 서비스는 음성, 영상, 데이터를 사용자들에게 QoS(Quality-of-Service)를 만족시켜 주면서 효율적으로 전송하는 것을 목적으로 한다. 이러한 여러 트래픽은 B-ISDN(Broadband-

Integrated Services Digital Network)을 통해 전송되며, B-ISDN을 지원하기 위한 중요한 기술이 ATM(Asynchronous Transfer Mode)이다. ATM은 일정한 크기의 셀(cell)을 전송하는 패킷 스위칭 기술을 말한다^{[1],[2]}. 하나의 셀은 53 Bytes로 이루어져 있으며, 각각의 셀은 5 Bytes의 헤더(header)와 48

* 연세대학교 전기·전자공학과 컴퓨터통신연구실 (ypark@yonsei.ac.kr)

논문번호: 020105-0311, 접수일자: 2002년 3월 11일

※ 이 논문은 한국과학재단 특정기초연구(1999-2-303-005-3)지원으로 수행되었음.

Bytes의 페이로드(payload)로 구성된다.

기본적으로 ATM 기술은 데이터 속도가 155 Mbps 정도이므로 이러한 빠른 속도의 데이터를 전송하려면 ATM 스위치의 역할이 무엇보다도 중요하다. 스위치에서의 입력포트와 출력포트를 연결하는 스위칭 패브릭(switching fabric)에 있어서는 셀들이 같은 출력포트로 동시에 향하는 경우에 발생하는 컨텐션(contention)문제의 해결이 필요하다. 컨텐션 문제를 해결하기 위해서 버퍼를 두며, 이러한 버퍼의 위치에 따라 스위치의 성능이 다르게 된다.

스위치의 분류에 있어서 이와 같이 셀들의 충돌이 없는 스위치를 다투블록킹 스위치라고 하며, 예를 들면 크로스바 스위치(crossbar switch), 너아웃 스위치(Knockout switch) 등이 이에 해당된다. 또한 경로를 제공하는 수에 따라 단일 경로망(single-path networks)과 복수 경로망(multiple-path networks)으로 나눌 수 있다.

여러 스위칭 구조들이 스위칭 기술 측면에서 ATM 스위칭 기술을 구현하기 위해 제안되어왔으며, 그 중에서 가장 대표적인 구조가 다단 상호연결망(MIN: Multistage Interconnection Network)이다. 다단 상호연결망은 자기-라우팅(self-routing)과 적은 지연을 지닌 망이다. 그리고 VLSI 설계에 편하며, 비용이 적게 든다는 특징이 있다. 이러한 대부분의 다단 상호연결망은 기본적으로 하나의 경로만 제공하므로 여러 개의 경로를 제공하기 위한 구조들이 제안되어왔다. 여러 개의 경로를 제공한다는 것은 결합 허용(fault-tolerance) 측면에서 고려되는데, 망의 대역폭이나 수율(throughput)이 향상되기 때문에 다단 상호연결망에서는 결합 허용에 대한 연구가 필요로 한다. 즉, 여러 개의 경로를 제공하여서 결합이 발생하였을 경우 대비할 수 있는 것이다.

다단 상호연결망이 결합 허용 특성을 지니기 위해서 여러 구조가 연구되어왔다. 예를 들어 다평면망(multiplane network)은 여러 개의 경로를 두기 위하여 다른 하나의 평면(plane)을 추가하는 망이며, 이와 같은 망은 수율은 우수하지만, 하드웨어적으로 복잡도가 증가한다는 단점을 지닌다. Benes 망과 같은 경우는 망을 중간 스테이지(stage)를 기본으로 대칭되게 설계하는 것이며, 이러한 망은 중간 스테이지까지의 결합 허용 특성을 지니지만 그 다음부터는 하나의 경로만 제공한다는 특징을 지닌다. Itoh 망은 서브스위치(subswitch)를 활용하는 망 구조이며, 경로를 여러 개 제공하지만 망이 복잡하다는 특징이 있다.

결합 허용 특성을 필요로 하는 부분은 위성망에서의 위성 ATM 스위치일 것이다. 사용자들이 급격히 늘어나고 있는 현재의 추세로 보면, 지상망에서의 스위치와는 다른 형태의 스위치가 요구된다. 그러한 요구를 만족시켜주는 스위치가 위성 ATM 스위치이다. 위성 ATM 스위치는 스위치가 우주에 존재하는 것으로 지상망에 존재하는 스위치와는 다른 요구사항을 만족하여야 한다. 즉, 먼 거리에 있는 사용자들과 큰 대역폭을 지닌 멀티미디어 서비스를 제공하기 위해서는 현재의 지상망으로는 충족시키기가 어렵다고 하는 것이다⁴⁾. 위성망은 지상망과 비교하여 다음과 같은 특징을 지닌다. 즉, 큰 대역폭의 멀티미디어 서비스를 넓은 지역으로 제공하며, 이러한 큰 대역폭을 제공하는데 있어서 사용자들의 요구에 따라 효율적으로 사용할 수 있다는 점이다. 특히 위성망에 사용되는 위성 ATM 스위치 설계에 있어서 가장 중요한 문제 중의 하나는 결합 허용일 것이다. 지상망에 존재하는 스위치와는 다르게 위성망에 존재하는 스위치는 결합이 발생하였을 경우 복구시키기가 어렵다. 그러므로 결합을 허용할 수 있는 스위치 설계가 필요한 것이다^{3),6)}.

