

# CCN에서 응답시간 감소를 위한 생산자 거리 기반 캐시정책

김 건\* · 권태욱\*\*

Cache Policy based on Producer Distance  
to Reduce Response Time in CCN

Keon Kim\* · Tae-Wook Kwon\*\*

## 요 약

지금은 스마트폰, 태블릿 등 모바일기기를 사용하지 않는 사람을 찾는 것이 더 어려운 시대다. 손가락만 움직이면 접근 가능한 콘텐츠들이 넘쳐난다. 하지만 기존 네트워크는 넘치는 콘텐츠들로 인해 발생하는 문제들에 대해 효율적인 대응이 어려운 구조를 가지고 있다. 특히, 다수의 사용자가 동시에 집약적으로 서버에 콘텐츠를 요구할 시 발생하는 병목현상 문제가 대표적이데 이를 해소하기 위해 미래 네트워크의 대안으로 CCN이 등장했다. CCN은 중간노드의 In-Network Cache 기능을 통해 네트워크의 대역폭을 효율적으로 사용해 사용자들의 요청이 Server에 도달하기 위해 소요되는 트래픽을 개선해 네트워크 내에서 응답시간을 줄이고 트래픽 집중을 분산한다. 이런 CCN 환경에서 효율성을 향상시킬 수 있는 캐시정책을 제안한다.

## ABSTRACT

Nowadays, it is more difficult to find people who do not use mobile devices such as smartphones and tablets. Contents that can be accessed at the touch of a finger is overflowing. However, the existing network has a structure in which it is difficult to efficiently respond to the problems caused by overflowing contents. In particular, the bottleneck problem that occurs when multiple users intensively request content from the server at the same time is a representative problem. To solve this problem, the CCN has emerged as an alternative to future networks. CCN uses the network bandwidth efficiently through the In-Network Cache function of the intermediate node to improve the traffic required for user to request to reach the server, to reduce response time, and to distribute traffic concentration within the network. I propose a cache policy that can improve efficiency in such a CCN environment.

## 키워드

Content Centric Networking(CCN), Cache Policy, Producer Distance  
콘텐츠 중심 네트워크, 캐시 정책, 생산자 거리

## 1. 서 론

우리는 모바일기기를 사용하지 않는 사람을 찾는

것이 더 어려운 시대에 살고 있다. 모바일기기 사용이 일상화되면서 인터넷은 우리 삶 깊숙하게 들어왔으며 콘텐츠의 소비는 아주 쉬워졌다. 또한, 누구나 언제

\* 국방대학교 석사과정(13-10128@naver.com)  
\*\* 교신저자 : 국방대학교 컴퓨터공학과 교수  
• 접수일 : 2021. 10. 02  
• 수정완료일 : 2021. 11. 09  
• 게재확정일 : 2021. 12. 17

• Received : Oct. 02, 2021, Revised : Nov. 09, 2021, Accepted : Dec. 17, 2021  
• Corresponding Author : Tea-Wook Kwon  
Dept. of Computer Science, Korea National Defense University  
Email : kwontw9042@kndu.ac.kr, lly07@mnd.go.kr

어디서든 쉽고 편하게 인터넷에 접속할 수 있기 때문에 단순히 콘텐츠를 소비하는 수준에 그치는 것이 아니라 콘텐츠를 생산, 공유, 확산까지 하는 바야흐로 콘텐츠의 시대라고 할 수 있다[1-2].

이에 따른 자연스러운 결과로 네트워크 내 콘텐츠 유통은 기하급수적으로 증가해왔으며 데이터 트래픽에 대한 문제가 심화되었다. 특히, 인기 있는 콘텐츠를 제공하는 주요 플랫폼들이 엄청난 속도로 발전하고 증가함에 따라 다수의 사용자가 동시집약적으로 서버에 콘텐츠를 요구할 시 발생하는 병목현상 문제가 대두되었다. 하지만 기존 네트워크는 이런 병목현상 문제에 대해 효율적으로 대응하기 어려운 구조를 가지고 있다. 이를 해소하기 위해 미래 네트워크의 대안으로 콘텐츠 중심 네트워크(Content Centric Networking, CCN)가 등장했다[3].

기존의 IP 기반 네트워크는 호스트 중심의 구조로 어떤 데이터를 유통하더라도 Server-Client의 일대일 방식으로만 전달하는 절차에 집중한 통신이 이루어졌다. 하지만 CCN에서는 원하는 콘텐츠를 얻는다는 목적에 집중하여 콘텐츠를 보유한 누구라도 전달할 수 있는 방식이다. CCN은 모든 라우터가 콘텐츠를 저장할 수 있는 캐시공간인 Contents Store(: CS)를 가지며, 이 CS에서 콘텐츠에 대해 캐싱을 하므로 Server에 집중되는 네트워크 트래픽을 분산시키고 응답시간을 단축하는 효과를 기대할 수 있다.

각 라우터의 CS는 용량이 한정되어있기 때문에 어떤 캐시정책을 사용하는지가 CCN의 성능을 결정적으로 좌우하게 된다. 이에 따라 CCN에서 사용되는 캐시정책에 대해 활발한 연구가 이루어졌다. 캐시의 효율성을 판단할 수 있는 기준은 “적중률(Hit Rate)이 얼마나 높은가?”와 “응답시간(Response Time)이 얼마나 적은가?” 두 가지로 볼 수 있다. 기존 진행된 연구들은 주로 적중률 증가에 초점을 맞추고 진행되었다. 하지만 실질적으로 사용자가 체감할 수 있는 부분은 응답시간 감소이다.

