

3단 BGP 백업 라우팅

(A Three-Tier BGP Backup Routing)

서 창 진 †

(Changjin Suh)

요 약 BGP[1]는 광대역 인터넷에 사용되는 유일한 라우팅 방식으로서 인터넷의 계층구조와 자신의 정책에 의해서 경로를 선정한다. BGP 라우터는 일부의 인근 BGP 라우터에 대해서만 선택적으로 라우팅 정보를 공표하기 때문에 링크가 연결되었다고 해서 출발지 노드에서 목적지 노드까지의 라우팅 정보가 도달되지는 않는다. 특히 바이러스나 재난으로 인하여 광범위에 걸쳐서 많은 BGP 라우터가 다운되는 유사 시에 인터넷의 연결성을 유지하기 위하여 BGP는 평소에 도달할 수 없는 경로도 제한적으로 도달할 수 있어야 한다. 이 논문은 BGP 백업 라우팅의 요구사항을 나열한 후 이러한 사항을 최대한 만족하는 백업 라우팅 규칙을 찾아본 결과 기존 방식이 안고 있던 대부분의 단점이 해결된 백업방식을 도출하였다. 제안되는 백업방식은 우선 BGP 백업 라우팅은 네트워크의 피해정도에 따라 3단계로 동작한다. 이 규칙 하에서 BGP 라우터는 평소에는 0단계에서 정의되는 경로만을 사용하다가 BGP 라우터의 손상범위에 따라서 1단계로, 손상범위가 더 커지면 2단계로 사용범위를 확장한다. 또한 이 논문은 제안된 백업 방식이 네트워크의 안정성(stability)과 안전성(safeness)을 보장함을 증명하였다. 그 결과 제안된 백업방식은 사소한 지역적인 네트워크 사고에서부터 전체적인 심한 네트워크 사고에 이르는 모든 사고에 대해서 적응력 있게 대처하여서 강력한 경로의 도달성을 항상 제공한다.

키워드 : BGP, eBGP 안정성, 백업, 안전성, 도달성, 통과 서비스

Abstract BGP is a unique routing protocol in broadband internet. It chooses routing paths considering internet hierarchy and local policies. As BGP routers selectively bypass routing information to a subset of neighboring BGP routers, connectivity by way of a series of links between source and destination nodes does not mean reachability of routing information of the two. In emergency when BGP routers or links over wide range are not available, BGP routers have to use links that are not normally used to keep reachability. This paper listed out the requirements for BGP backup routing and proposed a routing solution that hides most demerits in currently published ones. The proposed backup operates in three tiers according to network damage. Under this rule, BGP routers use tier-0 routing paths at normal. If networks are impaired, they choose tier-1 paths. If networks are seriously damaged, tier-2 paths are allowed to use. Also this paper proves that the proposed backup guarantees stability and safeness. As results, the proposed backup is very adaptive to light network damages as well as serious ones and provides strong routing reachability at all times.

Key words : BGP, eBGP stability, backup, safeness, reachability, transit service

1. 소개

BGP[1]는 거리벡터 계열의 프로토콜로서 현재 인터넷에서 만개 이상의 AS를 연결시키고 있다. 이 프로토콜이 설치된 라우터를 BGP 라우터라고 부르는데, BGP는 BGP 피어링 관계를 맺고 있는 두 BGP 라우터 사이에서 동작된다. 피어링 관계에는 피어-피어 관계와 제

공자-고객 관계가 있다. BGP는 자신과 피어링 관계를 갖는 인근 라우터에서 공표한 여러 라우팅 벡터 중에서 최선의 우선도를 갖는 벡터를 선택한 후 이 벡터를 본인에게 전달할 때 사용된 링크를 선택한 라우팅벡터 끝에 부가하여 자신의 라우팅 벡터로 사용하며 이를 다시 모든 인근 라우터에게 공표한다. 벡터를 선택하는 과정에서 인터넷의 계층구조와 사용료를 지불한 고객의 부하만 통과시키는 경제의 기본원리가 적용된다. BGP 라우터는 전달하기로 계약한 부하에 대해서만 통과시키므로 출발지 노드와 목적지 노드가 연결되어 있다고 하여도 이들 사이의 라우팅이 성립되지 않을 수가 있다.

· 본 논문은 숭실대학교 교내연구비 지원으로 이루어졌다.

† 중신회원 : 숭실대학교 컴퓨터학부 교수

cjsuh@comp.ssu.ac.kr

논문접수 : 2005년 3월 28일

심사완료 : 2005년 9월 30일

만일 사용하는 링크가 절단되어 현재의 라우팅 벡터를 사용할 수 없다면 다른 경로를 이용해서 라우팅 벡터가 복구된다. 한편, 광범위한 범위의 BGP 라우터가 손상되는 큰 재앙이 발생하였다면 일부 라우터에서는 평소에 사용할 수 있는 일반경로가 모두 사라지고 평소에는 사용할 수 없었던 백업경로만이 남는다. 이 경우 연결성을 유지하기 위하여 BGP는 평소에 사용하지 않는 링크도 제한적으로 사용해야 한다.

