

콘텐츠 중심 네트워크에서 멀티 소스 콘텐츠 전송 기법 (Multi-Source Content Transfer Scheme in Content-Centric Network)

성 태 진 [†] 홍 충 선 ^{**}
(Taejin Sung) (ChoongSeon Hong)

이 성 원 ^{**}
(Sungwon Lee)

요 약 콘텐츠 중심 네트워크는 사용자가 원하는 콘텐츠를 요청하면 Interest 패킷을 보내 콘텐츠를 검색하고 이에 대응하는 Data 패킷으로 콘텐츠를 응답한다. 기존의 콘텐츠 중심 네트워크에서는 요청에 대해 가장 먼저 응답이 오는 하나의 서버에서만 Data 패킷을 전송받고, 이후 다른 서버나 라우터에서 도착하는 Data 패킷은 폐기시킨다. 따라서 하나의 링크로만 Data 패킷을 전송받기 때문에, 대역폭 사용 효율이 낮고 해당 링크 대역폭 이상의 패킷을 전송할 수 없다. 따라서 본 논문에서는 Data 패킷을 멀티 소스로부터 분할하여 전송받는 기법을 제안한다. 제안하는 기법에서는 원하는 콘텐츠를 분할하여 전송받기 위해, 중간 라우터에서 콘텐츠를 다수의 Chunk 집합으로 분할하여 전송하도록 요청한다. 그리고 나아가 효율적으로 콘텐츠 Chunk를 분할하는 기법과 이를 위한 중간 라우터에서의 패킷 제어 동작을 정의하도록 한다.

키워드: 콘텐츠 중심 네트워크, 멀티소스, 포워딩 엔진, 패킷 제어

· 본 연구는 경희대학교 교내연구비 지원으로 이루어졌음
· 이 논문은 2013 한국컴퓨터종합학술대회에서 '콘텐츠 중심 네트워크에서 이중 경로 콘텐츠 전송 기법 연구'의 제목으로 발표된 논문을 확장한 것이다

[†] 학생회원 : 경희대학교 컴퓨터공학과
tjsung@khu.ac.kr

^{**} 종신회원 : 경희대학교 컴퓨터공학과 교수(Kyung Hee Univ.)
cshong@khu.ac.kr
(Corresponding author임)
drsungwon@khu.ac.kr

논문접수 : 2013년 8월 20일

심사완료 : 2013년 10월 15일

Copyright©2013 한국정보과학회 : 개인 목적이거나 교육 목적인 경우, 이 저작물의 전체 또는 일부에 대한 복사본 혹은 디지털 사본의 제작을 허가합니다. 이 때, 사본은 상업적 수단으로 사용할 수 없으며 첫 페이지에 본 문구와 출처를 반드시 명시해야 합니다. 이 외의 목적으로 복제, 배포, 출판, 전송 등 모든 유형의 사용행위를 하는 경우에 대하여는 사전에 허가를 얻고 비용을 지불해야 합니다.
정보과학회논문지 : 컴퓨팅의 실제 및 레터 제19권 제12호(2013.12)

Abstract In Content-Centric Network (CCN), user requests for a content by sending the Interest packet. And servers or routers retrieve and respond with the soliciting Data packets. In existing CCN, the Data packets are received from only one server or router. After receiving Data packets from another server or router, those packets are discarded. Because of this, in existing CCN, Data packets are transmitted through only one link. Thus, the utilization of bandwidth usage in present CCN is low. And for that reason, it can not achieve higher throughput because of single transmission link. This paper proposes a content transfer scheme where the intermediate CCN routers can receive the Data packets from multiple source by sending the specific Interest packet with specific chunk number. Furthermore, the technique of splitting a content efficiently and the packet control scheme of intermediate router is defined.

Keywords: content-centric network, multi-source, forwarding engine, packet control

1. 서 론

현재의 인터넷은 IP 주소를 이용한 송신자와 수신자 간의 1:1 서비스를 제공하고 있다. 인터넷의 1:1 서비스 구조는 확장성, 보안성 등 여러 가지 한계점을 가지고 있고 네트워크 패러다임의 변화로 인해 미래 인터넷의 요구사항을 만족시킬 수 없다. 이러한 현재의 인터넷은 패러다임 변화 등의 시대적 요구를 수용하기에는 인터넷 구조에 근본적인 문제가 있다고 판단되고 있다. 따라서 새로운 혁신적 접근 방식의 미래인터넷에 대한 연구가 세계적으로 활발히 진행되고 있다[1].