본 논문에서는 응답시간 단축에 중점을 둔 캐시정책에 대해서 연구를 진행하였으며, 소비자로부터 생산자까지의 거리를 고려하여 각 콘텐츠마다 다른 Life Time을 부여하는 캐시정책인 생산자 거리 기반 응답시간 감소(Reduce Response Time based on Producer Distance, RRT-PD) 정책을 제안하였으며

응답시간과 적중률 두 가지 측면에서 CCN의 기본 캐시정책인 LRU, LFU를 사용했을 경우와 제안하는 정책을 사용했을 경우를 비교 분석하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 CCN의 기본개념 및 특징에 대해 알아보고, 지금까지 연구된 캐시정책에 대해 분석하였다. 3장에서는 제안하는 정책인 RRT-PD에 대한 개요와 동작절차에 대해 기술하였다. 4장에서는 제안정책을 실제로 구현하여 실험을 통해 성능을 평가하고, 5장에서 결론을 맺는다.

## II. 관련연구

### 2.1 Content Centric Networking(: CCN)

CCN은 Information-Centric Networking(ICN)의 다양한 연구 방향 중 하나로 Palo Alto Research Center(: PARC)의 연구원 Van Jacobson이 2006년 제안했으며 2007년 PARC의 공식 연구프로젝트로 채택되었고 2009년 첫 번째 소프트웨어 릴리스가 출시되었다. 2017년 관련기술 및 오픈소스코드들이 CISCO에 인수되었다. 현재는 Named Data Networking(: NDN)이라는 명칭으로 연구가 이어지고 있다.

기존 네트워크는 수많은 콘텐츠들로 인해 발생하는 문제들에 대해 효율적으로 대응하기 어려운 구조를 가지고 있는데 특히, 다수의 사용자가 동시에 집약적으로 서버에 콘텐츠를 요구할 시 발생하는 병목현상 문제를 해결하고자 등장한 개념이 CCN이다.

기존의 네트워크는 IP주소(Where)를 중심으로 통신의 절차에 집중했다면 CCN은 콘텐츠이름(What)을 중심으로 원하는 콘텐츠를 얻기 위한 목적에 더 집중한 개념이다. CCN에서 라우터는 기존 IP네트워크의 라우터와 유사하게 동작하므로 기존 장비를 활용할 수 있다는 점과 IP전송계층과 연동이 용이하다는 장점이 있다. CCN은 네트워크 상 모든 라우터가 캐시 매커니즘을 사용한다는 주요한 특징을 가지고 있다. 모든 라우터가 콘텐츠를 저장할 수 있는 캐시공간인 Contents Store(CS)를 가지며, CS에서 캐시를 사용하여 Server로 집중되는 네트워크 트래픽을 분산시키고 응답시간을 단축하는 효과를 기대할 수 있다.

CCN에서 콘텐츠이름은 계층적으로 구조화된 이름

으로 생성된다. 예를 들어 UCLA에서 제작한 데모비디오 버전1의 세그먼트3은 “/ucla/videos/demo.mpg/1/3”으로 지어질 수 있다. 따라서 콘텐츠이름만 봐도 콘텐츠가 어디에서 생성되었고 몇 번째 버전이며 몇 번째 세그먼트인지 파악할 수가 있다.

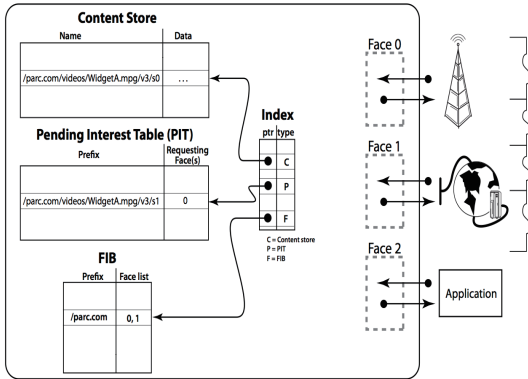


그림 1. CCN 포워딩 엔진  
Fig. 1 CCN forwarding engine

그림 1은 CCN의 포워딩 엔진을 나타낸 것이다. 그림 1에서 볼 수 있듯이 CCN의 각 라우터는 Content Store(CS), Pending Interest Table(PIT), Forwarding Information Base(FIB)로 구성된 구조를 가진다[3]. CS는 수신된 콘텐츠들을 저장하는 캐시공간이다. CCN에서 데이터는 어디에서 왔는지 또는 어디로 전달되는지에 관계없이 존재 자체만으로 의미가 있기 때문에 네트워크 운영 상 효율을 위해 캐싱될 수 있다. 이때 캐시 교체 정책은 라우터에 의해 결정되며 어떤 정책이 적용되는지에 따라 네트워크 효율이 크게 달라질 수 있다. PIT는 패킷 수신 시 요청이 들어온 Face를 기록하여 차후 Data 패킷 수신 시 요청을 보내온 곳으로 콘텐츠를 전송하기 위해 존재한다. 즉, 라우터가 전달했지만 아직 충족되지 않은 모든 Interest Packet이 저장된다. 각 PIT 항목은 수신 및 발신 Face와 함께 Interest Packet에 포함된 콘텐츠이름을 기록한다. FIB는 콘텐츠이름 요소를 인터페이스에 맵핑하는 라우팅테이블이다. 콘텐츠이름을 토대로 정보생성자 또는 정보제공자의 Face를 기록하며 동일 콘텐츠라도 여러 개의 Face가 기록될 수 있다.

CCN에서의 통신은 기본적으로 Interest Packet과 Data Packet 두 가지 유형의 패킷 교환을 통해 이루어진다.

Interest Packet은 정보를 원하는 정보요청자에 의해 생성되어 각 라우터에 의해 전송된다. Interest Packet이 요청한 데이터가 있는 노드 즉 정보생성(제공)자에 도달하면 이에 대한 응답으로 정보생성(제공)자로부터 Data Packet이 생성되어 Interest Packet이 지나온 라우터들의 경로를 역순으로 따라 전송된다. Interest Packet과 Data Packet에는 정보생성자의 주소가 없다. 즉, 생성자가 최초 데이터를 생성할 때 만든 이름을 가지고 해당정보를 요구한다. 이는 IP 네트워크에서 송·수신자의 위치주소를 가지고 정보를 포워딩하고 라우팅하는 것과는 근본적인 차이를 보인다. CCN은 데이터 포워딩에 콘텐츠이름만을 사용하며 콘텐츠이름은 생성자로 하여금 다른 콘텐츠와 구분할 수 있도록 유일하게 명명되어야 한다.