현재 BGP의 백업 라우팅은 크게 두 가지가 제시되었다. Gao 방식([2])은 고객→제공자 링크가 나타난 직후에 제공자→고객 링크의 연결만을 금한다. 이 최초의 백업 라우팅 방법은 [3]에서 보인 정상적인 백업 방식을 확장한 형태로서 안정성을 보장할 뿐만 아니라 연결경로가 하나만 존재하더라도 연결성이 항상 보장됨을 증명하였다. 그러나 광역적인 관점에서 이 방식은 하향하여 전달되던 데이터가 다시 상향하여 전달되기도 한다. 일반적으로 상위계층의 링크는 하위계층의 링크보다 속도가 높고 전송용량 크다. 이러한 성질을 고려하면 전술한 경로는 대용량 고속링크→저용량 저속링크→대용량 고속링크를 거친다. 또한 하향하던 전송로가 상향으로 바뀌는 구간에 위치한 라우터는 자신의 고객이 아닌 제 3자의 데이터를 전송하기 위해서 자신이 사용료를 지불하는 링크를 사용해야한다. 이처럼 단점이 많은 제공자→고객, 고객→제공자 링크를 순차적으로 포함하는 라우팅 벡터는 사용하지 않거나 최악의 상태에서에서만 사용해야 한다. Sobrinho 방식([4])은 이러한 경로는 사용하지 않으며 또한 고객→제공자의 링크를 포함하는 경로의 우선순위를 낮추는 등의 변형을 시도하였는데 이러한 변형은 한편으로 라우팅벡터의 홉 수가 늘어나는 등의 부작용이 발생한다.

본 논문은 백업동작과 다단백업의 두 가지 측면에서 기존의 백업방식과 비교가 된다. 첫째, 보다 바람직한 백업동작을 도출하기 위해서 본 논문은 백업 방식을 평가하는 성능항목을 발췌한 후 평가항목을 최대로 만족하도록 백업동작을 정의하였다. 둘째로 다단백업이 여러 피해 상황에서 원만하게 이루어지도록 하기 위해서 사용할 수 있는 경로를 백업 수준에 따라서 세분화하였다. 제안된 백업방식에서는 절대적으로 사용할 수 없는 경로는 존재하지 않으며 단지 백업경로들은 다양한 우선도를 가질 뿐이다. 이러한 원리로 제안된 백업 프로토콜은 간단한 손상에서부터 극심한 손상에 이르기까지 네트워크 손상 정도에 적응하여 적절하게 라우팅 벡터를 제공한다.

우리는 네트워크의 상태를 세 단계로 세분하여 각 단계마다 전달할 수 있는 라우팅 벡터의 범위를 확장하였다. 0 단계는 정상상태로서 현재의 BGP 라우터가 전달하는 방식대로 라우팅 벡터를 전달한다. 1 단계는 주변

의 네트워크가 심하게 형성된 상황으로서 반골형과 연속 피어형 연결이 허용된다. 금지되는 라우팅 경로 형태는 3장에서 정의된다. 마지막으로 2 단계는 바이러스에 의하여 네트워크에 대규모로 이상이 생겨서 많은 네트워크의 노드나 링크가 훼손되어 매우 극심하게 네트워크 손상되어 많은 BGP 라우터들이 연결조차 유지하기 힘든 극한적인 상태이다. 이때는 금지된 연결형인 골형의 라우팅 경로가 추가로 허용된다. 그러나 골형은 구조적으로 다량의 데이터를 전송하기에 부적합하므로 골짜기형의 경로를 이용할 수 있는 범위는 네트워크 제어용이나 특급 데이터 트래픽과 같은 극히 적은 부류의 트래픽으로 제한하여야 한다.

[5]에서는 금지된 형태의 라우팅 경로가 전달된다면 BGP는 라우팅 경로가 지속적으로 바뀌는 현상을 지적하였다. 본 논문에서는 백업법점 x_1 와 x_2 를 추가로 정의하여 이러한 stability 문제를 해결되었음을 증명하였으며 또한 백업에서 필요한 제한 요구조건을 충족하는 백업방법을 제시한다.

이 논문은 다음과 같은 단순화를 통해서 논점을 집중한다. 우선 eBGP만을 다루기 때문에 각 AS에는 하나의 BGP 라우터가 존재한다고 가정하며, [3]에서 주장한 단순화를 적용해서 i) 모든 AS에서 특정한 하나의 목적지 AS에 도달하는 라우팅 벡터를 만드는 방법만을 고려하며 ii) 한 BGP 라우터에는 하나의 라우팅 벡터만을 선정한다고 가정한다. i)과 ii)의 가정 하에서 얻어진 결과는 여러 목적지 AS나 다중 라우팅 경로로 쉽게 확장할 수 있다.

이 논문은 다음과 같이 구성된다. 2절에서는 BGP가 어떻게 동작하는가를 정상적인 상태에서 살펴본 후 백업상황에서는 어떠한 백업경로가 추가로 허용되며 이들의 성질은 어떠한지를 3절에서 알아본다. 4 절에서는 기존에 발표된 Gao 방식과 Sobrinho 방식을 소개한 후 본 논문이 제안한 방식을 정의하고 이들 방식들의 주요 성질을 소개한다. 5절에서는 4절에서 소개된 세 개의 백업방식을 평가할 항목을 나열하고 그들의 의미를 살펴본 후에 세 백업방식을 평가하였다.

2. BGP 동작

이번 섹션에서는 정상적인 상태에서 BGP가 어떻게 동작하는지를 살펴봄에 설명에 필요한 용어들을 정의해 보자.

2.1 BGP의 소개

BGP는 피어링 관계를 갖는 BGP 라우터 사이에서 사용하는 라우팅 프로토콜이다([6,7]). BGP 피어링은 대칭적인 피어링과 비대칭적인 피어링으로 나뉜다. 대칭적인 피어링 관계는 피어링 관계를 갖는 두 BGP 라우터가 인터넷 계층구조 상에서 동일한 혹은 유사한 계층에

속하고 있는 경우를 칭한다. 대칭적 피어링 링크에는 피어→피어 링크가 있으며 e로 표시한다. 한편 서로 다른 계층에 속한 BGP 라우터끼리 피어링 관계를 갖는 비대칭적인 피어링의 경우에는 제공자→고객 관계 혹은 고객→제공자 관계가 있다. 제공자는 계층구조에서 고객보다 항상 상위에 위치한다. 고객→제공자 링크는 u(upward의 준말)로 제공자→고객 링크는 d(downward의 준말)로 각각 표시한다.

