

미래 인터넷 네트워크 캐시 관리 연구 동향

김 대 열*

요 약

기존 인터넷이 원격지 호스트들 사이의 안정적인 연결에 중점을 두고 개발되었기 때문에 대용량 콘텐츠 전송을 포함해서 다양한 종류의 서비스 요구사항을 충족시키지 못하고 있다. 이와 같은 문제를 해결하기 위하여 미래 인터넷 아키텍처 및 기술이 제안되었다. 미래 인터넷 아키텍처 중 하나인 ICN은 네트워크를 통해 전송되는 콘텐츠의 캐시를 탐색하고 효율적으로 전송하는 기술에 중점을 두어 개발된 새로운 패킷 전송 모델이다. 특히, ICN은 전송 효율을 높이기 위한 방법으로 콘텐츠 배포지의 다변화를 추구하여, 멀티미디어 프락시 시스템 또는 네트워크 노드에 콘텐츠를 임시 저장한다. 이와 같이 임시 저장된 콘텐츠 캐시를 이용하여 사용자의 요청 메시지를 콘텐츠 공급자 외에도 다양한 호스트/노드들이 응답할 수 있도록 개발되었다. 이와 같은 패킷 전송 모델을 구현하기 위하여 호스트 식별자를 패킷 라우팅 정보로 활용하던 기존 인터넷 주소 체계와는 다른 콘텐츠 식별 정보를 정의하고, 이 식별 정보를 라우팅 정보로 활용한다. 본 논문에서는 ICN의 콘텐츠 식별 정보 체계와 이를 활용한 라우팅 방안들을 살펴보고 그 특징들을 비교 분석한다.

I. 서 론

네트워크를 이용하여 데이터를 전송/공유하는 다양한 서비스가 증가하고, 특히 클라우드 기반의 다양한 IT 서비스가 광범위하게 보급/이용됨에 따라 네트워크 전송 용량의 폭발적인 증가가 예상되고 있다. 그러나 통신 선로의 대역폭을 전체적으로 증가시키기 위해서는 매우 많은 비용이 요구되며, 물리적 대역폭 증가 속도에 비하여 데이터 전송량 증가 속도가 더 빠른 추세이기 때문에 물리적 해결책 외에 네트워크 병목 현상을 해결하기 위한 기술적 대안이 필요하다[1].

이와 같은 문제를 해결하기 위한 기술로 CDN(Content Delivery Network) 서비스와 P2P(Peer-to-Peer) 네트워킹 기술이 대표적인 예라 할 수 있다. CDN/P2P는 사용자가 요청하는 콘텐츠를 원배포자(Content Provider) 뿐만 아니라 Proxy Server 또는 콘텐츠를 이전에 다운로드 받은 사용자등 다양한 경로를 통하여 요청된 콘텐츠를 제공할 수 있도록 설계되었다 [2,3].

인터넷은 원격 호스트들 사이의 안전한 네트워크 연결을 제공하기 위한 기술로 처음 개발되었기 때문에, 현재와 은 환경에 대응할 수 있도록 설계되지 않았다. 이

로 인하여, 서비스 및 대용량 데이터 전송의 폭발적인 증가로 인하여 발생하는 네트워크 병목현상, 인증 구조 부재와 같은 취약한 보안 구조로 인한 심각한 침해 사고, 디바이스의 빈번한 이동으로 인한 비효율성 발생과 같은 다양한 문제점들과 그 해결 방안이 전혀 고려되지 않았다. 특히 다양한 IT 융복합 서비스의 증가는 이와 같은 인터넷의 문제점들을 더욱 심화시킬 것으로 예상되고 있으며, 인터넷이 갖고 있는 기본적인 취약점들은 IT 융복합 서비스의 저변확대를 방해하는 주요 요인이 될 것으로 우려되고 있다. 그러므로 이와 같은 문제들을 해결하고 인터넷을 통하여 다양한 데이터 및 정보를 보다 효과적으로 지원하기 위한 미래 인터넷 기술 연구가 다양하게 진행되고 있다[4].