Interest Packet이 도착하면 라우터는 먼저 CS에서 일치하는 데이터가 있는지 확인한다. 일치하는 데이터가 존재하는 경우 Interest Packet을 발송한 Face로 Data Packet을 발송한다. 일치하는 데이터가 없는 경우 라우터는 PIT에서 콘텐츠이름을 찾고 일치하는 항목이 있으면 PIT 항목에 이 Interest Packet을 발송한 Face를 기록한다. 일치하는 PIT 항목이 없는 경우 라우터는 FIB의 정보를 토대로 데이터 생산자에게 Interest Packet을 전달한다. 라우터가 여러 다운스트림 라우터로부터 동일한 콘텐츠를 요청받는 경우 첫 번째 업 스트림만 데이터 생산자에게 전달한다.

Data Packet이 도착하면 라우터는 일치하는 PIT 항목을 찾고 해당 PIT 항목에 나열된 모든 다운스트림 Face로 데이터를 전달한다. 그런 다음 해당 PIT 항목을 제거하고 CS에 데이터를 캐싱한다. Data Packet은 항상 Interest Packet이 지나온 경로를 역순으로 사용하며 패킷의 손실이 일어나지 않는 이상 하나의 Interest Packet당 하나의 Data Packet이 생성되어 균형을 이루게 된다.

앞서 설명한 Interest Packet과 Data Packet을 수신했을 때 각각의 동작을 하나의 과정으로 설명하면 다음과 같은 포워딩 과정이 된다[4]. ① 중간노드에 Interest 패킷이 도착한다. ② 요청 콘텐츠를 해당노드 CS에 가지고 있는지 확인한다. ③ CS에 요청 콘텐츠가 없으면 PIT에서 재수신 여부를 확인한다. ④ 재수신된 경우라면 중복요청이므로 Interest 패킷을 폐기하고 종료하며 재수신된 경우가 아니면 FIB를 참조한

다. ⑤ 포워딩 전에 Data 패킷 전달 시 경로를 참고하기 위해 PIT에 경로를 저장한다. ⑥ 다음 라우터로 포워딩한다. ⑦ Interest 패킷이 정보제공자에게 도착하여 원하는 콘텐츠가 포함된 Data 패킷을 받는다. ⑧ PIT를 확인하여 정보요청자로의 경로를 확인 후 참조 내역을 삭제한다. ⑨ 도착한 콘텐츠는 기존 CS에 존재하지 않던 새로운 콘텐츠이므로 CS에 캐싱한다. ⑩ 정보요청자에게 Data패킷을 전달한다.

## 2.2 캐시정책

특정 콘텐츠를 상위 저장장치와 근접한 별도 공간인 캐시메모리에 보관함으로써 여러 가지 문제를 해소하고 처리율을 향상시키는 것을 캐시매커니즘이라고 하며 캐시매커니즘을 수행하는 대상에 따라 CPU 캐시, 디스크 캐시, 웹 캐시 등으로 나눌 수 있다[5].

캐시정책이란 캐시저장공간이 꽉 찼을 때 어떤 콘텐츠를 제거하고 새로운 콘텐츠를 저장하는가에 대한 정책을 말한다. 캐시정책은 캐시교체정책과 캐시저장정책으로 나뉘볼 수 있다[6]. 캐시교체정책은 각각의 라우터를 기준으로 캐시저장공간이 꽉 찼을 때 어떤 콘텐츠를 제거하고 새로운 콘텐츠를 저장하는가에 대한 것으로 웹 캐시정책과 유사하다. 캐시저장정책은 전체 네트워크를 기준으로 콘텐츠 전달 경로 상 어떤 라우터에 저장할 해야 콘텐츠 중복을 최소화하며 가장 효율적으로 전체 네트워크를 운용할 수 있는지에 대한 것이다.

캐시정책은 지역성이론에 근거하는데 지역성이론이란 프로세스들이 기억장치 내의 정보를 어느 한 순간에 시간적 또는 공간적 특정부분을 집중적으로 참조한다는 이론이다[5]. 시간지역성이론은 최근에 참조한 것이 가까운 미래에도 계속 참조될 가능성이 높다는 것을 의미하고 순환(Looping), 서브루틴(Sub Routine), 스택(Stack), 카운트와 집계 등을 예로 들 수 있다. 공간지역성이론은 참조한 것과 가까운 것들이 지속적으로 참조될 가능성이 높다는 것을 의미하며 배열(Array), 순차적 코드 실행, 변수의 선언부 등을 예로 들 수 있다.

표 1. 웹 캐시정책 분류

Table 1. Classification of web cache policy

Classification	Cache Replacement Policy
Recency	LRU, LRU-Threshold, LRU-Min, LRU-LSC, HLRU, FIFO, Priority-FIFO, SIZE, Value-Aging, Pitkow, PSS, EXPI, Partitioned
Frequency	LFU, LFU-Aging, LFU-DA, $\alpha$ -Aging, swLFU
Hybrid	LRFU, LRU*, LRU-Hot, LRU-SP, SLRU, HYPER-G, GR, CSS
Function	LNC-R-W3, GD, GD-Size, GDSF, GD*, LRV, LUV, MIX, HYBRID, TSP, M-Metric, LR-Model, Bolot/Hoschla's Strategy, Server-Assisted
Random	RAND, HARMONIC, LRU-C, LRU-S

웹 캐시정책은 데이터의 가치를 결정하는 기준에 따라 <표 1>과 같이 크게 다섯 가지 형태인 최근요청(Recency), 빈도(Frequency), 혼합(Hybrid), 함수(Function), 임의(Random)로 분류해 볼 수 있다[7]. 여기서 주목할 점은 다수의 교체 정책들이 최근요청(Recency)과 빈도(Frequency)라는 두 가지 특성에 의존하는 형태를 취하거나 이를 바탕으로 추가적인 고려요소나 판단기준을 반영한다는 점이다. 네트워크 상 유통되는 콘텐츠 용량 대비 각 라우터에 저장할 수 있는 캐시 공간은 상당히 제한적이므로 어떤 캐시정책을 활용하느냐에 따라 캐시의 성능에 상당한 영향을 미친다.