그림 1은 인터넷을 AS 단위로 재구성한 그래프이다. 그림 1에서 각 노드는 BGP 라우터에 의해서 유지되고 관리되는 독립적인 AS를 의미하며, 각 링크는 피어링 관계를 갖는 두 BGP 라우터의 관계를 나타낸다. 각 BGP 라우터 중에서 피어링 관계를 가지고 있는 BGP 라우터들은 그림에서와 같이 피어→피어 링크 혹은 제공자→고객 링크, 고객→제공자 링크로 연결된다. 링크는 피어-피어 링크는 방향이 없이 표시되며 제공자→고객 링크는 고객 노드를 향하는 아크를 갖는다. AS5의 입장에서 보면, AS2는 제공자노드이고 AS4는 피어노드이며 AS7과 AS8은 고객노드이다.

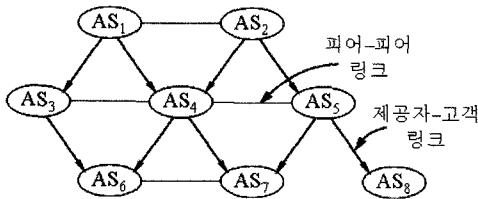


그림 1 BGP 네트워크의 그래프 표현

BGP는 자신과 피어링 관계를 갖고 있는 인근 라우터가 자신에게 공표한 라우팅 벡터를 선택할 경우에는 이 벡터를 알려준 라우터와 자신을 잇는 링크를 선택한 라우팅 벡터 끝에 추가하여 사용한다. 그리고 이렇게 모인 벡터 중에서 하나를 선택한 후 이를 다시 공표규칙이 허용하는 인근 라우터들에게 공표한다. 공표된 라우팅 벡터는 이렇게 순차적으로 거치는 라우터의 횟수를 늘이면서 인터넷 전역으로 확대되어 결국 인터넷상의 모든 AS들은 목적지 AS로 향하는 라우팅 경로를 갖출다.

입수된 여러 경로 중에서 하나의 경로를 선택할 때에는 인터넷의 계층구조와 경제논리가 고려된다. 즉 제공자는 고객에게 사용료를 받고서 인터넷 서비스를 제공하는데 이를 위해서 자신의 상위 라우터로 고객의 데이터가 전달되는 서비스를 허용한다. 반면에 사용료를 지불하지 않는 피어 노드나 다른 제공자로부터 전달된 데이터는 자신이 사용료를 지불하는 제공자 노드로 전달하지 않는다. 비슷한 논리로 라우터들은 피어 노드로부터 전달된 데이터를 다른 피어노드로 전달하지 않는다. 이처

럼 고객 노드에서 발생한 데이터를 자신의 피어 노드나 제공자 노드로 전달하는 서비스를 통과(transit) 서비스라고 부른다. 통과 서비스가 제공되지 않는 특정한 링크 l과 입수된 경로 P의 경우에 l은 P에 부가될 수 없다.

2.2 BGP 라우팅 벡터의 상태 정의

여기에서는 BGP 체계에서 어떻게 라우팅 벡터가 정의되는지를 살펴본 후에 정상상태에서 사용되는 라우팅 벡터의 종류를 살펴본다.

표 1은 백업을 고려하지 않은 상태에서 라우팅 벡터의 상태를 정의한다. 벡터의 표시는 경로나 링크로 표현할 때 점(.)을 사이에 두고 좌측에는 송신자에서 첫 홉으로 사용하는 링크를 우측에는 그 이후의 경로를 각각 표시한다. 표 1은 경로 P를 링크 l을 통해서 받아들였을 때 만들어지는 추가된 경로 l·P의 상태를 보여준다. 링크 l의 타입은 경로 l·P의 출발지 노드의 관점에서 정의된다. 표 1에서 각 열 상단에 표시된 경로 상태는 입력 링크의 타입으로 정의된다. 이는 라우팅 벡터는 경로의 첫 링크의 타입으로 상태가 정해짐을 의미한다. 또한 표 1의 어둡게 표시된 부분은 통과 서비스를 제공하지 않아서 경로가 설정될 수 없음을 뜻한다.

3. BGP 백업 경로형태

이번 절에서는 BGP가 평소에 금지하는 경로형태에 대해서 살펴보고 이들 사이에서의 선호도를 알아본다.

3.1 금지된 링크 시퀀스

BGP 라우팅에서 $u \cdot u \dots u \cdot e \cdot d \cdot d \dots d$ 는 기본적인 경로형태이다. 기본경로형태에서 연속된 u나 연속된 d는 u나 d의 개수를 줄이거나 아예 모두를 생략할 수 있으며 e 또한 생략할 수 있다. 계층을 상하로 표현하여 u를 /로, d를 \로, e를 →로 각각 표현하면 전체 라우팅 경로는 up 방향 이후에 down 방향을 갖춘 산봉우리의 모습이 된다. 표1의 어두운 부분에 적혀진 네 가지의 금지된 링크 시퀀스는 $d \cdot e$, $d \cdot u$, $e \cdot e$, $e \cdot u$ 이다. 이들을 각각 좌반굴형, 직굴형, 연속피어형, 우반굴형이라고 부르고 좌반굴형과 우반굴형을 합하여 반굴형이라고 칭한다. 만일 좌반굴형을 거친 후에 우반굴형이 존재할 경우 즉 $d \cdot e \cdot u$ 이나 두 개 이상의 연속된 링크 e가 포함된 $d \cdot e \dots e \cdot u$ 의 형태를 굴형이라고 한다. 이 굴형을 판별하려면 최소한 3개의 링크타입을 알아야 하는데 최근의 2개의 링크타입으로만 경로상태를 정의한 표 1로는 굴형을 표시할 수가 없다.

