

# IP 네트워크 상의 다양한 서비스 복구 알고리즘

정회원 한 정 수\*

## Various Algorithms of Service Recovery in IP Network

Jeong-Soo Han\* *Regular Member*

### 요 약

네트워크 상에 장애가 발생 시에는 서비스들의 QoS 요구사항을 만족시킬 수 있는 또 다른 백업 경로를 사용하여 서비스해야 한다. 따라서 본 논문에서는 IP 네트워크 상에 발생된 단일 회선 장애를 위해 simple PFC(s-PFC) 기법과 다중 회선 장애를 위한 iterative PFC(i-PFC) 그리고 라우터와 같은 노드 장애를 복구하기 위한 fault\_node Avoidance PFC(a-PFC) 기법들을 제안하고 이를 기반으로 Direct\_destination Rerouting(DR) 기법을 최소 재라우팅 비용 문제를 통해 성능 비교 분석하기로 한다.

Key Words : Service Recovery, QoS Rerouting, Network Survivability, Restorability, Protection

### ABSTRACT

In case of failure in the IP network, services should be provided via a backup path which fully meets QoS requirements. In this regard, we in this paper suggest simple-PFC(s-PFC) to restore single link failure, iterative-PFC(i-PFC) for multiple link failures, and fault\_node Avoidance-PFC(a-PFC) for failures of nodes such as routers. Taking the minimum cost rerouting problem into account, we compare and analyze performance of those three mechanisms carrying out Direct\_destination Rerouting(DR).

### I. 서 론

사용자가 요구하는 서비스들은 음성, 동영상 등의 멀티미디어 서비스와 같이 차츰 실시간적이고 우선 순위가 높은 특징을 갖게 되었으며, 향후 IP 네트워크는 이러한 중요한 데이터를 전송해야 하는 필요성이 생기게 되었다. 하지만 기존의 IP 기반 네트워크에서 사용하는 라우팅 기법으로는 이러한 사용자 QoS 요구사항을 만족시킬 수 없을 뿐만 아니라 네트워크 상에 장애가 발생했을 경우에 이를 대처할 기법들이 없는 실정이다. 이에 많은 연구들이 정상적인 네트워크 상황뿐만 아니라 장애가 발생했을 경우에 대한 올바른 서비스 제공을 위한 네트워크 생존성(survivability) 문제에 노력을 기울이고 있다. 이러한 IP 네트워크에 대한 생존성 문제는 네트

워크 상에 장애가 발생했을 경우 이를 복구하여 사용자 서비스가 중단되는 상황이 발생하지 않도록 하는 것이다.

IP 네트워크에서 IP 계층과 같은 상위 계층에서 복구 방법을 제공하는 중요한 장점은 대역폭에 대한 분리가 필요하지 않다는 것이다. 즉, 원(working) 대역폭과 여분(spare) 대역폭에 대한 개념이 필요치 않다는 것이다. 더욱이 IP 계층에서 서비스 복구를 위한 추가적인 대역폭 할당은 서비스 복구 동안 QoS를 제공할 수 있도록 해줄 뿐 아니라 장애가 발생하지 않은 일반적인 상황에서는 사용자 서비스의 성능을 더욱 향상시킬 수 있도록 도와준다. 따라서 물리 계층과 같은 하위 계층에서 제공하는 서비스 복구 방법보다는 상위 계층에서 서비스 레벨로 장애를 복구할 수 있는 새로운 방법이 요구된다.

\* 신구대학 인터넷정보과(jshan@shingu.ac.kr)

논문번호 : 04012-0317, 접수일자 : 2004년 3월 17일

\*본 연구는 한국학술진흥재단 신진교수연구과제지원사업(KRF-2003-003-D00200) 지원으로 수행되었습니다.

이에 본 논문에서는 장애 상황에 대한 빠른 복구를 위해 지원 예약 없이 사전에 복구 경로를 생성하는 방법인 PFC(Protection Fundamental Cycle)를 제안한다. 또한 네트워크 장애 상황을 3가지로 분류하여 이에 대한 복구 경로를 생성하는 기법을 제안한다. 즉, 단일 회선 장애에 대해서는 simple PFC(s-PFC) 기법을, 다중 회선장애에 대해서는 iterative PFC(i-PFC) 기법을 그리고 라우터와 같은 노드 장애에 대한 복구 경로에 대해서는 fault\_node Avoidance PFC(a-PFC) 기법을 제안한다. 이러한 복구 경로에 대한 정보들은 라우팅 테이블과 같이 PFC 테이블에 유지되며 이 정보를 통해 장애 상황을 만난 서비스들은 IP 계층에서 재라우팅을 하게 된다. 또한 논문에서 제안하는 Direct\_destination Rerouting(DR) 기법들을 최소 비용을 갖는 재라우팅 문제를 통해 경로를 선택하며 이들에 대한 성능 비교한다.