최근 기반 정책은 최근에 요청된 데이터가 이후에 다시 요청될 가능성이 높다는 시간지역성이론을 적용한다. 따라서 최근 기반 정책에서는 최근에 요청된 데이터일수록 미래에 요청될 가능성이 더 높은 것으로 간주한다. 즉, 최근에 요청된 횟수가 적은 데이터일수록 가치가 낮게 평가되고 캐시메모리에서 우선적으로 방출하는 알고리즘을 적용한다. Least Recently Used(LRU)는 가장 대표적인 최근 기반 정책이다. LRU는 순수한 최근 기반 정책으로 캐시메모리가 가득 찼을 때 새로 진입한 데이터를 저장하기 위해 시

간지역성이론에 따라 가장 오래 전 참조된 데이터를 삭제한다. 빈번히 참조되는 인기 있는 콘텐츠들의 집합, 즉 핫 집합의 변화(Hot-Set Drift)를 잘 반영한다[8]. 그러나 요청의 최근성만을 데이터의 가치를 판단하는 기준으로 활용하기 때문에 누적 요청 횟수 즉, 데이터의 인기도를 반영하지 못한다는 단점이 있다. 예를 들어, LRU에서는 1분 전 1회만 요청된 데이터보다 10분 전까지 100회 요청된 콘텐츠의 방출 우선순위를 더 높게 측정한다. 또한, 캐시에 저장된 이후에 한 번도 요청되지 않은 데이터(0\_Reuse)가 많이 누적되는 문제가 발생하여 비효율적이다[9].

빈도 기반 정책 또한 시간지역성이론을 기본으로 한다. 빈도 기반 정책은 누적 요청 횟수가 많은 데이터일수록 가치를 높게 평가한다. 즉, 빈도 기반 정책에서는 누적 요청 횟수가 가장 적은 데이터를 캐시 메모리에서 우선 방출한다. 가장 대표적인 빈도 기반 정책은 Least Frequently Used(: LFU)이다. LFU는 전적으로 빈도에 기반을 둔 정책으로 누적 요청 횟수가 가장 적은 데이터를 캐시 메모리에서 삭제한다. LFU는 데이터의 누적 요청 횟수로 데이터의 가치를 판단하기 때문에 데이터의 누적 인기도를 잘 반영한다. 하지만 LFU는 데이터의 최근성 즉, 핫 집합의 변화를 반영하지 못 하기 때문에 이미 많은 참조 횟수를 기록한 콘텐츠들은 제거되지 않는 오염현상(Cache Pollution)을 초래한다. 과거에 많은 요청을 받아 누적 요청 횟수가 높으면 현재와 미래에 요청받을 가능성이 거의 없는 데이터라도 캐시 메모리에 계속 보관하여 캐시 메모리를 비효율적으로 사용하게 되는 것이다. 또한, 캐시 메모리에 데이터가 저장되는 초기에는 누적 요청 횟수가 부족하여 앞으로 많은 요청을 받을 수 있는 데이터라도 삭제되는 경우가 발생한다.

이외에도 혼합 기반 정책은 다양한 기준을 혼합하여 데이터의 가치를 결정한다. 함수 기반 정책은 설계한 함수를 통해 데이터의 가치를 판단한다. 임의 기반 정책은 데이터의 가치를 결정하는 알고리즘에 임의성과 확률적 요소를 가미시킨다. 함수 기반 정책 중 Least Normalized Cost-Replacement-World Wide Web(LNC-R-W3)은 캐시 적중에 실패했을 때 발생하는 비용을 최소화하고 절약되는 비용을 최대화하기 위한 정책으로 단위 시간당 참조 빈도와 지연시간을 고려하여 데이터의 가치를 계산하여 가치가 가장 낮

은 데이터를 삭제하는 정책이다[10]. Delay Savings Ratio(: DSR)을 높이는 것이 목표인 정책이라는 점에서 Hit Rate(: HR)을 높이는 것이 목표인 대부분의 정책과는 다르다.

표 2. CCN 캐시정책 분류  
Table 2. Classification of CCN cache policy

Classification		Cache Replacement Policy
Independent	Legacy	LRU, HLRU, LFU, LFU-Aging, FIFO, Priority-FIFO, LNC-R-W3, WAVE, MPC, FGPC, MAGIC
	Novel	LB, RUF, Partitioning, TTL-based, Popularity-based, Delay-based, SLT-based, RT-based, PR-based, DA-LFU
Cooperative		LCE, LCD, MCD, Prob, WAVE, PBLFU, PBLRU

기존 웹 캐시정책을 CCN에 적용하고자 하는 연구 뿐 아니라 CCN의 특성에 맞는 새롭고 독창적인 캐시정책에 대한 연구도 활발히 진행되었다. CCN에서 연구된 캐시정책들은 <표 2>와 같이 각 라우터가 단독으로 콘텐츠의 저장 및 방출 여부를 결정하는 독립(Independent) 정책과 인근 라우터 간의 통신 등으로 획득한 정보를 기반으로 라우터 간 협력을 통해 콘텐츠의 저장 및 방출 여부를 결정하는 협력(Cooperative) 정책으로 분류할 수 있다. 또한, 독립정책은 기존의 웹 캐시정책을 활용하는 유산(Legacy) 정책과 CCN 특성에 맞게 개발된 개정(Novel) 정책으로 분류할 수 있다.

