

# ATM VP 네트워크의 단점간 신뢰도 계정

정회원 이준혁\*, 오영환\*\*

## Terminal-Pair Reliability Evaluation in ATM VP(Virtual Path) Networks

Jun-Hyuk Lee\*, Young-Hwan Oh\*\* *Regular Members*

### 요약

본 논문에서는 경로추적법에 의한 ATM VP 네트워크의 신뢰도를 계정하기 위한 알고리즘을 제안하였다. 네트워크의 단점간 신뢰도를 계정하기 위해서 먼저, 단점간 모든 가상패스 경로(VP routes)를 구하고 이것에 의해 단순경로를 결정한다. 다음, 단순경로간의 AND연산에 의해 유효한 그룹(valid group)을 구하고 이 valid group간에 샤프산법을 적용시켜 단점간 신뢰도를 계정하였다. 제안한 알고리즘은 논리연산자를 이용하였기 때문에 valid group을 결정하는 문제와 연산 과정에서 중복된 사상을 제거하는데 있어서 더욱 기계적으로 처리할 수 있는 이점이 있다.

**Key Words** : Reliability, ATM VP(Virtual Path) Networks, Sharp operation

### ABSTRACT

In this paper, an algorithm for evaluating the reliability in a ATM virtual path network is presented by using path tracing method. The evaluation process is consisted of three parts. The sets of all VP routes between two nodes in a network are determined. Simple paths depends on the VP routes set of a given network. In the case of considering the capacity of links and nodes, the valid groups between all simple paths are determined by using AND operation. The terminal-pair reliability is evaluated using sharp operation between all valid group. The presented algorithm revealed that the valid groups are easily determined and overlapped events are reduced by using logic operator and the process has the merit of systematic operation.

### I. 서론

ATM(Asynchronous Transfer Mode)은 고속광대역통신(B-ISDN)을 실현하기 위한 비동기시분할 다중화전송방식을 사용하는 패킷지향 전송방식으로 다중화된 정보의 흐름이 셀(Cell)이라고 부르는 고정된 블록을 이용하고 있다. 또한 ATM은 동일한 수신처 레이블 주소를 가진 셀의 송신 개수를 변화시킴으로써 통신채널의 대역용량을 시간적으로 바꿀 수 있다. 이때 레이블 주소는 계층화되어 있으며,

가상채널(Virtual Channel ; VC)과 가상경로(Virtual Path : VP)로 나누어진다. 여기서 VP는 한 다발의 VC를 의미하는데 이때 모든 VC는 동일한 종단점을 가지고 있다. 또한 VP는 하나 또는 그 이상의 물리링크(Physical link)내에 내장(embed)되어 있다.

네트워크에서의 접합점(node)은 교환(switching), 착신(terminating) 및 중계(transit exchange)기능이 있다. 특히 중계기능을 하는 접합점을 VP 스위치라고 하고, 교환 및 착신 기능을 하는 접합점을 VP/VC 스위치라고 한다. ATM VP 네트워크에서의

\* 한국정보통신기술대학 정보통신설비과 (jhlee@icpc.ac.kr), \*\* 광운대학교 전자통신공학과 (yhoh@daisy.kw.ac.kr)  
논문번호 : 08027-0506, 접수일자 : 2008년 5월 6일

단점간 신뢰도(Terminal-pair Reliability ; TR)는 두 VP 단점 간에 통신이 성공적으로 이루어질 확률 값을 구하는 것이다.

지금까지 전통적인 네트워크의 단점간 신뢰도 계정 방법에 대해서는 많은 연구가 이루어지고 있는데 몇 가지 방법론에 따라서 분류하면 다음과 같다.

먼저, 통신량을 성공적으로 전송할 수 있는 지로 및 접합점의 한계값 즉, 용량이 고려되지 않은 경우에 대해서, 단순경로를 바탕으로 Fratta<sup>등</sup><sup>14</sup>은 부울 대수식을 반복 적용시키는, KIM<sup>등</sup><sup>15</sup>은 행렬적용, Locks<sup>등</sup><sup>17-19</sup>은 도표를 이용하는 알고리즘을 제안하였다. Satyanarayana<sup>등</sup><sup>10-12</sup>은 트리방법(tree method)을 이용하여 통신망의 스패닝트리(spanning tree)를 구하고 연결행렬(incidence matrix)로 부터 최소 컷셀 행렬(minimal cut set matrix)을 구하는 알고리즘을 제안하였다. Satyanarayana<sup>등</sup><sup>13-14</sup>은 factoring 정리를 반복 적용시키는 알고리즘을 제안하였다. Nakazawa<sup>등</sup><sup>15-16</sup>은 통신망을 분배 및 감축시키는 감축지로(reduction branch)이용하는 알고리즘을 제안하였다. Steen J. Hsu<sup>등</sup><sup>17</sup>은 단순경로 및 최소컷셀 방법을 병행하였다.