특히, 미래 인터넷 기술 중 하나인 정보 중심의 네트워킹 기술(Information Centric Networking)은 데이터 제공자에게 집중되는 데이터 요청 메시지를 효율적으로 분산 처리하기 위하여 멀티미디어 프락시 서버(Multimedia Proxy Server)나 네트워크 기기(Network Node)에 데이터를 임시 저장한 후, 데이터 제공자를 대신하여 이들 기기들이 데이터 요청 메시지를 직접 처리하는 기술을 제공하고 있다. 특히, ICN 기술 중 하나인 콘텐츠 중심 네트워킹(Content-Centric Networking,

* 수원대학교 정보보호학과 (daeyoub69@suwon.ac.kr)

CCN)은 데이터의 계층화된 고유 이름에 기반 한 패킷 전송과 네트워크 기기에 데이터 임시 저장(caching) 기능을 구현하여 효과적으로 데이터를 전송할 수 있도록 설계되었다 [5][6]. 기본적으로 네트워크의 효율성을 높이기 위하여 네트워크 노드에 저장된 데이터를 이용하고 있기 때문에, 캐싱 되는 데이터의 종류와 데이터를 캐싱 하는 네트워크 노드의 네트워크 토폴로지 상에서 위치가 CCN의 성능에 매우 큰 영향을 미친다.

본 논문에서는 데이터의 이용 빈도를 기반으로 데이터를 캐싱 할 노드를 선택/운영하는 CCN 데이터 캐싱 정책들을 살펴보고, 콘텐츠의 이용 패턴 분석 결과를 반영하여 지금까지 제안된 캐싱 정책들의 효율성을 비교 관찰한다. 또한, 보다 효율적인 캐싱 정책 수립을 위해 고려해야할 기술 요소들을 살펴본다.

II. 콘텐츠 중심 네트워크

CCN은 데이터의 고유 이름 기반의 패킷 포워딩 기능, 중간 네트워크 노드에서의 데이터 캐싱 및 포워딩 기능, 그리고 전자 서명 기반의 데이터 인증 기능을 제공하여 기존 인터넷의 문제점들을 해결하기 위해 제안되었다 [7]. CCN은 콘텐츠 요청 메시지 (Interest) 전송에 의하여 네트워킹 프로세스가 진행되며, Interest에 대응 하는 데이터 패킷 (Data)은 Interest가 전송된 경로의 역경로를 따라서 사용자에게 전송된다. 이와 같은 특징을 구현하기 위하여 CCN은 다음과 같은 몇 가지 추가적인 요소들을 사용한다.

(1) 콘텐츠 식별자: CCN은 IP 주소와 같은 호스트 식별자 (Host Identity) 대신에 콘텐츠 이름을 기반으로 Interest/Data를 전송한다. CCN은 Interest 전송 경로의 네트워크 노드들이 네트워크 계층 정보만으로 요청된 콘텐츠의 캐싱 여부를 확인할 수 있어야 한다. 그러므로 네트워크 계층 정보에 콘텐츠 식별자 정보가 반드시 포함 되어 있어야 한다. 또한, 원격 호스트들 사이의 네트워크 연결을 주된 목적으로 개발된 호스트 식별자 기반의 네트워크와 달리 CCN의 주요 목적은 콘텐츠의 효과적인 전송/배포에 있기 때문에 호스트 식별자가 큰 의미를 갖지 못한다. 또한, 콘텐츠 이름을 이용하여 패킷을 라우팅할 수 있도록 콘텐츠 이름은 계층적으로 구성된다.

(2) 포워딩 정보(Forwarding Information Base, FIB) 테이블: 데이터 요청 메시지(Interest)에 포함되어 있는 콘텐츠 이름을 기반으로 해당 Interest를 포워딩할 물리적/논리적 전송 인터페이스 (Face)를 결정할 때 필요한 정보를 제공한다. CCN에서는 Interest의 콘텐츠 이름과 FIB 테이블 정보를 비교한 후 longest prefix matching 원칙에 따라 전송할 Face를 결정한다.