[6]에서는 네트워크 상에 여러 개의 p-Cycle을 생성함으로써 네트워크 장애를 복구할 수 있는 방법이 연구되었으며 [7]에서는 회선과 노드 장애에 대해 복구할 수 있도록 하는 Redundant 트리 생성 알고리즘을 연구하였다. 또한, [8]에서는 재라우팅 기법에 대한 최소 비용 문제를 수학적으로 해석함과 동시에 여러 가지 재라우팅 기법에 대한 성능을 보여주고 있다. 또한, [9][10]에서는 MPLS 상에서 빠르고 다양한 재라우팅 기법들을 소개하고 있으며, 또한 빠른 재경로(fast reroute) 기법에 대한 연구를 수행하였다.

본 논문의 구성으로는 2장에서는 기존연구에 대한 분석과 본 논문에서 제시하는 알고리즘과의 비교분석을 제시하고, 3장에서는 복구 경로를 생성하는 PFC에 대해서 설명하고 이를 기반으로 한 3가지 장애 복구 기법들에 대해서 살펴본다. 4장에서는 3장에서 생성한 복구 경로들을 가지고 서비스들을 최소의 비용으로 재라우팅하는 알고리즘들에 대해 설명한다. 5장에서는 이들 재라우팅 알고리즘들을 시뮬레이션하고 그 성능을 비교 분석한다. 6장에서 결론을 맺는다.

## II. 기존 연구방식 및 비교분석

네트워크의 생존성(survivability)와 복구성(restorability)을 지원하기 위한 대부분의 연구 방향은 대부분이 장애 상황 전에 미리 보호 경로를 설정함으로써 빠른 서비스 복구를 제공하는 '사전

계획(preplanned)' 방식들이다. 본 절에서는 이러한 기존의 사전 계획 방식 중에서 가장 대표적인 방식인 'p-Cycles' 방식과 'Redundant tree' 방식에 대해서 간단 살펴보기로 한다.

먼저 Muriel Medard[7] 등이 제안한 'Redundant tree' 기법은 네트워크 상에 발생할 수 있는 링크 또는 노드에 대한 장애 상황에 대해서 임의의 송신지와 목적지에 대한 두 개의 트리를 생성하는 것이다. 하나는 실제로 데이터 전송을 위한 원(primary) 트리고 나머지 하나는 네트워크 장애에 대한 백업(backup) 트리이다. 본 기법은 첫째 패스 재라우팅(path rerouting) 기법을 사용해야 한다. 두 번째 사전 계획 루트 계산(Preplanned route computation) 방식을 사용한다. 세 번째 중앙 집중 계산(Centralized computation) 방식을 사용한다. 네 번째 논리적인 트리 연결(Logical tree connections)을 사용한다. 다섯 번째 네트워크 토폴로지에 대한 요구사항이 존재한다 등의 특징을 가지고 있으나 하나의 송신지에서 모든 목적지에 대한 모든 경로를 계산해야 하는 것과 하나의 노드에서 모든 경로를 저장해야 하기 때문에 각 노드에서 필요한 저장 공간이 기하학적으로 증가한다는 점, 각 노드에서는 네트워크 토폴로지에 대한 전체 정보를 가지고 있어야 한다는 단점을 가지고 있다.

또한 Demetios Stamatelakis[6]에 의해 제안된 virtual protection cycles(p-Cycles) 기법이라고 하는 복구 기법은 링(ring) 네트워크의 빠른 복구 속도와 그물(mesh) 네트워크의 효율성이 높은 대역폭 사용이라는 장점을 갖는 기법이다. 하지만 해당 네트워크에 대한 100% 복구를 제공하기 위해서는 하나의 노드에서 여러 개의 p-Cycle들을 구성해야 한다는 점, 동시에 p-Cycle 상에 있는 링크에 장애가 발생되었을 경우 하나의 p-Cycle로는 복구가 불가능하다는 점, 여러 개의 p-Cycle들 중에서 최적의 성능을 나타낼 수 있도록 최적화 작업이 요구되는 점, 마지막으로 p-Cycle들을 통한 서비스 복구는 최단 거리(shortest path)를 선택할 수 없다는 단점을 가지고 있다.