이러한 활발한 연구들의 결과로, 인터넷의 한계점을 해결하기 위해 혁신적 미래인터넷 연구 기술의 중의 하나인 콘텐츠 중심 네트워크(Content-Centric Network)가 제안되었다. 콘텐츠 중심 네트워크의 기본 개념은 네트워크 상의 라우터들이 저장 공간을 가지고 있으며, 사용자가 콘텐츠를 요청하면 콘텐츠가 발견된 서버에서 응답이 되고, 콘텐츠가 전달되는 경로에 있는 중간 CCN 라우터들에 콘텐츠가 캐시 되면서 전달된다는 것이다. 그렇기 때문에 동일한 콘텐츠에 대해서 또 다른 요청이 있을 경우, 해당 요청이 서버까지 포워딩되지 않고 중간 CCN 라우터에서 직접 콘텐츠를 전달받을 수 있다. 이러한 이점을 가진 콘텐츠 중심 네트워크는 콘텐츠를 요청할 때 사용하는 Interest 패킷과 이에 대한 콘텐츠 응답인 Data 패킷이라는 두 가지의 메시지 유형을 가지며, 다시 Data 패킷은 Chunk라고 하는 다수의 콘텐츠 객체들로 나눌 수 있다. 그리고 CCN 라우터는 독특한 포워딩 엔진을 가지고 있는데, 여기에는 세 가지 테이블이 존재한다. 콘텐츠 저장을 위한 공간인 Content

Store(CS), 콘텐츠를 가진 주변 라우터의 정보를 포함하고 있는 Forwarding Information Base(FIB), Data 패킷 응답을 위해 요청이 들어온 Face의 정보를 가지고 있는 Pending Interest Table(PIT)가 그것이다. 여기서 Face란 콘텐츠가 들어오고 나가는 인터페이스를 의미한다. 콘텐츠 중심 네트워크는 위와 같은 두 가지 메시지 유형과 포워딩 엔진의 세 가지 테이블을 가지고 콘텐츠를 탐색하고 전송한다[2,3].

기존의 콘텐츠 중심 네트워크에서는 사용자가 원하는 콘텐츠를 전송받기 위해 Interest 패킷을 보내어 콘텐츠를 탐색하고 전송받을 때, Data 패킷이 가장 먼저 응답되어 도착하는 하나의 서버나 라우터에서만 콘텐츠를 전송받게 된다. 이 때문에 기존의 인터넷과 마찬가지로 네트워크 대역폭을 효율적으로 사용할 수 없을 뿐만 아니라 일정 속도 이상의 전송률을 얻을 수 없고, 콘텐츠 중심 네트워크의 이점을 잘 활용할 수 없게 된다.

따라서 본 논문에서는 [4]에서 제안한 이중 경로 콘텐츠 전송 기법을 확장하여, 다수의 서버나 라우터에서 콘텐츠를 전송받는 콘텐츠 중심 네트워크에서의 멀티 소스 콘텐츠 전송 기법을 제안한다.

본 논문은 총 5절로 구성되어 있다. 2절에서는 [2,3]에서 제안한 콘텐츠 중심 네트워크의 패킷 처리 및 포워딩에 대해 소개하고 [4]에서 제안한 이중 경로 콘텐츠 전송 기법을 논의한다. 3절에서는 [4]를 확장하여 콘텐츠 중심 네트워크에서 멀티 소스 콘텐츠 전송 기법 및 중간라우터의 패킷 제어 방법에 대하여 기술한다. 4절에서는 제안한 기법에 대한 시뮬레이션 결과를 토대로 성능을 평가하고 분석하여 그 효율성을 검증하며, 5절에서는 결론을 맺고 향후 연구 과제에 대해서 검토한다.