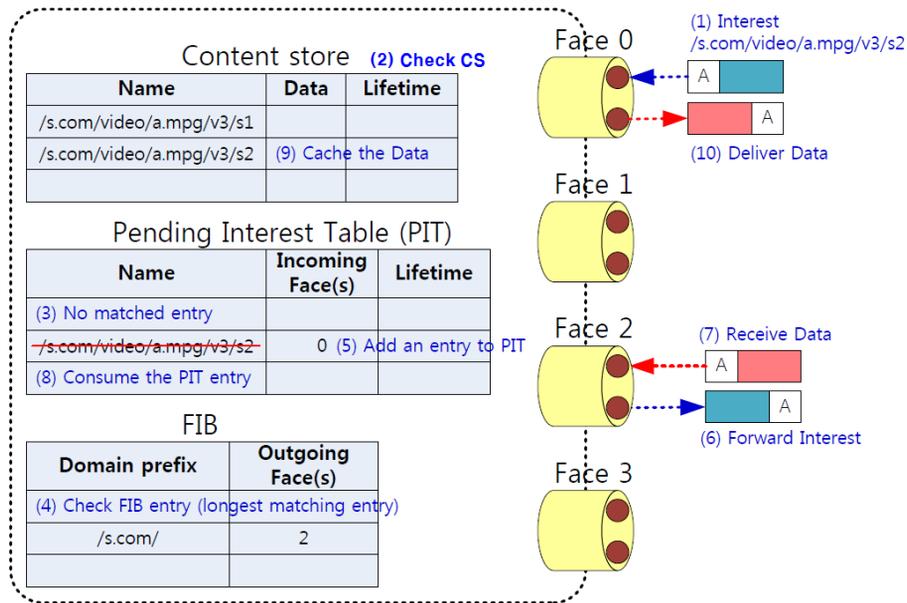
(3) 요청 정보 테이블 (Pending Interest Table, PIT): 수신된 Interest와 해당 Interest가 유입된 incoming Face 정보를 기록/관리한다. 응답 메시지(Data) 수신 시, 해당 Data에 대응하는 Interest의 정보를 PIT에서 획득한 후, 기록된 Face를 통하여 사용자들에게 전송한다.

(4) 네트워크 캐시 (Content Store, CS): 네트워크 노드들은 전송 중인 Data를 노드의 CS에 임시 저장한다. CS에 저장된 Data에 대한 요청을 수신하면, 앞서 저장했던 Data를 사용하여 해당 Interest에 즉시 직접 응답한다.

(5) 데이터 서명 및 검증: 전송되는 Data는 각각 처음 Data를 생성한 생성자(Publisher)의 전자 서명을 포함하고 있으며, 사용자는 이 전자 서명 값을 이용하여 Publisher와 데이터 위/변조 여부를 검증한다.

그림 1은 CCN의 Interest와 Data 처리 절차를 설명한다:

- (1) 노드의 인터페이스 (Face 0)로 Interest를 수신한다.
- (2) Interest에 대응되는 데이터가 CS에 저장되어 있는지 여부를 확인한다. 만약 해당 데이터가 저장되어 있다면, 해당 데이터를 Interest를 수신한 Face 0을 통하여 요청자에게 전송한 후, 수신한 Interest 처리를 완료한다.
- (3) 수신한 Interest에 해당하는 기록(entry)이 PIT에 존재하는지 확인한다. 만약 대응되는 기록이 PIT 내에 존재한다면, 해당 기록에 Face 0을 추가한 후, 수신한 Interest 처리를 완료한다.
- (4) PIT에 대응되는 기록이 없다면, FIB 테이블을 참조해서 Interest를 포워딩할 Face (예를 들어, Face 2)를 선택한다.
- (5) 수신된 Interest를 위한 새로운 PIT entry를 추가한다.
- (6) 단계 4에서 선택된 Face 2로 수신한 Interest를 전송한 후, 해당 Interest 처리 절차를 완료한다.



(그림 1) CCN Interest/Data Forwarding Process

(7) 이 후, 해당 노드의 인터페이스 (Face 2)로 Data가 수신된다.