이러한 기존연구와 본 논문에서 제시하는 알고리즘과의 비교는 표 1과 같다.

## III. PFC 기반 장애복구 경로

본 장에서 제안하는 PFC(Protection Fundamental

표 1. 기존 장애복구 기법과의 비교

복구기법	Redundant Tree 기법	p-Cycle기법	PFC 기법
우회도 생성시기	사전계획	사전계획	사전계획
다중 장애지원 여부	불가능	제한적 지원	지원 가능
노드 장애지원 여부	Vertex redundant tree	node-encircli ng p-Cycle	fault-node Avoidance PFC
우회로 생성방법	중앙집중계산	메시지 방송	분산계산
지원 네트워크	2-connected graph	mesh	mesh

Cycle) 기반의 장애 복구 경로 기법은 IP 네트워크 상의 장애 상황에서 보다 빠르고 효율적인 서비스 복구를 장애 발생 전에 복구 경로를 생성하는 방법으로 다음과 같은 특징을 가지고 있다.

첫째, 기존의 다른 복구 방법과는 달리 각 노드는 자신의 PFC 정보만 유지한다. 이는 중앙 집중형 계산을 하는 [7]의 방식과 복구 경로에 대한 정보를 얻기 위해 방송형태를 택한 [6]과는 달리 각 노드에서 결정하는 분산형 계산 방식을 취함으로써 각 노드의 계산 부하와 방송을 통한 네트워크 트래픽 부하를 없앴다.

두 번째로는 기존의 라우팅 테이블 정보만을 사용하여 각 노드는 PFC 정보를 얻을 수 있다. 이는 복구 경로를 생성하기 위해 관리자의 전체 네트워크 토폴로지 정보와 같은 외부 별도의 정보를 요구하지 않는다는 것이다.

세 번째로는 IP 네트워크에서는 복구를 위해서 별도의 대역폭 할당이 요구되지 않기 때문에 정상적인 상황에서는 사용자 서비스의 QoS를 충족시키기 위해서 전체 대역폭을 사용할 수 있다는 점이다. 네 번째로는 해당 네트워크의 모든 노드에 대해 복구할 수 있다는 것이다. 이것은 다른 기법들에 비해 여러 가지 장애 상황에 대해서 유연하게 대처할 수 있다는 장점을 가지고 있다.

마지막으로 각 회선에 대해 가장 fundamental cycle을 형성함과 동시에 최대 2개의 복구 경로를 제공한다는 것이다. 이는 장애 발생 시 사용자 서비스를 재라우팅하기 위해 라우팅 metric를 사용하여 해당 목적지까지 가장 최단 거리를 찾을 수 있다는 장점을 제공하고 있다.

### 1. PFC 생성 방법론

본 논문에서 제안하는 PFC는 각 라우터에서 자기 자신의 정보만을 사용하여 생성한다. 이를 위해서 OSPF 라우팅 프로토콜을 사용하는 라우터내에 존재하는 Link State Database 정보를 사용하게 되며 (이 정보는 모든 라우터에 똑같이 유지하게 된다), 이를 통해 해당 라우터에서 Adjacent List(이하 AL)를 생성할 수 있게 된다. 그림 1은 Simple Network(a)에 대한 AL(b)를 보여주고 있다.

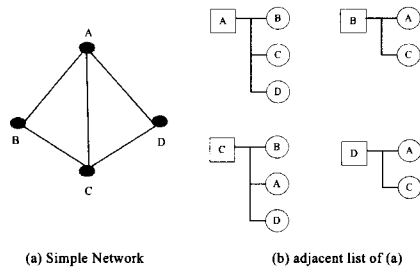


그림 1. PFC 생성을 위한 Simple Network 예

PFC 생성 알고리즘은 이러한 AL 정보를 사용하여 생성되므로 recursive call을 사용해야 한다. 즉, 그림 1 (b)의 AL에서 라우터 A에서 시작하여 그 neighbor router들인 B, C, D 라우터들에 대한 AL을 차례로 조사하면서 PFC를 생성하게 된다. 그림 2의 ①은 알고리즘의 초기화부분이며, a는 시작 라우터를, p(j)는 PFC의 j번째 집합으로, A(i)는 라우터 i의 AL을 의미한다. ②는 알고리즘이 종료(7)될 수 있도록 AL에 항목이 존재하는지 검사하고, ③에서는 추가하려는 라우터 a가 p(j)의 count-1의 위치에 있는지 조사하고, 있으면 직접 연결되어 있음을 암시하고(그림 1의 A-B 관계) 그렇지 않으면 fundamental cycle인지 조사하여(④ or ⑤) 새로운 PFC에 대한 조사를 진행한다. ⑥은 recursive call을 위한 부분이다.