독립정책 중 유산정책은 앞서 웹 캐시정책의 내용과 동일하다. 단, LRU와 LFU가 CCN의 기본정책으로 사용되고 있다. 협력정책은 라우터 간 협력을 통한다는 점에서 본 연구의 논의대상이 아니다. 개정정책을 간단하게 살펴보면 Least Benefit(: LB)은 거리요소인 거쳐 온 홉수와 요청횟수를 종합적으로 고려해 이득이 가장 적은 데이터를 교체하는 정책이다[11]. Recent Usage Frequency(: RUF)는 다양한 판단 기준에 따라 콘텐츠들을 범주화하고 각 범주별 인기도를 측정하여 캐시 교체 시 가중치를 부여하는 정책이다[12]. Partitioning은 애플리케이션별 지정된 캐시공간만을 사용함으로써 캐시의 효율을 높이는 정책이다

[13]. Time to Live(: TTL)-based는 콘텐츠의 생존시한을 설정하여 일정시간 이상 추가 참조가 없는 콘텐츠들을 방출하는 정책이다[14]. 인기도 기반 정책(Popularity based)은 콘텐츠별 인기도를 판단하여 인기도가 높은 콘텐츠를 자신의 하위노드에 푸시한 후 해당 콘텐츠를 우선적으로 교체하여 트래픽 흐름의 단일선상에서 콘텐츠의 중복된 저장을 줄임으로써 결과적으로 인기도 높은 콘텐츠가 하위노드에 더욱 빨리 위치하고 서버와 클라이언트 선상에서 더 많은 캐시공간을 활용할 수 있도록 하는 정책이다[15-16]. 지연시간 기반 정책(Delay based)은 라우터에서 캐시에 저장할 데이터를 선정하는 과정에 있어 지연시간이 긴 구간에 위치한 정보제공자의 콘텐츠를 우선적으로 저장하여 네트워크 전반적으로 데이터를 가져오는데 걸리는 지연시간을 줄이고 효율성을 향상시키기 위해 웹 캐시정책 LNC-R-W3를 CCN에 적용한 정책이다[17-18]. 보관수명 기반 정책(Shelf Life Time based, SLT-based)은 콘텐츠가 생성된 시점으로부터 오래되었지만 인기가 있는 콘텐츠를 간과할 수 있는 문제를 보완하기 위하여 콘텐츠가 생성된 시점으로부터 사용자들의 충분한 관심을 받지 못 하여 캐시할 가치를 잃는 특정 시점까지를 보관수명(Shelf-Life Time, SLT)으로 정의하여 콘텐츠별 보관수명 산출 또는 상호간 비교를 통해 교체하는 정책이다[19-21]. 참조경향 기반 정책(Reference Tendency based, RT-based)은 각 콘텐츠별로 상이한 참조경향을 수식을 통해 환산하여 최근에 집중되어 참조되는 콘텐츠일수록 높은 우선순위를 부여하고 가장 가치 없는 콘텐츠를 교체 대상으로 선정할 수 있도록 하는 정책이다[22-23]. 생성자 인지도 기반 정책(Producer Rank based, PR-based)은 콘텐츠를 생성하는 노드를 사용자의 요청을 기준으로 우선순위를 부여하여 많은 사용자들이 요청하는 콘텐츠를 생성하는 노드를 식별하고 해당 노드에서 생성되는 콘텐츠에 높은 우선순위를 부여하여 캐시에 저장하고 상대적으로 인기가 없는 노드에서 생성한 콘텐츠는 향후 참조 가능성이 낮기 때문에 캐시에서 조기 방출될 수 있도록 낮은 우선순위를 부여하는 정책이다[24-25]. 지연감쇠 정책(Delay Attenuation LFU, DA-LFU)은 캐시공간을 Popular Segment와 Unpopular Segment로 나누어 캐시 적중 시 Popular Segment에 저장하고 각 콘텐츠에 타이머

를 적용하여 일정시간 경과 후 Unpopular Segment로 이동시켜 참조횟수로 정렬하고 타이머에 따라 일정주기로 참조횟수를 감쇠시키는 정책이다. LFU 정책의 기본특성을 이용하되 단점인 캐시오염현상을 극복할 수 있고 캐싱된 이후 가적으로 참조되지 않는 콘텐츠에 대해 대비할 수 있으며 콘텐츠들의 인기도가 변화하는 환경에 적용할 수 있는 정책이다[26-27].

지금까지 연구된 정책들을 살펴보면 웹 캐시정책 LNC-R-W3, CCN 캐시정책 LB, Delay based를 제외하고는 대부분의 정책이 캐시의 적중률 향상에 초점을 맞춰 연구가 진행되었다. 하지만 사용자 입장에서 봤을 때 적중률이 얼마나 향상되는지 체감하기가 어려우며 일정 수준의 적중률만 달성이 되면 사용자가 불편함을 느끼지 못 할 것이다. 그러나 응답시간의 경우 감소되는 것이 즉각 사용자에게 체감되며 콘텐츠 요청에 대한 응답시간이 길어질수록 사용자는 이를 불편하다고 느낄 것이다. 이에 따라 응답시간 감소에 초점을 맞춘 캐시정책 연구가 필요하다고 생각했다.

### III. 생산자 거리 기반 응답시간 감소 (RRT-PD)

#### 3.1 개요

일반적으로 캐시정책의 성능을 평가하는 기준에는 적중률(Hit Rate, HR)과 지연시간 감소율(Delay Saving Ratio, DSR)이 있다. 앞서 관련연구에서 보았듯이 선행된 연구들은 전통적인 관점인 적중률 향상을 목표로 캐시정책을 설계하였다. 캐시정책이 얼마나 우수한지 평가하는 주체는 연구자나 네트워크 관리자도 있지만 사용자도 있다. 사용자가 궁금한 것은 “내가 원하는 콘텐츠가 CS에 저장되어 있는가?”가 아니라 “내가 원하는 콘텐츠를 요청했을 때 얼마나 빨리 받을 수 있는가?”일 것이다. 즉, 높은 적중률이 아니라 짧은 응답시간으로 캐시정책이 얼마나 우수한지 평가한다는 것이다. 이에 따라 응답시간을 감소시킬 수 있는 캐시정책의 설계를 목표로 하였다.