본 논문에서는 병렬 평면 구조 기반의 결합 허용 MIN을 제안한다. 먼저, 결합 허용 MIN에 대해서 살펴보았으며, 여러 MIN들의 연구를 통해 더 나은 성능의 결합 허용 MIN을 제안하였다. 그런 후에 신뢰도 분석을 통하여 제안하는 망의 성능을 알아 보도록 하였다. 장점을 보장하면서, 최적의 경로를 획득할 수 있다.

II. 결합 허용 다단 상호연결망에 관한 연구

일반적으로 결합 허용(fault-tolerance)을 위한 방법으로 버스 인터페이스(bus interface)에서 여분(redundancy)을 두는 것을 고려할 수 있다. 결합이 발생한 모듈(faulty module)을 여분의 모듈(spare module)로 교체해주는 과정은 다음과 같다. 먼저, 스위칭 패브릭에 결합이 있는 부분이 존재하는지를 분석한다. 이러한 분석을 통해서 나온 결과는 컨트롤러에게 전달된다. 만약 어떤 모듈에 결합이 있다고 밝혀지면, 그 모듈을 고립시키고 여분의 버스 인터페이스로 교체해서 문제를 해결한다. 여기서 컨트롤러는 기존의 결합이 있는 모듈이 가지고 있는 상황을 여분의 모듈에게 알려준다. 그렇게 되면 여분의 모듈이 결합이 있는 모듈이 하는 일을 완전히 대신 수행하게 되는 것이다.

이와 같은 결함 허용 방법은 스위칭 모듈을 설계 하는데 있어서 어떻게 하면 결함이 발생하는 경우에 대응하도록 설계하는지를 알려준다. 본 논문에서 고려하는 다단 상호연결망에서는 이와는 다른 방법의 결함 허용 방법에 대해서 알아보도록 하였다.

다단 상호연결망에 결함 허용 특성을 추가하는 것은 위성망(satellite networks)에 있어서 필요로 할 것이다. 위성을 이용하면 넓은 지역에 걸쳐 서비스가 가능하며, 대역폭을 사용자들의 요구에 의해 효율적으로 사용할 수 있으므로 지상망(terrestrial networks)과 비교하여 여러 면에서 더 유리할 것으로 고려된다. 현재는 지상망이 대부분의 서비스를 수용하고 있지만, 앞으로 큰 대역폭을 사용하려면 현재의 지상망으로는 모든 서비스를 받기가 힘들 것이다. 물론 지상망에서의 더욱 빠른 속도 향상을 위해 활발한 연구가 되어 오고 있지만, 미래에는 위성망에 대한 연구가 관심을 보일 것으로 예측된다. 위성망에 관한 여러 논문들에 의하면 위성망이 가장 필요한 이유는 큰 대역폭을 누구에게나 어디로든지 제공하기 위한 것이라고 한다^{[4],[6]}. 즉, 앞으로의 대역폭이 큰 서비스를 지원하기 위해서는 현재의 지상망보다는 위성망을 활용하는 것이 더 효율적이라는 것이다.

ATM(Asynchronous Transfer Mode)은 음성, 영상, 데이터 모두를 전송할 수 있도록 해주는 B-ISDN(Broadband-Integrated Services Digital Network)의 핵심적인 스위칭 기술이다.

이러한 ATM 스위칭 기술을 실현하기 위해 여러 스위치 구조들이 제안되어 왔는데, 대표적인 방식으로 다단 상호연결망(MIN: Multistage Interconnection Network)이 있다. 다단 상호연결망은 다음과 같은 특징이 있다. 먼저, 자기-라우팅(self-routing) 기능을 지니며, 지연이 적다. 또한 VLSI 설계에 용이하며, 경제적으로 비용이 적게 든다는 특징이 있다. 이러한 다단 상호연결망을 기반으로 하는 스위치의 예로는 Banyan 스위치가 있다^[7].

다단 상호연결망을 설계하는데 있어서 결함 허용(fault-tolerance)은 중요한 문제이다. 기본적으로 다단 상호연결망은 대부분 하나의 경로만을 제공하였으므로 하나의 결함으로 인하여 입력 셀들이 출력으로 제대로 전송되지 못하게 한다. 그렇기 때문에 입력과 출력 사이에 여러 개의 경로를 제공하기 위한 여러 방법들이 제안되어 왔다. 여러 개의 경로가 존재하면 망의 대역폭을 높여주며, 망의 대역폭을 높이면 망의 수율을 향상시키게 되므로 다단 상호

연결망에 있어서 결함 허용은 중요한 문제인 것이다^[4].

대부분의 결함 허용 다단 상호연결망(fault-tolerant MIN)은 여분을 제공하지만, 스테이지마다 별도의 스위치를 위치시키면서 스위칭 구성 요소(SE: Switching Element)의 크기가 커지기 때문에 비용이 많이 든다. 또한 하드웨어적으로도 복잡한 라우팅 알고리즘으로 인하여 복잡도에 있어서 문제가 된다.

III. 제안하는 결함 허용 다단 상호연결망의 구조

본 논문에서 제안하는 망은 기존의 결함 허용 다단 상호연결망과 비교하여 다음과 같은 특징이 있다. 먼저, 결함 허용에서의 중요한 요구사항 가운데 하나인 여분 경로의 수를 더 많게 하였다. 또한 여분 경로의 수의 급격한 증가에 비하여 하드웨어적으로 크기가 급격하게 커지는 것을 막았다.