### 2. 라우터 요구사항 및 데이터 encapsulation

각 라우터에서는 PFC 정보를 유지하기 위해 라우팅 테이블과는 별도로 PFC 테이블을 유지한다. 이것은 하나의 노드에서 유지하는 최대 테이블의 크기는 인터페이스 개수만큼 유지하게 된다. 장애 발생시 각 라우터는 PFC 테이블을 기반으로 detour를 따라 전송할 수 있어야 하며 이를 위해서는 원

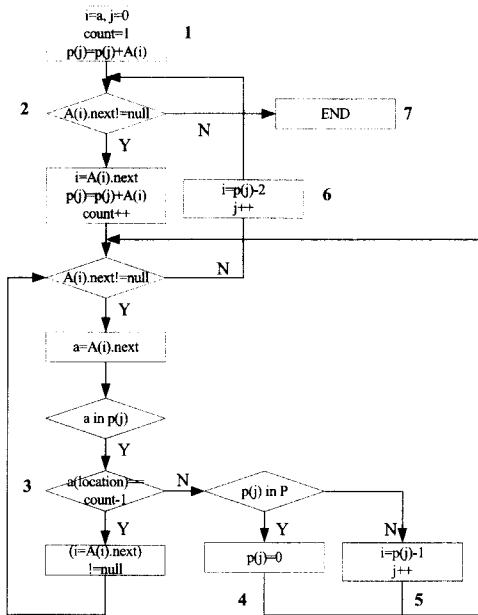


그림 2. 각 라우터에서 PFC를 생성하기 위한 알고리즘

래의 IP 데이터에 대한 Encapsulation 과정이 요구 된다. 이는 정상적인 데이터 전송 시 사용되는 IP 데이터의 형태로는 복구 경로를 따라 해당 목적지 까지 전송될 수 없기 때문이다. 그림 3은 복구 경로를 따라 전송될 때 사용되는 IP 데이터에 대한 Recovery Encapsulation(RE) 형식을 보여주고 있다.



그림3. 장애복구를 위한 IP 데이터 Recovery Encapsulation 구조

여기서 Next node에 PFC 상에 존재하는 다음 노드의 주소를 나타낸다. Destination Node는 실제 최종 목적지 주소를 나타낸다. 장애 상황을 피해 우회로를 결정하기 위해서 라우터는 PFC 상의 다음 노드와 최종 목적지 주소로 된 header를 생성하게 되고, PFC 상의 다음 노드에 도달한 데이터는 라우팅 테이블을 참조하여 최종 목적지에 대한 다음 노드를 결정하여 다시 헤더를 생성하여 최종 목적지 까지 전달하게 된다. 최종 목적지에 도달한 데이터는 다시 RE 헤더를 decapsulation함으로써 IP 데이터를 처리할 수 있다.

### 3. 단일 / 다중 회선 장애복구 기법

단일 회선 장애는 여기서 제안하는 PFC 기법을 사용하여 복구가 가능하다. 즉, PFC에 의해 선택된 최대 2가지 경로에 대해서 경로 선택 알고리즘을 적용하여 데이터를 전송할 수 있다. 이 기법을 s-PFC(simple PFC)로 부르기로 한다. 이를 확장하여 다중 회선 장애는 s-PFC를 반복적으로 적용함으로써 복구가 가능하며 이를 i-PFC(iterative PFC)라 한다.

### 4. 라우터 장애복구 기법

라우터 장애에 대한 복구 방법은 단순한 PFC 기법으로는 불가능하다. 왜냐하면 첫째, 장애가 발생한 라우터에는 많은 인터페이스가 연결되어 있기 때문이고 두번째로는 데이터가 전송되어야 할 다음 노드는 항상 라우터의 라우팅 테이블을 참조해야 하기 때문이다. 즉, 장애가 발생한 라우터의 라우팅 테이블을 참조할 수 없기 때문에 데이터를 PFC의 어느 우회로를 찾아 전송해야 할 지 알 수 없다는 것이다.

이에 본 논문에서는 a-PFC(fault\_node Avoidance PFC) 기법을 제안한다. 이것은 PFC 기법에 여기서 제안하는 경로 선택 알고리즘인 DR 기법을 적용한 것으로 데이터의 최종 목적지로 직접 전달하는 방법으로 PFC 상의 다음 노드가 장애가 발생한 노드를 피할 수 있다는 것이다.