다음, 용량이 고려된 경우에는, Lee<sup>18</sup>는 flow 개념을 도입하여 신뢰도를 계정하는 알고리즘을 제안하였으며, Aggarwal<sup>19</sup>은 통신망에서 특정한 정보량을 성공적으로 전송시킬 수 있는 지로의 집합 즉, valid group을 행렬을 이용하여 구하고 이를 이용하여 신뢰도를 계정하는 알고리즘을 제안하였다. 그러나 지로가 비 방향성인 경우 이 알고리즘은 성립하지 않는다. Singh<sup>20</sup>는 스타-델타 변환법을 반복적으로 적용시켜 신뢰도를 계정하는 알고리즘을 제안하였다. 그러나 이 방법은 네트워크를 분해, 축소시키는 반복적인 변환 과정을 수반하게 된다.

본 논문에서는 용량이 고려된 ATM VP 네트워크의 두 VP 단점(Source-Sink ; s-t)간의 신뢰도를 계정하기 위해서 경로추적방법(path tracing method)을 바탕으로 먼저, s-t간 모든 VP routes를 구하고 이를 바탕으로 단순경로들을 구한다. 다음, 단순경로들 간의 AND연산에 의해 valid group을 구하고 이 valid group간에 샤프산법(Sharp operation)을 적용시켜 단점간 신뢰도를 계정하는 알고리즘을 제시하였다.

본 논문에서도 통신망의 신뢰도를 계정하는데 있어서 일반적으로 채택되고 다음 가정을 두기로 한다.

- 1) 네트워크의 모든 요소는 항상 작동상태에 있다. 다시 말하면 대기상태에 있지 않다.

- 2) 편의상 접합점의 확률 즉, 웨이트(weight)는 1 이고 지로의 웨이트는 통계적독립(statistical independent)이다.
- 3) 네트워크의 각 요소는 양호(good), 불량(bad)의 두 상태만으로 구분되며 중간상태는 존재하지 않는다.

## II. ATM VP 네트워크의 신뢰도 계정에 관한 이론

### 2.1 ATM VP 네트워크

그림 1은 VC, VP 및 물리적 지로(Physical link) 사이의 관계를 나타내었다. 여기서, VP는 대역용량을 가변시킬 수 있으며, VC는 실제로 데이터를 전송하는 통신로이다.

그림 2는 ATM VP 네트워크의 한 예이다

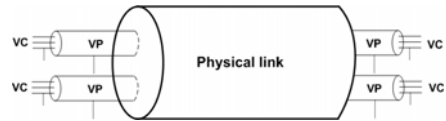
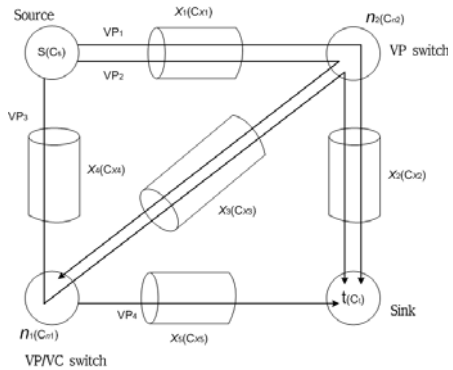
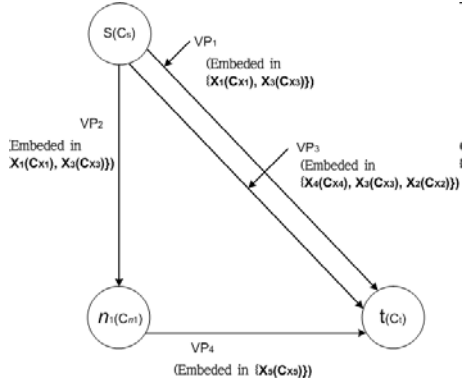


그림 1. VC/VP/Physical link와의 관계



(a) An ATM network with a VP layout



(b) Equivalent VP network

그림 2. ATM VP 네트워크의 예

여기서, 그림(a)는 한 개의 VP/VC 스위치, 한 개의 VP 스위치, 소스 및 싱크로 구성되어 있다. 또한 그림(b)는 소스 s와 싱크 t간의 등가 VP 네트워크를 나타낸다.