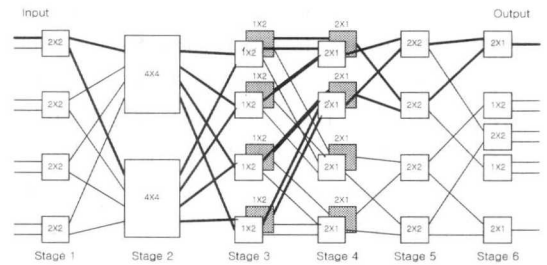


그림 1. 제안하는 망의 구조

그림 1은 제안하는 망의 구조를 나타낸다. 제안하는 망은 8x8 형태의 망이며, 사용된 SE는 2x2, 4x4, 1x2, 그리고 2x1 형태이다. 그림 1에서 진하게 표시된 링크를 살펴보면 8개의 경로가 존재한다는 것을 확인할 수 있다. 처음 스테이지에서 패킷은 2x2 SE를 통해 들어오며, 4x4 SE로 라우팅된다. 제안하는 망에는 2개의 4x4 SE들이 존재하는데, 이러한 4x4 SE들은 여분 경로를 제공해주기 위해 사용된다. 즉, 4x4 SE는 4개의 경로를 제공할 수 있으므로 많은 여분 경로 제공을 위해 사용된 것이다. 그 다음 스테이지로 라우팅될 때에는 위의 4x4 SE에 패킷이 오면 앞으로 나와있는 평면(plane)으로 하며, 아래의 4x4 SE에 패킷이 오면 안에 위치하는 평면으로 한다. 그림 1에서는 이러한 두 평면을 구분하기 편하게 하기 위하여 안에 위치하는 평면은 어둡게 하였다.

제안하는 망의 특징은 평면을 앞으로 나와있는 평면과 안에 위치하는 평면으로 두 평면을 중간 스테이지에 병렬로 두었다는 것이다. [5]에서의 망을 살펴보면 모든 스테이지마다 두 평면으로 설계한 것을 볼 수 있는데, 제안하는 망에서는 중간에 두 스테이지에만 두 평면을 두었다.

정리하면 그림 1에서처럼 입력되는 패킷은 2x2 SE에서 4x4 SE로 라우팅된 후 1x2 SE와 2x1 SE를 지나서 2x2 SE로 오며, 결국에는 2x1 SE를 지나서 출력되는 것이다. 그러므로 8개의 경로를 통해 패킷은 스테이지 사이를 라우팅하여서 출력 부분에서 하나로 모여진다. 제안하는 망의 구조를 살펴보면 1x2 또는 2x1 SE들이 많이 사용되었음을 볼 수 있다. 1x2 SE들과 2x1 SE들은 각각의 단자 신뢰도가 높기 때문에 많이 사용된 것이다. 1x2 SE는 하나의 입력에 대해서 2개의 출력을 보내는 디멀티플렉서(demultiplexer)의 기능을 하며, 2x1 SE는 2개의 입력에 대해서 하나의 출력을 보내는 멀티플렉서(multiplexer)의 기능을 하는 것이다.

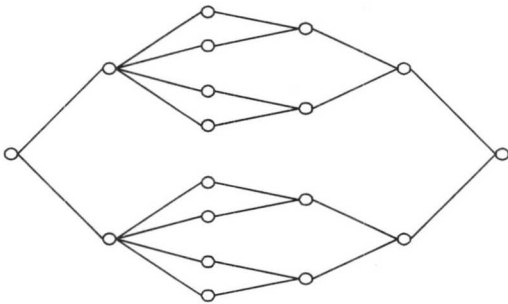


그림 2. 제안하는 망의 채널 그래프

제안하는 망의 채널 그래프는 그림 2에 나타내었다. 그림 2에서처럼 제안하는 망은 8개의 경로를 제공하므로 기존의 다단 상호연결망과 비교하여 여분 경로의 수가 더 많음을 알 수 있다.

IV. 신뢰도 분석 및 결과

4.1 신뢰도 분석

본 논문에서는 신뢰도 분석을 통하여 결합 허용 다단 상호연결망의 성능을 평가하였다. 성능 평가 파라미터로는 단자 신뢰도(terminal reliability), 여분 경로(redundant path)의 수, 그리고 링크(link)의 수를 사용하였다.

기본적으로 결합 허용망을 분석하는데 있어서 널

리 사용하는 방법은 신뢰도 분석(reliability analysis)이다. 신뢰도는 주어진 조건 속에서 특정한 기간 동안 망이 의도된 일을 하게 될 확률이다. 즉, 특정한 기간 동안 망이 살아있을 확률이라고 할 수 있다. 또한 결함(fault)은 이러한 망이 의도된 일을 하지 못할 때를 말한다. 신뢰도에 있어서 단자 신뢰도(terminal reliability)는 지정된 입출력 사이에 적어도 하나의 경로가 존재할 확률을 말한다. 여기서 단자(terminal)는 스위칭 구성 요소(SE: Switching Element)를 가리킨다. 이러한 단자 신뢰도를 통해 다단 상호연결망에서 SE들의 신뢰도를 알 수 있으므로 결합 허용을 하는 파라미터로 사용되는 것이다. 단자 신뢰도를 구하는데 있어서 SE들의 결합이 독립적이라고 고려하면 일반적인 망들은 다음과 같은 방법에 의하여 단자 신뢰도를 구할 수 있다. 그림 3은 신뢰도가 p_1 , p_2 인 단자들이 직렬로 연결된 형태이다.



그림 3. 직렬로 연결된 SE들

그러므로 직렬 형태의 단자 신뢰도 R_{series} 는

$$R_{series} = R_x \cdot R_y = p_1 \cdot p_2$$

이다.

반면에 그림 4는 신뢰도가 p_1 , p_2 인 단자들이 병렬로 연결된 형태이다.

병렬 형태의 단자 신뢰도 $R_{parallel}$ 은

$$R_{parallel} = 1 - (1 - R_x)(1 - R_y) \\ = 1 - (1 - p_1)(1 - p_2)$$

로 나타낼 수 있다.

