

# 컨텐츠 중심 네트워크를 위한 블룸필터 기반 확장 가능한 라우팅 기법 연구

정태중, 권태경\*, 최양희\*  
 서울대학교 컴퓨터 공학부

tjchung@mmlab.snu.ac.kr, \*{tk, yhchoi}@snu.ac.kr

## Bloom filter-based Routing for CCN

Taejoong Chung, Ted “Taekyoung” Kwon, Yanghee Choi  
 School of Computer Science and Engineering, Seoul National University

### 요 약

폭발적으로 증가하는 트래픽의 문제에 기인하여 기존의 호스트 중심 통신이 아닌, 컨텐츠 중심 네트워크 (Content Centric Network, 이하 CCN)이 최근 주목을 받고 있다. 이는 호스트의 주소로 (IP address)로 통신을 하는 기존의 인터넷과 달리 컨텐츠 그 자체에 초점을 맞추어 컨텐츠의 ID로 통신을 하는 것이 근본적인 차이점이다. 바꿔 말하면 ‘누구 (Who)’ 에게서 ‘무엇 (What)’ 을 얻는다는 Locator 와 Identifier 가 혼재된 IP의 개념에서, Identifier 만 사용하여 ‘무엇 (What)’ 을 바로 얻는다는 개념으로 바뀐 것이 특징이다. 이를 위하여 호스트의 주소 대신 컨텐츠의 ID만 사용하여 통신을 하며 이에 따라 32비트로 제한된 IP address와는 달리 무한한 이름공간을 지닌 컨텐츠의 ID는 어떠한 이름이든지 수용할 수 있어야 한다. 또한 심지어 컨텐츠 자체가 여러 개의 조각 (Piece) 로 쪼개져 있을 때에도 이를 각각 구분 지을 수 있어야 한다는 속성을 가지게 된다. 하지만 이러한 이름의 무한한 자유도로 인하여 이름 공간을 저장하기 위한 라우팅 및 포워딩 테이블의 크기가 급격히 증가한다는 단점을 필연적으로 지니게 된다. 이에 따라 이러한 단점을 극복하기 위하여 본 논문에서는 확률적인 데이터 구조인 Bloom filter 를 활용하여 라우팅 및 포워딩 테이블의 크기를 감소시키는 기법을 제시하고자 한다. 이를 활용하면 기존의 모든 라우팅 및 포워딩 엔트리를 저장하는 기존의 CCN 방식에 비해 해당 기법을 적용한 라우팅 및 포워딩 테이블 크기가 급격히 감소할 것으로 예측된다.

### I. 서론

수십 년 전에 호스트(End-to-End) 통신 패러다임에 기반하여 설계된 인터넷은 현재 무선 통신의 발달 및 유비쿼터스 환경으로 인한 유저의 급속한 증가와 폭발적인 트래픽의 증가로 인하여 어려움을 겪고 있다 [1][2].

이에 따라 인터넷 패러다임인 호스트 (End-to-End) 통신으로부터 근본적인 해결책을 촉구하게 되어, 새로운 패러다임인 컨텐츠 중심 네트워크 (Content Centric Network, 이하 CCN)이 제시되었고 이의 구체화된 결과물로 Named Data Network (이하 NDN)이 발표되었다 [3].

이는 현재 호스트의 주소로 라우팅을 하는 인터넷과 달리 컨텐츠의 ID 로 라우팅을 하는 것이 근본적인 차이이며 동작 과정은 원하는 컨텐츠의 ID 정보가 담긴 Interest 패킷을 발행하는 것과 해당 데이터가 담긴 Data 패킷으로 획득되는 것으로 집약된다. 이를 통하여 원하는 컨텐츠를 ‘누구’ 에게서 받든지 상관 없이 쉽고 빠르게 받을 수 있으며 해당 컨텐츠의 캐싱에도 유리하다는 부차적인 장점들이 있다.

하지만 이러한 많은 장점에도 불구하고 해결되지 않은 문제점들 중 가장 큰 문제점으로 지목되어 온 것은 라우팅의 확장성 문제이다. 즉 현재 호스트의 ID 로 쓰이고 있는 0.0.0.0 ~ 255.255.255.255 의 범위를 지닌 32 비트의 IP 주소와는 달리 CCN 에서 컨텐츠의 ID 는 이름의 길이가 정해져 있지 않으며 또한 이름공간의 크기는 무한하다. 이로 인하여 라우팅 테이블의 크기가 급격히 커지게 된다는 심각한 문제점이 존재한다. 따라서 이에 따른 확장가능성 문제를 해결하고자, 본 논문에서는 Bloom filter 를 활용한 라우팅 테이블 디자인을 통하여 현재 인터넷 아키텍처와는 다른 라우팅/포워딩 기법을 제시하고자 한다.