(8) 수신된 Data에 대응하는 entry가 PIT에 존재하는지 확인한다. 만약 대응되는 entry가 PIT에 존재하지 않는다면, 수신한 Data를 폐기한 후, Data 처리 절차를 종료한다.

(9) 수신된 Data를 노드의 CS에 저장한다.

(10) 단계 8에서 검색된 entry에 기록되어 있는 Face들 (예를 들어, Face 0)로 Data를 전송한 후, PIT에서 대응되는 entry를 삭제한다.

III. CCN 캐시 관리 정책

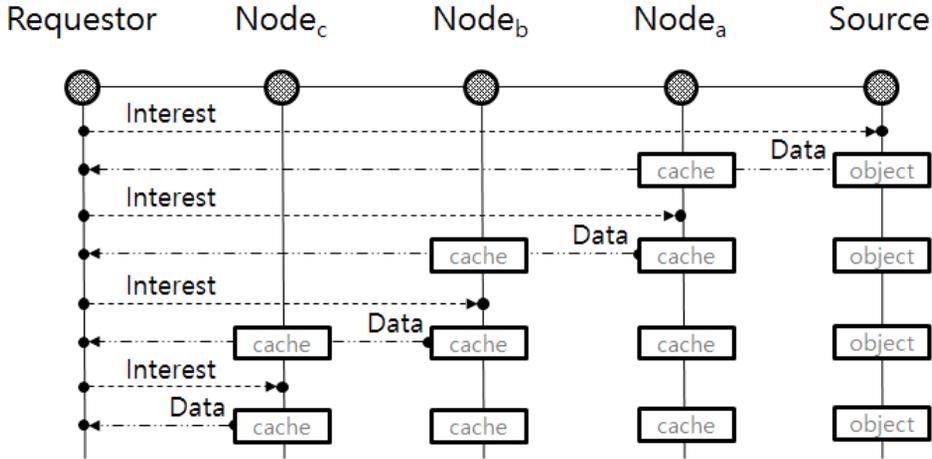
3.1. 캐시 정책 모델

기본적으로 CCN은 Data의 전송 경로 상의 모든 네트워크 노드에 해당 Data를 캐싱한 후, 이렇게 캐싱된 Data를 이용하여 향후에 다른 사용자들이 새롭게 생성/전송한 해당 Data에 대한 Interest를 중간 노드들이 직접 처리하게 함으로써 네트워크 성능을 향상시킨다. 또한, 전송되는 Data의 종류에 관계없이 모든 전송되는 Data를 캐싱 하도록 설계되었다. 그러나 이와 같이 전송되는 모든 데이터를 경유하는 모든 중간 노드에 캐싱 할 경우,

각 노드마다 데이터 캐싱을 위해서 대용량의 CS를 각각 관리해야 한다. 이와 같은 대용량의 CS 사용은 저장 공간에 대한 오버헤드뿐만 아니라, 저장된 많은 수의 데이터 검색으로 인하여 전체적인 응답 시간이 지연될 수 있다. 또한, 네트워크 캐싱의 과도한 중복으로 인하여 대부분의 캐싱이 사용되지 않는 비효율성이 증가할 수 있다. 그러므로 CCN의 기본적인 캐싱 정책은 매우 비효율적이다.

이와 같은 문제를 해결하기 위하여 중간 노드들이 확률적으로 데이터 캐싱을 결정하는 정책과 데이터의 이용 빈도에 따라 캐싱 노드를 선택/운영하는 정책들이 제안되었다 [7-11]. 확률적으로 데이터 캐싱을 결정하는 정책은 다음과 같다:

(1) Copy with Probability (CwP): Data가 전송되는 전송 구간 위의 노드들이 확률 p로 Data를 캐싱 한다. 만약 확률 p가 1이면, CwP는 CCN의 기본 캐싱 정책과 동일하다. 그러나 확률 p가 1 보다 작으면, 전송 구간 위의 노드들이 확률적으로 Data를 캐싱하기 때문에 CCN의 기본 캐싱에서의 중복 문제를 일부 해소할 수 있다. 그러나 경우에 따라서는 전송되는 Data가 전송 구간 위의 노드들에 전혀 캐싱 되지 않을 수도 있으며, 그와 반대로 전송 구간 위의 모든 노드들에 캐싱 될 수도 있다. 즉,