2. 관련 연구

2.1 콘텐츠 중심 네트워크에서의 동일 패킷 처리 방법

콘텐츠 중심 네트워크에서는 Interest를 사용한 콘텐츠 요청에 대해 여러 서버나 라우터에서 콘텐츠가 발견되면 대응하는 Data 패킷을 사용하여 콘텐츠를 응답한다. 현재 CCN 라우터의 포워딩 엔진은, Data 패킷이 콘텐츠를 요청한 사용자나 중간 CCN 라우터로 가장 먼저 도착하는 소스에서 콘텐츠 전송받고 나머지 패킷들은 폐기시킨다. 그리고 이후에 요청된 동일 콘텐츠에 대한 다음 순서의 Interest 패킷이 도착하면 처음 Data 패킷을 전송받았던 서버로만 Interest 패킷을 포워딩한다. 이는 CCN 라우터가 아무리 많은 서버에서 첫 번째 Data 패킷을 받더라도, 처음 전송받은 하나의 서버에서만 콘텐츠를 전송받는다는 것을 의미한다. 그렇기 때문에 링크의 대역폭을 효율적으로 사용할 수 없으며 콘텐츠를 가진 다수의 서버가 있을 시에 이를 활용하지

못하고 내버려두므로 비효율적이며 일정 이상의 전송률을 낼 수 없다.

2.2 콘텐츠 중심 네트워크의 패킷 포워딩

콘텐츠 중심 네트워크에서 Interest 패킷은 사용자의 요청에 의해 생성되어 브로드캐스팅 된다. 그리고 콘텐츠가 발견되어 이에 대응하는 Data 패킷이 응답되면, CCN 라우터의 FIB, PIT에 등록된 정보(Face 등)를 확인하여 다음 순서의 Interest 패킷을 포워딩한다. 여기서 요청한 콘텐츠에 대한 다음 순서의 Interest 패킷들은 모두 사용자로부터 만들어진 뒤에 전달된다. 그렇기 때문에 이미 콘텐츠가 발견되어 CCN 라우터의 포워딩 엔진에 이미 콘텐츠를 가진 CCN 라우터의 정보가 등록되어 있는 경우에도 다음 순서의 Interest 패킷 역시 사용자 측에서 생성되어 다시 서버로 포워딩된다.

2.3 이중 경로 콘텐츠 전송 기법

[4]에서는 콘텐츠 중심 네트워크에서 이중 경로로 콘텐츠를 전송받는 기법을 제안하였다. 해당 기법은 그림 1에 나타난 것처럼, 두 개의 라우터에서 콘텐츠가 발견될 경우, 두 번째로 응답된 라우터로 콘텐츠의 뒷 번호 Chunk 번호부터 내림차순으로 요청하는 Interest 패킷을 만들어 보냄으로써 원하는 콘텐츠를 두 개의 서버나 라우터에서 전송받는다. 본 논문에서는 [4]에서 제안한 이중 경로 콘텐츠 전송 기법을 확장하여 다수의 서버에서 콘텐츠를 나누어 전송받는 기법 및 중간 CCN 라우터의 동작을 상세히 기술한다.

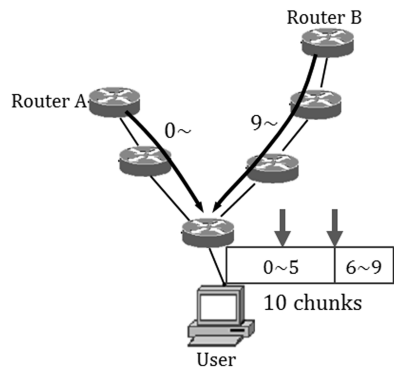


그림 1 이중 경로 콘텐츠 전송 시나리오
Fig. 1 Two-path content transfer scenario

3. 멀티 소스 콘텐츠 전송 기법

3.1 멀티 소스 콘텐츠 전송 기법

본 논문에서는 콘텐츠 중심 네트워크에서 멀티 소스로부터 콘텐츠를 전송받는 기법을 제안한다. 기존의 콘텐츠 중심 네트워크에서는 사용자가 콘텐츠를 요청하면 가장 먼저 응답되어 도착하는 하나의 서버에서만 전송