특히, s를 소스점(source node), t를 싱크점(sink node)이라 한다. 또한  $x_i$ 는 물리적 지로(physical links)를 나타낸다. 지로  $x_i$ 는 그 값이 {0,1}과 같이 2치(binary value)를 취하는 논리 변수를 말하며, 지로의 웨이트(weight)는  $p_i = P\{x_i = 1\}$ ,  $q_i = P\{x_i = 0\} = 1 - p_i$ 로 규정한다.

$p_i = P\{x_i = 1\}$ 는 지로  $x_i$ 가 통신을 만족스럽게 수행할수있는 확률치고,  $q_i = P\{x_i = 0\} = 1 - p_i$ 는 지로  $x_i$ 가 통신을 수행할 수 없는 확률치를 의미한다. 여기서  $C_{x_i}$ 는 물리적 지로의 용량,  $C_{n_i}$ 는 접합점의 용량을 의미하고,  $C_i$ 의 용량은 무한대로 본다.

또한 접합점의 웨이트는  $p_i = P\{n_i = 1\} = 1$ 로 규정한다.

2.1.1 단순경로집합(Simple pathset)

주어진 네트워크에서 폐로(loop)를 형성함이 없이 소스와 싱크점 간의 VP들을 s-t VP route라 하고, 이를 내장하고 있는 지로와 접합점으로 이루어진 경로를 s-t 단순경로라고 한다. 또한 이들의 집합을 단순경로 집합이라고 한다. 그림2의 네트워크에서 s-t VP route는  $VP_1, VP_3, VP_2 \cdot VP_3$ 이며, s-t 단순경로는  $x_1n_2x_2, x_4n_1x_3n_2x_2, x_1n_2x_3x_1x_5$ 인 3개가 존재한다. 일반적으로  $F_1, F_2, \dots, F_j$ 를 네트워크에서 단순 경로라고 하면 j 번째 경로의 동작 상태함수  $a_j(x)$ 는 다음과 같다.

$$a_j(x) = \begin{cases} 1; & F_j \text{의 모든 지로가 동작하는 경우} \\ 0; & \text{그렇지 않은 경우} \end{cases} \quad (1)$$

$$= \prod x_i$$

이것은 적어도 하나의 경로의 모든 지로가 동작해야만 네트워크는 동작할 수 있다는 것을 의미한다. 그러므로 네트워크의 동작 상태 함수를  $\Phi(x)$ 라고 하면 다음과 같다

$$\Phi(x) = \begin{cases} 1; & \text{어떤 } j \text{에 대해 } a_j(x) = 1 \text{ 인 경우} \\ 0; & \text{모든 } j \text{에 대해 } a_j(x) = 0 \text{ 인 경우} \end{cases} \quad (2)$$

$$= \text{Max} \prod x_i$$

2.1.2 valid group

일반적으로 네트워크에는 각각 한정된 접합점 및

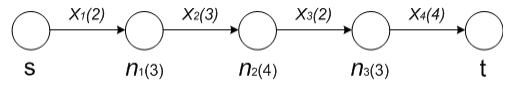


그림 3. 직렬구조

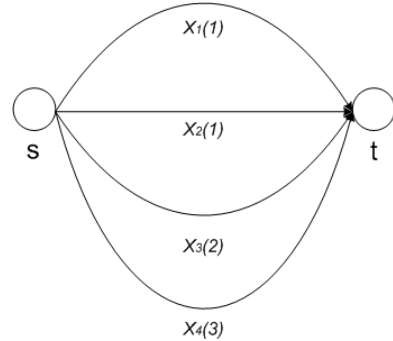


그림 4. 병렬구조

지로의 용량이 주어진다. 이와 같은 경우 단점간 신뢰도는 특정한 정보량이 두 단점간에 성공적으로 전송될 수 있는 확률을 의미한다. 그림 3과 같은 직렬구조인 경우 두 단점 s, t 간에는 단순경로  $x_1n_1x_3n_2x_3n_3x_4$ 가 존재하고 특정한 정보량  $C_s$ 가 2 이하인 경우에만 정보를 성공적으로 전송할 수가 있다. 다시 말해서, 두 단점 s, t 간의 단순 경로의 용량은 2이기 때문에  $C_s \leq 2$ 인 경우 단순경로  $x_1n_1x_3n_2x_3n_3x_4$ 는 valid group이 되지만  $C_s \geq 2$ 인 경우에는 invalid group이 된다.