(그림 2) LCD Data Caching

CwP는 Data 전송이 완료되기 전에는 어떤 노드들에 캐싱 될지를 예측할 수 없기 때문에 네트워크의 성능 및 저장 공간을 안정적으로 관리하기 매우 어렵다.

(2) Randomly Copy One (RCO): Data가 전송되는 전송 구간 위의 노드들 중에서 랜덤하게 하나의 노드만을 선택하여 Data를 캐싱 한다. CwP가 Data 캐싱의 중복 문제를 일부 해결하더라도 여전히 중복 캐싱이 발생할 수 있으며 극단적인 경우, 네트워크에 전혀 캐싱 되지 않을 수도 있는 반면에 RCO는 전송 구간 위의 노드 중에서 오직 하나의 노드에만 Data가 캐싱 되기 때문에 중복 캐싱 문제를 완전히 해결할 수 있다. 그러나 Data를 캐싱 하는 노드를 랜덤하게 선택하기 때문에 캐싱 할 노드를 사전에 예측하거나 지정할 수 없으므로 네트워크 성능을 관리하기 어렵다는 단점이 있다.

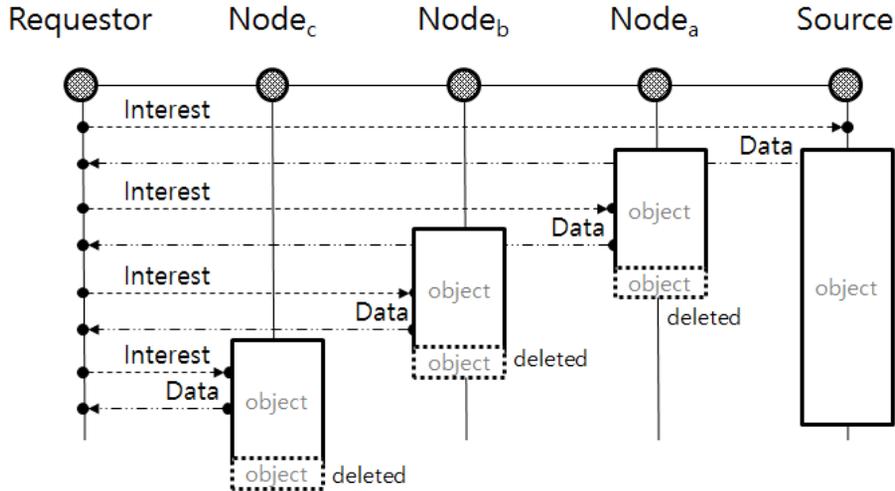
(3) Probabilistic Cache (PRC): Data가 전송되는 전송 구간 위의 노드들이 서로 다른 확률로 전송되는 데이터를 캐싱 한다. 즉, 전송 구간의 노드가 콘텐츠를 요청한 사용자에게 가까울수록 더 높은 확률로 데이터를 캐싱 한다. 그러므로 PRC는 기존의 CwP/RCO와 달리 콘텐츠가 사용자의 Edge Network에 캐싱 될 확률이 더 높도록 설계되었다. 그러나 여전히 확률적 접근으로 인하여 캐싱 결과를 사전에 정확히 예측할 수 없다.

CwP, RCO 그리고 PRC는 전송 구간의 노드들이 확률적으로 전송되는 데이터를 캐싱 하도록 설계되어 중복 캐싱을 일부/전부 해결할 수 있도록 설계되었다. 그러나 확률적으로 데이터를 캐싱 할 노드를 선택하기 때문에

네트워크 성능에 많은 영향을 미치는 데이터 캐싱 위치를 사전에 예측할 수 없고, 이로 인하여 네트워크 성능 및 저장 공간을 효율적으로 관리하기 어렵다는 단점이 있다. 이에 반하여, 데이터의 이용 빈도에 따라 캐싱 노드를 정적으로 선택/운영하는 캐싱 정책은 다음과 같다.