### II. 본론

#### 2.1 Bloom filter

Bloom filter 는 정해진 세트 안에 해당 원소의 존재 여부를 확인할 수 있는 공간 효율적이고 확률적인 데이터 스트럭처이다. 해당 원소가 실제로 존재 하지 않음에도 불구하고 존재한다고 판단을 내릴 수 있는 False Positive 의 문제가 있을 수도 있으나, 실제로 존재 하는 데 없다고 판단을 내릴 수 있는 False Negative 의 문제는 생기지 않는다. 이에 따라 False Positive 가 생길 수 있는 확률을 조절하는 것이 중요하며, 큰 사이즈의 배열을 이용하면 False Positive 의 확률을 매우 줄일 수가 있다.

#### 2.2.1 Bloom filter 동작 과정

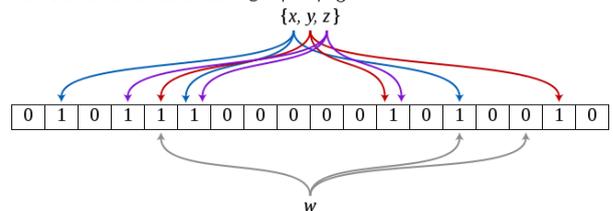


그림 1. w bits 와 x, y, z 세 개의 hash function 을 지닌 Bloom filter 예시

빈 Bloom filter 는 m bits 로 이루어진 bit 배열이다. 초기는 모두 0 으로 세팅되어 있다. 어떠한 원소를 추가하고 싶다면, K 개의 다른 hash function 을 통해 index 를 얻은 뒤 해당 배열의 index 의 bit 를 모두 1 로 설정하여준다. 그리고 만약 해당 원소가 Bloom filter 안에 존재하는 지를 확인하고 싶다면 K 개의 다른 hash

function 을 통해 index 를 얻은 뒤, 해당 index 가 모두 1로 설정이 되어 있는지 확인을 한다.

그림 1의 예제에서 현재 18 bit 로 설정된 배열 안에 모두 3 개의 hash function 을 통해 각기 다른 원소 x, y, z 가 삽입되어 있는 상태이다. 만약 여기서 w 라는 원소가 있는지 확인하고 싶다면, 역시 3 개의 다른 hash function 을 통해 배열의 index 를 얻은 뒤, 얻은 index 의 비트가 모두 1로 설정이 되어 있는지를 확인하면 된다. 그림 1 예제에서는 16 번째의 index 가 0으로 설정되어 있으므로 이는 w 가 해당 배열에 포함되어 있지 않음을 의미한다.

이에 따라, 어떠한 원소를 저장 하고 싶다면 그 원소의 bit 수만큼 크기를 차지하는 것이 아니라, k 개의 hash 값을 통해 나온 k 개의 값만 활용하면 되므로 매우 공간효율적인 구조이다. 하지만 실제로 원소가 들어있지 않는데, 들어있다고 판단하게 되는 False positive 의 단점이 있으므로 이 확률을 적절히 조정하여 준다면 매우 효율적인 공간 구조이다.

### 2.2 Forwarding Information Base 동작 과정

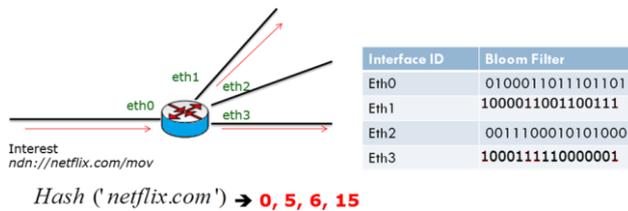


그림 2. Bloom Filter 을 이용하여 구성된 FIB의 예시

Forwarding Information Base (이하 FIB) 는 해당 콘텐츠에 대해 어느 인터페이스로 포워딩하는 지를 결정하는 정보가 담긴 테이블로써, 콘텐츠 중심 네트워크에서 중추적인 역할을 하는 구성요소이다. 이에 따라 기존 CCN에서 하나의 테이블로 유지되는 FIB와는 달리 본 기법에서의 FIB는 각 인터페이스 별로 콘텐츠의 이름을 저장하고 있는 Bloom filter 로써 유지된다.

이에 따라 데이터를 원하는 interest 패킷이 도착을 하였을 때, FIB 안에 인터페이스 개수만큼 존재하는 Bloom filter 들에 대해 존재 여부를 판단하게 되고, 각 Bloom filter 에 존재여부가 확인되는 인터페이스로 interest 를 포워딩하는 방식을 취하게 된다.