목표로 하는 CCN의 캐시정책을 설계하기 위해 콘텐츠 소비자로부터 생산(제공)자까지의 거리에 따라 CS 내 콘텐츠의 Life Time을 차등적으로 부여하여 콘텐츠가 이동해오는 거리가 멀수록 콘텐츠를 CS 내

에서 상대적으로 오래 저장하여 최종적으로 콘텐츠를 요청했을 때 응답시간을 감소시키는 효과를 얻고자 한다. 콘텐츠 소비자로부터 콘텐츠 생산자까지의 거리를 고려하여 응답시간 감소의 효과를 얻는 정책이므로 생산자 거리 기반의 응답시간 감소 정책 즉, Reduce Response Time based on Producer Distance(: RRT-PD)이라고 정의하고 CCN 기본정책인 LRU, LFU에 RRT-PD를 추가하는 정책을 제안한다.

정책을 수립하면서 중점을 둔 부분은 단순해야 한다는 것이다. 다양하고 많은 정보를 활용하는 캐시정책을 수립하면 당연히게도 높은 효율을 기대할 수 있겠지만 활용하는 정보가 많을수록 복잡도가 높은 다양한 연산이 필요해질 것이고 이는 응답시간을 효과적으로 감소시킬 수 없는 장애요인이 될 것이기 때문이다. 이에 제안정책에서는 콘텐츠 소비자로부터 생산자까지의 거리 정보만을 활용하여 단순하면서도 기대효과를 얻을 수 있도록 했다.

### 3.2 알고리즘

RRT-PD의 알고리즘은 <그림 2>에서 나타낸 바

와 같이 CCN 기본 알고리즘에 두 단계만을 추가한다. Interest 패킷을 받아 CS를 확인해보니 해당 콘텐츠가 없는 경우 PIT와 FIB를 거쳐 콘텐츠 생산(제공) Face로 Interests 패킷을 전달한 후 기다리다가 Data 패킷이 도착하여 CS에 콘텐츠를 저장할 때 수식에 따라 산출한 콘텐츠의 Life Time을 부여한다. 이후 Interest 패킷을 또 받았을 때 CS에 콘텐츠가 존재하는 것이 확인이 되면 콘텐츠 소비(요청) Face로 Data 패킷을 전달한 후 Hit이 발생했으므로 콘텐츠의 Life Time을 수식에 따라 산출한 초깃값으로 재설정한다.

RRT-PD 정책은 콘텐츠마다 Life Time을 적용한다. 기존에 높은 적중률에 중점을 두고 연구된 정책에서는 콘텐츠의 Life Time이 없거나 일률적인 Life Time이 부여되어 응답시간이 오래 걸릴 수 있다는 제한점이 있었다. 이에 콘텐츠 소비자로부터 생산자까지의 거리 즉, 콘텐츠가 지나는 중간노드들의 개수에 따라 콘텐츠의 Life Time을 차등적으로 부여한다. 중간노드의 개수가 많을수록 긴 Life Time을 부여하면 실제 네트워크와 같이 복잡한 환경 속에서 응답시간을 효과적으로 줄일 수 있을 것으로 예상된다. 콘텐츠

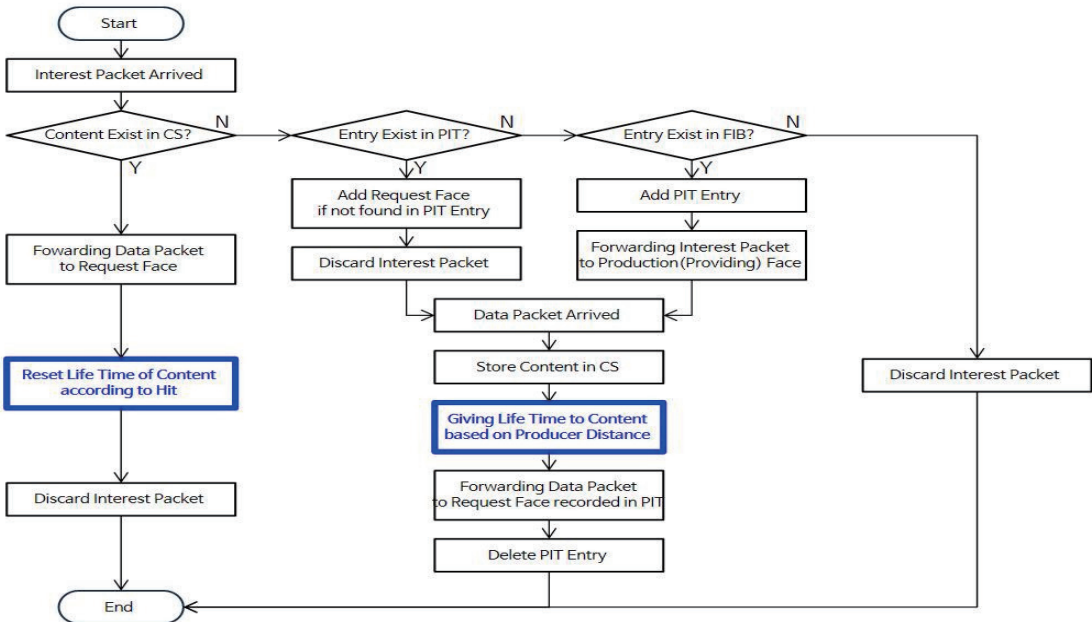


그림 2. RRT-PD 알고리즘 순서도  
Fig. 2 RRT-PD flowchart of algorithm





실험을 진행한 네 가지 정책 LRU, RRT-PD-LRU, LFU 그리고 RRT-PD-LFU의 총 누적 응답시간을 비교한 결과는 <그림 5>와 같다. 결과적으로 기본정책인 LRU, LFU에 RRT-PD를 적용했을 때 누적 응답시간이 감소하는 것을 확인할 수 있다.