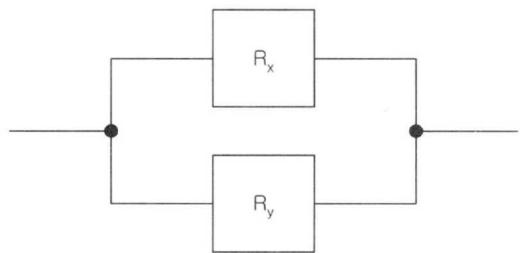


그림 4. 병렬로 연결된 SE들

그러므로 다단 상호연결망을 채널 그래프로 나타

낸 후 위의 방법들을 사용하면 단자 신뢰도를 분석할 수 있으며, 단자 신뢰도가 높을수록 보다 나은 망을 구성할 수 있는 것이다. 또한 망의 단자 신뢰도를 구하기 위해서 [5]에 나와있는 SE의 신뢰도를 고려하여 다음과 같이 SE의 신뢰도를 놓도록 한다. 여기서 $p_{2 \times 2}$ 와 $p_{4 \times 4}$ 는 각각 2×2 SE와 4×4 SE의 신뢰도를 나타낸다. 그리고 $p_{demultiplexer}$ 와 $p_{multiplexer}$ 는 각각 1×2 형태의 디멀티플렉서(demultiplexer) SE와 2×1 형태의 멀티플렉서(multiplexer) SE의 신뢰도를 나타내는 것이다.

$$p_{2 \times 2} = 0.96 \quad (1)$$

$$p_{4 \times 4} = 0.92 \quad (2)$$

$$p_{demultiplexer} = 0.98 \quad (3)$$

$$p_{multiplexer} = 0.98 \quad (4)$$

다음으로 여분 경로(redundant path)의 수는 패킷이 망에 들어와서 갈 수 있는 최대 경로의 수를 나타낸다. 결합 허용망을 설계하는 목적은 망에서 결합이 발생하는 경우에 대처할 수 있도록 하는 것이므로 성능 평가 파라미터 중에서 여분 경로의 수는 중요한 요소이다. 특히 위성 ATM 스위치를 설계하는데 있어서 하나의 경로만 제공하는 것이 아닌 여러 개의 경로 제공은 효율적인 설계의 기본이라고 고려된다. 즉, 하나의 경로만 제공하는 스위치를 설계하면 그 경로에 결합이 발생하였을 경우에 망 전체의 성능이 낮아진다.

성능 평가 파라미터 중에서 링크(link)의 수는 하드웨어적인 복잡도를 비교하는 것으로, 효율적으로 결합 허용망을 구성하기 위해서는 링크의 수를 최소로 하여서 복잡도를 줄여야 한다.

4.2 제안하는 망의 신뢰도 분석

본 논문에서 제안하는 망은 다음과 같은 방법으로 신뢰도(reliability)를 분석하였다. 신뢰도 분석 중에서 단자 신뢰도(terminal reliability)를 구하기 위해서 일반적인 직렬과 병렬 연결에 따른 각각의 값을 구하였다.

먼저, 2개의 SE들이 직렬로 연결된 경우를 살펴 보았다. 여기서 SE들의 신뢰도를 식 (1)에서 (4)로 나타낸 것처럼 변화시키면서 각각의 단자 신뢰도를 구하였다. 여기서 $p_{demultiplexer}$ 와 $p_{multiplexer}$ 의 신뢰도는 식 (3)과 식 (4)를 살펴보면 같다고 되어 있다. 2개

의 직렬 SE들의 신뢰도가 모두 $p_{demultiplexer}(p_{multiplexer})$ 인 경우의 전체 신뢰도는 $0.98 \cdot 0.98 = 0.9604$ 이다. 또한 신뢰도가 모두 $p_{2 \times 2}$ 인 2개의 직렬 SE들의 전체 신뢰도는 $0.96 \cdot 0.96 = 0.9216$ 이 된다. 신뢰도가 모두 $p_{4 \times 4}$ 인 2개의 직렬 SE들의 전체 신뢰도는 $0.92 \cdot 0.92 = 0.8464$ 이다. 표 1은 이러한 여러 상황에서의 단자 신뢰도를 계산한 것이다.

다음으로는 2개의 SE들이 병렬로 연결된 경우를 알아보도록 하였다. 직렬로 연결된 경우와 같이 식 (1)에서 (4)를 변화시키면서 각각의 단자 신뢰도를 구하였다. 신뢰도가 모두 $p_{demultiplexer}(p_{multiplexer})$ 인 2개의 병렬 SE들의 전체 신뢰도는 $1 - (1 - 0.98)^2 = 0.9996$ 이다. $p_{2 \times 2}$ 와 $p_{4 \times 4}$ 에 대해서도 정리하면 표 1과 같다.

2개의 SE들을 직렬로 연결된 경우에 신뢰도가 높은 순서대로 놓으면 $p_{demultiplexer}(p_{multiplexer})$, $p_{2 \times 2}$, 그리고 $p_{4 \times 4}$ 이다. 또한 2개의 SE들을 병렬로 연결된 경우에 신뢰도가 높은 순서대로 놓으면 $p_{multiplexer}(p_{multiplexer})$, $p_{2 \times 2}$, 그리고 $p_{4 \times 4}$ 이다.

직렬로 연결된 형태와 병렬로 연결된 형태의 단자 신뢰도를 비교하여 보면, 병렬로 연결된 형태가 전체적으로 단자 신뢰도가 더 높았다. 그러므로 망을 설계하는데 있어서 SE들을 병렬로 연결시키는 것이 직렬로 연결시키는 것보다 단자 신뢰도 측면에서 더 우수한 결과를 얻을 수 있음을 알 수 있다.