을 받고, 이후에 다른 서버나 라우터에서 도착하는 Data 패킷은 폐기시킨다. 따라서 하나의 링크로만 Data 패킷을 전송받기 때문에 대역폭 사용 효율이 낮고 전송되는 하나의 링크에 대한 대역폭 이상의 처리량을 낼 수 없다. 본 논문에서는 앞서 제안한 두 개의 서버나 라우터에서 콘텐츠를 전송받는 기법을 확장하여, 콘텐츠를 가진 다수의 소스에서 Data 패킷을 Chunk 집합들로 분할하여 전송 받음으로써 기존의 콘텐츠 중심 네트워크보다 높은 전송 속도를 얻을 수 있다. 또한 제안하는 콘텐츠 분할 기법을 통해, 기존의 콘텐츠 중심 네트워크가 단일 경로를 사용하는데 비해 네트워크 링크를 효율적으로 사용할 수 있다.

먼저 사용자가 원하는 콘텐츠를 요청하고 콘텐츠가 발견되면, 전송속도가 가장 빠른 하나의 서버나 라우터에서 Data 패킷이 도착하게 된다. 이 때, 해당 경로에 대해서는 기존의 콘텐츠 중심 네트워크와 마찬가지로 동일한 방법으로 전송을 받는다. 콘텐츠를 전송받는 도중에 동일한 콘텐츠 응답이 다른 서버나 라우터(두 번째 응답)에서 도착하게 될 경우, [4]에서 논문에서 제안한 기법과 동일하게 해당 패킷을 폐기시킨 후, FIB 테이블의 Face 번호를 확인하여 해당 서버나 라우터로 콘텐츠의 마지막 Chunk 번호부터 내림차순으로 전송하도록 요청하는 새로운 Interest 패킷을 만들어 전송한다. 이후 또 다른 서버나 라우터(세 번째 응답)에서 동일한 콘텐츠에 대한 응답이 도착할 경우, Data 패킷의 Chunk 번호를 기준으로 패킷을 반으로 나누어 중간 번호의 Chunk 번호부터 오름차순으로 전송하도록 요청하는 Interest 패킷을 만들어 전송하며, 이후의 응답에 대해서는 또다시 Data 패킷을 반으로 나눈 상태에서 중간 번호의 Chunk 번호부터 내림차순으로 전송하도록 요청하는 Interest 패킷을 만들어 해당 소스로 보낸다. 이와 같은 방식으로 콘텐츠 요청에 대한 응답이 도착할 때마다, 해당하는 서버나 라우터로 Data 패킷을 계속해서 반으로 나누어 해당 Chunk 번호부터 오름차순, 내림차순으로 전송하도록 요청하는 새로운 Interest 패킷을 만들어 보낸다. 이렇게 콘텐츠를 다수의 Chunk군으로 나누어 전송받고, [4]에서 제안한 기법과 마찬가지로 동일한 번호의 Chunk가 도착할 때마다 해당 경로의 전송을 완료한다.

구체적으로 예를 들어보면, 그림 2와 같이 네트워크가 구성되어 있다고 가정하자. A, B, C로 표기된 세 개의 라우터는 사용자가 원하는 콘텐츠를 가지고 있으며 각각의 라우터는 사용자와 3, 4, 5홉 거리 떨어져 있고, 요청받은 콘텐츠는 Data 패킷이 10개의 Chunk들로 구성되어 있다고 가정하자. 사용자가 원하는 콘텐츠를 요청하면 Interest 패킷이 네트워크로 브로드캐스팅 된다. 각