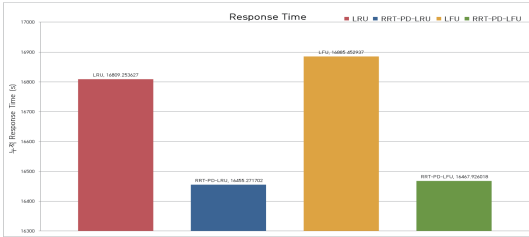


그림 5. LRU, RRT-PD-LRU, LFU, RRT-PD-LFU 누적 응답시간

Fig. 5 Cumulative response time of LRU, RRT-PD-LRU, LFU, RRT-PD-LFU

LRU와 RRT-PD-LRU의 시간에 따른 중단노드 평균 적중률 변화는 <그림 6>과 같다. 시뮬레이션이 어느 정도 진행된 200초와 260초 구간에서 LRU의 적중률이 급격하게 낮아지지만 RRT-PD-LRU의 적중률은 오히려 상승한 것을 확인할 수 있다. 그 외 구간에서는 RRT-PD 적용 전과 후의 적중률이 유사하여 유의미한 차이를 발견할 수 없었다. LRU의 전체 구간 평균 적중률은 약 24.39%였으며 RRT-PD-LRU의 전체 구간 평균 적중률은 24.76%으로 RRT-PD-LRU의 적중률이 LRU에 비해 약 0.37% 향상되었다.

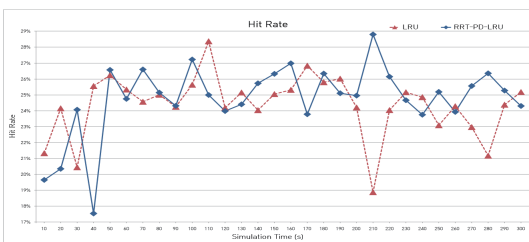


그림 6. LRU 및 RRT-PD-LRU 적중률 변화  
Fig. 6 Hit Rate Change of LRU, RRT-PD-LRU

LFU와 RRT-PD-LFU의 시간에 따른 중단노드 평균 적중률 변화는 <그림 7>과 같다. LFU도 앞선 LRU와 유사한 양상으로 시뮬레이션이 어느 정도 진행된 260초 구간에서 LFU의 적중률은 급격하게 낮아지는 반면 RRT-PD-LFU의 적중률은 상승하는 것을

확인할 수 있었다. LFU의 전체 구간 평균 적중률은 약 24.16%였으며 RRT-PD-LFU의 전체 구간 평균 적중률은 24.54%으로 RRT-PD-LFU의 적중률이 LFU에 비해 약 0.38% 향상되었다. 따라서 RRT-PD 정책은 CCN에서 응답시간 감소를 위해 적용 가능하고 효과적인 정책임을 확인할 수 있다.

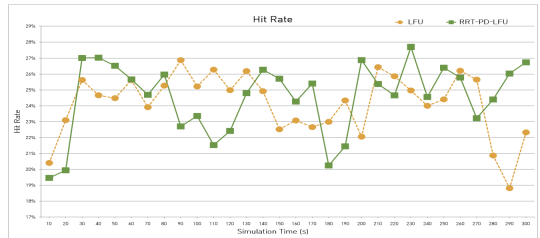


그림 7. LFU 및 RRT-PD-LFU 적중률 변화  
Fig. 7 Hit Rate Change of LFU, RRT-PD-LFU

## V. 결론

본 논문에서는 CCN 네트워크의 성능향상을 위한 방안으로 효율적인 캐시정책인 생산자 거리 기반 응답시간 감소(RRT-PD) 정책을 제안하였다. 특히, 기본 정책인 LRU와 LFU정책의 특성은 이용되지 제한점인 생산자 거리를 고려하지 못 한다는 점을 보완하였고 결과적으로 콘텐츠 요청으로부터 콘텐츠 수신까지 걸리는 시간인 응답시간을 감소시킬 수 있도록 하였다. 실험을 통해 제안한 기법이 LRU, LFU 정책보다 감소된 응답시간과 향상된 적중률을 보여줌으로써 우수성을 증명하였고, 이를 적용 시 CCN의 성능 향상에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

그러나 제안한 기법은 향후 다음과 같은 추가 연구를 통해 보완시켜야 한다. 제시한 정책에는 콘텐츠의 Life Time이라는 변수가 존재하고 이 변수를 산출하는 수식에 임의로 지정하는 단위시간이 있다. 이 단위시간을 어떻게 설정하느냐에 따라 응답시간 감소 정도에서 차이가 날 수 있다. 따라서 가장 효율적인 Life Time을 산출할 수 있는 단위시간의 설정에 대한 추가 연구와 변수 값에 의존하지 않는 캐시정책을 위한 연구가 추가적으로 필요하다.

감사의 글

※ 위 논문은 “2021년 봄철학술대회 우수논문”입니다.