여기서 SE들의 수를 3개 이상으로 하였을 경우에도 단자 신뢰도를 계산하도록 하였다. 즉, SE들의 수가 3개와 4개인 경우에 직렬로 연결된 형태와 병렬로 연결된 형태의 신뢰도를 각각 계산하였으며, 표 1에 결과를 나타내었다.

직렬인 경우를 먼저 고려하면, 직렬로 연결된 SE들의 수가 늘어날수록 전체 신뢰도는 낮아졌다. 반면에 병렬인 경우를 고려하면, 병렬로 연결된 SE들의 수가 늘어날수록 전체 신뢰도는 높아졌다. 그러므로 망 설계에 있어서 SE들의 수를 증가시키는 경우에 있어서는 병렬 형태로 구성하는 것이 직렬 형태로 구성하는 것보다 더 향상된 단자 신뢰도를 얻게 됨을 알 수 있는 것이다.

결국 단자 신뢰도의 값이 높을수록 신뢰도에 있어서 더 향상된 망을 얻을 수 있는 것이므로 표 1을 이용한다면 망 구성을 효율적으로 할 수 있을 것이다.

제안하는 망의 단자 신뢰도를 계산하기 위하여 그림 5를 살펴보도록 한다. 즉, 단자 신뢰도의 계산을 편하게 하기 위하여 그림 2를 그림 5와 같이 스

표 1. 여러 가지 상황에서의 단자 신뢰도 분석

SE의 수		2개	3개	4개
직렬	$P_{\text{demultiplexer}}$ ($P_{\text{multiplexer}}$)	0.9604	0.941192	0.92236816
	$P_{2 \times 2}$	0.9216	0.884736	0.84934656
	$P_{4 \times 4}$	0.8464	0.778688	0.71639296
병렬	$P_{\text{demultiplexer}}$ ($P_{\text{multiplexer}}$)	0.9996	0.999992	0.99999984
	$P_{2 \times 2}$	0.9984	0.999936	0.99999744
	$P_{4 \times 4}$	0.9936	0.999488	0.99995904

페이지들을 A, B, C, D, E, F, G, H, I, J와 같은 하나의 그룹으로 구분하도록 한다. 그룹 A, B, C, D의 신뢰도는 모두 $p_{1 \times 2} = p_{\text{demultiplexer}} = 0.98$ 로 같다고 했으므로 p_A, p_B, p_C, p_D 는 모두 같다. 그러므로 신뢰도는 다음과 같이 계산한다.

$$\begin{aligned}
 p_A = p_B = p_C = p_D &= 1 - (1 - 0.98)^2 \\
 &= 0.9996 \\
 &= p_1
 \end{aligned}$$

또한 그룹 E, F, G, H의 신뢰도를 구하는데 있어서 그룹 A, B, C, D 각각의 뒤에 있는 노드의 신뢰도는 $p_{2 \times 1} = 0.98$ 로 같다. 그러므로 p_E, p_F, p_G, p_H 는 모두 같으며, 이러한 경우의 신뢰도는 다음과 같다.

$$p_E = p_F = p_G = p_H = p_1 \cdot 0.98 = 0.979608 = p_2$$

그룹 I와 J의 신뢰도를 구하는데 있어서 그룹 E, F와 G, H 각각의 앞에 있는 노드의 신뢰도는 $p_{4 \times 4} = 0.92$ 이며, 각각의 뒤에 있는 노드의 신뢰도는 $p_{2 \times 2} = 0.96$ 으로 같다. 그러므로 이러한 경우의 신뢰도는 다음과 같이 계산한다.

$$p_I = p_J = 0.92 \cdot (1 - (1 - p_2)^2) \cdot 0.96 = p_3$$

그러므로 전체 신뢰도를 구하면

$$R_{\text{Proposed}} = 0.96 \cdot (1 - (1 - p_3)^2) \cdot 0.98 \approx 0.9279$$

이다.

다음으로는 제안하는 망의 여분 경로 수를 구한다. 여분 경로는 그림 2에 있는 제안하는 망의 채널 그래프를 살펴보면 알 수 있다. 즉, 중간 스테이지에서 여분 경로가 8개 있음을 볼 수 있다. 그러므로

8×8 형태의 제안하는 망의 여분 경로 수는

$$Redundant Paths_{\text{Proposed}} = 8$$

이다.

제안하는 망의 링크 수를 계산해보면 다음과 같다. 링크의 수를 분석하기 위해 제안하는 망을 나타낸 그림 1을 살펴보도록 한다. 8×8 형태의 제안하는 망의 링크 수는 다음과 같다.

$$Links_{\text{Proposed}} = 64$$

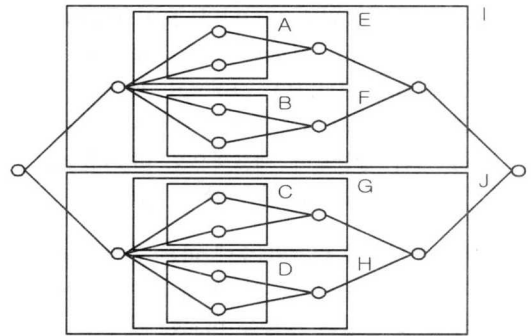


그림 5. 구분된 제안하는 망의 채널 그래프

4.3 성능 평가 및 결과

신뢰도 분석으로 얻어진 결과를 통하여 결합 허용 다단 상호연결망의 성능 평가를 수행하였다. 성능 평가를 위한 파라미터로는 단자 신뢰도(*terminal reliability*), 여분 경로(*redundant path*)의 수, 그리고 링크(*link*)의 수를 이용하였으며, 이러한 파라미터들을 이용하여 여러 망들의 신뢰도를 분석하였다.