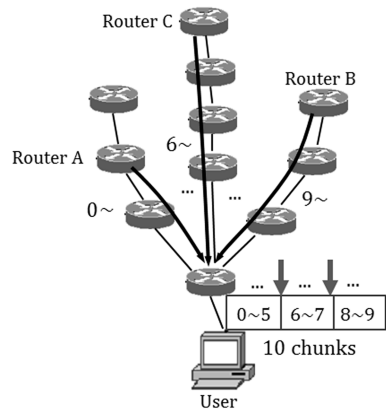


그림 2 멀티 소스 콘텐츠 전송 시나리오
Fig. 2 Multi-source content transfer scenario

각의 Interest 패킷은 라우터 A, B, C에서 콘텐츠를 발견하고, 각각의 라우터에서 첫 번째 Chunk를 가진 Data 패킷이 응답될 것이다. 네트워크 대역폭은 고려하지 않고 단순히 라우터간의 홉 수만을 고려했을 때, 라우터 A에서 가장 먼저 0번 Chunk를 가진 Data 패킷이 도착하고, 이후에 라우터 B에서 동일한 Chunk를 가진 Data 패킷이 도착한 뒤, 마지막으로 라우터 C에서도 동일한 Chunk를 가진 Data 패킷이 도착할 것이다. 기존의 콘텐츠 중심 네트워크에서는 라우터 A에서 전송된 Data 패킷만을 전송받고 라우터 B와 라우터 C에서 전송된 Data 패킷은 폐기시킨다. 본 논문에서 제안한 기법을 사용하여 라우터 B에서 0번 Chunk를 가진 Data 패킷이 도착하면, 중간 CCN 라우터에서 라우터 B로 원하는 콘텐츠의 마지막 Chunk 번호인 9번부터 내림차순으로 요청하는 새로운 Interest 패킷을 만들어 보낸다. 이때, 중간 CCN 라우터는 콘텐츠 뒷 번호 Chunk부터는 라우터 B에서 전송받겠다는 ACK Interest 메시지를 사용자에게 보내어, 사용자가 해당 Chunk를 가진 Data 패킷이 사용자가 요청한 콘텐츠라는 것을 인식하여 수신을 허가할 수 있도록 한다. 마찬가지로, 라우터 C에서도 또한 0번 Chunk를 가진 Data 패킷이 도착하면 사용자에게 ACK Interest 메시지를 전송하며, 중간 CCN 라우터에서 원하는 콘텐츠의 Chunk 개수를 반으로 나누고 올림을 한 상태에서 1을 더한 6번 Chunk부터 오름차순으로 요청하는 새로운 Interest 패킷을 만들어 라우터 C로 보낸다. 여기서 올림한 뒤 1을 더하는 이유는 라우터 A에서 상대적으로 먼저 콘텐츠를 전송받고 있기 때문에 뒷 번호를 가진 Chunk를 더 많이 받아야 전체적으로 전송이 빨리 완료되기 때문이다. 더 많은 라우터들에서 요청한 콘텐츠가 발견된다면, 중간 CCN 라우터에서 해당 콘텐츠의 Chunk 개수를 반으로 나눈 숫자를

가진 번호의 Chunk부터 내림차순으로 전송하는 Interest 패킷을 만들어 보내는 방식으로 계속해서 콘텐츠를 나누어 전송하게 된다. 이후 동일한 방식으로 콘텐츠 전송이 진행되다가 서로 다른 라우터에서 동일한 Chunk 번호를 가진 Data 패킷이 전송되면, 콘텐츠의 시작 Chunk 번호부터 겹쳐진 Chunk 번호까지는 모두 전송받은 것이므로 전송을 완료한다.

3.2 중간 CCN 라우터의 동작

멀티 소스에서 콘텐츠를 전송받기 위해서는 그림 3에 나타난 것처럼 중간 CCN 라우터가 FIB에서 콘텐츠를 가진 다음 홉 Face 번호를 확인하여, 원하는 번호의 Chunk를 요청하는 새로운 Interest 패킷을 포워딩해야 한다. 사용자의 요청으로 포워딩되어온 Interest 패킷은 기존의 CCN과 동일하게 계속해서 f1을 통해 포워딩되며, 중간 CCN 라우터는 그림 3의 f2와 f3으로 나가는 Interest 패킷을 생성하여 포워딩해야 한다. 그리고 일부 콘텐츠 Chunk들을 다른 서버에서 받는다는 것을 사용자에게 알리기 위한 ACK Interest 메시지가 필요하다. 이 ACK Interest 메시지는 PIT 테이블의 Face 번호를 확인하여 Data 패킷을 전달할 때와 동일하게 처리된다. 따라서 중간 CCN 라우터는 기존의 CCN 라우터의 포워딩 정책과 달리, 서버에서 첫 번째 응답 이후의 Data 패킷이 도착했을 때, 이를 폐기시키고 해당 Face로는 Interest 패킷을 보내지 않는 정책을 사용하지 않고 새로운 정책을 적용하여 원하는 번호의 콘텐츠 Chunk를 요청하기 위한 새로운 Interest 패킷을 생성하여 해당 서버로 포워딩해야 한다.