(1) Leave Copy Down (LCD): Data를 전송할 때, 전송 경로 위에 있는 노드들 중에서 첫 번째 노드 즉, 가장 먼저 해당 Data를 수신하는 노드만 Data를 캐싱하고, 나머지 노드들은 Data를 캐싱 하지 않고 전송만 한다. 그림 2는 LCD의 캐시 운영 방법을 설명한다. Data를 저장하고 있는 콘텐츠 소스가 Interest를 수신한 후 해당 Data를 전송할 때, 콘텐츠 소스와 직접 연결된 첫 번째 노드인 Node-A만 Data를 캐싱 한다. 이 후, 해당 Data를 요청하는 Interest를 Node-A가 수신하면, Data가 전송되는 경로 위에 있는 노드 중에서 Node-A와 직접 연결된 Node-B만 Data를 캐싱 한다. 이와 같은 캐싱 정책을 구현/적용할 때, 데이터의 요청 빈도에 따라 Data를 캐싱 하는 노드의 수를 점진적으로 증가시킬 수 있으며, 요청 빈도가 높은 Data의 경우 사용자의 Edge Network에 속한 노드들에 캐싱 된다.

(2) Move Copy Down (MCD): LCD는 데이터의 요청률에 따라 캐싱 하는 노드의 수를 점진적으로 늘려가기 때문에, Interest 전송 경로의 제일 앞단에 위치한 노드에 요청된 Data가 캐싱 되어 있는 경우, 전송 경로 상에 있는 나머지 노드들에 캐싱 된 Data를 사용하지 않게 된다. 즉, 많은 노드들이 사용되지 않을 캐싱 Data를 계속 유지하게 된다. 이와 같은 문제를 해결하기 위해서