1) 단자 신뢰도와 여분 경로에 따른 분석 결과

먼저, 표 2는 단자 신뢰도와 여분 경로에 따른 여러 8×8 망들의 비교를 나타낸다. 기본적으로 단자 신뢰도가 높다는 것은 망의 성능이 우수한 것이며, 또한 여분 경로가 많다는 것도 망의 성능이 우수하다는 것이다. 특히 여분 경로는 결합 허용 특성을 필요로 하는 위성 ATM 망 설계에 있어서 중요한 파라미터가 될 것이다.

표 2에서 8×8 형태의 *baseline* 망은 단자 신뢰도가 0.884736이며, 하나의 경로만을 제공하기 때문에 다른 망들과 비교하여 성능이 낮다는 것이다. 반면에 제안하는 망은 0.9279 정도의 단자 신뢰도를 얻었으며, 여분 경로는 8개를 제공하므로 망의 성능이 비교적 우수한 것으로 나타났다. 다평면망과 같은 경우는 단자 신뢰도에 있어서 제안하는 망보

표 2. 단자 신뢰도와 여분 경로에 따른 여러 8×8 망들의 비교

망형태 파라미터	Baseline 망	Multiplane 망	Benes 망	Anan과 Guizani 망	제안하 는 망
단자 신뢰도	0.884736	0.9476	0.9157	0.9421	0.9279
여분 경로	1	2	4	8	8

다 높은 수치를 나타내지만, 여분 경로에 있어서는 제안하는 망이 더 많게 나타났다. 또한 Benes 망은 단자 신뢰도와 여분 경로에 있어서 제안하는 망보다 성능이 낮게 나타났다. 그러므로 제안하는 망은 단자 신뢰도와 여분 경로 분석에 있어서 표 2에 있는 다른 여러 망들보다 대체적으로 비슷하거나 우수한 성능을 나타낸다는 것을 알 수 있다.

2) 단자 신뢰도와 링크의 수에 따른 분석 결과

다음으로 표 3은 단자 신뢰도와 링크의 수에 따른 여러 8×8 망들의 성능을 비교한 것이다. 망 설계에 있어서 하드웨어적인 복잡도를 줄이기 위해서는 링크의 수를 최소로 하는 것이 필요하므로 망에서의 링크 수는 적을수록 더 성능이 우수한 것이다.

표 3. 단자 신뢰도와 링크의 수에 따른 여러 8×8 망들의 비교

망형태 파라미터	Baseline 망	Multiplane 망	Benes 망	Anan과 Guizani 망	제안하 는 망
단자 신뢰도	0.884736	0.9476	0.9157	0.9421	0.9279
링크의 수	16	64	64	64	64

예를 들어 표 3에서 Benes 망과 같은 경우에는 링크의 수가 64개이므로 제안하는 망에서의 링크 수와 같지만, 단자 신뢰도에 있어서는 제안하는 망이 더 높으므로 결과적으로 제안하는 망이 더 나은 성능을 나타낸다는 것을 알 수 있다. 단자 신뢰도를 계산하면, 다평면망의 단자 신뢰도는 0.9476 정도이므로 제안하는 망의 단자 신뢰도인 0.9279 정도보다 높게 나왔다. 또한 링크의 수에 있어서 제안하는 망은 baseline 망보다 더 많게 나타났다. 기본적으로 baseline 망은 경로를 하나만 제공하기 때문에 여러 개의 경로를 제공하는 제안하는 망과 비교하여 상

대적으로 적은 수의 링크가 존재하는 것으로 고려된다. 그러나 단자 신뢰도 측면에서는 제안하는 망이 baseline 망보다 더 나은 성능을 나타낸다. 결국 표 3의 여러 망들과 비교하면 제안하는 망은 단자 신뢰도와 링크의 수 분석에 있어서 대체적으로 비슷하거나 약간 우수한 성능을 나타낸다는 것을 볼 수 있다.

3) 여분 경로와 링크의 수에 따른 분석 결과

여분 경로와 링크의 수 분석은 표 4에 나타내었다. 결합이 발생하였을 때 대처할 수 있도록 여러 개의 경로를 제공하는 것은 위성 ATM 망에서의 스위치 설계에 있어서 중요한 요소가 될 것이다. 그러므로 위성 ATM 망에 있어서는 여분 경로의 수가 많을수록 더 나은 성능의 스위치를 얻을 수 있다.

표 4. 여분 경로와 링크의 수에 따른 여러 8×8 망들의 비교

망 형태 파라미터	Baseline 망	Multiplane 망	Benes 망	Itoh 망	Tagle 과 Sharma 망	Anan 과 Guizani 망	제안 하는 망
여분 경로	1	2	4	5	8	8	8
링크의 수	16	64	64	36	96	64	64

결과적으로 여분 경로의 수는 많을수록 결합 허용 특성을 지니므로 성능이 더 높아지는 것이며, 링크의 수는 적을수록 하드웨어적으로 복잡도를 줄이기 때문에 성능이 더 높아지는 것이다. 제안하는 망은 표 4를 살펴보면, 링크 수에 있어서는 baseline 망과 Itoh 망보다 많다. 그러나 경로를 하나만 제공하는 baseline 망이나 5개의 경로를 제공하는 Itoh 망보다는 상대적으로 더 많은 8개의 경로를 제공하므로 위성 ATM 망에서의 스위치 설계를 위한 결합 허용 측면에서는 더 효율적인 구조라고 고려된다.