3.2 금지된 형태의 우선순위

라우팅 벡터의 기본경로인 산봉우리 형태는 자연스럽게 적은 수의 라우터를 거치면서 목적지로 도달하는 경로를 제공해 준다. 반굴형과 연속피어형은 기본경로형태에서 임의로 링크 e가 추가될 때에 발생한다. 이 경우는

전체적으로는 한 개의 산봉우리 모양의 기본경로형태를 유지한 채 부분적으로 반골형이나 연속피어형을 포함한다. 반면에 골형 및 직골형이 포함되면 전체경로는 하나 이상의 산봉우리나 골짜기 모양을 갖는다. 계층구조에서 상위계층의 라우터나 링크는 하위계층의 라우터나 링크에 비해서 큰 용량을 갖는다. 이를 적용하면 골형이나 직골형이 포함된 경로를 따라가 보면 대용량→소용량→대용량의 링크를 차례로 거친다. 이때 경로 중간의 소용량 링크는 병목현상을 일으켜서 이 구간에서 전송 시간을 지연시키고 패킷을 다량으로 손실하는 심각한 문제를 발생시킨다. 따라서 골형 및 직골형은 백업 경로 형태 중 가장 낮은 선호도를 갖는다. 특히 골형은 대용량 링크 사이에 위치한 소용량 링크 구간이 직골형에 비해서 삽입된 백업용 링크 e의 개수만큼 늘어나므로 직골형 이상으로 피해를 끼친다.

상기한 연결형태들을 네트워크 손상정도에 따라서 사용 가능여부를 표 2에 정리하였다. 정상상태인 T0에서는 백업용 경로를 사용할 수 없지만 일반적인 백업상태인 T1에서는 직골형과 골형을 제외한 모든 연결방법을 사용한다. 또한 최악의 네트워크 상황인 T2에서는 모든 연결방법을 사용할 수 있다.

4. 백업방식

이번 절에서는 모든 백업방식에 적용되는 공통적인 방법과 갖추어야 할 성질을 소개한 후 이 방식에 의거하여 기존에 발표된 백업방식을 4.2과 4.3에서, 제안한 백업방식을 4.4에서 소개한다. 4.5에서는 백업방식이 갖추어야 할 성질을 언급하고 이를 바탕으로 세 개의 방식을 비교한다.

표 1 정상상태에서 생성되는 벡터 l·P의 상태

*어두운 부분(-)은 비정상상태에서만 허가됨.
*P=φ는 P가 비어 있음을 뜻함.

| 입력되는 벡터 P 상태 | | φ | d | e | u |
|--------------|------|---|---|---|---|
| 링크(l) 타입 | 인근노드 | | | | |
| d | 고객 | d | d | - | - |
| e | 피어 | e | e | - | - |
| u | 제공자 | u | u | u | u |

표 2 계층별로 허용되는 백업연결형태

*O는 허용됨을, x는 불허됨을 각각 의미함.

| 백업연결형태 | 직골형 | 골형 | 반골형 | 연속피어형 |
|--------|-----|-----|--------|-------|
| 계층 사례 | du | deu | de, eu | ee |
| T0 | | x | | x |
| T1 | x | | | O |
| T2 | | O | | O |

4.1 방식의 정의

여기서는 백업방식을 정의하는 방법에 대해서 설명한다. 각 방식은 경로의 상태와 백업벌점(avoidance level; 이를 줄여 벌점이라 칭함)을 기초로 경로가 연장될 때마다 동일한 벌점이 유지되거나 새로이 벌점이 추가된다. 백업벌점은 감소될 수 없으며 벌점이 낮은 경로가 우선적으로 선택된다. 연장된 경로(l·P)의 상태와 벌점은 링크가 추가될 때에 이전 경로(P)의 상태와 이전 벌점(x), 부가할 링크(l)의 타입, 링크에 부과된 벌점(y)으로 정의된다. 표 3에는 앞으로 소개할 세 개의 백업방식이 정의되어 있다. 각 표의 가로축은 연장되기 이전의 경로 P의 상태를 보여주며 세로축은 부가할 링크의 타입을 보여준다. 또한 세미콜론(;) 이후에는 경로나 링크의 백업벌점을 적는다. 이러한 조건 하에 생성되는 연장된 경로(l·P)의 상태와 벌점이 표의 셀마다 표시되어 있다. P가 취할 수 있는 상태 중에서 P=φ는 P가 없음(null)을 뜻한다. 표 3의 모든 표에서 우상귀의 어두운 부분은 백업용으로만 허가됨을 의미하며 허가될 경우에 백업벌점이 추가된다.

백업벌점과 경로상태에 따라서 라우팅 경로의 우선순위가 결정된다. 라우팅 경로의 선호도 함수를 H로 부르고 H값이 큰 순서대로 경로가 선호된다고 하자. 만일 H값이 같은 경우에는 적은 경로 홉 수가, 경로 홉 수가 동일하면 MED 값이 적을수록 우선한다.

4.2 Gao 백업방식

표 3(a)은 Gao 백업방식을 정의한다. 이 가장 기본적인 백업방식은 다음과 같은 원칙에 의해서 사용할 경로 벡터를 고른다.