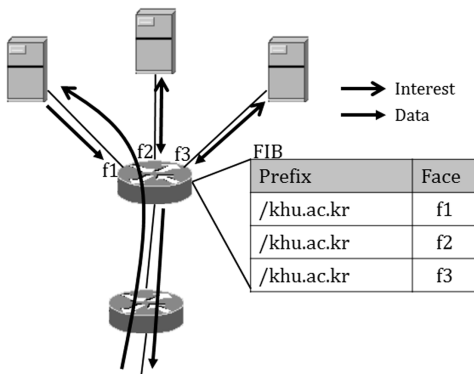


그림 3 중간 CCN 라우터의 동작
Fig. 3 Operation of intermediate CCN router

다음의 Algorithm 1은 제안한 기법에 대한 중간 CCN 라우터의 동작과정에 대한 Pseudo code를 보여준다. 여기서 r 은 요청한 콘텐츠에 대한 Data 패킷이 사용자에게 몇 번째로 도착하는 응답인지를 나타낸다.

Algorithm 1 Intermediate CCN Router Operation

```

1: receive_Interest(chunk);
2: broadcast_Interest(chunk, face);
3: receive_data(chunk);
4: if first_data(chunk) then // r = 1
5: cache_ASC(chunk, chunk_num);
6: end if
7: else if same_data(chunk) then
8: discard_data(chunk);
9: ack_interest send(face); // to user
10: while(!same_chunk(chunk_num)) then
11: if odd(number_of_responses) then
// r = 3, 6, ..., 2k + 1
12: forward_new_interest(ceil(number_of_chunk/2)+1,
face);
13: cache_ASC(chunk, chunk_num);
14: end if
15: else if even(number_of_responses) then
16: if second_response(chunk_num) then // r = 2
17: forward_new_interest(second_chunk_num);
18: cache_DSC(chunk, chunk_num);
19: end if
20: else then // r = 4, 6, ..., 2k
21: forward_new_interest(ceil(number_of_chunk/2),
face);
22: cache_DSC(chunk, chunk_num);
23: end else
24: end else if
25: end while
26: end else if
27: close();
    
```

4. 시뮬레이션 결과 및 분석

4.1 실험 환경

본 절에서는 콘텐츠 중심 네트워크에서 기존의 단일 경로 콘텐츠 전송과 본 논문에서 제안한 멀티 소스 콘텐츠 전송 기법이 같은 시간 동안 얼마나 많은 콘텐츠를 전송받는지 평가한다. 시뮬레이션 환경은 ns-3 기반의 콘텐츠 중심 네트워크 오픈소스 시뮬레이터인 ndnSIM을 사용하였다[5]. 네트워크 토폴로지는 3절의 그림 2와 동일하게 구성하였으며, 각각의 경우마다 10초 동안 수신하는 콘텐츠 용량을 측정하여 성능을 평가하였다. 또한 라우터간의 모든 링크들은 10Mbps의 대역폭과 10ms의 지연 시간을 갖도록 설정하였다.