한 예로, 그림 2에서 볼 수 있듯이 netflix.com 이라는 콘텐츠를 원하는 interest 가 해당 라우터에 전달이 되었다면 4 개의 hash function 을 이용하여 Bloom Filter 에 저장될 Index 를 구한다. 이에 따라 계산된 Index 의 값이 0, 5, 6, 15 라면 4 개의 인터페이스에 해당하는 Bloom filter 중 eth1, eth4 가 이 Index 를 포함하고 있으므로 이 두 개의 인터페이스에 interest 패킷이 포워딩 된다. 해당 메커니즘을 사용하면 모든 콘텐츠를 리스트 형식으로 저장하지 않아도 되므로 공간적으로 효율적인 라우팅을 할 수 있게 된다.

### 2.3 Forwarding Information Base 구성

Bloom filter 에 담겨 있는 FIB 를 구성하기 위하여, 다음과 같은 메커니즘이 추가적으로 필요하다. 이에 따른 동작은 콘텐츠가 처음 publisher 에게서 발행이 될 때 이루어지게 된다.

콘텐츠가 처음 publisher 에게서 만들어지게 된다면 필연적으로 한 도메인 내에서 모든 라우터들을 대상으로 컨

텐츠의 존재를 알리게 되는 콘텐츠 advertisement 가 선행 되어야 한다. 이 때에 advertisement 가 들어오는 incoming interface 에서 콘텐츠의 이름을 원소로 하여 Bloom filter 에 추가를 해주게 된다. 한 예로 그림 3에서 볼 수 있듯 netflix.com/mov 라는 콘텐츠가 advertisement 가 될 시에, 라우터 A 의 입장에서 eth3 에서 이에 해당하는 advertisement 가 들어왔으므로, eth3 가 가지고 있는 Bloom filter 에 이 원소를 추가시켜주게 된다. 이와 같은 방식으로 콘텐츠 advertisement 를 통해 인터페이스 마다 가지고 있는 Bloom filter 를 설정하게 된다.

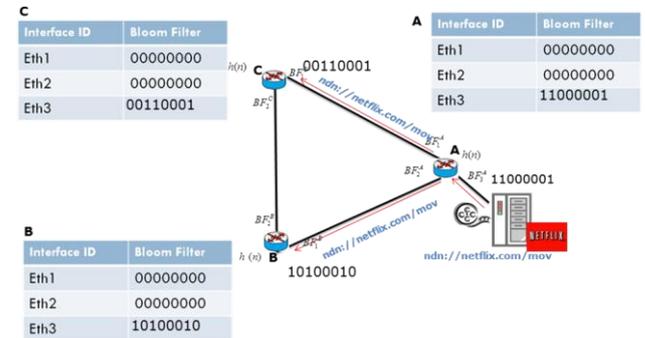


그림 3. Bloom filter 기반의 콘텐츠 advertisement 동작 과정의 예시

## III. 결론 및 향후 연구 방향

본 논문에서는 최근 주목을 받는 콘텐츠 중심 네트워크에서 가장 큰 문제점으로 지목되는 확장가능한 라우팅 및 포워딩에 대하여 Bloom filter 를 이용한 기법을 소개하였다.

해당 기법을 적용하면 획기적으로 FIB 의 크기를 줄일 수 있는 장점을 가짐과 동시에 포워딩 속도 또한 증가될 수 있는 장점이 있다. 이에 따라 이를 실험적으로 증명하기 위하여 본 연구 팀에서는 콘텐츠 중심 네트워크를 프로토 타입으로 구현한 CCNx [4]에 Bloom filter 기반의 라우팅 기법을 구현하여 테스트 베드를 구축하는 후속 연구를 진행하고 있다.

### ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 한국방송통신전파진흥원의 차세대 통신 네트워크원천기술개발사업 (11-913-05-002: 이름 주소 기반 네트워킹을 위한 내재 캐싱 및 라우팅 원천기술 연구)의 일환으로 수행되었음.

### 참고 문헌

[1] ipoque, "Internet Study 2008/2009", [http://www.ipoque.com/resources/internetstudies/internet-study-2008\\_2009](http://www.ipoque.com/resources/internetstudies/internet-study-2008_2009).

[2] Cisco, "Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2010-2015", February 2011.

[3] V. Jacobson, D. smettters, J. Thornton, M, Plass, N. Briggs, and R. Braynard, "Networking named content", Proc. ACM CoNEXT, Dec 2009.

[4] Project CCNx, "PARC", <http://www.ccnx.org>.