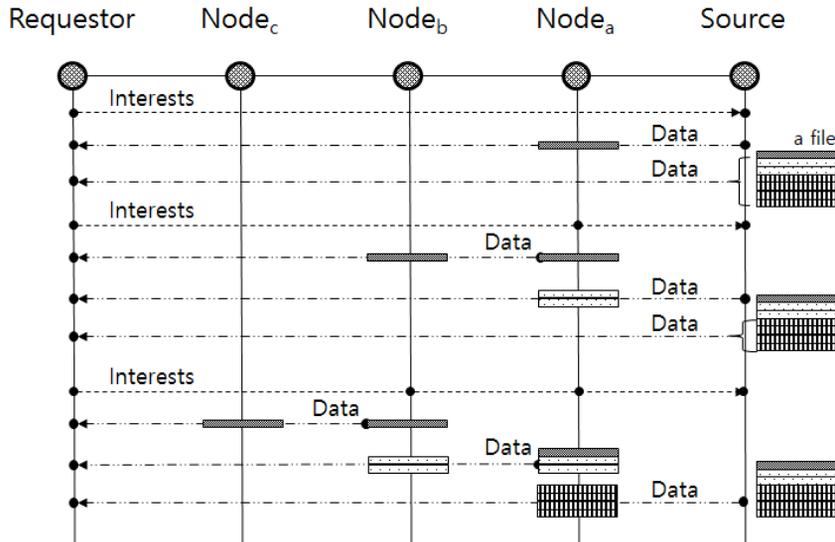
(그림 3) MCD Data Caching

MCD는 Data의 요청 빈도에 따라 점진적으로 데이터를 캐싱 하는 노드를 사용자의 Edge Network 방향으로 이동시킨다. 즉, 데이터 소스가 아닌 중간 노드의 경우, Interest를 수신한 후 CS에 저장된 캐싱 Data를 전송하면 해당 Data를 노드의 CS에서 삭제한다. 그림 3은 MCD의 운영 방법을 설명한다. LCD와 같이 Node-A가 캐싱하고 있는 Data에 대한 Interest를 수신하고 해당 Data가 사용자에게 전송되면, Node-A와 직접 연결된 Node-B만 Data를 캐싱 한다. 이 때, Node-A는 Data를 전송한 후, CS에서 해당 Data를 삭제한다. MCD를 적용할 경우, Interest 전송 경로 위에 있는 노드들 중에서 Data를 캐싱하고 있는 노드는 RCO와 같이 오직 한 개뿐이다. 그러므로 LCD와 같이 사용되지 않는 캐싱 Data로 인해 발생하는 저장 공간의 낭비를 극단적으로 해결할 수 있다. 그러나 Node-A에서 데이터가 삭제된 후, Node-A가 이미 삭제된 데이터에 대한 Interest를 다시 수신하면, Node-A는 해당 Interest에 대하여 직접 응답할 수 없기 때문에 Interest를 콘텐츠 소스에게 전송해야만 한다. 이러한 경우, 네트워크 성능 저하를 초래할 수 있다.

(3) WAVE: CCN은 파일(File)을 일정 크기 이하의 여러 조각(Segment)으로 단편화 한 후, 단편화 된 각각의 segment를 단일 Data로 간주하여 처리한다. LCD/MCD는 segment 단위로 캐싱 정책을 운영한다. 즉, LCD/MCD에서는 개별 segment의 요청 빈도에 따라 해당 Data의 캐싱 위치가 결정된다. WAVE는 LCD와

같이 Data를 캐싱 하는 노드의 수를 점진적으로 늘려 나가지만, LCD/MCD와 달리 파일의 이용 빈도를 이용하여 파일을 구성하는 Data (즉, segment) 캐싱을 관리한다. 특히, 파일의 요청 빈도에 따라 캐싱 하는 Data의 수를 지수 승으로 증가 시킨다. 예를 들어 그림 4에서와 같이, 파일에 대한 첫 번째 요청 Interest들을 수신하며, 해당 파일의 첫 번째 segment가 캐싱 되고, 해당 파일에 대한 두 번째 요청 Interest들이 수신되면, 두 번째 segment와 세 번째 segment가 캐싱 되고, 세 번째 요청에는 네 번째부터 일곱 번째 segment가 캐싱 된다. 이와 같은 file의 요청 빈도에 따라 캐싱 증가 속도를 지수 승으로 증가시키기 때문에 많이 요청되는 file의 경우, LCD/MCD 보다 빠르게 캐싱 범위를 늘려 나갈 수 있다. 그러나 기본적인 캐싱 정책은 LCD와 동일하기 때문에 LCD가 갖고 있는 사용되지 않는 캐싱 Data들로 인한 저장 공간 낭비와 같은 문제점들을 갖고 있다.

이와 같은 캐싱 정책들의 공통적인 특징은 Data의 요청 빈도가 높은 수록 사용자의 Edge Network의 노드에 Data를 캐싱하고, 해당 Data에 대한 Interest를 사용자 Edge Network 안에서 응답 처리되게 함으로써, Core Network에서 교환되는 네트워크 패킷의 수를 효과적으로 줄일 수 있을 것으로 예상했다. 또한, 전송되는 Data를 모두 캐싱 하는 것이 아니라, Data의 요청 빈도에 따라 캐싱 하는 노드의 수를 증가시키기 때문에, Data 캐싱을 위한 노드의 저장 공간을 보다 효율적으로 유지/관리



(그림 4) WAVE Data Caching

할 수 있을 것으로 기대되었다.

IV. 결 론

미래 인터넷은 전송 효율성을 높이기 위하여 기본적으로 콘텐츠 캐시를 이용해 복수 개의 콘텐츠 배포자를 운영한다. 그러므로 캐시 운영 방법은 전체적인 네트워크 성능에 직접적인 영향을 준다. CCN은 기본적으로 데이터 패킷의 전송 경로 상에 있는 모든 노드에 해당 데이터를 캐시하도록 제안되었다. 그러나 이와 같은 경우 동일한 데이터를 중복 캐시 함으로써 메모리 비효율성이 증가할 수 있다. 이와 같은 문제를 해결하기 위하여 CCN에 적용할 수 있는 다양한 캐시 운영 및 관리 방안이 제안되었다.