첫째, 백업벌점이 다른 경우는 벌점이 적은 경로가 선호된다. 정상경로는 최저의 백업벌점인 0을 갖는다. 둘째 벌점이 가장 적은 벡터가 여러 개일 경우는 경로상태가 d인 경우가 e나 u보다 우선한다.

$$H(d) > (H(e) \text{ or } H(u)) \quad (1)$$

Gao 백업형태의 특징은 다음과 같다. 첫째, 표 3(a)에서 모든 추가된 경로의 상태는 마지막 링크 타입으로 결정된다. 이에 따라서 표 3(a)의 모든 가로줄에서 부가할 링크의 타입과 부가된 경로의 상태는 각각 동일한 값 즉 d, e, u이다. 둘째, 벌점은 백업 시에만 부가할 수 있는 링크를 부가할 때에만 늘어난다. 이들은 표 3(a)에서 어둡게 표시된 부분으로서 좌상귀부터 시계반대방향으로 정렬된 세 셀이다. 이들은 각각 좌반골형, 연속피어형, 우반골형의 백업을 형성한다. 셋째, 허용되지 않는 백업결합이 있다. 표 3(a)에서는 우상귀에 “-”로 표시된 셀은 직골형을 의미하는데 Gao 방식은 이를 불허한다. Gao 방식은 직골형을 금지하는 반면에 이에 상응할 정도로 해로운 골형 경로를 허용하는 치명적인 단점을 갖는다.

4.3 Sobrinho 방식

Sobrinho 방식은 다음과 같은 원칙을 적용하여서 새로운 백업방식을 제안하였다.

첫째, 골형 및 직골형을 허용하지 않는다. 둘째, 링크 e를 추가할 때마다 백업발점이 부과된다. 셋째, 정상적인 경로는 다음과 같이 선호도가 결정된다.

$$H(d) > (H(e) \text{ or } H(u)) \quad (2)$$

넷째, 백업경로는 정상경로에 비해서 우선순위가 뒤지며, 백업경로 사이에서는 백업발점이 낮을수록 선호된다. 백업발점($\neq 0$)이 동일한 경우는 다음과 같이 선호도를 갖는다.

$$(H(d) \text{ or } H(e)) > H(u) \quad (3)$$

Sobrinho 방식은 전술된 원칙에 따라서 경로상태를 표 3(b)와 같이 정의한다. 상태는 총 다섯 개로 정의되었는데 이 중에는 세 개의 정상적인 경로상태인 d, e, u와 두 개의 백업경로상태인 \underline{d} 와 \underline{u} 가 있다. 이처럼 밑줄로 표시된 상태는 백업경로임을 시사한다. 여기에서 \underline{d} 는 e를 포함하기 때문에 \underline{e} 가 정의되지 않았다. 이러한 정의를 사용하면 식 (3)은 다음과 같이 바뀐다.

$$H(d) > H(\underline{u}) \quad (4)$$

백업경로의 선호도를 책정할 때에 Sobrinho 방식에서 사용하는 식 (3)은 Gao 방식에서 사용하는 식 (2)에 비해서 우월하지 못하다. 식 (2)와 식 (3)의 차이가 적용 되려면 인터넷의 계층구조의 관점에서 목적지 노드가 출발지노드에 비해서 같거나 높아야 하므로 이 경우를 생각해보자. 만일 목적지 노드와 출발지 노드가 동일한 계층에 속한다면 링크 e만을 이용한 경로를 구하는 것보다는 상위레벨의 라우터를 포함시키면 적은 홉수로도 목적지로 향할 수가 있다. 그 이유는 상위레벨에서는 하위레벨에 비해서 더 많은 피어링 관계를 맺고 있을 뿐 아니라 지리적으로 멀리 떨어진 라우터와도 하나의 고속 링크를 통해서 연결되기 때문이다.

4.4 제안하는 백업방식

제안하는 방식은 각 경로벡터를 $(s ; x_1, x_2)$ 로 표현한다. 이때 s는 경로의 상태를, x_1 과 x_2 는 레벨1과 레벨2의 백업발점을 각각 나타낸다. 표 2에서 소개된 경로벡터의 백업계층 j는 x_1 과 x_2 값에 따라서 아래의 관계로 유추할 수 있다.

$$\begin{aligned} j &= 2 && \text{if } (x_2 \neq 0) \\ &= 1 && \text{if } ((x_2=0) \cap (x_1 \neq 0)) \\ &= 0 && \text{if } (x_1=x_2=0). \end{aligned}$$

백업발점 x_1 과 x_2 의 값이 벡터가 증가될 때에 줄어들지 못하므로 백업레벨은 벡터가 증가됨에 따라서 줄어들 수 없다. 즉, 증가된 $l \cdot P$ 의 백업레벨은 원래의 경로 P의 백업레벨보다 같거나 큰 값을 갖는다. 경로 상태 s는 d 혹은 e, eu, u 값을 갖는다. 경로벡터의 첫 번째

표 3 여러 백업방법에서의 벡터 $l \cdot P$ 의 상태 정의

*P= ϕ 은 P가 비어 있음을 뜻함.

**이두운 부분은 불허되거나 백업발점이 가해지는 부분임.

*(a)와 (c)의 경우 백업발점은 직골형, 연속피어링형, 반골형에 대해서 발점이 부여된 후 이를 구성하는 링크에 이 발점이 부가링크의 y값으로 매겨짐.