그림 4와 같은 병렬구조인 경우 두 단점 s, t 간에는 단순경로  $x_1, x_2, x_3, x_4$ 가 존재하고 특정한  $C_s$ 가 7이하인 경우에만 정보를 성공적으로 전송할 수가 있다. 다시 말해서 4개의 단순경로로 분산해서  $C_s \leq 7$ 인 정보량을 성공적으로 전송할 수 있다. 여기서, 단순경로의 분산은 논리적으로 AND 연산을 의미한다. 즉,  $x_1x_2x_3x_4$ 이다. 또한, 이에 대한 용량은 각 단순 경로의 대수적인 합, 즉,  $\sum C_{x_i} = c_{x_1} + c_{x_2} + c_{x_3} + c_{x_4} = 7$ 이다. 따라서  $C_s \leq 7$ 인 경우  $x_1x_2x_3x_4$ 는 invalid group이 된다.

다음에 그림 5와 같은 직·병렬 구조인 경우 단순 경로는 2개이고, 논리식 형태로 표현하면,

$$F(C) = F_1(2) + F_2(3) = x_1n_1x_2(2) + x_1n_1x_3x_2n_2x_4(3) \quad (3)$$

여기서,  $F_i(C_i)$ 는 i경로의 논리식 및 용량이다.

$F_1(2)$ 와  $F_2(3)$ 에 대한 AND연산은  $x_1x_2x_3x_4n_1n_2(5)$ 이다. 각 단순 경로의 용량에 대한 대수적인 합이 5

이지만 특정한 정보량  $C_s$ 가 4이하인 경우에만 정보를 전송할 수 있다. 왜냐하면 이 경우에는 논리변수  $x_i$ 이 두 항의 공통변수이고, 이 변수의 용량이 각 단순경로의 대수적인 합 보다 작기 때문이다.

식 (3)을 지로의 변수에 대해서만 다시 표현하면,

$$F(C) = x_1(4) \cdot \{x_2(2) + x_3x_4(3)\} \quad (4)$$

여기서,

$\{x_2(2) + x_3x_4(3)\}$ 은 병렬이므로  $\{x_2x_3x_4(5)\}$ 로 표현할 수가 있다.

따라서 식 (4)은

$$F(C) = x_1(4) \cdot x_2x_3x_4(5) = x_1x_2x_3x_4(4) \quad (5)$$

이다.

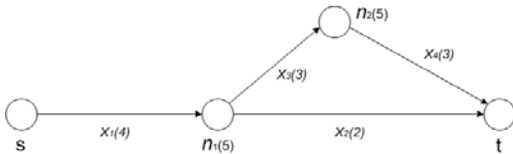


그림 5. 직·병렬구조

### 2.2 샤프(#) 연산(Sharp operation)

일반적으로 논리식  $F_i$ 를 서로 이점(disjoint)관계가 성립하면서 가장 최소화 된 논리식을 구하는데 샤프(#) 산법을 정의하기로 한다<sup>[21]</sup>.

[정의 I]

두 AND 표현  $P = p_1p_2 \dots p_n$  및  $Q = q_1q_2 \dots q_n$  사이에 변수  $p_i$ 와  $q_i$ 가 다음 규약에 의하여 계산되는 산법을 coordinate 샤프연산 ( $p_i \# q_i$ 로 표기)이라고 한다.

	$p_i$	0	1	-
$q_i$	0	Z	Y	Z
	1	Y	Z	Z
	-	1	0	Z

여기서, Y는 동일변수에 대해서 역원(inverse)인 경우이고 Z는 동일변수에 대해서 항등원(identity)인 경우와 동일변수가 존재 하지 않는 경우이다.