본 논문에서는 미래 인터넷 기술 중 하나인 CCN의 캐시 운영 및 관리 방안을 소개하고, 각각의 기법들의 특징을 분석하였다.

지금까지 연구된 결과는 캐시의 중복성을 해결하는 기술에 집중되어 있다. 그러나 CCN 캐시의 문제점은 콘텐츠가 네트워크를 통해 한번 배포된 이후에는 사용자가 더 이상 자신의 콘텐츠의 이용 및 배포를 제어할 수 없게 된다는 것이다. 즉, 사용자 실수로 인한 배포 또는 콘텐츠 배포 이후에 사용자가 회수하려고 할 때 이를 지원할 수 있는 방법이 제안되지 않고 있다. 이는 사용자 프라이버시에 큰 문제를 야기할 수 있다. 그러므로 향후 이와

같은 보안 문제를 해결하기 위한 CCN 캐시 기술의 개선이 요구된다.

참 고 문 헌

- [1] D. Clark, "The Design Philosophy of the DARPA Internet Protocols," ACM Sigcomm Comp. Comm. Review, Vol. 18, No. 1, pp. 106-114, Aug. 1988.
- [2] A. K. Pathan, and R. Buyya, "A Taxonomy and Survey of Content Delivery Networks," Tech Report, Univ. of Melbourne, 2007.
- [3] E. Meshkova, J. Riihijarvi, M. Petrova, and P. Mahonen, "A survey on resource discovery mechanisms, peer-to-peer and service discovery frameworks," Computer Networks Journal., vol. 52, no. 11, pp. 2097 - 2128, 2008.
- [4] B. Ahlgren, C. Dannewitz, C. Imbrenda, D. Kutscher and B. Ohlmann, "A Survey of Information-Centric Networking," IEEE Communications Magazine, Vol. 50, No. 7, pp. 26-36, July 2012.
- [5] V. Jacobson, D. Smetters, J. Thornton, M. Plass, N. Briggs and R. Braynard, "Networking Named Content," 5th International Conference on

Emerging Networking Experiments and Technologies, pp. 1-12, 2009.

- [6] The NDN project team, "Named Data Networking (NDN) Project", NDN technical Report NDO-0001, 2010.
- [7] I. Psaras, W. K. Chai, and G. Pavlou, "In-network cache management and resource allocation for information-centric networks," IEEE Trans. Parallel Distrib. Syst., vol. 25, no. 11, pp. 2920 - 2931, 2013.
- [8] N. Laoutaris, H. Che, and I. Stavrakakis, "The lcd interconnection of lru caches and its analysis," Perform. Eval., vol. 63, no. 7, pp. 609 - 634, 2006.
- [9] G. Zhang, Y. Ki, and T. Lin, "Caching in information centric networking: A survey," Computer Networks, vol. 57, pp-3128-3141, 2013.
- [10] Meng Zhang, Hongbin Luo, and Hongke Zhang, "A Survey of Caching Mechanisms in Information-Centric Networking," IEEE communication surveys & tutorials , vol. 17, no. 3, pp. 1473-1499, 2015
- [11] K. Cho, M. Lee, K. Park, T. Kwon, Y. Choi and S. Pack, "WAVE: Popularity-based and Collaborative In-network Caching for Content-Oriented Networks," in Proc. IEEE INFOCOM Workshop on Emerging Design Choices in Name-Oriented Networking (NOMEN), March 2012.

〈저자소개〉



김 대 업 (Kim DaeYoub)

종신회원

2000년 2월 : 고려대학교 대학원 수학과 박사

2002년 2월 : 시큐아이닷컴 정보보호연구소 차장

2012년 2월 : 삼성전자 종합기술원 수석연구원

2012년 3월~현재 : 수원대학교 정보보호학과 조교수
관심분야: 미래 인터넷 보안, Connected Vehicle 보안, 콘텐츠 보안