4) 망의 크기에 따른 단자 신뢰도 분석 결과

먼저, 그림 6은 망의 크기에 따른 단자 신뢰도 분석 결과를 나타낸다. 망의 크기가 3인 경우에 baseline 망의 단자 신뢰도는 0.884736이며, 제안하는 망의 단자 신뢰도는 0.9279 정도로 나왔다. 그렇지만 망의 크기가 10인 경우에 baseline 망의 단자 신뢰도는 0.6648 정도로 낮아졌으며, 제안하는 망은 0.9149306 정도로 망의 크기가 3인 경우와 비교하

여 큰 차이를 보이지는 않았다. 그러므로 망의 크기가 변함에 따라 baseline 망의 단자 신뢰도는 제안하는 망과 비교하여 급격하게 낮아짐을 볼 수 있다.

또한 망의 크기가 3인 경우에 다평면망의 단자 신뢰도는 0.9476 정도로 제안하는 망의 단자 신뢰도 0.9279 정도와 비교하여 약간 높게 나타났다. 그러나 망의 크기가 10인 경우에 제안하는 망의 단자 신뢰도는 0.9149306 정도로 다평면망의 단자 신뢰도 0.8525 정도보다 높게 나타났음을 알 수 있다. 그러므로 망의 크기에 따른 단자 신뢰도에 있어서 다평면망은 제안하는 망보다 더 급격하게 감소된다는 것을 볼 수 있다.

Benes 망과 같은 경우에는 망의 크기에 따른 단자 신뢰도에 있어서 제안하는 망이 약간 더 우수함을 알 수 있다.

다음으로 Anan과 Guizani 망과 같은 경우에는 망의 크기가 3일 때 단자 신뢰도가 0.9421 정도로 제안하는 망의 단자 신뢰도 0.9279 정도와 비교하여 약간 높게 나타났다. 그러나 망의 크기가 10인 경우에 제안하는 망의 단자 신뢰도는 0.9149306 정도로 Anan과 Guizani 망의 단자 신뢰도 0.9007 정도보다 높게 나타났음을 알 수 있다. 즉, 망의 크기에 따른 단자 신뢰도에 있어서 Anan과 Guizani 망은 제안하는 망보다 더 급격하게 감소된다는 것을 볼 수 있다.

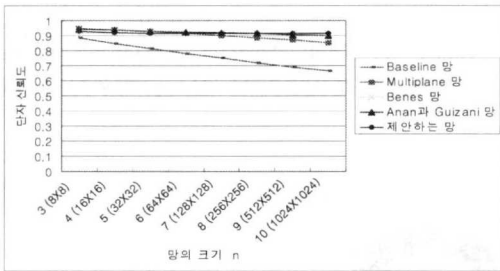


그림 6. 망의 크기에 따른 단자 신뢰도

결국 그림 6을 살펴보면 망의 크기가 작은 경우에 제안하는 망은 다른 여러 망들과 비교하여 대체적으로 비슷한 성능을 나타내었다. 그러나 망의 크기가 커짐에 따라 다른 여러 망들의 단자 신뢰도가 급격하게 낮아지는 것과는 대조적으로 제안하는 망의 단자 신뢰도는 급격히 낮게 나타나지는 않았다.

5) 망의 크기에 따른 여분 경로 분석 결과
다음으로 그림 7은 여러 망들에 대해서 망의 크

기에 따른 여분 경로를 비교한 것이다.

그림 7에서 망의 크기가 3인 경우에 Tagle과 Sharma 망, Anan과 Guizani 망, 그리고 제안하는 망의 여분 경로 수는 다평면망, Benes 망, 그리고 Itoh 망의 여분 경로 수보다 많게 나타났다.

다평면망과 Benes 망 같은 경우는 망의 크기가 커짐에 따라 여분 경로의 수가 제안하는 망처럼 증가하지 못하게 된다. 여기서 Itoh 망의 여분 경로 수는 망의 크기가 커짐에 따라 매우 급격하게 증가함을 볼 수 있다. 즉, Itoh 망을 제외하고는 제안하는 망은 다른 여러 망들과 비교하여 여분 경로의 수 분석에 있어서 대체적으로 비슷하거나 약간 우수한 성능을 나타낸다는 것을 볼 수 있다.

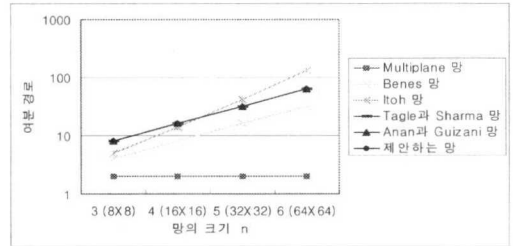


그림 7. 망의 크기에 따른 여분 경로

본 논문에서 8x8 형태의 망을 제안하는데 있어서 가장 중요한 점은 결합 허용 측면이었다. 즉, 위성 ATM 망에서의 스위치 설계를 위한 여러 개의 경로를 제공할 수 있는 구조를 제안하는 것이 관건이었다. 망을 제안한 결과 기존의 망들과 비교하여 많거나 비슷한 수의 여분 경로를 얻을 수 있었다. 이러한 여분 경로를 제공하면서 단자 신뢰도를 분석한 결과 기존의 망들과 대체적으로 비슷한 수치를 얻을 수 있었으며, 링크의 수에 있어서도 여러 개의 경로를 제공하는 것에 비하여 많지 않은 수의 링크가 존재함을 알 수 있었다. 또한 기존의 망들과 비교하여 제안하는 망은 망의 크기에 따른 단자 신뢰도와 여분 경로의 수에 있어서 비슷하거나 우수한 성능을 보였다.