(a) Gao 백업방법

| 벡터 P 부가링크 l | ϕ | (d;x) | (e;x) | (u;x) |
|----------------|--------|-------|---------|---------|
| (d;y) | (d;0) | (d;x) | (d;x+y) | |
| (e;y) | (e;0) | (e;x) | (e;x+y) | (e;x+y) |
| u | (u;0) | (u;x) | (u;x) | (u;x) |

(b) Sobrinho 백업방법

| 벡터 P 부가링크 l | ϕ or (d;0) | (e;x) | (u;0) | (\underline{d});x) | (\underline{u});x) |
|----------------|--------------------|--------------------------|-------|--------------------------|--------------------------|
| d | (d;0) | (d;x) | | (\underline{d});x) | |
| (e;y) | (e;y) | (\underline{d});x+y) | (u;y) | (\underline{d});x+y) | (\underline{u});x+y) |
| u | (u;0) | (u;0) | (u;0) | (\underline{u});x) | (\underline{u});x) |

(c) 제안하는 백업방법

| 벡터 P 부가링크 l | ϕ | (d;x ₁ x ₂) | (e ; x ₁ x ₂) | (e _u ; x ₁ x ₂) u (u ; x ₁ x ₂) |
|----------------|---------|------------------------------------|--------------------------------------|---|
| (d;y) | (d;0 0) | (d;x ₁ x ₂) | | |
| (e;y) | (e;0 0) | (e;x ₁ x ₂) | (e;x ₁ y x ₂) | (e;x ₁ y x ₂) |
| u | (u;0 0) | (u;x ₁ x ₂) | (u ; x ₁ x ₂) | (u ; x ₁ x ₂) |

링크가 d와 u이라면 상태 s는 d 혹은 u값을 가지며, 첫 번째 링크가 e일 경우에는 상태는 e 혹은 eu를 갖는다. 경로상태 eu는 경로 중에 u 링크가 포함되어 있을 경우를 그리고 e는 u가 하나도 없음을 각각 뜻한다. 이렇게 세분한 이유는 경로벡터에서 골형을 배제하기 위해서이다. 이러한 취지를 살려서 경로상태의 변환을 정의하면 표 3(c)를 얻는다. 경로벡터의 우선도는 첫째 x_2 의 값이 적을수록, 둘째 x_1 의 값이 적을수록 선호된다. 두 값이 같으면 d인 경로가 우선한다.

백업 방식은 다음과 같이 쉽게 구현할 수 있다. 제안한 백업방식은 경로벡터를 인근 노드에 공표할 때 벡터 상태값인 $(s ; x_1, x_2)$ 을 BGP 프로토콜의 community 필드에 기록한다. 이 필드는 BGP 네트워크에서 단대단으로 전달된다.

5. 백업방식의 비교

이번 장에서는 5.1에서 백업방식이 갖추어야 할 조건을 나열한 후 5.2에서는 이 조건을 기준으로 4장에서 소개한 세 개의 방식에 대해서 그 성질을 비교해 본다.

5.1 백업방식의 요구조건

백업방식은 다음의 조건들을 만족해야 한다.

- (A) 안전(safe)해야 한다.

BGP는 인근한 노드에서 전달해준 경로 중에서 하나의 경로를 선택한다. 만일 모든 BGP 노드에서 선택할 수 있는 가장 좋은 경로를 선택할 경우 우리는 BGP가 안정한(stable) 상태에 있다 혹은 BGP가 안정하다고 말한다. 안정하지 않은 BGP 네트워크에서는 경로를 수시로 바꾸는 경로발산현상이 나타날 수도 있다. 만일 BGP 네트워크가 안정하더라도 안정한 상태로 도달하기가 어려운 경우에도 역시 경로가 꾸준히 변경되기도 한다. 이러한 바람직하지 못한 경우를 제외하기 위해서 안정한 상태로 쉽게 도달할 수 있는 안정한 BGP 네트워크를 “안전하다”라고 칭한다([6,8,9]). 안전한 BGP 네트워크에서는 경로가 계속 바뀌는 현상이 발생하지 않는다. 4장에 언급된 두 개의 기존의 백업방식은 모두 안전함을 증명하였으며 제안된 방식도 안전하다는 사실을 다음에서 증명한다. 여기서는 증명의 분량을 줄이기 위해서 증명에서 사용되는 주개념만을 약술한다.

정리 1. 피어→피어(e), 제공자→고객(d), 고객→제공자(u) 링크로 정의된 BGP 네트워크가 표3(c)에 따라서 상태를 정의한 후 4.4에서 정의된 벡터 선호도 규칙을 적용한다면 BGP 시스템은 안전(safe)하다. 단 주어진 BGP 네트워크는 제공자→고객(d) 링크만으로 구성된 루프와 고객→제공자(u) 링크만으로 구성된 루프를 포함하지 않는다고 가정한다.

증명) Sobrinho의 백업방식이 소개된 [4]은 BGP 라우팅벡터가 monotonous하고 freeness한다면 안전함을 증명하였다. monotonous한 경로가 증가되면서 선호도가 더 증가할 수 없는 성질이다. 제안된 방식에서는 한 경로에 주어진 백업벌점 x_1 과 x_2 이 경로가 길어짐에 따라서 낮아질 수 없으므로 백업형태가 사용될 경우에는 monotonous한 성질을 유지한다. 반면에 제안한 방법은 백업형태가 사용되지 않을 경우에는 Gao가 밝힌 정상적인 경우의 조건인 식 (1)을 따르는데 이 방법은 monotonous하다. 그 결과 제안한 방법은 monotonous하다.