그림 4는 다양한 장애 상황에 대한 복구 예를 보여주고 있다. 그림 4(a)는 다중 링크 장애 상황 시 i-PFC 복구 기법을 나타내고 있는 것으로 송신지 a에서 목적지 e로 데이터 전송 시 정상적인 패스는 (a, h, i, e)이며, 이 중에서 패스 (a, h)와 (i, e)가 장애가 발생했다고 하자. 이 때 i-PFC 기법에 따라 장애가 발생한 두 개의 패스에 대해서 PFC 기법을 적용하면 패스 (a, h)에 대해서는 (a, b, c, f, h)와 (a, j, h)가 패스 (i, e)에 대해서는 (i, g, d, e)와 (i, j, e)가 선택되게 된다. 그림 4(b)는 라우터 장애 상황 시 a-PFC 복구 기법의 예이다. 라우터 h가 장애가 발생하여 연결된 모든 회선에 장애가 발생하게 된다. 따라서 a-PFC 기법에 의해 라우터 a의 PFC 정보에 따라 라우터 b, j가 선택되고 이 라우터에서 최종 목적지 e까지 직접 라우팅 패스를 찾게 된다. 결국 패스 (a, j, e)가 선택된다.

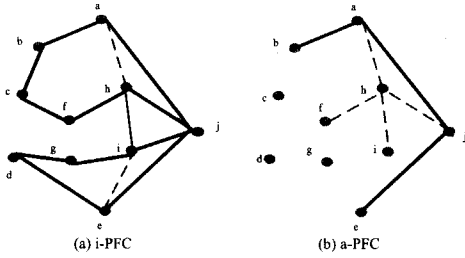


그림 4. 다양한 장애상황에 대한 복구 방법

#### IV. 재라우팅 경로 선택 알고리즘

##### 1. 재라우팅 최소 비용 문제

본 논문에서 제안하는 재라우팅 경로 선택 알고리즘은 PFC 정보를 기반으로 한 DR 기법으로 이것은 다음과 같은 목적함수와 제약조건을 갖는 재라우팅 최소 비용문제로서 표현할 수 있다.

objective function

$$\text{Min} \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^{C_k} W_{kj} y_{kj} + \sum_{k=1}^K x_k \quad (1)$$

constraints

$$\sum_{j=1}^{C_k} y_{kj} + x_k = 1, k=1,2,\dots,K \quad (2)$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^{C_k} d_k \delta_{kj}^l y_{kj} \leq R_l, l=1,2,\dots,L \quad (3)$$

$$y_{kj} = 0 \text{ or } 1, x_k = 0 \text{ or } \infty \quad (4)$$

$$C_k \geq 1 \quad (5)$$

여기서,  $d_v$ 는 연결  $v$ 가 요구하는 대역폭이며,  $K$ 는 해당 링크의 장애에 대해 서비스되지 못하는 연결들의 집합을 나타내며,  $R_l$ 은 장애가 발생한 후 각 링크  $l$ 의 잔여 대역폭을 나타낸다. 또한,  $C_k$ 는 연결  $k$  복원을 위해 PFC 정보와 최종 목적지까지의 노드들의 집합이며,  $y_{kj}$ 는  $C_k$  상의  $j$ 번째 링크가 연결  $k$  복원을 위해 선택되어지면 1 ( $j \in C_k$ ), 아니면 0인 변수이다.  $W_{kj}$ 는  $C_k$  상의  $j$ 번째 링크가 서비스 못했던 연결  $k$  복원을 위한 경

로 비용( $W_{kj} = \sum_{j=1}^{C_k} y_{kj} v_j$ )이다.  $v_j$ 는 각 링크의 비용이다. 또한,  $x_k$ 는 연결  $k$  복원이 실패한다면  $\infty$ ( $d_k > R_l, l \in C_k$ ), 아니면 0인 변수이다.

식(1)의 목적함수는 연결  $k$ 에 대해  $j$ 번째 링크를 재라우팅 시에 선택할 때의 비용을 나타내며, 이러한 재라우팅 비용을 최소화하는 것이 이 목적 함수의 목적이다. 제약조건을 살펴보면, 식(2)는 각 연결의 재라우팅시 서비스가 성공되어야 한다는 것이다. 또 식(3)은 연결  $k$ 의 재라우팅 시에 사용되는 각 링크의 잔여 대역폭이 연결  $k$ 의 요구 대역폭을 만족해야 한다는 것이다. 식(4)는 선택 변수들이 가질 수 있는 값들을 나타내며. 마지막으로 식(5)는 연결  $k$ 에 대한 PFC 정보에서 최종 목적지까지 가는 경로들의 집합이 하나 이상인 것을 명시한다.

