

컨텐츠 기반 네트워크를 위한 효율적인 라우팅 기법

황재현⁰ 유혁
고려대학교 컴퓨터학과
{jhwang⁰, hxy}@os.korea.ac.kr

An Efficient Routing Scheme for Content-based Networking over IP

Jae-Hyun Hwang⁰ Hyuck Yoo
Dept. of Computer Science, Korea University

요 약

컨텐츠 기반의 네트워크 상에서 효율적인 이벤트 전달 방법은 계속적으로 연구가 진행 중인 분야이다. 기존에는 컨텐츠 기반의 라우팅을 위한 방안으로 크게 필터 기반의 라우팅 방식과 멀티캐스트 기반의 라우팅 방식으로 나누어 접근해 왔다. 그러나 이 두 가지 방식은 라우팅 정보의 저장 및 관리 비용과 정확한 이벤트의 전달 간에 트레이드 오프가 발생한다. 본 논문에서는 해시 그룹 기반의 라우팅 기법을 제안하며, 이 방식을 통해 모든 노드에게 원하는 정보의 정확한 전달이 가능할 뿐 아니라, n개의 서로 다른 컨텐츠에 대해 각 노드에서 유지해야 하는 라우팅 엔트리의 수가 $O(\sqrt{n})$ 이 됨을 보였다.

1. 서 론

컨텐츠 기반의 네트워크(Content-based Network)는 IP와 같이 명시적인 주소에 의해 라우팅이 이루어지는 것이 아니라, 메시지의 내용에 기반하여 데이터의 흐름이 이루어지는 네트워크를 말한다[1]. 이러한 컨텐츠 기반의 통신은 비동기적 이벤트 전달, 뉴스 등 컨텐츠 서비스의 제공, 서비스 디스커버리, 정보 공유 등 다양한 애플리케이션 도메인에 적용 가능하다.

컨텐츠 기반 네트워크에서는 컨텐츠 주소를 이용하여 라우팅이 이루어진다. 라우팅 경로는 각 노드에서 컨텐츠 기반의 필터링을 통해서 해당 컨텐츠와 일치하는 경로로 전달된다. 이러한 필터 기반의(Filter-based) 라우팅 방식은 각각의 컨텐츠에 대해 여러 가지 연산자와 값을 통해 표현의 유연성을 제공할 뿐 아니라 정확한 정보 전달을 통한 효율성을 갖지만, 기본적으로 각 노드에서 유지해야 하는 라우팅 정보의 양이 빠르게 증가한다. 멀티캐스트 기반의 접근 방식에서는 모든 컨텐츠를 제한된 몇 개의 그룹으로 나누고 각 그룹에 대한 멀티캐스트 트리를 통해 라우팅이 이루어지기 때문에 유지해야 하는 라우팅 정보의 양은 줄어든다. 그러나 서로 다른 컨텐츠를 가지는 노드끼리 한 그룹에 속하게 되는 경우가 발생하게 된다. 즉, 특정 이벤트가 원하지 않은 노드에게 전달될 수 있기 때문에 정보 전달의 정확성이 떨어진다는 단점이 있다[2].

본 논문에서는 기존의 접근 방식에서 발생하였던 라우팅 정보의 저장 및 관리 비용과 정확한 이벤트 전달

간의 트레이드 오프 문제를 해결할 수 있는 해시 그룹 기반의 라우팅 기법을 제안한다. 해시 그룹 기반 라우팅 방식의 기본 아이디어는 모든 컨텐츠를 공통의 해시 함수를 통해 k개의 그룹으로 나누고, 각 노드는 자신이 속한 그룹에 대한 컨텐츠의 라우팅 정보만을 유지하는 것이다. 이를 통해 각 노드에서 유지해야 하는 라우팅 정보의 양이 줄어 들 수 있다. 또한 다른 그룹에 대한 라우팅 정보를 함께 유지함으로써 모든 컨텐츠에 대해 정확한 정보 전달을 가능하게 한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 먼저 2절에서는 관련 연구에 대해 알아보고, 3절에서 해시 그룹 기반의 라우팅 방식을 설명한 후, 4절에서는 라우팅 엔트리의 크기 측면에서 제안된 방법을 분석한 뒤, 5절에서 마무리 하도록 한다.