둘째로 네트워크가 freeness 조건을 만족시키야 한다. 이를 위해서는 동일한 준위 w 를 가지는 path와 이를 연장한 준위 w 의 augmented path들로서 loop을 형성해서는 안된다. 금지된 룬을 구성하는 경로는 모두 동일 준위이며 연장할 때에도 준위가 바뀌지 않았으므로 연장한 부분에서는 백업벌점이 적용되어서는 안된다. 즉 freeness를 만족하는 조건은 정상적인 BGP 동작에서의 freeness 조건과 동일하며 그 조건은 [4]에서 제공자→고객(d) 링크만으로 구성된 루프와 고객→제공자(u) 링크만으로 구성된 루프가 없어야 한다고 밝혔다. ■

- (B) 천성적으로 안전해야(inherently safe) 한다.

천성적으로 안전한 BGP는 주어진 BGP 네트워크에서

안전하며 또한 그 BGP 네트워크에서 임의의 링크나 BGP 노드를 제거한 네트워크에서도 안전하다. 본 논문에서 언급되는 세 백업방식은 모두 천성적으로 안전하다.

정리 2. 피어→피어(e), 제공자→고객(d), 고객→제공자(u) 링크로 정의된 BGP 네트워크가 표 3(c)에 따라서 상태를 정의한 후 4.4에서 정의된 벡터 선호도 규칙을 적용할 경우에 이 BGP 시스템은 천성적으로 안전하다(inherently safe). 단 주어진 BGP 네트워크는 제공자→고객(d) 링크만으로 구성된 루프와 고객→제공자(u) 링크만으로 구성된 루프를 포함하지 않는다고 가정한다.

증명) 정리1에서는 주어진 BGP 네트워크가 안전함을 증명하였다. 여기서는 안전함이 증명된 BGP 네트워크에서 어떠한 링크나 노드를 제거하여도 안전하지 않은 경우로 바뀔 수 없다는 사실을 증명한다. 그 방법으로 우리는 monotonicity와 freeness가 만족되는 네트워크에서 링크나 노드가 제거되어도 이 두 성질은 변하지 않음을 보인다. 우선 monotonicity는 표 3(c)으로부터 결정된 성질이므로 링크나 노드의 제거에 관계없이 monotonicity는 유지된다. 다음으로 freeness는 특정 토폴로지가 주어진 네트워크에서 등장하는지를 확인해야 하는데 원래 네트워크에 없었던 토폴로지가 네트워크의 링크나 노드의 일부를 절단하여 새로 나타게 할 수는 없다. 따라서 정리1에서 freeness가 만족되는 네트워크에서 어떠한 링크나 노드를 제거하여도 freeness는 만족된다. ■

- (C) 직골형과 골형은 반골형이나 연속피어형에 비해서 경로에 포함될 때에 더 큰 백업벌점을 받아야 한다.

3장에서 우리는 직골형과 골형이 다른 백업형태보다 더 위대한 이유에 대해서 언급하였다.

- (D) 직골형과 골형도 최악의 경우에 한해서 허용되어야 한다.

백업은 위기상황을 대처하는 방법이다. 그러나 실제로 어떠한 형태의 위기가 발생할지는 예측하기는 어려우며 단지 우리는 백업경로가 최악의 경우에서도 동작하길 바랄 뿐이다. 백업정책에서 사용불가란 부적절한 용어이다. 이러한 의미에서 평소에는 사용하지가 바람직하지 못하다고 평가받는 직골형과 골형을 포함하는 경로는 최악의 경우에는 사용하는 편이 더 이로울 수 있다. 실제로 경로를 사용할지의 여부는 각 라우터들이 자신의 이익에 따라서 결정하거나 거부할 수 있으므로 이러한 규제완화로 BGP 라우터들은 더욱 자유롭게 국지적인 정책을 정할 수 있다.

- (E) 백업경로의 벌점은 정방향과 역방향에서 동일하게 책정되어야 한다.

만일 두 벌점이 서로 다르다면 방향에 따라서 선호도가 달라지므로 정방향의 BGP 경로와 역방향의 BGP 경로가 서로 다른 경우가 빈번하게 발생한다. 이는 현재

BGP 체계에서 대부분의 역방향 경로는 순방향 경로의 반대의 순서로 설정되는 현재의 인터넷 관습에 위배된다. 백업상황에서 이러한 성질을 갖추려면 역방향 벌점과 순방향 벌점이 동일해야 한다. Sobrinho 백업방식은 그림 1의 경로벡터 3-4-1-2(AS3→AS4→AS1→AS2)에 대해서는 링크34(AS3→AS4)에서 벌점을 한 번 부과하는 반면에 역방향의 동일 경로 2-1-4-3에 대해서는 링크43과 링크21에서 벌점을 두 번 부과한다.

우리가 제안한 방식은 다음처럼 벌점을 매기면 정방향과 역방향에서 동일하게 백업벌점을 유지한다. 제안한 방식에서 백업벌점을 반골형이나 연속피어형, 직골형 자체에 추가하면 이들은 방향을 바꿔도 반골형, 연속피어형, 직골형의 형태가 유지되므로 방향에 관계없이 벌점을 동일하게 유지할 수 있다. 상기한 백업연결은 모두 두 개의 링크로 구성되어 있으므로 두 링크 사이에 위치한 BGP 라우터가 양쪽 방향에 대해서 동일한 백업벌점을 부여하면 양쪽 방향에서 동일한 벌점을 부과할 수 있다. 반면에 중간에 연속적인 링크 e가 있는 골형의 경우에는 이러한 방법으로 대칭을 이루기가 힘들다. 하지만 골형은 대칭성을 굳이 강조하지 않는 최악의 상황에서만 사용됨을 고려할 때 이는 큰 단점은 아니다.