[정의 III]

두 AND 표현  $P = p_1p_2 \dots p_n$  및  $Q = q_1q_2 \dots q_n$  사이에 변수  $p_i$ 와  $q_i$ 가 다음 규약에 의하여 계산되는 산법을 Miller Cube 샤프연산 ( $P \# Q$ 로 표기)이라 한다.

$$P \# Q = \begin{cases} p; \text{어떤 } i \text{에 대해서 } p_i \# q_i = Y \\ \Phi; \text{모든 } i \text{에 대해서 } p_i \# q_i = Z \\ \text{그렇지 않으면} \\ +i(p_1p_2 \dots \alpha_i p_{i+1} \dots p_n) \\ ; \text{여기서 } p_i \# q_i = \alpha_i = 0 \end{cases}$$

또는 1이며 +는 이와 같은 모드  $i$ 에 대해서 그 논리화를 뜻한다.

또한  $p_i \# q_i$ 는 coordinate 샤프연산이다.

(예)

$$F = x + y + z \quad \text{에서} \quad x \# y = x'y \quad (6)$$

$$x \# z = x'z$$

일차적으로  $F = x + x'y + x'z$ 를 얻는다.

다음,

$$x'y \# x'z = x'y'z$$

$$\text{따라서 } F = x + x'y + x'y'z \quad (7)$$

이 된다.

## III. ATM VP 네트워크의 단점간 신뢰도 계정에 관한 알고리즘

앞에서 서술한 이론을 바탕으로 단점간 신뢰도를 결정하기 위한 알고리즘을 다음과 같이 제안한다.

[단계 1]

주어진 네트워크로부터 소스와 싱크점 간에 모든 s-t VP route를 구한다.

[단계 2]

s-t VP route를 내장하고 있는 지로들로 이루어진 s-t 단순경로와 이에 대한 용량을 구한다.

[단계 3]

$C_i < C_s$ 인 단순경로를 선정한다.

이 경로는 valid group이 된다.

[단계 4]

$C_i < C_s$ 인 단순 경로를 변수 논리적 표현식으로 표시한다. 즉,

$$F_1(C_1), F_2(C_2), \dots, F_n(C_n) \text{이라 한다.}$$

[단계 5]

소스점 s로부터 지로가 m개 일 때 m항까지의 AND연산을 순차적으로 시행한다. 이때,

- ① 공통지로 및 접합점이 없는 경우, 용량은 m항까지의 AND연산을 한 용량의 대수적인 합을 취한다.
- ② 공통지로 및 접합점이 존재하는 경우, 용량은 공통지로 용량과 m항까지의 AND연산을 한 항들의

용량의 합 중 작은 쪽을 택한다.

특히, 공통지료가 다수 존재하는 경우 용량이 가장 작은 공통지료와 비교한다.

③ 공통지료는 존재하지 않고 공통 접합점만 존재하는 경우, 용량은 공통 접합점이 하나인 용량과 m항까지의 AND연산을 한 항들의 용량의 합 중 큰 쪽을 택한다. 공통 접합점이 다수일 경우는 공통 접합점들의 용량의 합에서 m항까지의 AND연산을 한 항들의 용량의 합의 차를 택한다.

④ 공통 접합점이 s-t 접합점을 제외한 네트워크의 전체 접합점들 일 경우 네트워크의 최대 용량을 따른다.

[단계 6]

단계 2, 5에서  $C_i, C_{ni} \geq C_s$ 인항으로 구성된 논리식을 구한다. 이때 변수가 적은 항부터 순서대로 나열하여,

$$F_1(C_i \geq C_s), F_2(C_i \geq C_s), \dots, F_n(C_i \geq C_s)$$

[단계 7]

각 항간에 순차적으로 반복하여 샤프산법을 적용한다.

이때 각 항간에 동일 변수가 상보될 때 까지 샤프연산을 시행한다.

[단계 8]

샤프연산에 의해서 구해진 최소화된 변수 논리식에 각 변수에 대한 웨이트(weight)를 취하여 단점간 신뢰도를 구한다.

#### IV. ATM VP 네트워크의 단점간 신뢰도 계정의 계산에

전장에서 제안한 알고리즘을 실례에 의한 수치계산을 통하여 확인하도록 한다.