##### 2. Direct\_destination Rerouting(DR)

논문에서 제안하는 DR 기법은 PFC 정보에 존재하는 노드에서 직접 최종 목적지까지 경로를 결정하는 기법으로 기존의 기법(LR)과 비교하여 최종 목적지까지의 서비스 제공에 대한 최단 거리를 제공할 뿐 아니라 효율적인 대역폭 사용으로 인해 높은 서비스 성공율을 보일 수 있다. 이것은 앞 절에서 설명한 재라우팅 최소 비용문제를 통해 얻을 수 있다.

#### V. 시뮬레이션 및 결과 분석

논문에서 사용하는 네트워크 범위는 노드 수를 20노드로 회선은 전이중 방식인 155Mbps(OC-3)로 구성되며 각 회선의 queuing component는 무시하였다. 실험 네트워크를 생성하기 위해 NS-2(Network Simulator-2)의 GT-ITM 토폴로지 생성기를 사용하였다. 생성된 그래프의 평균 노드 정도(degree)는 4이상이며 연결 횟수는 5000회를 선정하였고 신뢰성을 높이기 위해 3회 반복하여 평균값을 선택하였다. 또한, 각 연결 요청 당 대역폭 요구사항은 64kbps ~ 1.5Mbps 범위에서 데이터 전송 duration 또한 임의의 값을 선정한다.

다음은 본 논문 시뮬레이션을 위해 사용한 가정들이다.

가정 1. 전체 연결 요청은 동등하게 발생하기로 한다.

가정 2. 각 연결 요청 도착 시간은  $\lambda = 5$ 인

exponential 분포를 따른다.

가정 3. 시뮬레이션 시 네트워크 상의 장애 노드 (fault)와 장애 회선의 선정은 임의로 선정하며 장애 지속시간 역시 임의의 시간동안 지속한다.

가정 4. 장애 유형으로는 회선의 단절(회선장애)과 노드의 고장(노드장애)으로 단정한다.

가정 5. 연결 설정 후 데이터 전송 지속시간 (duration)은 임의의 시간을 선택한다.

가정 6. 다중 송신지와 다중 목적지를 기본으로 한다. 즉, 연결 설정 요청은 20노드에서 랜덤으로 발생할 수 있으며 수신지는 송신지를 제외한 모든 노드가 될 수 있다.

가정 7. 모든 회선의 지연시간은 일정하다. 따라서 송신지에서 목적지까지의 지연시간은 중간 경로 수를 결정된다.

가정 8. 서비스 라우팅 및 재라우팅시 사용되는 경로 비용을 1로 한다.

그림 5는 SW\_DR 기법을 이용한 3가지 장애 복구 기법에 대한 재라우팅 서비스 성공률에 대한 성능을 보여주고 있다. SW\_DR 기법은 Shortest-Widest DR으로써 라우팅 매트릭으로 지연시간( $V_i = 1$ )과 잔여 대역폭( $V_i = -R_i$ )을 고려하는 기법으로 이것은 QoS 라우팅의 서비스 성공률 측면에서 보다 나은 성능을 보여주는 기법이기때문에 본 논문의 시뮬레이션에서 사용하기로 한다. 단일 장애 복구 기법인 s-PFC가 가장 좋은 성능을 보여주고 있지만 반복적인 장애 복구 기법을 사용하는 i-PFC 기법이 대역폭이 많을수록 그 차이가 거의 없음을 알 수 있다. 재라우팅 서비스 성공률은 전체 재라우팅 횟수에 대한 성공 재라우팅 횟수로 정의한다. 따라서 잔여 대역폭이 많을수록 s-PFC와 i-PFC 성능이

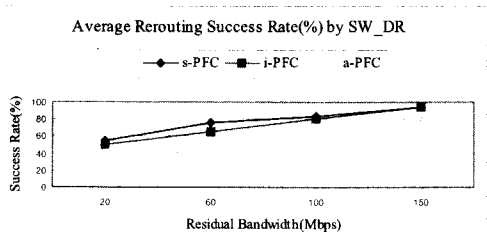


그림 5. SW\_DR기법을 이용한 다양한 장애복구 기법 (s-PFC, i-PFC, a-PFC)에 대한 재라우팅 서비스 성공률 비교

표 2. SW\_DR기법을 이용한 다양한 장애복구 기법의 서비스 성공률 비교

장애 지속시간 (Sec)	s-PFC	i-PFC	a-PFC
20	54.23	49.37	26.12
60	75.36	65.37	46.87
100	82.63	80.33	63.37
150	93.47	93.27	83.38

90% 이상으로 거의 복구가 가능한 것으로 분석되고 있다. 표 2는 이러한 성능을 수치적으로 표현한 것이다.