2. 관련연구

컨텐츠 기반의 네트워킹은 IP 멀티캐스트나 인터넷 인디렉션 인프라스트럭처(Internet Indirection Infrastructure), 분산 발행/구독 시스템(Distributed Publish/Subscribe System) 등과 같은 향상된 네트워크 서비스 및 분산 시스템 기술들과 관련되어 연구가 진행되어 왔다. 기본적으로 컨텐츠 기반의 네트워크는 인텐셔널 네이밍 시스템(Intentional Naming System)과 동일한 아이디어에서 출발한다[1]. 그 후 컨텐츠 주소의 표현을 여러 연산을 통해 확장시킨 방법이 제안되었다.

라우팅과 관련하여 IP 멀티캐스트 방식의 한계를 극복하기 위한 연구들이 진행되었는데, 최근에 연구된 KYRA 시스템[2]은 필터 기반의 라우팅 방식과 멀티캐스트 기반의 라우팅 방식의 장점들을 수용하여

본 논문은 대학 IT 연구센터 육성, 지원 사업의 연구 결과로 수행되었음.

설계되었다. 그러나 하나의 콘텐츠에 대해 일차원적으로 접근하고 있기 때문에 현실성이 떨어진다. 본 논문에서 제안한 해시 그룹 기반의 라우팅 방식은 서로 다른 여러 개의 콘텐츠에 대해 라우팅 엔트리의 수를 효율적으로 줄이며, KYRA와 같이 정보 분산의 밸런스 유지가 가능하다.

3. 해시 그룹 기반의 라우팅

해시 그룹 기반 라우팅 기법의 주요 목적은 기본적으로 필터 기반의 라우팅 방식에서 각 노드가 유지해야 하는 라우팅 정보의 양을 줄이는데 있다. 각 노드는 모든 콘텐츠에 대한 정보를 가지지 않고 콘텐츠를 몇 개의 그룹으로 나눈 뒤, 같은 그룹에 속하는 콘텐츠에 대한 라우팅 정보와 다른 그룹에 속하는 콘텐츠에 대한 라우팅 정보를 갖는다. 여기서 같은 그룹에 대한 라우팅 정보는 모두 유지하지만, 다른 그룹에 대한 라우팅 정보는 가장 가까이 있는 해당 그룹 노드 하나씩을 유지하는 방식으로 전체 정보의 양을 줄인다. 먼저 그룹을 나누는 방법에 대해 설명하고 이를 기반으로 네트워크를 형성하는 방법에 대해 설명하겠다.

3.1 해시 함수를 이용한 콘텐츠 그룹 형성

어떤 하나의 콘텐츠에 대해 그룹 번호를 반환하는 해시 함수 f 가 있다고 하자. 전체 그룹의 수를 k 라고 정한다면, 각 콘텐츠에 대해 1부터 k 사이의 groupNo가 할당되며 이를 다음과 같이 나타내도록 한다.

$$f(\text{content}, k) = \text{groupNo}$$

모든 노드에서 같은 k 값을 가지는 해시 함수 f 를 분배하여 사용한다면 특정 콘텐츠에 대해 어느 노드에서나 같은 그룹 번호가 부여된다. 예를 들어 표 1과 같이 여러 콘텐츠에 대해 $k=3$ 인 해시 그룹이 형성될 수 있다. 각 노드는 이 해시 그룹을 기반으로 라우팅 테이블을 형성하게 되는데, 자신이 속한 그룹에 대해서는 라우팅 정보를 모두 유지하고 다른 그룹에 대해서는 해당 그룹 정보를 모두 가지고 있는 노드 하나에 대해서만 유지하게 한다. 위의 예에서 9개의 콘텐츠에 대해 모든 라우팅 정보를 유지한다면 자신을 제외한 8개의 라우팅 엔트리가 필요하지만, 해시 기반으로 라우팅 테이블을 구성한다면 자기 그룹에 대한 라우팅 정보 2개와 다른 그룹에 대한 정보 2개로 총 4개의 라우팅 엔트리만을 가지게 된다. 여기서 중요한 부분은 네트워크에서 가지는 전체 콘텐츠를 몇 개의 그