그림 6과 같은 네트워크에 알고리즘을 적용하면,

[단계 1]

주어진 네트워크로부터 소스(s)와 싱크점(s)간의 모든 VP를 구하면 다음과 같다.

$$\{VP_1, VP_2, VP_3, VP_4 \cdot VP_8, VP_6 \cdot VP_8, VP_7 \cdot VP_8, VP_3 \cdot VP_8\}$$

[단계 2]

VP를 내장하고 있는 지로들로 이루어진 단순경로와 이에 대한 용량을 구하면,  $\{x_1n_1x_2(3), x_3n_2x_6n_1x_2(2), x_3n_2x_4n_3x_7n_1x_2(1), x_1n_1x_7n_3x_5(1), x_3n_2x_6n_1x_7n_3x_5(1), x_1n_1x_6n_2x_4x_3x_5(2), x_3n_2x_4n_3x_5(2)\}$

[단계 3]

$C_i \geq C_s$  즉,  $C_i \geq 4$  인 단순경로는 존재하지 않는다.

[단계 4]

$C_i < C_s$  즉,  $C_i < 4$  인 단순경로를 논리식으로 표현하면,

$$F = x_1n_1x_2(3) + x_3n_2x_6n_1x_2(2) + x_1n_1x_7n_3x_5(1) + x_3n_2x_4n_3x_7n_1n_2(1) + x_3n_2x_6n_1x_7n_3x_5(1) + x_1n_1x_6n_2x_4x_3x_5(2) + x_3n_2x_4n_3x_5(2)$$

[단계 5]

$$F = x_3x_6x_1x_2(4) + x_1x_2x_3x_4x_5(5) + x_1x_2x_5x_7(3) + x_1x_2x_3x_4x_7(4) + x_1x_2x_3x_5x_6x_7(5) + x_1x_2x_4x_5x_6(3) + x_2x_3x_6x_4x_5(2) + x_2x_3x_6x_1x_5x_7(5) + x_2x_3x_4x_6x_7(2) + x_2x_3x_5x_6x_7(2) + x_2x_3x_6x_1x_4x_5(5) + x_1x_3x_4x_5x_7(3) + x_2x_3x_4x_5x_7(2) + x_3x_4x_5x_6x_7(2) + x_1x_3x_4x_5x_6(2) + x_1x_5x_7x_2x_3x_4(5) + x_1x_3x_5x_6x_7(1) + x_1x_4x_5x_6x_7(3) + x_2x_3x_4x_5x_6x_7(2) + x_2x_3x_4x_1x_5x_6(4) + x_1x_3x_4x_5x_6x_7(3)$$

[단계 6]

$C_i \geq 4$ 인항으로 구성된 논리식은

$$F(C_i \geq 4) = x_1x_2x_3x_6 + x_1x_2x_3x_4x_5 + x_1x_2x_3x_4x_7$$

[단계 7]

$$F = x_1x_2x_3x_6 + x_1x_2x_3x_4x_5'x_6' + x_1x_2x_3x_4'x_5'x_6'x_7$$

[단계 8]

$$R = P\{F\} = p_1p_2p_3p_6 + p_1p_2p_3p_4p_5'p_6' + p_1p_2p_3p_4'p_5'p_6'p_7$$

위 식은 실질적으로 각 링크의 확률값이 주어지면 ATM VP 네트워크에서의 신뢰도 값을 의미한다.