References

- [1] H. Kim and T. Kwon, “A Study on the Improvement of Military Information Communication Network Efficiency Using CCN,” *J. of Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 15, no. 5, Oct. 2020, pp. 799-806.
- [2] S. Keum and T. Kwon, “A Study on the Support of Intermediate Node Mobility by Double Paths in CCN Real-Time Services,” *J. of Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 16, no. 5, Oct. 2021, pp. 825-834.
- [3] V. Jacovson, D. K. Smetters, J. D. Tornton, M. F. Plass, N. H. Briggs, and R. L. Braynard, “Networking Named Content,” *ACM Proc. of the 5th Int. Conf. on Emerging Networking Experiments and Technologies*, Rome, Italy, Dec. 2009, pp. 1-12.
- [4] M. F. Bari, S. R. Chowdhury, R. Ahmed, R. Boutaba, and B. Mathieu, “A Survey of Naming and Routing in Information-Centric Networks,” *IEEE Communications Mag.*, vol. 50, 2012, pp. 44-53.
- [5] P. J. Denning, “The Locality Principle,” *Communications of the ACM*, vol. 48, no. 7, Jul. 2005, pp. 19-24.
- [6] G. M. Vrito, P. B. Velloso, and I. M. Moraes, “Information-Centric Networks : A New Paradigm for the Internet,” John Wiley & Sons, 2013, pp. 58-59.
- [7] S. Podlipnig and L. Böszörmenyi, “A Survey of Web Cache Replacement Strategies,” *ACM Computing Surveys*, vol. 35, no. 4, Dec. 2003, pp. 374-398.
- [8] A. Mahanti, D. Eager, and C. Williamson, “Temporal Locality and its Impact on Web Proxy Cache Performance,” *Performance Evaluation*, vol. 42, no. 2-3, 2000, pp. 187-203.
- [9] M. K. Qureshi, A. Jaleel, Y. N. Patt, S. C. Steely, and J. Emer, “Adaptive Insertion Policies for High Performance Caching,” *ACM SIGARCH Computer Architecture News*, vol. 35, no. 2, May 2007, pp. 381-391.
- [10] P. Scheuermann, J. Shim, and R. Vingralek, “A Case for Delay-Conscious Caching of Web Documents,” *Computer Networks and ISDN Systems*, vol. 29, no. 8-13, Sep. 1997, pp. 997-1005.
- [11] A. A. Barakabitze and T. Xiaoheng, “Caching and Data Routing in Information Centric Networking(ICN) : The Future Internet Perspective,” *Int. J. of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*, vol. 4(11), 2014, pp. 8-20.
- [12] S. Kang, S. Lee, and Y. Ko, “A Recent Popularity based Dynamic Cache Management for Content Centric Networking,” *IEEE Fourth Int. Conf. on Ubiquitous and Future Networks*, Phuket, Thailand, July 2012, pp. 219-224.
- [13] Y. Lu, A. Saxena, and T. F. Abdelzaher, “Differentiated Caching Services : A Control-Theoretical Approach,” *IEEE Proc. 21st Int. Conf. on Distributed Computing Systems*, Mesa, Arizona, USA, Apr. 2001, pp. 615-622.
- [14] N. C. Fofack, P. Nain, G. Neglia, and D. Towsley, “Analysis of TTL-based Cache Networks,” *IEEE 6th Int. ICST Conf. on Performance Evaluation Methodologies and Tools*, Cargese, France, Oct. 2012, pp. 1-10.
- [15] S. Kim and T. Kwon, “Popularity based Hierarchical Cache Management in Content Centric Network,” *Proc. of Symp. of the Korean Institute of Communications and Information Sciences*, Pyeongchang, Republic of Korea, Jan. 2014, pp. 645-646.
- [16] S. Kim and T. Kwon, “Popularity-based Pushing Policy to Enhance Cache Hit Ratio in Content Centric Networks,” Master’s Thesis, *Korea National Defense University Graduate School of Computer Science*, Dec. 2014, pp. 14-24.
- [17] H. Jang and T. Kwon, “A Method for Increasing Efficiency of Network using Data Pre-Caching in Content Networking,” *Proc. of Symp. of the Korean Institute of Communications and Information Sciences*, Pyeongchang, Republic of Korea, Jan. 2014, pp. 651-652.
- [18] H. Jang and T. Kwon, “A Study of

- Delay-based Cache Replacement Policy for Improving Network Efficiency in CCN," Master's Thesis, Korea National Defense University Graduate School of Computer Science, Dec. 2014, pp. 18-31.
- [19] S. Han and T. Kwon, "Web Cache Replacement Policy by Adapting Content Creation Time," *Proc. of Symp. of the Korean Institute of Communications and Information Sciences*, Daejeon, Republic of Korea, June 2014, pp. 156-157.
- [20] S. Han and T. Kwon, "Shelf-Life Time Based Cache Replacement Policy Suitable for Web Environment," *The J. of Korean Institute of Communications and Information Sciences*, vol. 40, no. 6, Nov. 2015, pp. 1091-1101.
- [21] S. Han and T. Kwon, "Shelf-Life Time Based Cache Replacement Policy for Hit-Ratio Improvement in Contents Centric Network," Master's Thesis, Korea National Defense University Graduate School of Computer Science, Dec. 2015, pp. 20-27.
- [22] J. Shin and T. Kwon, "A Study on Way to Improve Cache Policy of CCN in Military Environment," *Proc. of Symp. of the Korean Institute of Communications and Information Sciences*, Seoul, Republic of Korea, Nov. 2015, pp. 81-82.
- [23] J. Shin and T. Kwon, "Reference Tendency Based Cache Replacement Policy in Content-Centric Networking," Master's Thesis, Korea National Defense University Graduate School of Computer Science, Dec. 2016, pp. 24-36.
- [24] H. Kim and T. Kwon, "A Study on the Provider's Priority-based Congestion Control in CCN," *Proc. of Symp. of the Korean Institute of Communications and Information Sciences*, Seoul, Republic of Korea, Nov. 2015, pp. 129-130.
- [25] H. Kim and T. Kwon, "Producer Rank Based Cache Replacement Policy in Content Centric Network," Master's Thesis, Korea National Defense University Graduate School of Computer Science, Dec. 2016, pp. 19-33.
- [26] B. Ban and T. Kwon, "Delay Attenuation LFU (DA-LFU) Cache Replacement Policy to Improve Hit Rates in CCN," *Korea Information Processing Society Trans. Comp. and Comm. Sys.*, vol. 9, no. 3, Sept. 2020, pp. 59-66.
- [27] B. Ban and T. Kwon, "Delay Attenuation LFU(DA-LFU) Cache Replacement Policy for Improving Network Efficiency in CCN," Master's Thesis, Korea National Defense University Graduate School of Computer Science, Dec. 2019, pp. 26-33.

## 저자 소개



### 김 건(Keon Kim)

2013년 육군사관학교 시스템공학과 졸업(공학사)  
2021년 국방대학교 대학원 컴퓨터공학과 졸업

※ 관심분야 : Next Generation Networking, Content Centric Networking



### 권태욱(Tae-Wook Kwon)

1986년 육군사관학교 전자공학과 졸업(공학사)  
1995년 미해군대학원 컴퓨터공학과 졸업(공학석사)

2001년 연세대학교 대학원 컴퓨터공학과 졸업(공학박사)

2007년 ~ 현재 국방대학교 컴퓨터공학과 교수  
※ 관심분야 : Next Generation Networking, Content Centric Networking, Software Defined Networking, Network Function Virtualization, U-Sensor Networking, VR, RFID