4.2 성능 평가

제안사항에 대한 성능 평가를 위해 기존의 CCN, [3]에서 제안한 이중 경로 콘텐츠 전송 기법을 적용한 CCN, 그리고 본 논문에서 제안한 멀티 소스에서 콘텐츠를 전송받는 CCN의 세 가지 경우에 대해 10초 동안 수신하는 콘텐츠 양을 비교하였으며, 그 결과는 그림 4에 나타난 것과 같다. 여기서 제안사항에 대한 콘텐츠를

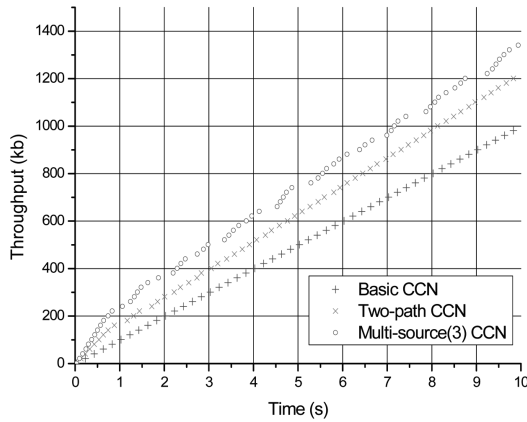


그림 4 시간당 콘텐츠 전송량

Fig. 4 Content throughput per second

가진 서버의 개수는 3개로 설정하여 시뮬레이션하였다. 기존의 CCN의 경우 10초 동안 약 997kb를 전송받았고, Two-path CCN의 경우 1,218kb, 제안사항인 Multi-source CCN의 경우는 가장 높은 1,346kb를 전송받았다. 네트워크 상태에 따라 차이가 있지만, 그림 2와 같은 시나리오에서는 기존의 콘텐츠 중심 네트워크보다 약 1.35배의 성능 향상을 확인할 수 있다. 그리고 라우터 전송받는 라우터 개수가 늘어날수록 대략 0.8~0.9배 가량 성능이 향상되었다.

그림 4를 보면 3개의 서버에서 콘텐츠를 나누어 전송받을 때는 다른 두 가지 경우와 그래프에 약간의 차이가 있다. 그 이유는 그림 2의 토폴로지에서 User와 연결되어 있는 라우터 사이가 병목 링크로 되어 있어, 전송되는 Data 패킷을 모두 수신하지 못하고 손실이 발생하였기 때문이다. 따라서 향후 제대로 된 성능 평가를 위해 다양한 토폴로지에서 시뮬레이션을 할 필요가 있다.

5. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 앞서 [4]에서 제안하였던 콘텐츠를 두 개의 서버나 라우터에서 전송받는 기법을 확장하여, 다수의 서버나 라우터에서 콘텐츠를 전송받는 기법을 제안하였다. 본 논문에서 제안한 기법은 다수의 서버에서 콘텐츠를 받아오기 위해 새로운 Interest 생성을 하고 사용자에게 이를 알리는 ACK Interest 메시지를 보내기 때문에 이를 수행하는 중간 CCN 라우터의 역할이 매우 중요하다. 그리고 제안한 기법을 사용하여 시뮬레이션을 수행한 결과, 4절에 나타난 것처럼 기존의 CCN과 두 개의 경로를 사용한 CCN보다 높은 전송률을 가지는 것을 확인할 수 있었다.

향후 연구로는 특정 번호를 가진 Chunk 요청을 위한

새로운 Interest 패킷 포워딩에 대한 중간 CCN 라우터에서의 프로토콜을 구체적으로 정의하고, 다양한 시나리오에서의 시뮬레이션 및 다양한 콘텐츠 분할 기법을 바탕으로 콘텐츠 전송 성능을 최적화하기 위한 방안을 연구하도록 한다.

References

- [1] J.I. Kim, H.Y. Jung, W.G. Park, "Content Centric Networking Technology," *ETRI, Electronics and Telecommunications Trends*, vol.25, no.6, Dec. 2010. (in Korean)
- [2] V. Jacobson, D. K. Smetters, J. D. Thornton, M. F. Plass, N. H. Briggs, R. L. Braynard, "Networking Named Content," *CoNEXT 2009, Rome, Dec, 2009*.
- [3] Project CCNx [Online], Available: <http://www.ccnx.org>, 2013.
- [4] Taejin Sung, ChoongSeon Hong, Sungwon Lee, "Two-path Content Transfer Scheme in Content-Centric Network," *Korea Computer Congress 2013*. (in Korean)
- [5] NS-3 based Named Data Networking (NDN) simulator ndnSIM: NDN, CCN, CCNx, content centric networks [Online], available: ndnsim.net, 2013.