그림 6의 재라우팅 평균 홉수 성능 비교에서 사용하는 WS\_DR 기법은 QoS 라우팅 시 사용되는 평균 홉수에 있어서 보다 나은 성능을 보이는 Widest-Shortest QoS 라우팅 기법이다. 재라우팅 평균 홉수 성능은 s-PFC가 가장 적은 홉수를 사용하여 서비스 복구가 이루어졌으며 a-PFC 그리고 i-PFC 순으로 성능의 차이를 보이고 있다. 표 3은 이러한 성능을 수치적으로 표현한 것이다. 그림 7과 8은 [6]에서 제안한 p-Cycle 기법을 IP 네트워크 상에서 적용한 것(자원예약 없이)과 s-PFC 기법과의 성능을 비교하고 있다. p-Cycle 기법이 on-cycle과 straddling 복구를 하고 있지만 더 많은 경로를 거쳐야 할 확률이 많기 때문에 재라우팅 평균 서비스 성공률과 홉수에서 s-PFC에 비해 성능이 낮은 것으로 나타나고 있다. 하지만 잔여 대역폭이 많을수록 차이가 줄어드는 것을 알 수 있다. 표 4,5는 그림 7과 8의 성능을 수치적으로 표현한 것이다.

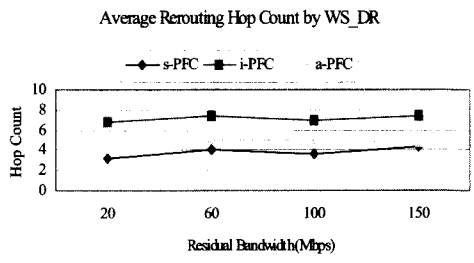


그림 6. WS\_DR기법을 이용한 다양한 장애복구 기법 (s-PFC, i-PFC, a-PFC)에 대한 재라우팅 평균 홉수 비교

표 3. SW\_DR기법을 이용한 다양한 장애복구 기법의 평균 홉 수 비교

장애 대역폭(Mbps)	s-PFC	i-PFC	a-PFC
20	3.24	6.84	4.73
60	4.12	7.35	5.12
100	3.67	6.93	4.92
150	4.32	7.34	4.74

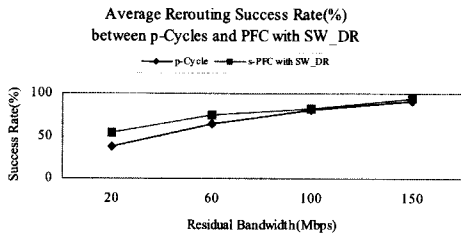


그림 7. SW\_DR기법을 이용한 p-Cycle과 s-PFC 기법간의 재라우팅 서비스 성공률 비교

표 4. p-Cycle과 s-PFC 기법간의 재라우팅 서비스 성공률 비교

장애 대역폭(Mbps)	SW_DR with p-Cycle	PFC with SW_DR
20	37.83	54.23
60	63.83	75.66
100	80.37	82.63
150	91.32	93.47

그림 9는 두 기법간의 재라우팅 소요되는 비용에 대한 분석을 보여주고 있다. PFC기법이 p-Cycles 기법보다 비용적인 면에서 더 적게 소요되는 것을 볼 수 있는데 이것은 재라우팅 사용되는 재라우팅 경로(홉 수)가 그림 8에서 보는 바와 같이 더 적기 때문이다.