표 1. 해시 함수 $f(\text{content}, 3) = \text{groupNo}$ 의 예

Content	groupNo
A, F, I	1
B, E, G	2
C, D, H	3

룹으로 나눌 것인가와 해시 함수의 설계 방법이다. 그룹의 개수는 라우팅 엔트리의 수가 결정되는데 큰 영향을 주며, 이에 대해서는 4절에서 최적의 그룹 수도출하는 과정을 통해 설명하도록 한다. 해시 함수 역시 어떻게 설계하느냐에 따라 각 노드에서 유지되는 정보의 양에 대한 밸런스가 결정된다. 만약 한 그룹에 여러 개의 콘텐츠가 집중되는 경우, 해당 그룹의 노드는 많은 수의 정보를 유지해야 하지만, 다른 그룹의 노드는 작은 수의 정보를 유지하게 되는 불균형이 발생한다. 즉, 해시 함수는 모든 그룹에 비슷한 비율의 콘텐츠를 할당하도록 설계되어야 한다. 이 논문에서는 해시 함수에 대한 자세한 설계는 생략하며, Consistent Hashing[3]과 같이 반환 값에 대한 밸런스를 유지하는 함수를 사용한다고 가정한다.

3.2 해시 그룹 기반의 네트워크 형성

그룹의 개수 k 가 결정된 상태에서 각 노드는 네트워크 계층의 토폴로지를 통해 브로드캐스트 트리를 구성하고 주위 노드에 자신의 콘텐츠 정보를 알린다. 이를 기반으로 각 노드에서는 라우팅 테이블을 구성한다. 여기서는 IP 네트워크 기반으로 오버레이 네트워크(Overlay Network)가 형성된다. 즉, 라우팅 테이블에서 나타내는 다음 홉(Next Hop) 정보는 해당 노드의 IP와 연결된다. 그림 1은 표 1의 콘텐츠 그룹을 기반으로 구

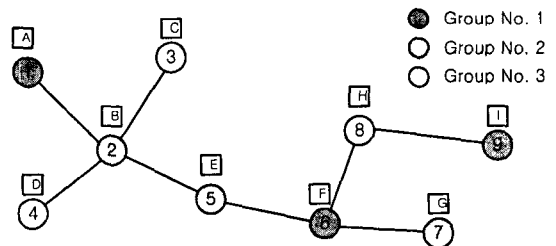
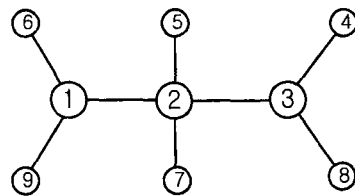


그림 1. 콘텐츠 그룹을 통한 네트워크 구성 예



groupNo	Content	Next Hop
1	*	1
2	E	5
	G	7
3	*	3

그림 2. 노드 2의 오버레이 토폴로지와 라우팅 테이블

성된 네트워크를 나타낸다. 각 노드는 자신과 같은 그룹의 콘텐츠에 대해 해당 노드의 IP 주소를 유지하며 다른 그룹의 콘텐츠에 대해서는 가까운 노드의 IP 주소를 유지한다. 그림 2는 노드 2에서 인식하는 오버레이 토폴로지와 구성된 라우팅 테이블을 나타낸다. 노드 2에서 H라는 콘텐츠를 필요로 할 때, 먼저 해시 함수를 통해 H가 3번 그룹임을 알게 된다. 노드 2의 라우팅 테이블을 통해 3번 그룹에 대한 콘텐츠는 노드 3으로 전달하게 되고 노드 3에서는 3번 그룹에 대한 모든 콘텐츠 라우팅 정보를 가지므로 노드 3의 라우팅 테이블을 통해 노드 4에 이벤트가 전달된다. 그러므로 오버레이 네트워크 상에서 같은 그룹에 대해서는 한 홉에, 다른 그룹에 대해서는 한 홉 또는 두 홉 내에 전달이 가능하게 된다.