• (F) 백업경로의 벌점은 백업형 연결이 이루어질 때에 한 번씩 부과되어야 한다.

정상적인 경로가 백업에 관한 벌점을 받거나 한 번의 백업 연결로 두 번치의 벌점을 부과받는 것은 부당하다. 또한 한 개의 백업연결로 두 번의 벌점을 부과해서도 안된다. 제안된 세 개의 백업방식 중에서 Sobrinho 방식은 다음과 같은 경우에 이 두 가지 원칙 모두를 어긴다. 이 방식에서 하나의 링크 e만으로 구성된 경로는 정상경로인데도 백업벌점은 0이 아니다. 만일 경로가 e에서 e·e로 늘어나면 정상경로에서 백업경로로 바뀌면서 두 링크 e에 책정된 벌점의 합으로 연속피어형 백업벌점이 부여된다.

5.2 백업방식의 장단점 비교

지금까지 서술한 항목을 요약하여 표 4에 정리하였다. 표에서 보는 바와 같이 제안한 백업방식은 기존 백업방식의 단점을 개선하였다. 5.1에서 언급한 항목의 번호(A, B, C...F)는 표의 첫 열에 일련번호로 표기하였다. 표4에서 보는 바와 같이 제안한 방식은 백업방식의 성능측정항목으로 선정된 모든 요구조건을 만족한다.

단지 항목 E에서는 대칭성은 반골형과 연속피어형에 대해서만 대칭성을 비교하였다. 그 이유는 Gao 방식은 골형을 Sobrinho 방식은 골형과 직골형을 금하고 있어서 이들을 제외해야 공정한 비교가 되기 때문이다. 또한 직골형 및 골형은 최악의 사태에서 예외적으로 선택되므로 대칭성을 굳이 강조할 필요가 없기 때문이다. 본

논문이 제안한 방식에서 골형은 백업벌점을 부가할 때에 양방향에서 다른 벌점을 가지는 비대칭적인 성질을, 직골형은 대칭적인 성질을 각각 갖는다.

표 4 백업방식의 비교

*첫 열의 항목번호는 본문에서의 항목번호와 일치함.

| 백업방식 항목 | | Gao 방식 | Sobrinho 방식 | 제안된 방식 |
|---------|------------------------------|--------|-------------|--------|
| A | 안전성 | ○ | ○ | ○ |
| B | 천성적인 안전성 | ○ | ○ | ○ |
| C | (직골형, 골형)과 (반골형, 연속피어형)의 차별화 | X | ○ | ○ |
| D | 단계적인 백업 허용여부 | X | X | ○ |
| E | 백업에서 방향에 따른 벌점부가의 대칭성 | ○ | X | ○ |
| F | 백업벌점 부가의 공정성 | ○ | X | ○ |

6. 결론

본 논문에서는 기존 백업방식의 분석을 기초로 새로운 백업방식을 제안하였다. 본 백업방식은 BGP의 안정성을 보장하기 위해서 안전성과 천성적인 안전성을 확보하였으며, 표 4에서 나타난 바와 같이 선정된 모든 평가항목을 만족시키는 많은 기능을 보유하고 있다.

특히 정상단계, 일반적인 백업단계, 극심한 백업단계의 총 3단계로 동작하는 본 백업방식은 “골짜기 형태”를 포함하는 라우팅 경로는 BGP의 소비자-제공자 관계에 역행하며 라우팅 흡수를 늘리고 또한 원만한 라우팅을 방해하기 때문에 오로지 마지막 백업 단계에서만 허용된다. 그 결과 제안된 백업방식은 사소한 지역적인 네트워크 사고에서부터 전체적인 심한 네트워크 사고에 대해서 적응력있게 대처하여서 강한 연결성을 유지하게 해준다.

참고 문헌

[1] Y. Rekhter and T. Li, "A Border Gateway Protocol4 (BGP-4)," in RFC1771, March 1995.
 [2] L. Gao, T. Griffin and J. Rexford, "Inherently Safe Backup Routing with BGP," in Proc. IEEE INFOCOM 2001, pp. 547-556, April 2001.
 [3] T. Griffin and G. Willfong, "A Safe Path Vector Protocol," in Proc. IEEE INFOCOM2000, March 2000.
 [4] João Luís Sobrinho, "Network Routing with Path Vector Protocols: Theory and Applications," in Proc. ACM SIGCOMM, pp. 49-60, August 2003.
 [5] C. Labovitz, A. Ahuja, F. Jahanian, "Experimental Study of Internet Stability and Backbone Failures," Proc. FTCS-29, Wisconsin, 1999.

- [6] L. Gao and J. Rexford, "Stable Internet Routing without Global Coordination," in Proc. ACM/IEEE Tr. on Networking 9(6), pp 681-692, June 2000.
- [7] L. Gao, "On Inferring Autonomous System Relationships in the Internet," in Proc. IEEE GLOBECOM'00, December 2000.
- [8] T. Griffin and G. Willfong, "An Analysis of BGP Convergence Properties," in Proc. ACM SIGCOMM, September 1999.
- [9] T. Griffin, F. Shepherd and G. Willfong, "Policy Disputes in Path Vector Protocols," in Proc. IEEE ICNP1999, 1999.



서 창 진

1982년~1984년 서울대학교 제어계측과
(현 전기과) 학사(석사) 졸업. 1996년
Univ. of Massachusetts (Amherst)
ECE Dep. 졸업(Ph. D). 1985~1990 전
자통신연구원 선임연구원, 1997년 이후
숭실대학교 컴퓨터학부 교수. 관심분야는

ATM 스위치, 광 스위치, BGP stability, sensor networks,
ad hoc networks, multicasting, VPN