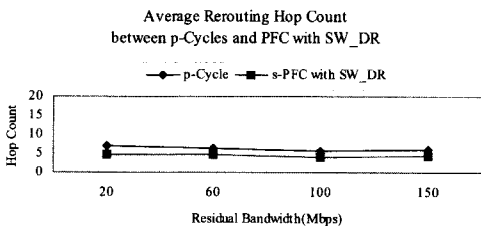


그림 8. SW\_DR기법을 이용한 p-Cycle과 s-PFC 기법간의 재라우팅 평균 홉 수 비교

표 5. p-Cycle과 s-PFC 기법간의 재라우팅 평균 홉 수 비교

장애 대역폭(Mbps)	SW_DR with p-Cycle	PFC with SW_DR
20	6.93	4.79
60	6.23	4.73
100	5.83	4.13
150	6.12	4.44

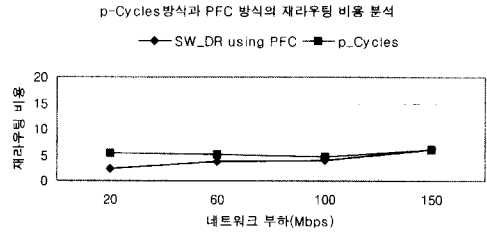


그림 9. SW\_DR기법을 이용한 p-Cycle과 s-PFC 기법간의 재라우팅 비용 비교

## VI. 결론

사용자 서비스가 장애 상황에 대해 복구할 수 있는 연구는 매우 중요한 주제로 대두되고 있다. 따라서 본 논문은 IP 네트워크 상에서 발생하는 다양한 장애 상황에 대한 복구 기법들로 s-PFC, i-PFC, a-PFC 기법을 제안하며 이를 토대로 최소 비용을 갖는 재라우팅 문제를 이용한 경로 선택 알고리즘으로 PFC 정보를 이용해 직접 최종 목적지까지 재라우팅하는 Direct\_destination Rerouting(DR) 기법을 제안한다. 이들은 IP 네트워크 상에서 보다 빠르고 자원 효율적인 재라우팅 성능을 보여 주고 있으며 기존의 연구 기법과 성능에서도 우수한 면을 보이고 있다.

## 참고 문헌

- [1] 한정수, 정진욱, "암시적 3단계 정보를 갖는 분산 QoS 라우팅 성능 연구", 한국정보처리학회논문지 (C), 제9-C권 제1호 2002년 2월 pp. 141-145,
- [2] Anindo Banerjea, "Fault Recovery for Guaranteed Performance Communications Connections", *IEEE/ACM Trans on Networking*, Vol 7, No 5, October 1999, pp 653-668.

[3] Murali Kodialam and T.V. Lakshman, "Restorable Dynamic Quality of Service Routing", *IEEE Communications Magazine* June 2002. pp 72-81

[4] D.Medhi and R.Khurana "Optimization and Performance of Network Restoration Schemes for Wide-Area Teletraffic Networks", *Journal of Network and Systems Management*, Vol 3, No 3, Sept. 1995

[5] Christopher Metz, "IP Protection and Restoration", *Internet Computing*, March-April 2000, pp 97-102

[6] Demetios Stamatelakis, Wayne D.Grover "IP Layer Restoration and Network Planning Based on Virtual Protection Cycles", *IEEE Journal on Selected Area in Communications* Vol 18, No. 10, Oct 2000, pp 1938-1949

[7] Muriel Medard, Steven G. Finn, Richard A.Barry, Robert G.Gallager, "Redundant Trees for Preplanned Recovery in Arbitrary Vertex-Redundant or Edge-Redundant Graphs", *IEEE/ACM Trans on Networking*, Vol 7, No 5, October 1999, pp 641-645

[8] W-P. Wang, D.Tipper, B.Jaeger, and D.Medhi, "Fault Recovery routing in Wide Area packet Networks", in *Proceedings of 15th International Teletraffic Congress*, Washington, DC, June 1997 , pp 1938-1949

[9] Bartos, R, Raman, M, "A heuristic approach to service restoration in MPLS networks", *Communication, 2001, ICC 2001, IEEE International conference on*, Vol 1, 2001, pp 117-121

[10] Jozsa, B.G, Magyar, G "Reroute sequence planning for label switched paths in multiprotocol label switching networks", *computers and Communications, 2001, Proceedings, 6th IEEE Symposium on*, 2001, pp 319-325

[11] Ken Owens, Vishal Sharma, Srinivas Makam, Changcheng Huang, "A Path Protection/Restoration Mechanism for MPLS Networks", *IETF Draft* Jan 2002.

한 정 수(Jeong-Soo Han)

정회원



1997년 2월 : 성균관대학교  
정보공학과 졸업

1999년 2월 : 성균관대학교  
전기전자및컴퓨터  
공학부 석사

2003년 2월 : 성균관대학교  
전기전자및컴퓨터공학부 박사

“ 현재 : 신구대학 인터넷정보과 전임강사  
<관심분야> 네트워크 관리, QoS라우팅, 서비스복구  
라우팅