4. 그룹의 개수 결정과 라우팅 정보의 크기 분석

그룹의 개수는 라우팅 정보의 크기를 결정하는 중요한 요소로 작용한다. 따라서 라우팅 엔트리의 수를 최소화 하도록 그룹의 수가 정해져야 한다. 먼저 k개의 그룹을 $G = \{g_1, g_2, g_3, \dots, g_k\}$ 로 나타내고 각 그룹에 속한 콘텐츠의 수를 $n(g_k)$ 라 할 때, 전체 콘텐츠의 수 N은 다음과 같이 표현 가능하다.

$$N = \sum_{i=1}^k n(g_i) \tag{1}$$

3.1절에서 언급한 바와 같이 각 그룹에 비슷한 비율의 콘텐츠가 할당된다면 다음과 같은 가정이 가능하다.

$$n(g_1) = n(g_2) = n(g_3) = \dots = n(g_k)$$

이를 통해 식 (1)은

$$N = k \cdot n(g_i) \tag{2}$$

로 나타낼 수 있으며, 이 때 i번 그룹에 속하는 임의의 노드의 라우팅 테이블 엔트리(Routing table Entry) 개수는 식 (3)과 같이 자신이 속한 그룹에 대한 모든 콘텐츠 정보와 나머지 그룹에 대한 정보 k-1개를 합한 것이 된다.

$$RE(g_i) = n(g_i) + (k - 1) \tag{3}$$

그림 3은 (2)와 (3)을 k와 $n(g_i)$ 를 양 축으로 한 평면에 나타낸 그래프이다. 여기서 (3)의 그래프를 $RE(g_i)$ (그래프에서 y절편)가 최소가 되면서 (2)의 그래프와 만나는 영역 내에 위치시키면 그림 3과 같이 한 점에서 만나게 된다. 이 때의 k값은 \sqrt{N} 이며, 라우팅 엔트리의

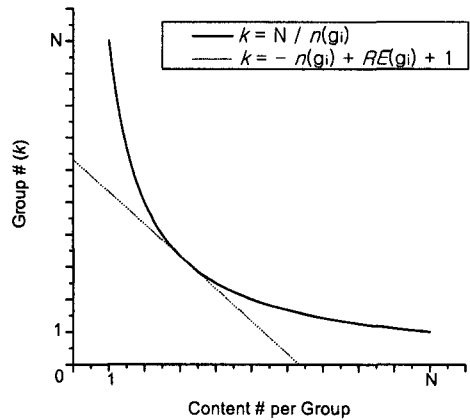


그림 3. 그룹 수와 그룹 당 콘텐츠 수의 관계

수는 $2\sqrt{N} - 1$ 로 최소가 된다. 즉, N개의 콘텐츠에 대해 최적의 그룹 수는 \sqrt{N} 이 되며, 각 노드에서 유지해야 하는 라우팅 엔트리의 수는 $O(\sqrt{N})$ 이 된다.

5. 결론 및 향후 연구 방향

본 논문에서는 IP 네트워크 상에서 필터 기반의 라우팅 방식을 토대로, 라우팅 테이블의 엔트리 수를 효율적으로 줄일 수 있는 해시 기반의 라우팅 기법에 대해 제안하였다. 이 방식을 통해 모든 콘텐츠는 각 노드를 중심으로 구성된 오버레이 토폴로지 상에서 한 홉 내지 두 홉 안에 정확한 라우팅이 가능하며, N개의 콘텐츠에 대해 $O(\sqrt{N})$ 으로 라우팅 정보가 줄어든다.

향후 연구 방향으로는 이 기법에 적용 가능한 해시 함수의 설계가 필요하며, 실험을 통해 라우팅 정보의 양, 네트워크 효율성 및 트래픽 발생량 등 여러 가지 측면에 대한 평가가 요구된다.

참고 문헌

[1] Antonio Carzaniga, Matthew J. Rutherford, and Alexander L. Wolf, "A Routing Scheme for Content-Based Networking", In Proc. of IEEE INFOCOM 2004.
 [2] Fengyun Cao, Jaswinder Pal Singh, "Efficient Event Routing in Content-based Publish-Subscribe Service Networks", In Proc. of IEEE INFOCOM 2004.
 [3] Karger D., Lehman E., Leighton T., Levine M., Lewin D. And Panigrahy R., "Consistent hashing and random trees: Distributed caching protocols for relieving hot spots on the World Wide Web", In Proc. of the 29th Annual ACM Symposium on Theory of Computing, pp. 654-663.