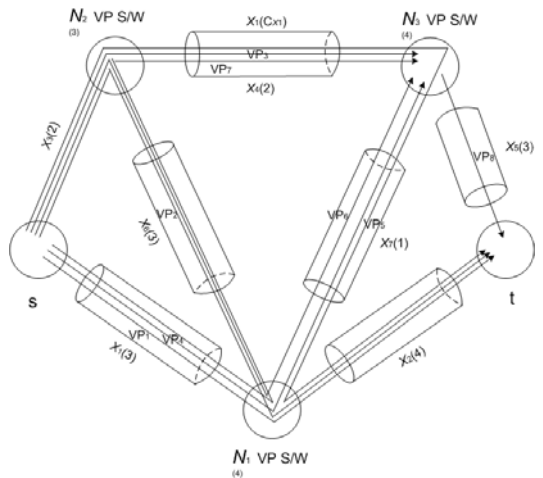


그림 6. 용량이 고려된 ATM VP 네트워크

## V. 결 론

본 논문에서는 ATM VP 네트워크의 두 단점간 신뢰도를 계정하기 위해서 경로추적방법을 이용한 효과적인 알고리즘을 제안하였다. 주어진 네트워크에서 먼저 s-t 간의 모든 VP routes를 구하고, 이들을 내장하고 있는 지로들로 이루어진 단순경로들을 구한다. 다음, 단순경로들 간의 AND연산에 의해 valid group을 구하고 이 valid group간의 샤프산법(sharp operation)을 적용시켜 단점간 신뢰도를 계정하였다. 제안한 알고리즘은 종전의 알고리즘과 비교하여 이접한 논리식을 구하는 연산과정에 있어서 샤프연산자를 이용하였기 때문에 기계적으로 처리할 수 있다. 또한 지로가 방향성이든 비 방향성이든 적용할 수 있는 장점이 있다. 앞으로 더 연구해야 할 과제로는 네트워크의 지로의 웨이트가 '1'값에 접근하는 경우 근사값과 정확한 값과의 편차가 극히 적기 때문에 정확한 계정방법 대신 근사 계정방법이 편리하다. 이에 대한 연구가 필요하다고 본다.

## 참고문헌

- [1] Luigi Fratta and Ugo G. Montari, "A Boolean Algebra Method for Computing the Terminal Reliability in a Communication Network", IEEE Trans. Circuit Theory, vol. CT-20, no.3, pp.203-211, May 1973.
- [2] R. K. Tiwario and Chandigarh. "An Algebraic Techinque for Reliability Evaluation." IEEE Trans. Reliability, vol.R-29, no.4, pp.311-31, Oct. 1980
- [3] W. H. Debany, Jr., P. K. Varshey and C. R. P. Hartmann, "Network Reliability Evaluation using Probability Expressions", IEEE Trans. Reliability. vol.R-35, no.2, pp.161-166, June 1986.
- [4] Clement C. Fong John A. Buzactt, "An Algorithm for Symbolic Reliability Computation with Path-Sets or Cut-Sets", IEEE Trans. Reliability, vol.R-36, no.1, pp. 34-37, April 1987.
- [5] Young H. KIM, Kenneth E. Case, and P. M. Ghare "A Method for Computing Complex System Reliability", IEEE Trans. Reliability, vol.R-21, no.4, pp.215-219, vol. 1972

- [6] R. B. Misra, "Symbolic Reliability Evaluation of Reducible Network," Microeletron Reliab, vol.19, pp.253-257, Feb. 1979
- [7] Mitchell O. Locks, "A Minimizing Algorithm for Sum of Disjoint Products." IEEE Trans. Reliability, vol.R-36, no.4, pp. 445-453, Oct. 1987
- [8] F. Beichelt and L. Spross, "An Improved Abraham-method for Generating Disjoint Sums," IEEE Trans. Reliability, vol.R-36, no.1, pp.70-74, April 1987.
- [9] J. M. Wilson, "An Improved Minimizing Algorithm for Sum of Disjoint Products," IEEE Trans. vol.39, no.1, pp.42-45, April 1990.
- [10] A. Satyanarayana and A. Prabhakar, "New Topological Formula and Rapid Algorithm for Reliability Analysis of Complex Networks", IEEE Trans. Reliability, vol. R-27, no.2, pp.82-100, June 1978.
- [11] K. K. Aggarwal and Suresh Ral, "Reliability Evaluation in Computer Communication Networks", IEEE Trans. Reliability, vol. R-30, no.1, pp.32-35, April 1981.
- [12] S. Hasanuddin Ahmad, "A Simple Technique for Computing Network Reliability", IEEE Trans. Reliability, pp.41-44, vol.R-31, no.1, April 1982.
- [13] A. Satyanarayana and Mark K. Chang. "Network Reliability and the Factoring Theorem", Networks, vol.13, pp.107-120, 1983.
- [14] R. Kevin Wood, "Factoring Algorithms for Computing K-Terminal Network Reliability", IEEE Trans. Reliability, vol.R-35, no.3, pp. 269-278, Aug. 1986
- [15] Hayao Nakazawa, "Bayesian Decomposition Method for Computing the Reliability of an Directed Network", IEEE Trans. Reliability, vol.R-25, no.2, pp.77-80, June 1976.
- [16] Hayao Nakazawa, "A Decomposition Method for Computing System Reliability for a Boolean Expression", IEEE Trans. Reliability, vol.R-26, pp.250-252, Oct. 1977.
- [17] Steen J. Hsu, Yu G. Chen and Maria C. Yuang, "Terminal-Pair Reliability in ATM Virtual Path Networks", An International Journal Computers and mathematics with applications. pp.885-895, 2000.
- [18] S. S. Lee, "Reliability Evaluation of a Flow