V. 결론

현재의 데이터 전송은 지상망에서의 스위치가 대부분을 차지하고 있지만, 사용자들의 급격한 증가로 인하여 다른 서비스 방법을 요구하고 있다. 그런 면에서 위성 ATM 망은 여러 가지 면에서 더 나은

방법으로 고려된다. 즉, 사용자들이 요구하는 대역 폭을 먼 지역에 걸쳐서 제공하는 위성 ATM 망은 지상망에서의 트래픽 증가를 해결해줄 수 있는 망인 것이다. 이러한 위성 ATM 망에서 사용되는 위성 ATM 스위치는 지상망에서의 ATM 스위치와는 다른 여러 요구사항을 필요로 한다. 여러 요구사항 중에서 가장 중요한 부분 중의 하나는 결합 허용일 것이다.

일반적으로 ATM 스위치는 빠른 속도의 데이터를 스위칭하며, 이러한 ATM 스위칭 기술을 구현하기 위한 구조 중에서 MIN이 있다. MIN은 스위칭을 하는데 있어서 여러 스테이지를 이용하는 방식으로 자기-라우팅을 하며, 지연이 적다는 등의 특징이 있다. 그러나 대부분의 MIN은 경로를 하나만 제공하므로 결합 허용에 있어서는 적합하지 않다. 예를 들면 baseline 망과 같은 형태는 하나의 경로만을 제공한다. 그러므로 여러 개의 경로를 제공하기 위한 망들이 연구되어왔다. 이러한 경로를 여러 개 제공하기 위한 기존의 망들로는 다평면망, Benes 망, 그리고 Itoh 망 등을 예로 들 수 있다.

본 논문에서는 기존의 결합 허용 MIN들과 제안하는 결합 허용 MIN을 비교하였다. 성능 평가를 위해 신뢰도 분석을 수행하였으며 신뢰도 분석을 위한 파라미터로 단자 신뢰도, 여분 경로, 그리고 링크의 수를 사용하였다.

제안하는 병렬 평면 구조 기반의 8x8 결합 허용 MIN의 특징은 여러 개의 경로를 제공하면서도 단자 신뢰도에 있어서는 기존의 8x8 MIN들보다 비슷하거나 높다는 것이다. 또한 기존의 8x8 MIN들과 비교하여 많지 않은 링크의 수를 사용하여 여러 개의 경로를 제공하도록 한 것이다. 즉, 신뢰도 분석 결과 제안하는 8x8 결합 허용 MIN은 단자 신뢰도가 0.9279 정도였으며, 64개의 링크를 사용하면서 8개의 여분 경로를 제공하였다. 망의 크기에 따른 단자 신뢰도와 여분 경로의 수에 있어서 제안하는 망은 기존의 MIN들과 비교하여 비슷하거나 우수한 성능을 나타내었음을 알 수 있었다.

그러므로 위성 ATM 망의 다른 요구사항들을 만족한다고 하면, 제안하는 결합 허용 MIN은 위성 ATM 망에 사용될 수 있을 것이다. 앞으로는 위성 ATM 망에 대한 폭넓은 연구를 통해 위성망의 정확한 특성을 알아보는 것이 필요하다고 고려된다. 또한 위성 ATM 망에서의 트래픽에 대한 연구와 큐잉(queueing)에 관한 연구도 필요할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] Ellen W. Zegura, "Architectures for ATM Switching Systems," *IEEE Communications Magazine*, vol. 31, no. 2, pp. 28-37, Feb. 1993
- [2] H. Ahmadi and Wolfgang E. Denzel, "A Survey of Modern High-Performance Switching Techniques," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 7, no. 7, pp. 1091-1103, Sept. 1989
- [3] M. Wittig, "Satellite Onboard Processing for Multimedia Applications," *IEEE Communications Magazine*, vol. 38, no. 6, pp. 134-140, June 2000
- [4] N. Kamiura, T. Kodera, and M. Matsui, "Design of a Fault Tolerant Multistage Interconnection Network with Parallel Duplicated Switches," *Proc. of IEEE International Symposium on Defect and Fault Tolerance in VLSI Systems*, pp. 143-151, 2000
- [5] M. Anan and M. Guizani, "A Fault Tolerant ATM Switching Architecture," *Conference Proc. of the IEEE IPCCC '00*, pp. 295-301, 2000
- [6] S. Verma, "Broadband via Satellite," *IEEE TENCON '98*, vol. 2, pp. 603-606, 1998
- [7] Vijay P. Kumar, et al., "PHOENIX: A Building Block for Fault Tolerant Broadband Packet Switches," *GLOBECOM '91*, pp. 228-233, 1991

서 정 준(Jeong-Jun Suh)

준회원

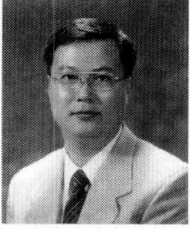


1999년 2월 : 중앙대학교
제어계측공학과(학사)
2001년 8월 : 연세대학교
전기·전자공학과(석사)
2001년 9월~현재 : 연세대학교
전기·전자공학과
박사과정

<주관심 분야> 위성 ATM 망, PPP

박 영 근(Young-Keun Park)

정회원



1986년 2월 : 연세대학교

전기공학과(학사)

1990년 8월 : University of

Minnesota 전기공학과

(석사)

1993년 12월 : University of

Minnesota 전기공학과

(박사)

1994년 1월~1996년 2월 : University of Minnesota

전기공학과(Post Doc.)

1996년 3월~2001년 8월 : 연세대학교 기계전자공학

부 조교수

2001년 9월~현재 : 연세대학교 기계전자공학부

부교수

<주관심 분야> 컴퓨터 네트워크, 멀티미디어 통신망,

ATM 교환기, 신경회로망 응용